

# 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响

张 琴 童万平 董兰芳 蒋 艳 童 潼

(广西壮族自治区海洋研究所 广西海洋生物技术重点实验室, 北海 536000)

**摘 要** 以初始体重为  $39.20 \pm 0.24$  mg 的方格星虫稚虫为实验对象, 分别饲喂蛋白水平为 25.21%、29.87%、35.03%、40.67%、45.47%、50.12%、55.29%、60.38%、64.85% 的 9 种等能微颗粒饲料 56d, 研究饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响。结果表明, 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫的生长性能有显著影响 ( $P < 0.05$ )。随着饲料中蛋白水平的提高, 稚星虫的增重率和特定生长率都呈先增后降的趋势, 当饲料蛋白水平为 45.47% 时, 稚星虫增重率和特定生长率均达到最大值, 二次曲线回归分析确定当增重率达到极值时, 饲料蛋白水平为 46.79%; 对稚星虫体组成成分的分析表明, 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体组成中脂肪和蛋白质的含量影响显著 ( $P < 0.05$ ), 稚星虫体蛋白含量随着饲料蛋白水平的上升有显著升高的趋势, 64.85% 组稚星虫体蛋白含量最高, 显著高于其他各蛋白水平组 ( $P < 0.05$ )。体脂肪含量随着饲料蛋白水平的上升有降低的趋势, 64.85% 组稚星虫的体脂肪含量最低, 显著低于 25.21%、29.87%、35.03% 和 40.67% 组 ( $P < 0.05$ )。饲料蛋白水平对稚星虫体灰分含量没有显著影响 ( $P > 0.05$ )。以增重率为评价指标时, 方格星虫稚虫对饲料中蛋白的适宜需求量为 46.79%。

**关键词** 方格星虫 蛋白 生长 体组成

**中图分类号** S963.1 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2012)01-0086-07

## Effects of dietary protein level on growth performance and body composition of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus

ZHANG Qin TONG Wan-ping DONG Lan-fang

JIANG Yan TONG Tong

(Key Laboratory of Marine Biotechnology of Guangxi, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000)

**ABSTRACT** *Sipunculus nudus* Linnaeus at an average body weight of  $39.20 \pm 0.24$  mg were divided into 9 groups with triplicates and 500 larvae in each replicate to investigate the effects of dietary protein level on growth performance and body composition of juvenile peanut worm, *S. nudus*, by feeding diets with 9 protein levels (25.21%, 29.87%, 35.03%, 40.67%, 45.47%, 50.12%, 55.29%, 60.38%, and 64.85%) for 8 weeks. The results showed that protein level significantly affected growth performance of *S. nudus* larvae ( $P < 0.05$ ). With the increasing dietary protein level, the weight growth ratio (WGR) and specific growth ratio (SGR) firstly

广西科学基金项目(桂科基 0832031)、广西自然科学基金项目(2011GXNSFB018057)和北海市科学研究与技术开发计划项目(北科合 201153009)共同资助

收稿日期:2011-03-08;接受日期:2011-04-14

作者简介:张 琴(1982-),女,博士,主要从事水产动物营养与饲料的研究。E-mail: celery996@yahoo.com.cn, Tel: (0779)2073536

increased and then decreased, and when the dietary protein level was 45.47%, both *WGR* and *SGR* produced the maximum value. The regression model analysis showed the best dietary protein level was 46.79%, at which the best *WGR* was acquired. The results of body composition analysis showed that dietary protein level had significant effects on body protein content ( $P < 0.05$ ), which increased with the increasing doses of dietary protein. *S. nudus* fed with 64.85% protein produced the highest body protein content, and was significantly different from the groups with other protein levels ( $P < 0.05$ ). There was a downward trend in body lipid content, and when the dietary protein level was 64.85%, the body lipid content was significantly lower than that in groups with 25.21%, 29.87%, 35.03% and 40.67% protein ( $P < 0.05$ ). The dietary protein level had no significant effects on body ash content ( $P > 0.05$ ). Based on comprehensive analysis of *WGR*, it was concluded that the suitable dietary protein level for *S. nudus* larvae should be 46.79%.

