

饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、 体组成及脂肪沉积的影响

孙瑞健^{1,2}, 徐 玮¹, 米海峰², 周慧慧¹, 张彦娇¹, 张文兵^{1*}, 麦康森¹

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 中国海洋大学水产动物营养与

饲料农业部重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 通威股份有限公司技术中心, 四川 成都 610041)

摘要: 本实验以我国重要的海水养殖鱼类大黄鱼[初始体质量(13.57 ± 0.33)g]为研究对象, 在浮式网箱中进行为期 8 周的摄食生长实验, 探讨饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、体组成及脂肪沉积的影响。采用 3×2 双因子实验设计, 其中饲料脂肪水平分别为 9%、12% 和 15%, 投喂频率分别为 2 次/天和 1 次/天。结果表明: 投喂频率对大黄鱼特定增长率(SGR)和饲料效率(FER)均有显著影响($P < 0.05$), 而饲料脂肪水平仅对 FER 有显著影响($P < 0.05$)。2 次/天投喂组的大黄鱼末体质量和 SGR 均显著高于 1 次/天投喂组, 而饲料效率显著低($P < 0.05$)。在 2 次/天投喂时, 各个饲料脂肪水平对 SGR 和 FER 没有显著影响($P > 0.05$)。而在 1 次/天投喂时, 随着饲料脂肪水平的提高, SGR 和 FER 均显著提高($P < 0.05$)。2 次/天投喂组的大黄鱼全鱼水分含量显著低于 1 次/天投喂组, 而粗脂肪含量显著高($P < 0.05$)。大黄鱼全鱼粗脂肪含量随着饲料脂肪水平的增加而显著升高($P < 0.05$)。然而在 1 次/天投喂时, 饲料脂肪水平未对全鱼体粗脂肪含量产生显著影响($P > 0.05$)。大黄鱼的肝脏和肌肉脂肪含量、肝体比(HSI)以及脏体比(VSI)受到了饲料脂肪水平的显著影响($P < 0.05$)。在 2 次/天投喂时, 肝脏和肌肉脂肪含量、HSI 以及 VSI 随饲料脂肪水平的升高而显著增加($P < 0.05$); 而在 1 次/天投喂时, 各个饲料脂肪组大黄鱼肝脏和肌肉脂肪含量、HSI 以及 VSI 均无显著差异($P > 0.05$)。饲料脂肪水平和投喂频率仅对大黄鱼的生长、饲料效率的影响存在显著的交互作用($P < 0.05$), 而对大黄鱼体组成、形态学指标以及肝脏和肌肉脂肪含量无显著的交互作用($P > 0.05$)。

关键词: 大黄鱼; 脂肪; 投喂频率; 生长; 体成分

中图分类号: S 963.3

文献标志码: A

大黄鱼 (*Larimichthys crocea*) 属鲈形目 (Perciformes)、石首鱼科 (Sciaenidae)、黄鱼属, 俗称大黄花、黄鱼等。大黄鱼味道鲜美, 一直深受我国消费者喜爱, 在百姓餐桌上扮演重要角色, 具有很高的经济价值, 位列我国传统“海洋四大经济鱼类”之一。目前, 大黄鱼养殖在我国黄海南部、东海及台湾海峡已经形成规模。但是, 目前大黄鱼人工配合饲料发展缓慢, 以及实际养殖中不合

理的投喂策略成为限制大黄鱼养殖业发展的重要因素。

脂肪是一种重要的能源物质, 为鱼类生长发育所必需, 它一方面可以为鱼类生长发育提供必需脂肪酸和磷脂等, 同时还可促进鱼体对脂溶性维生素的吸收和运输, 所以是鱼类饲料中不可缺少的营养组成^[1]。据研究, 饲料中适宜的脂肪水平可以提高饲料利用率, 会促进鱼类生长, 但过高

收稿日期: 2014-09-17 修回日期: 2014-12-17

资助项目: 国家自然科学基金(31372542)

通信作者: 张文兵. E-mail: wzhang@ouc.edu.cn

的脂肪水平则会增加鱼体脂肪沉积,反而抑制鱼类正常生长,而且高脂肪水平的饲料不利于储藏和加工^[2]。现阶段在大黄鱼营养饲料学研究中鲜有关于脂肪水平的报道,仅有 Duan 等^[3]报道大黄鱼配合饲料中的适宜脂肪水平,即 0.57 g 的大黄鱼所需饲料脂肪水平在 14% 以上。

在人工养殖鱼类过程中,养殖户为了追求更高的生产效益通常采取过量的投喂方式,这不仅会浪费饲料,同时还会造成养殖水体的污染,水体环境变差不仅会使鱼类生长受阻,严重时甚至会暴发疾病导致鱼类死亡。但当投喂频率过低,鱼类则无法获得满足其正常生长的营养物质,同样导致鱼体生长受限和抗病力下降。确定适宜的投喂频率是集约化鱼类养殖要解决的重要问题之一^[4]。适宜的投喂频率可以提高鱼类的生长速度,降低饵料系数,提高饲料利用率,从而获得更高的经济效益^[5]。Lee 等^[6]研究发现,采用 1 次/2 天和 1 次/天的投喂频率情况下,高脂肪饲料组牙鲆体增重显著高于低脂肪饲料组;采用 2 次/天的投喂频率时,高脂肪和低脂肪饲料组对牙鲆体增重没有显著差异。

