

团头鲂两个生长阶段适宜蛋白/脂肪比的需要量

姚林杰, 叶元土*, 蔡春芳, 许凡, 刘猛,
刘汉超, 董娇娇, 陈科全, 黄雨薇

(苏州大学基础医学与生物科学学院,江苏省水产动物营养重点实验室,江苏苏州 215123)

摘要:为了在相同配方体系下研究团头鲂两个生长阶段对饲料中蛋白/脂肪比的需要量,以初均重为(35.07±0.45)g(幼鱼)、(101.65±1.82)g(育成鱼)两个阶段的团头鲂为实验鱼,以秘鲁鱼粉、酪蛋白、大豆磷脂、豆油等原料配制半纯化饲料,在蛋白质26.93%~35.63%、脂肪10.24%~3.35%范围内,设置蛋白/脂肪比浓度分别为2.63、3.20、4.07、5.33、7.25和10.64共6组饲料。分别在池塘网箱养殖85和56d,每组实验鱼设置4个平行。结果发现,随着饲料蛋白/脂肪比水平的增加,两个阶段的团头鲂体质量特定增长率(SGR)、蛋白质沉积率(PDR)、能量保留率(ER)总体均呈现先上升后下降的趋势,均在饲料蛋白/脂肪比为5.33组达到最高;饲料系数(FCR)则呈先下降后上升的趋势,且均在饲料蛋白/脂肪比为5.33组达到最低。分别以实验鱼特定增长率(SGR)、饲料系数(FCR)、蛋白质沉积率(PDR)及能量保留率(ER)作为评价指标,经过回归分析可知,幼鱼阶段团头鲂对饲料中蛋白/脂肪比需要量为6.09~7.58,适宜蛋白质水平为32.83%~33.98%、脂肪水平为4.48%~5.39%;在日均摄食量为5.06g/100g体质量的条件下,团头鲂幼鱼对饲料蛋白质每日需要量为1.66~1.72g/100g体质量,对饲料脂肪每日需要量为0.23~0.27g/100g体质量。育成鱼阶段团头鲂对饲料中蛋白/脂肪比需要量为4.03~4.34,适宜蛋白质水平为30.19%~30.72%、脂肪水平为7.07%~7.49%。在日均摄食量为3.61g/100g体质量的条件下,团头鲂育成鱼对饲料蛋白质每日需要量为1.09~1.11g/100g体质量,对饲料脂肪每日需要量为0.26~0.27g/100g体质量。

关键词:团头鲂;生长;蛋白脂肪比;需要量

中图分类号:S 963

文献标志码:A

蛋白质和脂肪是鱼类生长和发育过程中所必需的重要营养素。蛋白/脂肪比是饲料中蛋白质与脂肪关系的重要指标,影响鱼类的生长、摄食、营养物质的转化、消化和鱼体组成成分,饲料中的蛋白质和脂肪水平应保持平衡^[1-4]。鱼类在不同生长发育阶段的营养需求存在差异,有研究报道,随着鱼体质量的增加,饲料适宜的能量/蛋白值增加,生长发育的蛋白质需要量逐渐降低。如斑点叉尾鲟(*Ictalurus punctatus*)在体质量为小于0.1、0.2、1.7和3~5g时,适宜的能量/蛋白值分别为33.4、35.3、35.8和41.7kJ/g蛋白^[5]。团头鲂

(*Megalobrama amblycephala*)是我国重要的淡水经济鱼类^[6-8],目前关于团头鲂营养需要量的研究,基本是在一个生长发育阶段进行。本实验是在相同配方体系下,分别研究初始体质量为(35.07±0.45)和(101.65±1.82)g两个生长阶段团头鲂的适宜蛋白质/脂肪比需要量。

1 材料与方法

1.1 实验鱼与饲养管理

选择平均体质量分别为(35.07±0.45)和(101.65±1.82)g两个生长阶段的团头鲂,代

收稿日期:2014-02-11 修回日期:2014-04-08
资助项目:公益性行业(农业)科研专项(201003020)
通信作者:叶元土,E-mail:yeyt@suda.edu.cn