**KEY WORDS** Peanut worm Protein Growth performance Body composition

方格星虫 *Sipunculus nudus* 亦称光裸方格星虫或光裸星虫, 俗称“沙虫”, 为暖水性世界广布种, 我国广西、广东、海南、福建和台湾沿海均有分布(李凤鲁等 1990), 其中以广西海区资源较为丰富(吴 斌 1999), 是广西重要的海洋渔业资源。目前, 对于星虫类的研究, 国内外学者在星虫繁殖生物学(Rice 1986; 兰国宝等 2003; 李进寿等 2004)及生理生态(Ruppert *et al.* 1995)等方面做了相关研究。迄今为止, 国内外尚未见方格星虫营养与饲料方面的文献报道。

蛋白质是影响水产动物生长和饲料成本的主要因素。饲料蛋白质含量低, 不能满足机体生长的需要, 饲料蛋白质含量过高, 多余的蛋白就会用作能量被消耗(Wilson 2002), 造成蛋白质的浪费, 且过多的含氮排泄物排入到养殖水环境中, 造成水体的富营养化(Pearson *et al.* 2001), 还会影响水产动物的摄食和生长(McGoo-gan *et al.* 2000)。由于蛋白质是水产动物饲料中最贵的成分, 在不影响养殖动物生长和健康的情况下降低饲料的蛋白水平, 将会大大降低饲料成本(Webster *et al.* 2000), 因此确定水产动物生长和存活的最适蛋白需求非常重要(Lee *et al.* 2000), 是保证合理的养殖成本和良好经济效益所必需。

基于饲料蛋白质含量对保持水生动物正常生长和健康有至关重要的作用, 作者开展了蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成影响的研究, 以期规模化养殖方格星虫的人工配合饲料的研制提供重要的科学依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验饲料

以鱼粉、酪蛋白和明胶为蛋白源, 鱼油为脂肪源, 配成蛋白含量为 25%、30%、35%、40%、45%、50%、55%、60%及 65%的 9 种等能实验饲料(表 1)。经测定, 9 种实验饲料中蛋白的实际含量分别为 25.21%、29.87%、35.03%、40.67%、45.47%、50.12%、55.29%、60.38%和 64.85%。所有原料粉碎后过 400 目筛网, 然后将原料混合均匀, 再与鱼油和水充分混匀, 微粘合饲料加工参照 Blair 等(2003)介绍的方法, 将饲料制成过 150 目筛的颗粒, 装袋备用。

### 1.2 饲养实验

饲养实验于 2010 年 9 月 15 日在广西壮族自治区海洋研究所海水增殖实验基地暨海水养殖新品种繁育工程技术研究中心进行。实验用的稚虫均来源于广西海洋研究所自主研发培育的同一批受精卵孵化的人工苗种, 规格为  $39.20 \pm 0.24$  mg/条, 每个水槽放入 500 条星虫苗作为一个实验单元。养殖容器为 65 cm × 55 cm

×45 cm 的塑料水槽,水槽底部铺一薄层(约3~4 cm)的细沙以供实验稚星虫栖息。每天09:00和17:00换水1/3,然后投喂,采用稍过量投喂,保持底层沙表面有少量剩饵,每星期彻底清理实验水槽1次。所用海水经室外蓄水池沉淀,二级砂滤池过滤,进水槽前再经滤袋过滤。实验期间,连续充气,水温为24~28℃,盐度为18~22,溶解氧大于5.0 mg/L。

表1 实验饲料配方及营养成分分析(%干物质)

Table 1 Ingredient composition and nutrient level of experimental diets(% dry matter)