此外,在大黄鱼的实际养殖中,养殖户为获得最大的生长速度和产量,一般采用 2 次/天的饱食投喂。但在高温季节和考虑到配合饲料和人工成本因素,养殖户普遍选择 1 次/天的投喂方式以降低疾病风险和养殖成本。本实验旨在通过研究饲料脂肪水平和投喂频率及其交互作用对大黄鱼生长、体组成及脂肪沉积的影响,确定不同投喂频率下大黄鱼饲料的适宜脂肪水平。

1 材料与与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉、豆粕和啤酒酵母为主要蛋白源,鱼油和卵磷脂为主要脂肪源,小麦粉为糖源,通过调整鱼油的添加量配制成脂肪水平分别为 9%、12% 和 15% 的 3 种等氮饲料(表 1)。

在饲料制作过程中,所有原料粉碎后过 320 μm 筛网,各原料与鱼油以及卵磷脂充分混合均匀,然后加入适量的水(30% 左右)揉匀,经 F (II)-26 型双螺杆挤条制粒机(华南理工大学,广州)加工制成颗粒饲料(2.5 mm \times 3.0 mm),55 $^{\circ}\text{C}$ 烘至饲料水分 10% 以下,用塑料袋包装,保存于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中备用。

表 1 实验饲料配方及营养组成(干物质)
Tab 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (dry matter) %

原料 ingredients	饲料脂肪水平 dietary lipid level		
	9	12	15
鱼粉 fish meal ¹	45.00	45.00	45.00
豆粕 soybean meal ¹	12.00	13.00	14.00
啤酒酵母 beer yeast	3.00	3.00	3.00
鱼油 fish oil	2.00	5.00	8.00
小麦粉 wheat meal ¹	30.95	26.95	22.95
卵磷脂 lecithin	2.50	2.50	2.50
无机盐混合物 mineral mix ²	2.00	2.00	2.00
维生素混合物 vitamin mix ³	2.00	2.00	2.00
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05
诱食剂 attractants ⁴	0.30	0.30	0.30
防霉剂 mold inhibitor ⁵	0.10	0.10	0.10
三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.10	0.10	0.10
主要成分 proximate composition			
干物质 dry matter	91.93	93.22	90.81
粗蛋白 crude protein	43.81	43.76	43.74
粗脂肪 crude lipid	9.01	12.16	14.91

注:1. 鱼粉:粗蛋白占干重 65.90%,粗脂肪占干重 7.35%;豆粕:粗蛋白占干重 51.04%,粗脂肪占干重 3.03%;小麦粉:粗蛋白占干重 15.53%,粗脂肪占干重 2.81%。2. 无机盐混合物(mg or g/kg diet):碘化钾,0.8 mg;氟化钠,2 mg;硫酸铜,10 mg;氯化钴(1%),50 mg;硫酸锌,50 mg;硫酸锰,60 mg;硫酸铁,80 mg;硫酸镁,1 200 mg;磷酸二氢钙,3 000 mg;沸石粉,15.55 g。3. 维生素混合物(mg or g/kg diet):维生素 B₁₂,0.1 mg;生物素,1.20 mg;维生素 D,5 mg;维生素 K₃,10 mg;盐酸吡哆醇,20 mg;叶酸,20 mg;硫胺素,25 mg;维生素 A,32 mg;维生素 B₂,45 mg;泛酸,60 mg;维生素 E,120 mg;烟酸,200 mg;肌醇,800 mg;维生素 C,2 000 mg;胆碱,2 000 mg;微晶纤维素,14.67 g。4. 诱食剂:甜菜碱;5 防霉剂:丙酸钙

Notes:1. fish meal: crude protein 65.90% dry matter, crude lipid 7.35% dry matter; soybean meal: crude protein 51.04% dry matter, crude lipid 3.03% dry matter; wheat meal: crude protein 15.53% dry matter, crude lipid 2.81% dry matter. 2. mineral premix (mg or g/kg diet): KI, 0.8 mg; NaF, 2 mg; CuSO₄ · 5H₂O, 10 mg; CoCl₂ · 6H₂O (1%), 50 mg; ZnSO₄ · H₂O, 50 mg; MnSO₄ · H₂O, 60 mg; FeSO₄ · H₂O, 80 mg; MgSO₄ · 7H₂O, 1 200 mg; Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O, 3 000 mg; Zoelite, 15.55 g. 3. vitamin premix (mg or g/kg diet): vitamin B₁₂, 0.1 mg; biotin, 1.20 mg; cholecalciferol, 5 mg; vitamin K₃, 10 mg; pyridoxine-HCl, 20 mg; folic acid, 20 mg; thiamin, 25 mg; retinol acetate, 32 mg; riboflavin, 45 mg; pantothenic acid, 60 mg; alpha-tocopherol, 120 mg; niacin acid, 200 mg; inositol, 800 mg; ascorbic acid, 2 000 mg; choline chloride, 2 000 mg; microcrystalline cellulose, 14.67 g. 4. attractant: betaine. 5 mold inhibitor: calcium propionate