表幼鱼和育成鱼阶段。养殖实验在浙江一星饲料集团海盐实验基地池塘网箱中进行(表1)。

本实验在设计时,主要考虑两个阶段实验鱼规格及其季节性与实践生产的基本对应关系。实际生产时,3、4月投放的团头鲂幼鱼均重在30~

50 g/尾;养殖到7月左右,均重达到100 g/尾以上,进入育成鱼阶段。实验的研究结果可为团头鲂不同阶段商品饲料的配制提供更好的依据和参考。

表1 养殖实验条件
Tab.1 Culture introduction

生长阶段 growth stage	平均体质量/g average weight	养殖场地 aquaculture environment	养殖时间/d feeding time	实验重复数/次 replicates
幼鱼 juvenile stage	35.07 ± 0.45	池塘网箱 pond cages	5.6 ~ 7.29,85	4
育成鱼 premature stage	101.65 ± 1.82	池塘网箱 pond cages	8.31 ~ 10.25,56	4

实验鱼经过两周暂养以适应养殖环境,期间以商品料(30% Protein;5% Lipid)驯饲。暂养结束后,挑选体格健壮、规格整齐的团头鲂随机分养于24个网箱中,每个网箱放养20尾。两个阶段的养殖实验均设置6个实验组,每组4个重复,分别投喂6种不同蛋白/脂肪比饲料。

实验网箱规格为1 m × 1.5 m × 2 m。池塘中央配备两台功率为1.5 kW的叶轮式增氧机。日投饵2次,每天上午8:00、下午15:00定时投喂。日投喂量为鱼体质量的3%~5%。每两周根据估算的鱼体质量增加量调整投喂量。幼鱼阶段养殖实验在5—7月,水温21~32.9℃,水温逐渐升高;育成鱼阶段养殖实验在8—10月,水温19.5~29.6℃,水温逐渐下降(图1)。

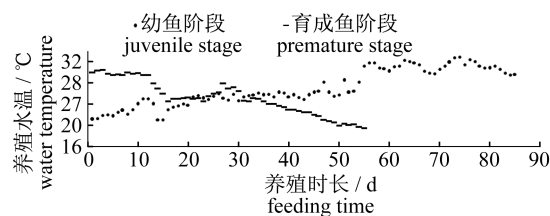


图1 两个阶段养殖水温变化趋势图

Fig.1 Diurnal variation of temperature trends

采用北京桑普生物技术有限公司的“水博士”水质测试盒测定水质,每周1次。两个阶段的养殖实验期间,溶氧高于6.5 mg/L,pH 7.2~8.0,氨氮<0.2 mg/L,亚硝酸盐<0.01 mg/L,硫化物<0.05 mg/L。

1.2 实验饲料

两个生长阶段实验采用相同的半纯化饲料。实验选用酪蛋白、秘鲁进口鱼粉为蛋白源,豆油

、大豆磷脂为脂肪源,糊精和淀粉调节饲料的粘结性,用微晶纤维素平衡整个配方比例。饲料配方及营养组成见表2。

设计、制作饲料后,实测实验饲料蛋白/脂肪比为2.63(26.93P:10.24L)、3.20(28.50P:8.91L)、4.07(30.09P:7.39L)、5.33(31.63P:5.93L)、7.25(33.78P:4.66L)、10.64(35.63P:3.35L)共6个梯度(P为饲料蛋白质百分含量,L为饲料脂肪百分含量)。饲料中脂肪含量(y,%)与饲料蛋白质含量(x,%)的关系式为: $y = -0.7949x + 31.46$, $R^2 = 0.99$ 。