项目 Items	饲料编号 Diet No.								
	D1 (25.21)	D2 (29.87)	D3 (35.03)	D4 (40.67)	D5 (45.47)	D6 (50.12)	D7 (55.29)	D8 (60.38)	D9 (64.85)
鱼粉 Fish meal	17.75	21.3	24.85	28.4	31.95	35.5	39.05	42.6	46.15
酪蛋白 Casein	7.10	8.52	9.94	11.36	12.78	14.20	15.62	17.04	18.46
明胶 Gelatin	7.10	8.52	9.94	11.36	12.78	14.20	15.62	17.04	18.46
糊精 Dextrin	40.00	35.00	30.00	25.00	20.00	15.00	10.00	5.00	0.00
纤维素 Cellulose	15.05	13.86	12.66	11.46	10.26	9.06	7.86	6.66	5.46
褐藻酸钠 Sodium alginate	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
原料 Ingredients									
卵磷脂 Lecithin	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
鱼油 Fish oil	5.70	5.50	5.31	5.12	4.93	4.74	4.55	4.36	4.17
磷酸二氢钙 Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
复合维生素 <sup>1</sup> Vitamin premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
复合矿物质 <sup>2</sup> Mineral premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
维生素C Vitamin C	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
氯化胆碱 Choline chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
抗氧化剂 Ethoxyquin	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
粗蛋白 Crude protein	25.21	29.87	35.03	40.67	45.47	50.12	55.29	60.38	64.85
粗脂肪 Crude lipid	8.27	8.24	8.21	8.17	8.33	8.20	8.11	8.22	8.25
灰分 Ash	6.84	7.58	8.27	9.13	9.80	10.94	11.60	12.42	13.60
水分 Moisture	9.33	9.25	9.28	9.19	9.12	9.23	9.27	9.41	9.38
营养水平 Nutrient level									

注:<sup>1</sup>复合维生素:每千克复合维生素含:V<sub>D</sub> 480 000 IU, V<sub>E</sub> 20.00 g, V<sub>K</sub> 0.20 g, V<sub>C</sub> 14.00 g, V<sub>B1</sub> 0.10 g, V<sub>B2</sub> 1.40 g, V<sub>B6</sub> 1.20 g, V<sub>B12</sub> 0.20 g, 泛酸钙 6.521 g, 烟酸 5.60 g, 生物素 0.20 g, 肌醇 88.00 g

<sup>2</sup>复合矿物质:每千克复合矿物质含:FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (19.74% Fe) 152.00 g, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (25.22% Cu) 2.40 g, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (19.25% Zn) 31.20 g, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O (31.89% Mn) 8.20 g, NaSeO<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O (28.54%) 0.18 g, KI (75.73%) 0.16g, CaCO<sub>3</sub> 805.86 g

### 1.3 样品测定及数据分析

56d 养殖实验结束后,将实验稚星虫转移至底部无沙的水族箱内 2~3 d,待其消化道内完全排净沙子之后,对每个重复的受试星虫进行计数,称重。计算稚星虫的成活率、增重率及特定生长率。计算公式如下:

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

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

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

式中, $W_0$ 和 $W_t$ 分别为稚星虫初始体重和终末体重; $t$ 为实验天数; $N_t$ 和 $N_0$ 分别为终末和初始稚星虫的条数。

实验稚星虫的体成分的测定和饲料的常规成分分析均采用 AOAC (1995)的方法。其中,水分的测定是 105℃ 烘箱中烘干至恒重;粗蛋白的测定采用凯氏定氮法(Kjeltec 8400, Sweden);粗脂肪的测定采用索氏抽提法(Soxtec 2050, Switzerland);灰分是在马福炉中 550℃ 灼烧 12 h,每份样品均重复测定两次,若相对偏差大于 2%,则增加重复次数,采用相对偏差在 2%以下的两个测定值的平均数作为测定结果。

采用 SPSS 13.0 for Windows 对所得数据进行方差分析,若差异达到显著,则进行 Tukey 多重比较,显著性水平为  $P < 0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长性能的影响