1.2 实验设计和养殖管理

本研究采用 3 \times 2 双因素实验设计,即饲料脂肪水平和投喂频率 2 个因素,其中脂肪水平分别为 9%、12% 和 15%。实验采用表 1 的 3 种脂肪梯度

的饲料,投喂频率分别为 2 次/天(05:00 和 17:00) 和 1 次/天(05:00),每个处理设置 3 个重复。

实验于浙江省宁波市象山县西沪港进行。正式投喂前,大黄鱼放于海水网箱(3.0 m × 3.0 m × 3.0 m)中暂养,并以商业饲料饱食投喂,使之逐渐适应配合饲料。暂养 2 周后,对实验鱼饥饿 24 h,挑选体格健壮、规格一致的大黄鱼幼鱼随机分组。正式养殖实验所用网箱规格为 1.0 m × 1.0 m × 1.5 m。实验鱼初重(13.57 ± 0.33)g,每网箱放养 50 尾,生长实验采用饱食投喂。实验期间水温为 26.5 ~ 30.5 °C,盐度为 29 ~ 33,溶解氧含量在 7 mg/L 以上。

1.3 样品收集与分析

为期 8 周的养殖实验结束后,对实验鱼饥饿 24 h,以丁香酚(1:10 000)麻醉,然后计数,并称量体质量。每个网箱中随机取 6 尾鱼,以无菌注射器自尾静脉取血;然后测量体质量、体长,计算肥满度;解剖得到肝脏和内脏,分别称重,用于计算肝体比和脏体比。另从每个网箱中随机取 5 尾鱼置于 -20 °C 冰箱中保存,用于全鱼体成分测定。

饲料和全鱼样品均按照 AOAC^[7]方法进行生化组成分析。105 °C 烘 36 h 至恒重测得水分含量;采用凯氏定氮法测定样品总氮含量,将测定结果乘以 6.25 得到粗蛋白含量;采用索氏抽提法,以乙醚为抽提剂测定粗脂肪含量;将样品电炉上碳化后,在马弗炉中 550 °C 灼烧 12 h 测得灰分含量。每份样品均重复测定 2 次,取相对偏差在 2% 以下的两个测定值的平均数作为测定结果。

肝脏和肌肉中的脂肪含量测定采用氯仿一甲醇抽提法^[8]。具体操作步骤为称取冷冻干燥的样品 50 mg 左右于离心管中,加入 2 mL 氯仿一甲醇混合液(V:V 为 2:1),匀浆后,用少量氯仿一甲醇混合液清洗匀浆器,静置 24 h,然后将氯仿一甲醇混合液加至 4 mL,离心(3 000 r/min, 10 min)后将上清液转入另一离心管,在残渣中加入 2 mL 氯仿一甲醇混合液摇匀静置,离心(3 000 r/min, 10 min)后上清液仍转入之前的离心管中,在盛有上清液的管中加入 1.2 mL 1.6% CaCl₂,摇匀后静置 1 h,离心(3 000 r/min, 10 min)后吸去上层液,将 1 mL 2% CaCl₂-C-M(3:8:4)混合液的上层液缓慢加入,离心(3 000 r/min, 10 min)后吸去上层液,下层液转入称量过的容器中,置于

70 °C 烘箱中干燥后称重。

1.4 计算及统计方法

特定生长率(special growth rate, SGR, %/d) = $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / t$;

饲料效率(feed efficiency ratio, FER) = $(W_t - W_0) / D_d$

成活率(survival rate, SR, %) = $N_t / N_0 \times 100$

肝体比(hepatosomatic index, HSI, %) = $W_L / W_t \times 100$

脏体比(viscerosomatic index, VSI, %) = $W_v / W_t \times 100$

肥满度(condition factor, CF, %) = $W_t / L^3 \times 100$

其中, W_0 、 W_t 分别为大黄鱼的初始体质量和终末体质量(g), W_L 、 W_v 分别为肝脏湿重, 内脏湿重(g); t 为实验天数; D_d 是摄食饲料干重(g); N_0 和 N_t 分别为初始和终末时网箱中鱼的尾数; L 是鱼的体长(cm)。

采用 SPSS17.0 软件对所得数据进行双因素方差分析(Two-way ANOVA),当差异显著时($P < 0.05$),采用 Tukey 检验进行多重比较;当两个因素有交互作用时,则固定一个因素,对另一个因素进行 Tukey 多重比较^[9]。

2 结果

2.1 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长和饲料利用的影响

大黄鱼幼鱼成活率为 87.33% ~ 92.67% (表 2),并不受到投喂频率和饲料脂肪水平的显著影响($P > 0.05$)。投喂频率显著影响大黄鱼的末体质量、特定生长率(SGR)和饲料效率(FER)($P < 0.05$);而饲料脂肪水平仅对 FER 有显著影响,而对末体质量和 SGR 无显著影响。投喂频率和饲料脂肪水平对大黄鱼末体质量、SGR、FER 的交互作用显著($P < 0.05$)。