为了保持各梯度饲料中氨基酸平衡模式一致,不同蛋白质浓度实验饲料中的鱼粉、酪蛋白按照相同的比例变化,组间变化幅度均为6%。磷脂浓度在各实验饲料间保持一致,豆油按照等距离浓度梯度进行调整。

饲料原料经粉碎过60目筛,按配方比例称重、混匀,用绞肉机制成1.5 mm粗细的条状料,再切成2~3 mm长的颗粒,饲料置于阴凉处风干,待饲料可以不相互粘连,水分在20%~25%的时候,将饲料放入-20℃冰柜保存。每次使用时,将饲料从冰柜拿出来后,自然升温到常温后再投喂。实际使用的饲料量按照干重计算。

1.3 样品采集和分析方法

养殖实验结束时,禁食24 h,测定每个网箱鱼体总重、尾数,计算成活率、饲料系数、特定生长率;随机从每个网箱取3尾鱼测定粗蛋白,计算蛋白质沉积率。粗蛋白采用凯氏定氮法测定;总能采用燃烧能测定方法,采用上海昌吉公司氧弹仪XRY-1测定。

表 2 实验饲料组成及营养水平(干物质基础)
Tab.2 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis)

原料 material	组别 groups					
	2.66	3.26	4.09	5.3	7.23	10.73
酪蛋白 casein	179	190	201	213	226	240
秘鲁蒸汽鱼粉 Peruvian fish meal	172	182	193	205	217	230
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	25	24	23	22	21	20
豆油 soybean oil	95	80	65	50	35	20
大豆磷脂 soy lecithin	10	10	10	10	10	10
氯化胆碱 choline chloride	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素矿物质预混料 premix ¹⁾	10	10	10	10	10	10
糊精 dextrin	60	60	60	60	60	60
α -淀粉 α -starch	255	255	255	255	255	255
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	92.53	87.34	80.88	73.05	63.79	53
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose	100	100	100	100	100	100
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
合计 total	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
营养成分(%干物质) feed proximate analysis(dry matter) ²⁾						
粗蛋白/% crude protein	26.93	28.50	30.09	31.63	33.78	35.63
粗脂肪/% crude lipid	10.24	8.91	7.39	5.93	4.66	3.35
灰分/% crude lipid	7.07	7.46	7.53	6.99	7.38	7.41
钙/(g/kg) Calcium content	1.04	1.04	1.09	0.98	0.95	1.11
磷/(g/kg) Phosphor content	1.09	1.12	1.11	1.03	0.92	1.12
饲料总能/(kJ/g) gross energy	18.82	18.54	18.02	17.72	17.61	17.51
蛋白/脂肪比 protein/lipid	2.63	3.20	4.07	5.33	7.25	10.64
能量/蛋白比/(kJ/g) E/P	69.88	65.05	59.89	56.02	52.13	49.14

注:1. 预混料为每千克日粮提供;Cu 5 mg;Fe 180 mg;Mn 35 mg;Zn120 mg;I 0.65 mg;Se 0.5 mg;Co 0.07 mg;Mg 300 mg;K 80 mg;VA 10 mg;VB₁ 8 mg;VB₂ 8 mg;VB₆ 20 mg;VB₁₂0.1 mg;VC 250 mg;泛酸钙,20 mg;烟酸,25 mg;VD₃ 4 mg;VK₃ 6 mg;叶酸,5 mg;肌醇,100 mg。由北京桑普生化技术有限公司提供。2. 实测值

Notes:1. The premix provided following for per kg of feed;Cu 5 mg;Fe 180 mg;Mn 35 mg;Zn120 mg;I 0.65 mg;Se 0.5 mg;Co 0.07 mg;Mg 300 mg;K 80 mg;VA 10 mg;VB₁ 8 mg;VB₂ 8 mg;VB₆ 20 mg;VB₁₂0.1 mg;VC 250 mg;Calcium Pantothenate 20 mg;niacin 25 mg;VD₃ 4 mg;VK₃ 6 mg;folic acid 5 mg;inositol 100 mg. Provided by the Beijing Sunpu Biochem Tech. Co., Ltd. 2. Detected values