56d 的饲养实验期间,各处理组稚虫成活率在 92.67%~95.80%之间,各处理组间差异不显著( $P > 0.05$ ) (表 2)。饲料蛋白水平对方格星虫稚虫的增重率和特定生长率有显著影响( $P < 0.05$ ) (表 2)。随着饲料中蛋白水平的提高,方格星虫稚虫的增重率呈先增后降的趋势,在蛋白水平为 45.47%组达到最高,且显著高于较低(25.21%、29.87%和 35.03%)和较高(60.38%和 64.85%)蛋白水平组( $P < 0.05$ )。方格星虫稚虫的特定生长率随着饲料蛋白水平的上升也有一个先增后降的趋势,也是在蛋白水平为 45.47%组达到最高,且显著高于较低(25.21%和 29.87%)和较高(60.38%和 64.85%)蛋白水平组( $P < 0.05$ )。低蛋白水平(25.21%)组稚星虫的增重率和特定生长率均最低,且显著低于其他各蛋白水平组( $P < 0.05$ )。

经统计分析表明,增重率( $y$ )与饲料蛋白水平( $x$ )的二次曲线回归方程为:

$$y = -0.2829x^2 + 26.475x - 191.82 \quad (R^2 = 0.9224)$$

当增重率达到极值时,蛋白水平为 46.79%。

表 2 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长性能的影响(平均值±标准误)

Table 2 Effects of dietary protein level on growth performance of *S. nudus* (Mean ± S.E.)

项目 Items	饲料编号 Diet No.								
	D1(25.21)	D2(29.87)	D3(35.03)	D4(40.67)	D5(45.47)	D6(50.12)	D7(55.29)	D8(60.38)	D9(64.85)
初始体重 IBW(mg)	41.18± 2.10	39.20± 0.28	38.91± 0.08	38.94± 0.16	38.95± 0.25	39.01± 0.23	38.87± 0.02	39.05± 0.17	38.72± 0.12
终末体重 FBW(mg)	157.49± 1.67 <sup>a</sup>	181.09± 1.21 <sup>bc</sup>	188.04± 6.46 <sup>bc</sup>	201.62± 3.46 <sup>cd</sup>	212.32± 4.51 <sup>d</sup>	201.07± 6.53 <sup>cd</sup>	194.19± 2.55 <sup>bcd</sup>	179.36± 7.26 <sup>abc</sup>	174.96± 2.80 <sup>ab</sup>
增重率 WGR(%)	284.34± 14.46 <sup>a</sup>	361.96± 3.24 <sup>bc</sup>	383.20± 11.04 <sup>bc</sup>	417.74± 7.93 <sup>cd</sup>	445.09± 3.89 <sup>d</sup>	415.23± 9.15 <sup>cd</sup>	399.54± 9.93 <sup>bcd</sup>	359.24± 11.70 <sup>bc</sup>	351.855± 7.03 <sup>b</sup>
特定生长率 SGR(%/d)	2.69± 0.10 <sup>a</sup>	3.06± 0.01 <sup>b</sup>	3.15± 0.07 <sup>bc</sup>	3.29± 0.03 <sup>bc</sup>	3.39± 0.05 <sup>c</sup>	3.28± 0.06 <sup>bc</sup>	3.22± 0.04 <sup>bc</sup>	3.05± 0.08 <sup>b</sup>	3.02± 0.03 <sup>b</sup>
成活率 Survival(%)	92.67± 0.82	92.87± 0.52	95.47± 1.51	95.80± 0.42	95.13± 0.81	95.27± 0.59	93.00± 1.56	94.20± 1.10	94.13± 0.64

注:表中所给数据为 3 个重复的平均值±标准误。同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Values are means of three replicates. Means in each column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 2.2 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体组成的影响