在每个饲料脂肪水平下,2 次/天投喂组的 SGR 均显著高于 1 次/天投喂组,而 FER 均显著低于 1 次/天投喂组($P < 0.05$)。在 2 次/天投喂时,随着饲料脂肪水平从 9% 增加到 15%,各组大黄鱼 SGR 虽有下降趋势,但并无显著差异。各组大黄鱼 FER 也无显著差异($P > 0.05$)。在 1 次/天投喂时,SGR 和 FER 均随着饲料脂肪水平的提高而增加,并且 15% 脂肪组 SGR 和 FER 均显著高于 9% 脂肪组($P < 0.05$),但与 12% 脂肪组无显著差异($P > 0.05$)。

表 2 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼生长、饲料效率和成活率的影响
 Tab. 2 Growth, FER and survival of large yellow croaker fed the experimental diets with different dietary lipid level and feeding frequency

投喂频率/(次/天) feeding frequency	饲料脂肪水平/% dietary lipid level	末体质量/g final weight	特定增长率/(%/d) SGR	饲料效率 FER	成活率/% survival rate
2	9	43.31 ^d	2.07 ^d	0.86 ^a	88.67
2	12	42.50 ^d	2.04 ^d	0.94 ^{ab}	88.00
2	15	40.14 ^{cd}	1.94 ^{cd}	0.87 ^a	87.33
1	9	31.78 ^a	1.51 ^a	0.98 ^{ab}	89.33
1	12	34.65 ^{ab}	1.67 ^{ab}	1.09 ^{bc}	92.67
1	15	36.79 ^{bc}	1.78 ^{bc}	1.17 ^c	92.00
Two-way ANOVA					
P 值(P-value)					
投喂频率 feeding frequency		0.000	0.000	0.000	0.117
脂肪水平 lipid level		0.574	0.342	0.017	0.861
交互作用 interactions		0.007	0.005	0.044	0.645

注:表中数据为 3 个重复的平均值,下同;表中同一列标有不同字母的数据表示相互差异显著($P < 0.05$),下同

Notes: Values in the table are means for triplicate groups, the same as the following; Values with the different superscripts have significant differences ($P < 0.05$), the same as the following

2.2 饲料脂肪水平和投喂频率对全鱼体组成的影响

大黄鱼全鱼体粗脂肪和水分含量均受到投喂频率的显著影响($P < 0.05$)(表 3)。2 次/天投喂组大黄鱼的水分含量显著低于 1 次/天投喂组,而粗脂肪含量显著高。饲料脂肪水平仅对鱼体粗脂肪含量有显著影响($P < 0.05$),在 2 次/天投喂

时,15% 脂肪组显著高于 9% 脂肪组($P < 0.05$);而在 1 次/天投喂时,各个饲料组之间并无显著差异($P > 0.05$)。鱼体粗蛋白和灰分含量均未受到投喂频率和饲料脂肪水平的显著影响($P > 0.05$)。投喂频率和饲料脂肪水平对大黄鱼的体组成没有显著的交互作用($P > 0.05$)。

表 3 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼幼鱼体成分的影响
 Tab. 3 Body composition of juvenile large yellow croaker fed the experimental diets with different feeding frequency and dietary lipid levels

投喂频率/(次/天) feeding frequency	饲料脂肪水平/% dietary lipid level	水分/% moisture	粗蛋白/% crude protein	粗脂肪/% crude lipid	灰分/% ash
2	9	74.10 ^{ab}	16.07	6.49 ^a	3.37
2	12	73.63 ^a	16.17	7.06 ^{ab}	3.42
2	15	72.77 ^a	16.15	7.96 ^b	3.59
1	9	74.92 ^b	16.54	6.07 ^a	3.61
1	12	74.19 ^{ab}	16.03	6.91 ^{ab}	3.49
1	15	74.74 ^b	15.75	6.93 ^{ab}	3.42
Two-way ANOVA					
P 值(P-value)					
投喂频率 feeding frequency		0.032	0.882	0.018	0.572
脂肪水平 lipid level		0.412	0.179	0.002	0.864
交互作用 interactions		0.415	0.089	0.186	0.164

2.3 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼幼鱼形态学指标的影响

投喂频率对大黄鱼肥满度(CF)有显著影响($P < 0.05$),但对肝体比(HSI)、脏体比(VSI)均无显著影响($P > 0.05$)(表 4)。2 次/天投喂组

CF 值显著高于 1 次/天投喂组。饲料脂肪水平对 HSI、VSI 有显著影响($P < 0.05$),而对 CF 无显著影响($P > 0.05$)。在 2 次/天投喂时,随着饲料脂肪水平从 9% 增加到 15%,各组大黄鱼 HSI 和 VSI 均有上升趋势。15% 脂肪饲料组的 HSI

(1.53) 显著高于 9% 脂肪 (1.40) 和 12% 脂肪 (1.42) 饲料组 ($P < 0.05$); VSI 有相同规律。在 1 次/天投喂时,随着饲料脂肪水平的提高,大黄鱼

的 HSI 和 VSI 均没有显著性的差异 ($P > 0.05$)。投喂频率和饲料脂肪水平对大黄鱼的 HSI、VSI 和 CF 均没有显著的交互作用。

表 4 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼幼鱼形态学指标的影响

Tab. 4 Morphometrical parameters of juvenile large yellow croaker fed the experimental diets with different dietary lipid levels and feeding frequency

