

饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成及消化酶活性的影响

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 15.50 ± 0.04 mg 的方格星虫稚虫为实验对象, 分别饲喂脂肪水平为 0.36%、3.32%、6.49%、9.31%、12.16%、15.14% 和 18.36% 的 7 种等氮、等能饲料 56 d, 研究饲料脂肪水平对方格星虫稚虫生长、体组成及消化酶活性的影响。实验结果表明, (1) 饲料脂肪水平对方格星虫稚虫的生长性能有显著影响 ($P < 0.05$)。随着饲料中脂肪水平的提高, 方格星虫稚虫的增重率和特定生长率都呈先增后降的趋势, 当饲料中脂肪水平为 9.31% 时, 方格星虫稚虫增重率和特定生长率达到最大值。二次曲线回归分析确定当增重率达到极值时, 饲料脂肪水平为 8.70%; (2) 饲料脂肪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 ($P < 0.05$), 方格星虫稚虫体脂肪含量随着饲料脂肪水平的上升有显著升高的趋势, 18.36% 组星虫体脂肪含量最高, 显著高于 0.36%、3.32%、6.49%、9.31% 和 12.16% 组 ($P < 0.05$)。体蛋白含量随着饲料脂肪水平的上升有降低的趋势, 18.36% 组星虫的体蛋白含量最低, 显著低于 0.36%、3.32%、6.49%、9.31% 和 12.16% 组 ($P < 0.05$)。饲料脂肪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 ($P > 0.05$); (3) 随着饲料脂肪水平的提高, 方格星虫稚虫蛋白酶活性和脂肪酶活性均呈先增后降的趋势, 两种酶活性的最大值均出现在脂肪水平为 9.31% 时, 但是饲料脂肪水平对方格星虫稚虫的淀粉酶活性没有显著的影响 ($P > 0.05$)。以增重率为评价指标时, 方格星虫稚虫对饲料中脂肪的适宜需求量为 8.70%。

关键词 方格星虫 生长性能 体组成 消化酶活性

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2011)06-0099-08

Effects of dietary lipid levels on growth performance, body composition and digestive enzyme activities 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* juveniles at average body weight of (15.50 ± 0.04) mg were fed diets at seven lipid levels (0.36%, 3.32%, 6.48%, 9.31%, 12.16%, 15.14%, and 18.36%) respectively for 8 weeks to investigate the effects of dietary lipid levels on their growth performance, body composition and di-

广西科学基金项目(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: 2011-03-28; 接受日期: 2011-04-15

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

gestive enzyme activities. It was found that lipid levels significantly affected growth performance of juvenile *S. nudus* ($P < 0.05$). With the increased of dietary lipid levels, the weight growth ratio (WGR) and specific growth ratio (SGR) of peanut worm were firstly increased and then decreased, and when the dietary lipid level was 9.31%, both WGR and SGR produced the maximum value. The regression model analysis showed the best dietary lipid level which could acquire the best WGR was 8.70%. The results of body composition analysis showed that dietary lipid levels had significant effects on body lipid and protein content. Body lipid content increased with increase of dietary lipid. *S. nudus* fed with 18.36% lipid produced the highest body lipid content, which was significantly higher than those fed on lower lipid levels (0.36%, 3.32%, 6.49%, 9.31% and 12.16%) ($P < 0.05$). There was a downward trend in body protein content with the increase of dietary lipid, and when it reached 18.36%, the body protein content was significantly lower than that those seen in treatments with lower lipid levels ($P < 0.05$). The dietary lipid levels had no significant effects on moisture and ash content of the worm ($P > 0.05$). With the increasing doses of dietary lipid levels, the protease activity and the lipase activity were firstly increased and then decreased. Both protease activity and the lipase activity produced the maximum value when the worms were fed with diet containing 9.31% lipid. But the dietary lipid levels had no significant effects on amylase activity of *S. nudus* ($P > 0.05$). Based on comprehensive analysis of WGR, it is suggested that the suitable dietary lipid level for juvenile *S. nudus* is 8.70%.