实验星虫体成分的测定结果见表3。饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体脂肪和体蛋白的含量影响显著( $P < 0.05$ )，稚星虫体蛋白含量随着饲料蛋白水平的上升有显著升高的趋势，64.85%组星虫体蛋白含量最高，显著高于其他各蛋白水平组( $P < 0.05$ )。体脂肪含量随着饲料蛋白水平的上升有降低的趋势，64.85%组星虫的体脂肪含量最低，显著低于25.21%、29.87%、35.03%和40.67%组( $P < 0.05$ )。饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体组成中水分和粗灰分含量没有显著影响( $P > 0.05$ )。

表3 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体成分的影响(平均值±标准误)

Table 3 Effects of dietary protein level on whole-body composition of *S. nudus* (Mean ± S. E.)

项目 Items	饲料编号 Diet No.								
	D1(25.21)	D2(29.87)	D3(35.03)	D4(40.67)	D5(45.47)	D6(50.12)	D7(55.29)	D8(60.38)	D9(64.85)
水分 Moisture(%)	78.89±0.34	78.743±0.27	79.15±0.25	77.32±0.49	77.96±0.51	77.98±0.42	78.58±0.37	78.43±0.34	78.61±0.36
粗蛋白 Crude protein(%)	67.13±0.64 <sup>a</sup>	68.09±0.61 <sup>a</sup>	69.40±0.72 <sup>ab</sup>	70.11±0.59 <sup>ab</sup>	71.17±0.47 <sup>bc</sup>	72.16±0.55 <sup>bcd</sup>	73.47±0.53 <sup>cde</sup>	74.94±0.51 <sup>de</sup>	76.04±0.83 <sup>e</sup>
粗脂肪 Crude lipid(%)	2.98±0.07 <sup>d</sup>	2.87±0.08 <sup>cd</sup>	2.77±0.05 <sup>cd</sup>	2.70±0.02 <sup>bcd</sup>	2.62±0.09 <sup>abcd</sup>	2.56±0.06 <sup>abc</sup>	2.48±0.13 <sup>abc</sup>	2.38±0.06 <sup>ab</sup>	2.28±0.11 <sup>a</sup>
灰分 Ash(%)	15.81±0.40	15.87±0.09	15.93±0.34	16.12±0.25	16.14±0.51	16.20±0.16	16.21±0.21	16.25±0.21	16.34±0.29

注:表中所给数据为3个重复的平均值±标准误。同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异( $P < 0.05$ )

Note: Values are means of three replicates. Means in each column with different superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ )

## 3 讨论

### 3.1 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长性能的影响

Mohanta等(2007)对爪哇鲤 *Puntius gonionotus* 的研究发现,30%蛋白水平组的增重显著高于蛋白水平高于或低于该水平的其他饲料组。其他学者在对条纹鲈 *Morone saxatilis* (Millikin 1983)、鲮鱼 *Mugil cephalus* (Papaparaskeva-Papoutsoglou et al. 1986)和罗非鱼 *Oreochromis niloticu* (Siddiqui et al. 1988)的研究中也得到了同样的结果。本研究中,随着饲料蛋白水平的不断上升,增重率显著地升高,当蛋白水平达到45.47%时,增重率和特定生长率都达到最大值,然后随着饲料蛋白水平的上升,体增重缓慢地下降,这一结果与上述学者在其他水产动物的研究中得到的结论是一致的。通过对增重率和饲料蛋白质水平进行二次回归分析表明,方格星虫稚虫在饲料蛋白质水平为46.79%时达到最大生长。虽然蛋白质作为生命的基础在水产动物生长和存活过程中必不可少,如果投喂蛋白含量过低的饲料,饲料蛋白用以满足体组织的建构,修复和代谢需要的比例增大,而用于生长的蛋白相对减少,体增重较慢(Sá et al. 2008),这可能也是本研究中过低的饲料蛋白水平限制了方格星虫稚虫生长的原因;但当饲料中蛋白质含量过高时,方格星虫稚星虫的生长性能表现出一定程度的下降,可能的原因是多余的蛋白会被脱氨分解转化成能量,这样会降低蛋白的转化率(Lee et al. 1973),从而显著降低增重(Singh et al. 1988; Khan et al. 1990; Mohanta et al. 2007)。