投喂频率/(次/天) feeding frequency	饲料脂肪水平/% dietary lipid level	肝体比/% HSI	脏体比/% VSI	肥满度/% CF
2	9	1.40 ^a	7.55 ^a	1.69 ^{ab}
2	12	1.42 ^a	7.65 ^{ab}	1.62 ^a
2	15	1.53 ^b	8.48 ^b	1.69 ^{ab}
1	9	1.43 ^{ab}	7.81 ^{ab}	1.55 ^b
1	12	1.43 ^{ab}	7.77 ^{ab}	1.63 ^a
1	15	1.45 ^{ab}	7.88 ^{ab}	1.64 ^{ab}
Two-way ANOVA				
P 值(P-value)				
投喂频率 feeding frequency		0.515	0.632	0.043
脂肪水平 lipid level		0.010	0.029	0.336
交互作用 interactions		0.090	0.077	0.148

2.4 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼幼鱼肝脏和肌肉中水分、脂肪含量的影响

投喂频率对大黄鱼肝脏和肌肉中的水分含量均有显著影响 ($P < 0.05$) (表 5)。2 次/天投喂组肝脏和肌肉的水分含量显著低于 1 次/天投喂组,而脂肪含量显著高于 1 次/天投喂组 ($P < 0.05$)。肝脏和肌肉中的水分含量也受到饲料脂肪水平的显著影响 ($P < 0.05$)。在每个投喂频率下,随着饲料脂肪水平的提高,肝脏和肌肉的水分含量均呈下降趋势。饲料脂肪水平对大黄鱼肝脏和肌肉中的

脂肪含量均有显著影响 ($P < 0.05$)。在 2 次/天投喂时,随着饲料脂肪水平的提高,肝脏中的脂肪从 18.06% 增至 21.96%,肌肉中的脂肪从 11.10% 增至 13.78%; 15% 脂肪饲料组大黄鱼肝脏中的脂肪含量显著高于 9% 脂肪饲料组 ($P < 0.05$)。在 1 次/天投喂时,虽然随着饲料脂肪水平的提高,肝脏和肌肉中的脂肪含量有上升的趋势,但是并没有显著性差异 ($P > 0.05$)。投喂频率和饲料脂肪水平对大黄鱼肝脏和肌肉中的水分以及脂肪含量无显著的交互作用 ($P > 0.05$)。

表 5 饲料脂肪水平和投喂频率对大黄鱼幼鱼肝脏、肌肉水分和脂肪含量的影响

Tab. 5 Moisture and lipid content in muscle and liver of juvenile large yellow croaker fed the experimental diets with different dietary lipid levels and feeding frequency

投喂频率/(次/天) feeding frequency	饲料脂肪水平/% dietary lipid level	肝脏/% liver		肌肉/% muscle	
		水分 moisture	脂肪 lipid	水分 moisture	脂肪 lipid
2	9	62.99 ^{ab}	18.06 ^a	71.48 ^{ab}	11.10 ^a
2	12	61.18 ^{ab}	19.44 ^{ab}	71.35 ^{ab}	11.56 ^{ab}
2	15	59.39 ^a	21.96 ^b	69.31 ^a	13.78 ^b
1	9	64.09 ^b	16.75 ^a	73.03 ^b	8.96 ^a
1	12	63.03 ^{ab}	17.64 ^a	72.23 ^b	9.38 ^a
1	15	61.35 ^{ab}	18.87 ^a	71.31 ^{ab}	9.75 ^a
Two-way ANOVA					
P 值(P-value)					
投喂频率 feeding frequency		0.033	0.001	0.005	0.000
脂肪水平 lipid level		0.010	0.001	0.008	0.024
交互作用 interactions		0.861	0.327	0.549	0.184

3 讨论

结果表明,投喂频率对大黄鱼幼鱼的生长和饲料效率有显著影响。在投喂频率为2次/天组中,大黄鱼饲料效率显著低于1次/天组,而特定生长率显著高于1次/天组。在虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[10]、美洲黄盖鲈(*Limanda ferruginea*)^[11]、庸鲈(*Hippoglossus hippoglossus*)^[12]等的研究中表明,适当提高投喂频率可以提高鱼类的生长速度。而饲料效率随投喂频率的增加而下降,这在巨石斑鱼(*Epinephelus tauvina*)^[13]、虹鳟^[14]和舌齿鲈(*Dicentrarchus Labrax*)^[15]等有过相似研究。其机理可能是鱼类胃肠部的负担过重而导致饲料吸收率的降低,鱼类通过减小胃容量和降低食欲来适应更高的摄食频率,虽然摄食频率升高导致摄食量增多,但摄食间隔变短,食物通过消化道速度变快,或者说食物未经胃消化完全就直接进入了肠管,则摄入的食物还未完全吸收就被排泄掉^[16]。在其他研究中,Liu等^[17]也推测在高投喂频率时,由于两次投喂间隔缩短,使得食物更快地通过消化道,从而导致消化道效率降低,表现为食物转化率降低。