KEY WORDS *Sipunculus nudus* Growth performance Body composition
Digestive enzyme activities

脂肪是动物维持生命活动的主要能源物质,不仅可以为水产动物生长提供必需脂肪酸,还可以促进脂溶性维生素的吸收和运输(Zhou *et al.* 2007),是饲料中不可缺少的营养成分。饲料中脂肪含量不足或过多均会影响养殖动物正常的生长、发育,甚至导致一些代谢性疾病(荻野 珍 1978;李爱杰 1996),且饲料中过多的脂肪不利于饲料储藏;饲料中适当添加脂肪不仅可以有效地促进动物生长(Chou *et al.* 1996; Wang *et al.* 2005),还可以起到节约蛋白质的作用(Lee *et al.* 1973),因此,研究饲料脂肪最佳添加量意义重大。

方格星虫 *Sipunculus nudus* Linnaeus 亦称光裸星虫,俗称“沙虫”,为星虫动物门习见种,隶属于方格星虫纲 Sipunculidea、方格星虫目 Sipunculiformes、方格星虫科 Sipunculidae、方格星虫属 *Sipunculus*,为暖水性世界广布种,我国山东、福建、广东、广西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)。自 2004 年广西海洋研究所首次在国内国外突破了方格星虫人工育苗技术难关之后,每年持续供应约 2 000 万条方格星虫苗种,促进了方格星虫人工养殖业的发展。随着方格星虫育苗技术和养殖技术的提高以及养殖规模的不断扩大,适时开展对方格星虫营养生理学的研究已显得十分重要。目前,国内外还未见有关方格星虫营养需求方面的文献报道。

基于饵料脂肪含量对保持水生动物正常生长和健康有至关重要的作用,本研究开展了脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成和消化酶活性影响的研究,以期为规模化繁育和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

以酪蛋白和明胶为蛋白源,鱼油和豆油的混合物(1:1)为脂肪源,糊精及微晶纤维素为配平等能水平的补充能源,配成脂肪含量为 0.3%、6%、9%、12%、15% 及 18% 的 7 种等氮、等能实验饲料(表 1)。经测定,7 种实验饲料中脂肪的实际含量分别为 0.36%、3.32%、6.49%、9.31%、12.16%、15.14% 和 18.36%。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。正式养殖实验于 2010 年 9 月 15 日开始,为期 56 d。实验用的稚虫均来自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 15.50 ± 0.04 mg/条,每个水槽放入 600 条星虫苗作为一个实验单元。养殖容器为 $65 \text{ cm} \times 55 \text{ cm} \times 45 \text{ cm}$ 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 7d 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 $24 \sim 28$ °C,盐度 $18 \sim 22$,溶解氧大于 5.0 mg/L。

表 1 实验饲料配方及营养成分分析

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

项目 Item	脂肪水平 Lipid level(%)						
	0.36	3.32	6.49	9.3	12.16	15.14	18.36
酪蛋白 Casein	42.20	42.20	42.20	42.20	42.20	42.20	42.20
明胶 Gelatin	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60	10.60
糊精 Dextrin	40.25	33.75	27.00	20.25	13.50	6.75	0.00
纤维素 Cellulose	1.15	4.65	8.40	12.15	15.90	19.65	23.40
褐藻酸钠 Sodium alginate	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
豆油 Soybean oil	0.00	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
鱼油 Fish oil	0.00	1.50	3.00	4.50	6.00	7.50	9.00
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
¹ 复合维生素 Vitamin premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
² 复合矿物质 Mineral premix	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
氯化胆碱 Choline chloride	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
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
粗蛋白 Crude protein	45.23	45.37	45.03	45.47	45.51	45.11	45.39
粗脂肪 Crude lipid	0.36	3.32	6.49	9.31	12.16	15.14	18.36
灰分 Ash	4.32	3.94	4.15	4.12	4.10	3.98	3.93
水分 Moisture	9.42	9.40	9.24	9.15	9.17	9.23	9.25

¹复合维生素:每千克复合维生素含:V_D 480 000 IU, V_E 20.00 g, V_K 0.20g, V_C 14.00 g, V_{B1} 0.10 g, V_{B2} 1.40 g, V_{B6} 1.20 g, V_{B12} 0.20 g, 泛酸钙 6.521 g, 烟酸 5.60 g, 生物素 0.20g, 肌醇 88.00g