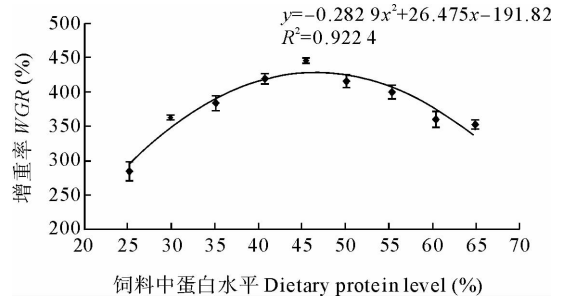


图1 方格星虫稚星虫增重率与饲料中蛋白水平的回归分析

Fig. 1 Regression analysis between WGR and dietary protein level of *S. nudus*

### 3.2 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体组成的影响

本研究中,饲料中蛋白水平在 25.21%~64.85% 范围内,随着饲料蛋白水平的上升,方格星虫稚虫体蛋白含量不断增加,其他学者在鲤鱼 *Cyprinus carpio* (Zeitter *et al.* 1984)、线鳢 *Channa striata* (Mohanty *et al.* 1996)及宝石鲈 *Scortum barcoo* (宋理平 2009)等研究中均发现随着饲料蛋白水平的上升,体蛋白含量不断增加,这与本实验的研究结果是一致的。但也有研究者在对红罗非鱼(Clark *et al.* 1990)、棕鲷 *Salmo trutta* (Arzel *et al.* 1995)及四须鲃 *Barbodes altus* (Adiran *et al.* 1997)等的研究中发现,随着饲料粗蛋白水平的变化,体蛋白含量并不受影响。

随着饲料蛋白水平的增加,方格星虫稚虫体脂肪含量呈不断下降的趋势。这一结果与其他学者在马拉西亚鳢 *Mystus nemurus* (Khan *et al.* 1993)、石斑鱼 *Epinephelus malabaricus* (Chen *et al.* 1994;Shiau *et al.* 1996)等的研究结果相一致。分析出现这种结果的可能原因是,本实验中,不同蛋白水平组之间,饲料能量和脂肪含量基本是相同的,蛋白含量低的组通过提高糊精含量来达到能量平衡,而糊精作为可消化糖类,当饲料中蛋白质水平低时,饲料中碳水化合物的含量会相应升高,而碳水化合物可转化为脂肪,因此,当饲料中粗蛋白含量水平较低时,体脂肪含量会偏高(Papaparaskeva-Papoutsoglou *et al.* 1986)。

一些学者对大盖巨脂鲤 *Colossoma macropomum* (Meer *et al.* 1995)、红头丽体鱼 *Cichlasoma synspilum* (Olvera-Novoa *et al.* 1996)、四须鲃 *Barbodes altus* (Adiran *et al.* 1997)、金头鲷 *Sparus aurata* (Fernández *et al.* 2007)等的研究认为,体灰分不受饲料中蛋白水平变化的影响。本研究中,饲料蛋白水平对方格星虫稚虫体组成中粗灰分含量的影响虽然没有达到统计学上显著水平,但稚虫体灰分含量随着饲料蛋白水平的增加有上升的趋势,这与其他学者在草鱼 *Ctenopharyngodon idella* (Dabrowski 1977)和爪哇鲤 *P. gonionotus* (Mohanta *et al.* 2007)上的研究结果相一致。Shearer(1994)研究认为,鲑科鱼类个体大小是影响体组成中灰分含量的最重要的因素。Schulz 等(2007)在对暗斑梭鲈 *Sander lucioperca* 的研究中发现,最高蛋白水平组的鱼体灰分含量最高,可能是因为高蛋白组的鱼粉含量较高,而鱼粉中的矿物质在鱼体内的沉积较多。本研究中,方格星虫稚虫体灰分含量随着蛋白水平逐渐上升的原因还有待进一步的研究。