通常来讲,饲料中保持适宜的脂肪水平会促进鱼类生长和提高其饲料利用效率,这是由于饲料中保持适宜的脂肪水平,可以提高饲料中可消化能含量,减少用于能量消耗的蛋白质含量,使饲料中蛋白质更多地用于鱼类的生长。如果饲料脂肪含量超过适宜水平时,会阻碍鱼体生长,部分原因是由于能蛋比的失衡^[18]。在本研究中,饲料脂肪水平保持在9%~15%时对大黄鱼幼鱼生长和饲料效率均无显著性影响,随着饲料脂肪水平的提高,在投喂频率为2次/天组中SGR有下降的趋势。这表明,高脂肪水平饲料在一定程度上阻碍了鱼体生长,饲料中添加15%的脂肪可能过量。在金头鲷(*Sparus aurata*)^[19]、大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[20]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[21]等研究上也有类似发现。而在1次/天的投喂频率情况下,高脂肪组(15%)的大黄鱼的SGR和FER显著高于9%脂肪组,且在各实验组中表现最为优异。这表明,在低投喂频率情况下,大黄鱼需要更高的饲料脂肪水平来满足其最大生长需要。故从生长角度来讲,在低投喂频率情况(1次/天)下,大黄鱼饲料应采用更高脂肪含量(15%)的饲料。

养殖鱼类由内源因素和外源因素共同决定其

体成分组成,与鱼类的生长阶段(内源因素)有关的是鱼体蛋白质和灰分的组成,而体脂肪含量主要依赖外源因素,比如饲料组成、投喂模式等^[22]。目前多数观点认为,提高投喂频率,会使鱼类摄入更多的饲料,除去用于鱼类正常生长后的过量部分会转化为脂肪而蓄积,从而提高鱼体脂肪水平,而鱼体水分含量则相对降低^[23]。在本研究中,大黄鱼鱼体脂肪含量随着投喂频率由1次/天增至2次/天的变化而升高,水分含量则随此变化而降低,而在此变化中鱼体蛋白质和灰分含量无显著变化,在黑棘鲷(*Acanthopagrus schlegeli*)^[24]、南方鲈(*Silurus meridionalis*)^[25]等的研究中也发现了类似结果。一般来讲,饲料中高脂肪水平会增加鱼体的粗脂肪含量,饲料中过剩的脂肪往往会聚集在鱼体内脏、肝脏和肌肉上,造成脂肪沉积现象^[26-28]。本研究结果表明,随着饲料脂肪水平提高,投喂频率为2次/天组的大黄鱼鱼体脂肪含量显著增加而鱼体水分含量随此变化降低。高脂肪水平组(15%)大黄鱼与其他脂肪水平组相比生长无显著差异,但高脂肪水平组大黄鱼鱼体脂肪含量更高,其鱼体品质势必会受到影响,可能会降低大黄鱼的储藏时间。而当投喂频率为1次/天时,饲料脂肪水平的提高对大黄鱼鱼体水分和脂肪的含量并没有显著影响。这说明在低投喂频率时,高脂肪水平组(15%)鱼体并没有过量的脂肪沉积。本研究中,随着饲料脂肪水平的变化大黄鱼全鱼的粗蛋白和灰分含量并没有受到显著影响,这与在杂交鲈(*Morone saxatilis* × *M. chrysops*)^[17]的研究中得出的结果相一致。

在投喂频率为2次/天时,高脂肪水平组(15%)的HSI显著高于低脂肪水平组(9%),且随着饲料脂肪水平的提高,大黄鱼的HSI呈现上升趋势。Mohanta等^[29]在银无须鲈上(*Puntius gonionotus*)的研究结果也表明HSI值的增加与饲料中的脂肪含量有直接的比例关系。在本研究中,大黄鱼的VSI值与HSI值变化规律相似。在奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)^[30]上也有类似发现。由上述结果可以看出饲料中过量脂肪在满足鱼类最适需求后更倾向于在肝脏和内脏中沉积。但在投喂频率为1次/天时,随着饲料脂肪含量的提高,大黄鱼鱼体的HSI和VSI并没有显著变化,由此可以得出,在低投喂频率下,随着饲料脂肪水平在9%~15%变化,大黄鱼的肝脏和内脏

组织中脂肪沉积不会出现显著变化。

肝脏被视为鱼类脂肪和糖原沉积的主要场所^[31]。本研究中,在同一个饲料脂肪水平下,高投喂频率组(2次/天)大黄鱼肝脏和肌肉脂肪含量均显著高于低投喂频率组(1次/天)。这表明,大黄鱼肝脏和肌肉中的脂肪含量受到投喂频率的显著影响。此结果与大黄鱼体脂肪含量相对应。投喂频率为2次/天时,高脂肪水平组(15%)大黄鱼幼鱼的肝体比、肝脏和肌肉脂肪含量都显著高于低脂肪水平组(9%),这都证明了大黄鱼的肝脏和肌肉是脂肪沉积的重要部位。在舌齿鲈^[31]、军曹鱼^[28]、草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)^[32]均发现类似结果。但并非所有鱼类脂肪沉积位置都相似,脂肪具体沉积位置因物种而有所不同。Nanton等^[33]的研究发现,饲料脂肪含量在14%~22%,黑线鳕(*Melanogrammus aeglefinus* L.)的肝脏有大于50%的脂肪沉积,而肌肉中脂肪含量只有1%左右,这可能是由于血浆中的低密度脂蛋白含量太低引起的。另外,在沙重牙鲷(*Diplodus sargus*)^[34]上的研究发现,当饲料脂肪含量为14.4%时,肝脏中脂肪含量却没有显著性的增加,这说明有些鱼类肝脏不是脂肪沉积的主要部位,且此类鱼一般都是鱼体含脂肪较少的种类^[15]。