1.4 数据处理

实验结果用 SPSS 17.0 软件进行统计分析,采用平均值 \pm 标准差 (mean \pm SD) 表示,在单因素方差分析的基础上,采用 Duncan 氏多重比较法检验组间差异,以 $P < 0.05$ 表示差异显著。根据特定生长率、饲料系数、蛋白质沉积率、能量保留率的数据,采用一元二次 (quadratic model) 或一元三次模型 (cubic model) 分析团头鲂对半纯化饲料中适宜蛋白/脂肪比的需要量。

2 结果

两个生长阶段各组成活率均为 100% (表 3)。

随着饲料蛋白/脂肪比水平的增加,两个阶段的团头鲂体质量特定生长率 (SGR) 呈先增后降的趋势,在饲料 P/L 为 5.33 组达到最高 (表 4);蛋白质沉积率 (PDR)、能量保留率 (ERR) 总体呈现相同变化趋势 (表 4);饲料系数 (FCR) 呈先降后升的趋势,且均在 P/L 为 5.33 处获得最低值 (表 4)。

以 SGR、FCR、PDR、ERR 为判定指标 (y),作为确认两个生长阶段团头鲂对饲料中适宜蛋白/脂肪比 (x) 需要的依据,建立回归分析^[9]并求得饲料中适宜的蛋白/脂肪比、蛋白质水平、脂肪水平。

表3 不同蛋白脂肪比水平饲料对团头鲂生长性能的影响

Tab.3 Growth performances of blunt snout bream fed diets containing various levels of protein and lipid¹⁾

生长阶段 growth stages	组别 groups	初始体质量/g initial body weight	终末体质量/g final body weight	特定生长率/(%/d) SGR ²⁾	成活率/% SR
幼鱼阶段 juvenile stage	2.63	34.83 ± 0.36	147.78 ± 2.64	1.70 ± 0.03 ^a	100.00 ± 0.00
	3.20	35.60 ± 0.65	154.95 ± 3.67	1.73 ± 0.02 ^{ab}	100.00 ± 0.00
	4.07	34.85 ± 0.33	158.65 ± 5.59	1.79 ± 0.03 ^{bc}	100.00 ± 0.00
	5.33	35.15 ± 0.41	166.35 ± 11.30	1.83 ± 0.08 ^c	100.00 ± 0.00
	7.25	35.00 ± 0.48	162.45 ± 4.58	1.81 ± 0.04 ^c	100.00 ± 0.00
	10.64	35.15 ± 0.21	155.80 ± 6.73	1.75 ± 0.05 ^{abc}	100.00 ± 0.00
育成鱼阶段 premature stage	2.63	101.40 ± 0.73	217.14 ± 4.54	1.36 ± 0.04 ^{ab}	100.00 ± 0.00
	3.20	101.60 ± 2.68	219.72 ± 5.97	1.38 ± 0.06 ^{ab}	100.00 ± 0.00
	4.07	102.96 ± 2.15	224.64 ± 2.89	1.39 ± 0.02 ^{ab}	100.00 ± 0.00
	5.33	102.10 ± 1.57	224.90 ± 9.15	1.41 ± 0.04 ^b	100.00 ± 0.00
	7.25	100.68 ± 1.38	215.86 ± 8.91	1.36 ± 0.07 ^{ab}	100.00 ± 0.00
	10.64	101.74 ± 1.90	215.62 ± 4.04	1.34 ± 0.05 ^a	100.00 ± 0.00

注:1. 实验结果采用平均值 ± 标准差表示。同列数据肩注不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。下表同。2. 特定生长率 = $100 \times (\ln \text{终末均重} - \ln \text{初始均重}) / \text{饲养天数}$

Notes:1. Values are means ± S. E. of 4 replications. Means in the same column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$). The same as the following. 2. Specific growth rate (SGR) = $(\ln W_t - \ln W_0) \times 100 / T$, where W_0 and W_t are the initial and final body weights, and T is the culture period in days