## 4 结论

综上所述,饲料蛋白含量过高或过低均会造成方格星虫稚虫生长缓慢。以增重率为评价指标,方格星虫稚虫对蛋白的需求量为 46.79%。

## 参 考 文 献

- 兰国宝,阎 冰,廖思明. 2003. 方格星虫胚胎与幼体发育的研究. 热带海洋学报, 22(6):70~75
- 李凤鲁,孔庆兰,史贵田,王 玮,周 红,金善福. 1990. 中国沿海方格星虫属(星虫动物门)的研究. 青岛海洋大学学报, 20(1):93~99
- 李进寿,冯丹青,周时强,柯才焕. 2004. 光裸方格星虫(*Spiunculus nudus*)人工繁殖及生物学的初步研究. 杭州师范学院学报(自然科学版), 3(2): 136~139
- 宋理平. 2009. 宝石鲈营养需求的研究. 见: 山东师范大学博士研究生学位论文
- 吴 斌. 1999. 光裸方格星虫生殖细胞及胚胎发育. 广西科学, 6(3):222~226
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International, 16th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA
- Adiran, E., and Shim, K. F. 1997. Growth response of juvenile *Barbodes altus* fed isocaloric diets with variable protein levels. Aquaculture, 158 (3-4):321~329
- Arzel, J., Métailler, R., Kerleguer, C., Delliou, H. L., and Guillaume, J. 1995. The protein requirement of brown trout (*Salmo trutta*) fry. Aquaculture, 130(1):67~68
- Blair, T., Castell, J., Neil, S., D'Abramo, L., Cahu, C., Harmon, P., and Ogunmoye, K. 2003. Evaluation of microdiets versus live feeds on growth, survival and fatty acid composition of larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Aquaculture, 225(1-4):451~461
- Chen, H. Y., and Tsai, J. C. 1994. Optimal dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets. Aquaculture, 119(2-3):265~271