4 结论

综上所述,大黄鱼的饲料脂肪水平应随着投喂频率的变化而做出适当调整。考虑到生长、饲料利用和养殖大黄鱼品质,在2次/天投喂时,建议使用脂肪含量为9%~12%的饲料;而在1次/天投喂时,推荐使用15%左右脂肪的饲料。在本实验条件下,尽管在1次/天投喂时,大黄鱼有更高的饲料效率,但是会导致更低的净产量并延缓大黄鱼上市时间。大黄鱼养殖生产中可以根据实际情况,在短期(低于8周)内采用15%左右脂肪含量的配合饲料。

参考文献:

- [1] Watanabe T. Improvement dietary value of brine shrimp, *Artemia salina*, for fish larvae by feeding them on n-3 HUFA [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1982, 48 (12): 1775 - 1782.
- [2] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. Aquaculture, 1991, 97(4): 383 - 394.
- [3] Duan Q Y, Mai K S, Zhong H Y. Studies on the nutrition of the large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* R. I. Growth response to graded levels of dietary protein and lipid [J]. Aquaculture Research, 2001, 32 (suppl. 1): 46 - 52.
- [4] Zhou Z G, Xie S Q, Cui Y B. Research on Fish feeding system [J]. China Animal Husbandry and Veterinary, 2003, 30(5): 15 - 17. [周志刚, 解绶启, 崔奕波. 鱼类投喂系统的研究 [J]. 中国畜牧兽医, 2003, 30(5): 15 - 17.]
- [5] Cho S H, Lim Y S, Lee J H, et al. Effects of feeding rate and feeding frequency on survival, growth, and body composition of Ayu post-larvae *Plecoglossus altivelis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2003, 34(1): 85 - 91.
- [6] Lee S M, Cho S H, Kim D J. Effects of feeding frequency and dietary energy level on growth and body composition of juvenile flounder, *Paralichthys olivaceus* (Temminck & Schlegel) [J]. Aquaculture Research, 2000, 31(12): 917 - 921.
- [7] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International [M]. 16th ed. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1995: 85 - 91.
- [8] Folch J, Lee M, Sloane-Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues [J]. The Journal of Biological Chemistry, 1957, 226(1): 497 - 509.
- [9] Zar J H. Biostatistical analysis [M]. 5th ed. London, U. K: Prentice Hall, 1999.
- [10] Ruohonen K, Vielma J, Grove D J. Effects of feeding frequency on growth and food utilisation of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed low-fat herring or dry pellets [J]. Aquaculture, 1998, 165(1): 111 - 121.
- [11] Dwyer K S, Brown J A, Parrish C, et al. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) [J]. Aquaculture, 2002, 213 (1): 279 - 292.
- [12] Schnaittacher G, King W, Berlinsky D L. The effects of feeding frequency on growth of juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. [J]. Aquaculture Research, 2005, 36(4): 370 - 377.
- [13] Chua T E, Teng S K. Effects of feeding frequency on the growth of young Estuary grouper, *Epinephelus tauvina* (Forsk.) , cultured in floating net-cages [J].