²复合矿物质:每千克复合矿物质含 FeSO₄ · 7H₂O (19.74% Fe) 152.00 g, CuSO₄ · 5H₂O (25.22% Cu) 2.40 g, ZnSO₄ · 7H₂O (19.25% Zn) 31.20 g, MnSO₄ · H₂O (31.89% Mn) 8.20 g, NaSeO₃ · 5H₂O (28.54 %) 0.18 g, KI (75.73%) 0.16g, CaCO₃ 805.86 g

1.3 样品测定及数据分析

56 d 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。

稚星虫消化酶活性的测定: 酶液的制备参照南京建成生物工程研究所试剂盒的组织匀浆方法, 蛋白酶活性的测定采用 Folin-酚法; 脂肪酶活性和淀粉酶活性的测定采用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒。酶液蛋白含量以牛血清蛋白作标准, 用考马斯亮蓝法测定。酶活力用比活力 (U/mg prot) 表示。

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 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能的影响

56 d 的饲养实验期间, 各处理组稚虫成活率都在 92.67% ~ 95.93% 之间, 各处理组间差异不显著 ($P > 0.05$) (表 2)。随着饲料中脂肪水平的提高, 方格星虫稚虫的增重率呈先增后降的趋势, 脂肪水平 9.31% 组达到最高, 且显著高于 0.36% 和 18.36% 组 ($P < 0.05$)。方格星虫稚虫的特定生长率随着饲料中脂肪水平的提高也有一个先增后降的趋势, 脂肪水平 9.31% 组达到最高, 且显著高于高脂肪水平组 (18.36% 组) ($P < 0.05$)。

经统计分析表明, 增重率 (y) 与饲料脂肪水平 (x) 的二次曲线回归方程为:

$$y = -0.5734x^2 + 9.9765x + 157.11 \quad (R^2 = 0.9191)$$

当增重率达到极值时, 脂肪水平为 8.70%。

表 2 饲料脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能的影响 (平均值 ± 标准误)¹

Table 2 Effects of dietary lipid level on growth performance of *S. nudus* (Mean ± S. E.)¹

项目 Item	脂肪水平 Lipid level (%)						
	0.36	3.32	6.49	9.3	12.16	15.14	18.36
初始体重 IBW (mg)	15.39 ± 0.11	15.55 ± 0.20	15.49 ± 0.05	15.57 ± 0.19	15.56 ± 0.02	15.47 ± 0.09	15.50 ± 0.05
终末体重 FBW (mg)	40.59 ± 1.68 ^{ab}	44.06 ± 0.68 ^{bc}	44.58 ± 1.22 ^{bc}	47.63 ± 1.03 ^c	45.53 ± 0.87 ^{bc}	43.88 ± 1.80 ^{abc}	37.58 ± 1.45 ^a
增重率 WGR (%)	163.69 ± 11.21 ^{ab}	183.35 ± 4.13 ^{abc}	187.85 ± 7.96 ^{bc}	206.25 ± 9.35 ^c	192.69 ± 5.72 ^{bc}	183.60 ± 10.16 ^{abc}	142.42 ± 8.63 ^a
特定生长率 SGR (%/d)	1.94 ± 0.08 ^{ab}	2.08 ± 0.03 ^b	2.11 ± 0.06 ^b	2.24 ± 0.07 ^b	2.15 ± 0.04 ^b	2.08 ± 0.07 ^b	1.77 ± 0.07 ^{aa}
成活率 Survival (%)	93.17 ± 0.63	93.33 ± 0.68	94.67 ± 0.75	95.93 ± 1.58	94.40 ± 0.35	95.93 ± 0.47	92.67 ± 1.99

注: ¹表中数据为 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 饲料中脂肪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。脂肪含量随着饲料脂肪水平的上升有显著升高的趋势, 18.36% 组星虫体脂肪含量最高, 高于其他各实验组, 且显著高于 0.36%、3.32%、6.49%、9.31% 和 12.16% 组 ($P < 0.05$)。蛋白含量随着饲料脂肪水平的上升有降低的趋势, 18.36% 组星虫的体蛋白含量最低, 为 66.61% ± 0.16%, 低于其他各实验组, 且显著低于 0.36%、3.32%、6.49%、9.31% 和 12.16% 组 ($P < 0.05$)。饲料脂肪对方格星虫稚虫粗灰分含量没有显著影响 ($P > 0.05$)。