- Clark, A. E., Watanabe, W. O., Olla, B. O., and Wicklund, R. I. 1990. Growth, feed conversion and protein utilization of Florida red tilapia fed isocaloric diets with different protein levels in seawater pools. *Aquaculture*, 88(1):75~85
- Dabrowski, K. 1977. Protein requirements of grass carp fry (*Ctenopharyngodon idella* Val.). *Aquaculture*, 12(1):63~73
- Fernández, F., Miquel, A. G., Córdoba, M., Varas, M., Metón, I., Caseras, A., and Baanante, I. V. 2007. Effects of diets with distinct protein-to-carbohydrate ratios on nutrient digestibility, growth performance, body composition and liver intermediary enzyme activities in gilthead sea bream (*Sparus aurata*, L.) fingerlings. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 343(1):1~10
- Khan, M. A., and Jafri, A. K. 1990. On the dietary protein requirement of *Clarias batrachus* (Linnaeus). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, 5:191~198
- Khan, M. S., Ang, K. J., Ambak, M. A., and Saad, C. R. 1993. Optimum dietary protein requirement of a Malaysian freshwater catfish, *Mystus nemurus*. *Aquaculture*, 112(2-3):227~235
- Lee, D. J., and Putnam, G. B. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in a test diet. *Journal of Nutrition*, 103:916~922
- Lee, S. M., Cho, S. H., and Kim, K. D. 2000. Effects of dietary protein and energy levels on growth and body composition of juvenile founder *Paralichthys olivaceous*. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31(3):306~315
- McGoogan, B. B., and Gatlin, D. M. 2000. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus*. II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. *Aquaculture*, 182(3-4):271~285
- Meer, M. B., Machiels, M. A. M., and Verdegem, M. C. J. 1995. The effect of dietary protein level on growth, protein utilization and body composition of *Colossoma macropomum* (Cuvier). *Aquaculture Research*, 26(12):901~909
- Millikin, M. R. 1983. Interactive effects of dietary protein and lipid on growth and protein utilization of age-0 striped bass. *Transactions of the American Fisheries Society*, 112:185~193
- Mohanta, K. N., Mohanty, S. N., Jena, J. K., and Sahu, N. P. 2007. Protein requirement of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings. *Aquaculture Nutrition*, 14(2):143~152
- Mohanty, S. S., and Samantaray, K. 1996. Effect of varying levels of dietary protein on the growth performance and feed conversion efficiency of snakehead *Channa striata* fry. *Aquaculture Nutrition*, 2(2):89~94
- Olvera-Novio, M. A., Gasca-Leyva, E., and Martinez-Palacois, C. A. 1996. The dietary protein requirements of *Cichlasoma synspilum* Hubbs fry. *Aquaculture Research*, 27(3):167~173
- Papaparaskeva-Papoutsoglou, E., and Alexis, M. N. 1986. Protein requirements of young grey mullet, *Mugil capito*. *Aquaculture*, 52(2):105~115
- Pearson, T. H., and Black, K. D. 2001. The environmental impacts of marine fish cage culture. In: Black, K. D. *Environmental Impacts of Aquaculture*. Sheffield Academic Press, Sheffield, 1~31
- Pillay, T. V. R. 1992. *Aquaculture and the Environment*. Oxford. Fishing News Books, Blackwell Publishing Ltd, 189
- Rice, M. E. 1986. Factors influencing larval metamorphosis in *Golfingia misakiana* (Sipuncula). *Bulletin of Marine Science*, 39(2):362~376
- Ruppert, E. E., and Rice, M. E. 1995. Functional organization of dermal coelomic canals in *Spiunculus nudus* (Sipuncula) with a discussion of respiratory designs in *Sipunculus*. *Invertebrate Biology*, 114(1):51~63
- SÁ, R., Pous-Áo-Ferreira, P., and Oliva-Teles, A. 2008. Dietary protein requirement of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles. *Aquaculture Nutrition*, 14(4):309~317
- Schulz, C., Bohm, M., Wirth, M., and Rennert, B. 2007. Effect of dietary protein on growth, feed conversion, body composition and survival of pike perch fingerlings (*Sander lucio perca*). *Aquaculture Nutrition*, 13(5):373~380
- Shearer, K. D. 1994. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids. *Aquaculture*, 119(1):63~88
- Shiau, S. Y., and Lan, C. W. 1996. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Aquaculture*, 145(1-4):259~266
- Siddiqui, A. Q., Howlader, M. S., and Adam, A. A. 1988. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 70(1-2):63~73
- Singh, B. N., and Bhanot, K. K. 1988. Protein requirement of the fry of *Catla catla* (Ham.). In: M. Mohan Joseph (Editor), *The First Indian Fisheries Forum, Proceedings*. Asian Fisheries Society, Indian Branch, Mangalore, 77~78
- Webster, C. D., Tiu, L. G., and Morgan, A. M. 2000. Difference in growth in blue catfish, *Ictalurus furcatus* and channel catfish, *Ictalurus punctatus* fed low-protein diets with or without supplemental methionine and/or lysine. *Journal of the World Aquaculture Society*, 31(2):195~205
- Wilson, R. P. 2002. Amino acids and proteins. In: *Fish Nutrition* (Halver, J. E. & Hardy, R. W. eds), 3rd edn. 143~199. Academic Press Inc., San Diego, CA, USA
- Zeitter, M. H., Ktrchessner, M., and Schwarz, F. J. 1984. Effects of different protein and energy supplies on carcass composition of carp *Cyprinus carpio* (L.). *Aquaculture*, 36(1-2):37~48