- Aquaculture, 1978, 14(1): 31 - 47.
- [14] Grayton B D, Beamish F W H. Effects of feeding frequency on food intake, growth and body composition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) [J]. Aquaculture, 1977, 11(2): 159 - 172.
- [15] Tsevis N, Klaoudatos S, Conides A. Food conversion budget in seabass, *Dicentrarchus Labrax*, fingerlings under two different feeding frequency patterns [J]. Aquaculture, 1992, 101(3): 293 - 304.
- [16] Karen S D, Joseph A B. Feeding frequency affects food consumption, feeding pattern and growth of juvenile yellowtail flounder (*Limanda ferruginea*) [J]. Aquaculture, 2002, 213(1): 279 - 292.
- [17] Liu F G, Liao C I. Effect of feeding regimen on the food consumption, growth and body composition in hybrid striped bass *Morone saxatilis* × *M. chrysops* [J]. Fisheries Science, 1999, 64(4): 513 - 519.
- [18] Chatzifotis S, Panagiotidou M, Papaioannou N, et al. Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles [J]. Aquaculture, 2010, 307(1): 65 - 70.
- [19] Company R, Calduch-Giner J A, Kaushik S, et al. Growth performance and adiposity in gilthead seabream (*Sparus aurata*): risks and benefits of high-energy diets [J]. Aquaculture, 1999, 171(3): 279 - 292.
- [20] Christelle R, Jacqueline A, Mireille C, et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2001, 193(3-4): 291 - 309.
- [21] Chou R L, Su M S, Chen H Y. Optimal dietary protein and lipid levels for juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2001, 193(1): 81 - 89.
- [22] Shearer K D. Factors affecting the proximate composition of cultured fishes with emphasis on salmonids [J]. Aquaculture, 1994, 119(1): 63 - 88.
- [23] Cho S H, Lim Y S, Lee J H, et al. Effects of feeding rate and feeding frequency on survival, growth, and body composition of Ayu post-larvae *Plecoglossus altivelis* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2003, 34(1): 85 - 91.
- [24] Lou B, Mao G M, Luo J A, et al. Effects of feeding frequency on growth and body biochemical composition of *Sparus macrocephalus* [J]. Marine Fisheries Research, 2006, 27(6): 19 - 24. [楼宝, 毛国民, 骆季安, 等. 饲喂频率对黑鲷生长及体生化成分的影响. 海洋水产研究, 2006, 27(6): 19 - 24.]
- [25] He L J, Xie X J, Ai Q H. Effects of feeding frequency on feeding rate, growth and feed conversion efficiency for the southern catfish, *Silurus meridionalis* [J]. Journal of Aquatic Organisms, 2003, 27(4): 434 - 436. [何利君, 谢小军, 艾庆辉. 饲喂频率对南方鲇摄食率、生长和饲料转化效率的影响. 水生生物学报, 2003, 27(4): 434 - 436.]
- [26] Peres H, Oliva-Teles A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European seabass juveniles *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 1999, 179(1): 325 - 334.
- [27] Regost C, Arzel J, Cardinal M, et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2001, 193(3): 291 - 309.
- [28] Wang J T, Liu Y J, et al. Effect of dietary lipid level on growth performance, lipid deposition, hepatic lipogenesis in juvenile cobia (*Rachycentron canadum*) [J]. Aquaculture, 2005, 249(1): 439 - 447.
- [29] Mohanta K N, Mohanty S N, Jena J K. 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 [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(4): 350 - 359.
- [30] Viola S, Arieli Y, Mokady S. Effect of long-term feeding on fish oil coated pellets on tilapia and carp: Growth, body composition and tolerance to cold [J]. Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 1988, 40(2): 64 - 68.
- [31] Peres H, Oliva-Teles A. Effect of dietary lipid level on growth performance and feed utilization by European seabass juveniles *Dicentrarchus labrax* [J]. Aquaculture, 1999, 179(1): 325 - 334.
- [32] Du Z Y, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary lipid level on growth, feed utilization and body composition by juvenile grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(2): 139 - 146.
- [33] Nanton D A, Lall S P, McNiven M A. Effects of dietary lipid level on liver and muscle lipid deposition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus* L. [J]. Aquaculture Research, 2001, 32(Suppl. 1): 225 - 234.
- [34] Sa R, Pousao-ferreira P, Oliva-Teles A. Dietary protein requirement of white sea bream (*Diplodus sargus*) juveniles [J]. Aquaculture Nutrition, 2008, 14(4): 309 - 317.

Effects of dietary lipid level and feeding frequency on growth, body composition and lipid deposition in juvenile large yellow croaker (*Larimichthys crocea*)

SUN Ruijian^{1,2}, XU Wei¹, MI Haifeng¹, ZHOU Huihui¹, ZHANG Yanjiao¹,
ZHANG Wenbing^{1*}, MAI Kangsen¹

(1. Key Laboratory of Mariculture, Ministry of Education, Key Laboratory of Aquaculture Nutrition and Feeds,
Ministry of Agriculture, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Tongwei CO., LTD Technology Center, Chengdu 610041, China)

Abstract: An 8-week feeding trial in a 3 × 2 two-factorial design was conducted to study the effects of dietary lipid level (9%, 12% and 15%) and feeding frequency (one time or two times daily) on growth, body composition and lipid deposition in juvenile large yellow croaker [initial average weight (13.57 ± 0.33) g]. Compared with those fed once daily, fish fed two times daily had significantly higher final weight, specific growth rate (SGR), but lower feed efficiency ratio (FER) at each dietary lipid level ($P < 0.05$). When animals were fed two times daily, no significant difference was observed in the SGR and FER among dietary lipid levels ($P > 0.05$). However, SGR and FER of fish fed once daily increased significantly with the increase of dietary lipid contents ($P < 0.05$). Compared with that fed once daily, fish fed two times daily had significantly lower body moisture, but higher body crude lipid contents ($P < 0.05$), regardless of the dietary lipid levels. Body crude lipid contents of fish fed two times daily increased significantly with the increase of dietary lipid contents ($P < 0.05$). However, body crude lipid contents of fish fed once daily was not affected by dietary lipid contents ($P > 0.05$). Liver and muscle lipid contents, HSI and VSI were significantly affected by dietary lipid levels. When animals were fed two times daily, lipid contents in liver and muscle, HSI, and VSI increased significantly with the increase of dietary lipid level ($P < 0.05$). However, no significant difference was found in fish fed once daily ($P > 0.05$). Significant interactions of dietary lipid level and feeding frequency were only found in growth and FER ($P < 0.05$), but not in HSI, VSI, body composition and lipid contents in liver and muscle ($P > 0.05$).

Key words: *Larimichthys crocea*; lipid; feeding frequency; growth performance; body composition

Corresponding author: ZHANG Wenbing. E-mail: wzhang@ouc.edu.cn