2.3 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫消化酶活性的影响

从表 4 可知,随着饲料脂肪水平的增加,方格星虫稚虫蛋白酶活性呈先增后降的趋势,9.31%组星虫的蛋白酶活性最高,其次是 6.49%组,且两组的蛋白酶活性均显著高于其他各脂肪水平组($P < 0.05$)。脂肪酶活性随着脂肪水平的增加也有一个先增后降的趋势,且也在 9.31%组达到最大值。低水平脂肪组(0.36%和 3.32%组)及高水平脂肪组(18.36%组)星虫的脂肪酶活性显著低于其他各实验组($P < 0.05$)。饲料脂肪水平对方格星虫的淀粉酶活性没有显著的影响($P > 0.05$)。

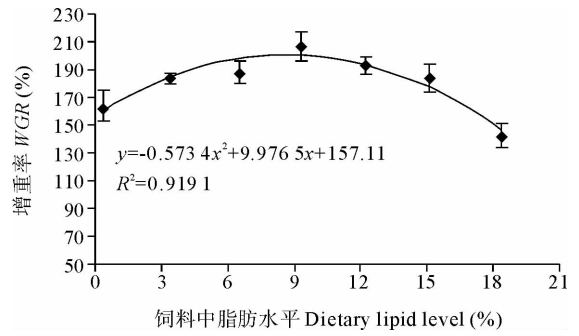


图 1 方格星虫稚虫增重率与饲料中脂肪水平的回归分析

Fig. 1 Regression analysis between WGR and dietary lipid levels of *S. nudus*

表 3 饲料中脂肪水平对方格星虫体成分的影响(平均值±标准误)¹

Table 3 Effects of dietary lipid level on whole-body composition of *S. nudus* (Mean±S. E.)¹

项目 Item	脂肪水平 Lipid level (%)						
	0.36	3.32	6.49	9.3	12.16	15.14	18.36
水分 Moisture (%)	79.41±0.39	79.33±0.32	79.24±0.12	77.62±0.43	78.03±0.61	78.14±0.53	78.67±0.44
粗蛋白 Crude protein (%)	68.78±0.13 ^c	68.67±0.24 ^c	68.67±0.03 ^c	68.65±0.03 ^c	67.79±0.27 ^b	67.13±0.15 ^{ab}	66.61±0.16 ^a
粗脂肪 Crude lipid (%)	1.94±0.09 ^a	2.27±0.08 ^{ab}	2.33±0.08 ^b	2.56±0.05 ^{bc}	2.72±0.11 ^{cd}	2.99±0.04 ^{de}	3.10±0.09 ^e
灰分 Ash (%)	15.54±0.24	15.99±0.21	16.12±0.25	16.58±0.48	15.66±0.44	16.14±0.51	16.40±0.35

注:¹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 ($P < 0.05$)

表 4 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫消化酶活性的影响(平均值±标准误)¹

Table 4 Effects of dietary lipid level on digestive enzyme activities of *S. nudus* (Mean±S. E.)¹

项目 Item	脂肪水平 Lipid level (%)						
	0.36	3.32	6.49	9.3	12.16	15.14	18.36
蛋白酶 Protease(U/mg prot)	0.65±0.02 ^a	0.66±0.01 ^a	0.81±0.02 ^c	0.82±0.02 ^c	0.77±0.01 ^{bc}	0.68±0.02 ^{ab}	0.67±0.03 ^{ab}
淀粉酶 Amylase(U/mg prot)	2.75±0.12	2.21±0.09	2.49±0.17	2.82±0.08	2.64±0.15	2.65±0.17	2.40±0.09
脂肪酶 Lipase(U/mg prot)	0.62±0.02 ^a	0.76±0.03 ^a	1.04±0.03 ^b	1.12±0.89 ^b	1.06±0.06 ^b	1.06±0.03 ^b	0.77±0.07 ^a

注:¹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 饲料脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能的影响

脂肪作为动物体内的重要贮能物质,在水产动物营养中有着非常重要的生理意义。水产动物的正常生长过程中必须要提供适宜的脂肪量,以满足其能量和其他生理的需要。脂类也提供水产动物生长需要的脂肪酸、胆固醇和磷脂,同样也有助于脂溶性维生素的吸收和在体内的运输。同时,脂类是水产动物组织细胞的组成成分,也是高效供能、储能的营养物质,其产热量远高于糖类和蛋白质。当饲料中脂肪含量不足时,用于生长的蛋白质将被作为能源物质以维持水产动物的生存。在对鱼类的研究中发现,提高饲料脂肪水平有利于提高蛋白