表4 不同蛋白脂肪比水平饲料对团头鲂饲料利用效率的影响

Tab.4 Feed conversion rate, protein and energy utilization of blunt snout bream fed diets containing various levels of protein and lipid

生长阶段 growth stages	组别 groups	饲料系数 FCR ¹⁾	蛋白质沉积率/% PDR ²⁾	能量保留率/% ERR ³⁾
幼鱼阶段 juvenile stage	2.63	1.33 ± 0.05 ^a	65.95 ± 2.07 ^a	29.04 ± 0.88 ^{ab}
	3.20	1.28 ± 0.02 ^{ab}	68.48 ± 1.11 ^{ab}	29.16 ± 0.08 ^{ab}
	4.07	1.21 ± 0.04 ^{bc}	73.92 ± 2.60 ^c	29.81 ± 1.05 ^{ab}
	5.33	1.16 ± 0.09 ^c	75.90 ± 6.08 ^c	31.41 ± 2.55 ^b
	7.25	1.18 ± 0.05 ^c	70.06 ± 3.21 ^{abc}	30.44 ± 1.42 ^b
	10.64	1.25 ± 0.07 ^{abc}	62.78 ± 3.52 ^a	28.00 ± 1.61 ^a
育成鱼阶段 premature stage	2.63	1.77 ± 0.08 ^{ab}	52.69 ± 2.61 ^{bc}	30.98 ± 0.56 ^{bc}
	3.20	1.74 ± 0.12 ^{ab}	53.42 ± 3.77 ^c	31.88 ± 1.90 ^c
	4.07	1.71 ± 0.04 ^{ab}	54.15 ± 0.61 ^c	31.42 ± 0.78 ^{bc}
	5.33	1.68 ± 0.07 ^b	54.26 ± 2.34 ^c	31.74 ± 1.24 ^{bc}
	7.25	1.77 ± 0.13 ^{ab}	49.16 ± 3.71 ^b	29.76 ± 2.08 ^{ab}
	10.64	1.81 ± 0.09 ^a	45.13 ± 2.23 ^a	28.84 ± 1.35 ^a

注:1. 饲料系数 = 饲料摄入量 / (终末体质量 - 初始体质量)。2. 蛋白沉积率 = $100 \times \text{全鱼增重蛋白含量} / (\text{实验结束时鱼体总重} \times \text{实验结束时鱼体蛋白含量} - \text{实验开始时鱼体总重} \times \text{实验开始时鱼体蛋白含量}) / \text{摄食饲料蛋白含量} [\text{消耗饲料总重} (\text{干重}) \times \text{饲料蛋白含量}]$ 。3. 能量保留率 = $100 \times (\text{实验结束时鱼体总重} \times \text{实验结束时全鱼能量} - \text{实验开始时鱼体总重} \times \text{实验开始时全鱼能量}) / \text{摄食饲料能量} [\text{消耗饲料总重} (\text{干重}) \times \text{饲料能量}]$

Notes:1. Feed conversion ratio (FCR) = total diet fed (kg) / total wet weight gain (kg). 2. Protein deposition ratio = $[(W_t \times C_t) - (W_0 \times C_0)] \times 100 / (C_{\text{diet}} \times \text{feed intake})$, where W_0 and W_t are the initial and final body weights, C_0 and C_t are the initial and final protein contents in whole body respectively, and C_{diet} is the protein content in the diets. 3. Retention of energy = $[(W_t \times C_t) - (W_0 \times C_0)] \times 100 / (C_{\text{diet}} \times \text{feed intake})$, where W_0 and W_t are the initial and final body weights, C_0 and C_t are the initial and final contents in whole body respectively, and C_{diet} is the content in the diets