质的利用率,促进鱼类的生长,因此脂肪具有节约蛋白质、增加摄食量和提高饲料效率的效果(段彪等 2007)。当饲料中脂肪含量过高时,则会抑制鱼类的生长(Regost *et al.* 2001; Du *et al.* 2005; Borges *et al.* 2009),增加体内脂肪沉积。因此,开展水产动物饲料中适宜脂肪需要量的研究,使水产动物利用脂类来提供能量,从而减轻机体对蛋白质耗能的依赖,达到节约蛋白质的作用,同时可降低高蛋白质饲料而造成大量氮排泄对水体的污染(王贵英等 2003)。本实验采用二元回归方法分析饲料脂肪水平对方格星虫稚虫增重率的影响并确定方格星虫稚虫饲料中的适宜脂肪水平为 8.70%,饲料中脂肪水平过高或过低均会降低方格星虫的生长性能。王爱民等(2010)开展的不同脂肪水平(2.16%、4.08%、6.04%、7.99%和 9.88%)对异育银鲫生长性能的影响的研究中表明,饲料中脂肪含量为 4.08%时,实验鱼的特定生长率最高,段彪等(2007)研究表明,饲料中脂肪含量为 8.21%时,实验鱼的特定生长率最大(3.92%/d),本实验研究结论与以上报道基本一致。本研究中,方格星虫稚虫的增重率呈先增后降的趋势,在脂肪水平为 9.31%组达到最高,且显著高于脂肪水平最低(0.36%)和最高组(18.36%),究其原因可能是:(1)饲料脂肪水平过低时,过多的蛋白质被消耗用于动物的能量需要,同时还不能满足动物对脂肪酸的需要,导致生长性能降低;(2)饲料脂肪水平过高时,可能引起了饲料的氧化变质,造成饲料适口性下降,影响动物摄食,从而导致受试星虫生长减慢。这与其他学者在红姑幼鱼 *Sciaenops ocellatus* (Ellis *et al.* 1997)、军曹幼鱼 *Rachycentron canadum* (Chou *et al.* 2001)、许氏平鲈 *Sebastes schlegeli* (Lee *et al.* 2002)的报道基本一致。

3.2 饲料脂肪水平对方格星虫稚虫体组成的影响

本实验结果表明,饲料中脂肪水平在 0.36%~18.36%范围内,脂肪水平对方格星虫稚虫体组成中水分、粗灰分含量无显著影响,有使方格星虫稚虫体中粗蛋白质降低的趋势。随饲料中脂肪含量的增加,方格星虫稚虫体脂肪含量上升,Bromley (1980)对大菱鲆、Kaushik 等(1989)对虹鳟和宋理平(2009)对宝石鲈的研究中表明,高脂肪水平饲料可以提高鱼体的脂肪含量,这与本实验的研究结果是一致的。王爱民等(2010)开展了不同脂肪水平对异育银鲫的生长性能及消化酶活性影响的研究中发现,随着饲料中脂肪水平的增加,异育银鲫肌肉中蛋白质含量呈现下降的趋势,且当饲料中脂肪含量最高时,鱼体蛋白质含量显著下降,其他学者在对虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* (Reinitz *et al.* 1980)、红姑鱼 (Williams *et al.* 1988)及大西洋鲑 *Salmon salar* (Bjerkeng *et al.* 1997)等研究中也发现,饲料中脂肪含量增加导致实验鱼体蛋白质下降,这些报道与本研究中实验研究结果基本一致,具体原因有待进一步深入研究。

3.3 饲料脂肪水平对方格星虫稚虫消化酶的影响

消化酶是维持机体正常代谢的生命活性物质,对生物体内的各种化学变化起催化作用,消化酶活性的提高可以促进机体对营养物质的消化吸收,进而促进机体的生长。黎军胜等(2004)研究饲料成分与环境温度对奥尼罗非鱼消化酶活性的影响时发现,饲料成分对鱼类消化酶活性的影响具有复杂性和效应的多样性。也就是说,饲料性质可影响消化酶活性。

Barahi 等(1986)研究大口鲈 (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)、Pedersen 等(1987)研究大西洋鲑 *Clupea harengus* 幼鱼的消化酶均发现,鱼类脂肪酶的活性大小与所摄取的食物性质有关。向泉等(2008)研究认为,饲料中脂肪含量为 7.14%~9.26%时,能显著提高翘嘴红鲌鱼 *Erythroculter ilishaeformis* 的消化酶活性,促进对饲料的消化利用,本实验结果与此报道基本一致。饲料中适宜脂肪促进水产动物蛋白酶分泌的原因可能是饲料中适宜脂肪可满足水产动物对能量的需要,提供水产动物充足的脂肪酸原料,可减少蛋白质作为能源的消耗,促进蛋白质的利用。

饲料脂肪水平的变化不仅影响脂肪酶活性,还可能影响蛋白酶和淀粉酶的活性,而且研究的结果差异较大 (Morais *et al.* 2006; Zhou *et al.* 2007; 王吉桥等 2009)。本实验中,当饲料中脂肪水平为 9.31%时,能使方格星虫稚虫的蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶活性维持在最高。王爱民等(2010)研究认为,饲料中脂肪含量为 9.88%时,有促进异育银鲫肠道分泌蛋白酶的作用,本实验结果与上述的报道基本一致。当饲料中脂肪水平超过 9.31%时,方格星虫蛋白酶活性随着饲料脂肪水平的增加有降低的趋势,这与 Morais 等(2006)对塞内加尔

鳎 *Solea senegalensis*、王吉桥等(2009)对七彩神仙鱼 *Symphodon discus* 和王朝明等(2010)对胭脂鱼的研究结果是一致的。Hidalgo 等(1999)研究认为,蛋白酶活力和鲤鱼的生长率存在正相关的关系。Mohanta 等(2008)在对爪哇鲤 *Puntius gonionotus* 的研究中也证实了蛋白酶活力最高的脂肪水平组,鲤的增重率最高。本研究中,9.31%脂肪水平组方格星虫稚虫蛋白酶活力最高,这可能是导致该脂肪水平组稚虫增重率最高的原因所在。由于饲料中脂肪含量适宜时,可使饲料中方格星虫所需要的必需脂肪酸比例和种类平衡,从而提高方格星虫的脂肪酶活性,适宜的脂肪含量可满足方格星虫稚虫对能量的需要,减少蛋白质作为能源的消耗,这在一定程度上起到节约蛋白质的作用,进而可能导致消化系统分泌更多的蛋白酶来分解蛋白质,促使饲料蛋白质高效率地转化为方格星虫体蛋白质促进其生长。

4 小结

综上所述,脂肪缺乏会造成生长缓慢,过高又会造成稚虫体脂肪沉积。以增重率为评价指标,方格星虫稚虫对脂肪的需求量为 8.70%。

参 考 文 献

- 王爱民,吕 富,杨文平,於叶兵,韩光明,王春维,吴灵英,刘文斌,王 恬. 2010. 饲料脂肪水平对异育银鲫生长性能、体脂沉积、肌肉成分及消化酶活性的影响. 动物营养学报, 22(3):625~633
- 王朝明,罗 莉,张桂众,尚卫敏,贾思超,丛潇飞,颜 忠,刘本祥. 2010. 饲料脂肪水平对胭脂鱼生长性能、肠道消化酶活性和脂肪代谢的影响. 动物营养学报, 22(4):969~976
- 王贵英,曾可为,郑翠华,李 清. 2003. 饲料脂肪水平对鳊鱼生长的影响研究. 淡水渔业, 33(2):11~12
- 王吉桥,耿加振,姜玉声,黄燕平. 2009. 饲料中脂肪含量对七彩神仙鱼幼鱼生长和消化的影响. 水产学杂志, 22(1):24~30
- 向 泉,周兴华,陈 建,段 彪. 2008. 饲料中脂肪含量对翘嘴红鲌幼鱼消化酶活性的影响. 北京水产, 5:35~38
- 李爱杰. 1996. 水产动物营养与饲料学. 北京:中国农业出版社, 36~46
- 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
- 宋理平. 2009. 宝石鲈营养需求的研究. 见:山东师范大学硕士研究生学位论文
- 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
- 段 彪,向 泉,周兴华,郑宗林,吴 青. 2007. 齐口裂腹鱼饲料中适宜脂肪需要量的研究. 动物营养学报, 19(3):232~236
- 荻野 珍. 1978. 鱼类营养和饲料. 陈国铭,黄小秋译. 北京:海洋出版社, 123~156
- 黎军胜,李建林,吴婷婷. 2004. 饲料成分与环境温度对奥尼罗非鱼消化酶活性的影响. 中国水产科学, 11(6):585~588
- 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
- Barahi, V., and Lovell, R. T. 1986. Digestive enzyme activities in striped bass from first feeding through larva development. Transactions of the American Fisheries Society, 115(3):478~480
- Bjerkeng, B., Refstie, S. et al. 1997. Quality parameters of the flesh of Atlantic salmon (*Salmon salar*) as affected by dietary fat content and full-fat soybean meal as a partial substitute for fish meal in the diet. Aquaculture, 157(3-4):297~309
- 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
- Borges, P., Oliveira, B., Casal, S., Dias, J., Conceicao, L., and Valente, L. M. P. 2009. Dietary lipid level affects growth performance and nutrient utilization of Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles. British Journal of Nutrition, 102(7):1 007~1 014
- Bromley, P. J. 1980. Effect of dietary protein, lipid and energy content on the growth of turbot (*Scophthalmus maximus* L.). Aquaculture, 19(4):359~369
- Chou, B. S., and Shiau, S. Y. 1996. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*. Aquaculture, 143(2):185~195
- Chou, R. L., Su, M. S., and Chen, H. Y. 2001. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). Aquaculture, 193(1-2): 81~89
- Du, Z. Y., Liu Y. J., Tian, L. X., Wang, J. T., Wang, Y., and Liang, G. Y. 2005. Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*). Aquaculture Nutrition, 11(2):139~146
- Ellis, S. C., and Reigh, R. C. 1991. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum (*Sci-*

- aenops ocellatus*). *Aquaculture*, 97(4): 383~394
- Hidalgo, M. C., Urea, E., and Sanz, A. 1999. Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170(3-4):267~283
- Kaushik, S. J., Medale, F., Fauconneau, B., and Blanc, D. 1989. Effect of digestible carbohydrates on protein/energy utilization and on glucose metabolism in rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, 79(1-4): 63~74.
- Lee, D. J., and Putnam, G. B. 1973. The response of rainbow trout to varying protein/energy ratios in test diet. *J. Nutr.* 103: 916~922
- Lee, S. M., Jeon, I. G., and Lee, J. Y. 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rock-fish (*Sebastes schlegelii*). *Aquaculture*, 211(1-4):227~239
- Mohanta, K. N., Mohanty, S. N., Jena, J. K., and Sahu, N. P. 2008. Optimal dietary lipid level of silver barb, *Puntius gonionotus* fingerlings in relation to growth, nutrient retention and digestibility, muscle nucleic acid content and digestive enzyme activity. *Aquaculture Nutrition*, 14:350~359
- Morais, S., Caballero, M. J., Conceicao, L. E. C., Izquierdo, M. S., and Dinis, M. T. 2006. Dietary neutral lipid level and source in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) larvae: Effect on growth, lipid metabolism and digestive capacity. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 144(1): 57~69
- Pedersen, B. H., Nilssen, E. M., and Hjeldman, K. 1987. Variations in the content of trypsin and trypsinogen in larval herring (*Clupea harengus*) digesting copepod nauplii. *Marine Biology*, 94 (2) :171~181
- Regost, C., Arzel, J., Cardinal, M., Robin, J., Laroche, M., and Kaushik, S. J. 2001. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 193(3-4):291~309
- Reinitz, G., and Hitzel, F. 1980. Formulation of practical diets for rainbow trout based on desired performance and body composition. *Aquaculture*, 19(3):243~252
- Wang, J. T., Liu, Y. J., Tian, L. X., Mai, K. S., Du, Z. Y., Wang, Y., and Yang, H. J. 2005. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*). *Aquaculture*, 249(1-4):439~447
- Williams, C. D., and Robinson, E. H. 1988. Response of red drum to various dietary level of menhaden oil. *Aquaculture*, 70(1-2):107~120
- Zhou, Q. C., Zhou, J. B., Chi, S. Y., Yang, Q. H., and Liu, C. W. 2007. Effect of dietary lipid level on growth performance, feed utilization and digestive enzyme of juvenile ivory shell, *Babylonia areolate*. *Aquaculture*, 272(1-4):535~540