幼鱼阶段 特定生长率 (SGR) = $-0.006x^2 + 0.091x + 1.510, R^2 = 0.930$, 当 SGR 达到最大值时, 饲料蛋白/脂肪比为 7.58、蛋白质

水平为 33.98%、脂肪水平为 4.48%; 饲料系数 (FCR) = $0.008x^2 - 0.116x + 1.567, R^2 = 0.922$, 当 FCR 达到最小值时, 饲料蛋白/脂肪比为 7.25、

蛋白质水平为 33.76%、脂肪水平为 4.65% ;蛋白质沉积率 (PDR) = $-0.58x^2 + 7.068x + 52.47$, $R^2 = 0.809$, 当 PDR 达到最大值时, 饲料蛋白/脂肪比为 6.09、蛋白质水平为 32.83%、脂肪水平为 5.39% ;能量保留率 (ERR) = $-0.156x^2 + 1.961x + 24.74$, $R^2 = 0.894$, 当 ERR 达到最大值时, 饲料蛋白/脂肪比为 6.28、蛋白质水平为 33.01%、脂肪水平为 5.25%。

依据上述结果, 幼鱼阶段团头鲂对饲料中蛋白/脂肪比需要量为 6.09 ~ 7.58, 其中, 饲料蛋白质水平为 32.83% ~ 33.98%、脂肪水平为 4.48% ~ 5.39%。在日均摄食量为 5.06 g/100 g 体质量的条件下, 团头鲂幼鱼对饲料蛋白质每日需要量为 1.66 ~ 1.72 g/100 g 体质量, 对饲料脂肪每日需要量为 0.23 ~ 0.27 g/100 g 体质量。

育成鱼阶段 特定生长率 (SGR) = $0.001x^3 - 0.025x^2 + 0.158x + 1.093$, $R^2 = 0.924$, 当 SGR 达到最大值时, 适宜的饲料蛋白/脂肪比为 4.24、蛋白质水平为 30.53%、脂肪水平为 7.22% ;饲料系数 (FCR) = $-0.002x^3 + 0.047x^2 - 0.295x + 2.27$, $R^2 = 0.942$, 当 FCR 达到最小值时, 适宜的饲料蛋白/脂肪比为 4.34、蛋白质水平为 30.72%、脂肪水平为 7.07% ;蛋白质沉积率 (PDR) = $0.091x^3 - 1.963x^2 + 11.55x + 33.88$, $R^2 = 0.985$, 当 PDR 达到最大值时, 适宜的饲料蛋白/脂肪比为 4.13、蛋白质水平为 30.35%、脂肪水平为 7.36% ;能量保留率 (ERR) = $0.038x^3 - 0.800x^2 + 4.599x + 23.78$, $R^2 = 0.946$, 当 ERR 达到最大值时, 适宜的饲料蛋白/脂肪比为 4.03、蛋白质水平为 30.19%、脂肪水平为 7.49%。

因此, 育成鱼阶段团头鲂对饲料中蛋白/脂肪比需要量为 4.03 ~ 4.34, 其中, 饲料蛋白质水平为 30.19% ~ 30.72%、脂肪水平为 7.07% ~ 7.49%。在日均摄食量为 3.61 g/100 g 体质量的条件下, 团头鲂育成鱼对饲料蛋白质每日需要量为 1.09 ~ 1.11 g/100 g 体质量, 对饲料脂肪每日需要量为 0.26 ~ 0.27 g/100 g 体质量。

对比实验结果发现, 两个生长阶段团头鲂获得最佳生长时的适宜蛋白/脂肪比需求存在差异 (图 2)。饲料中适宜蛋白/脂肪比需求为幼鱼 > 育成鱼, 幼鱼阶段高于育成鱼 2.61; 饲料中适宜蛋白质浓度需求为幼鱼 > 育成鱼, 幼鱼阶段高于育成鱼 2.95% ;饲料中适宜脂肪浓度需求为育成鱼 > 幼鱼, 育成鱼阶段高于幼鱼 2.35%。

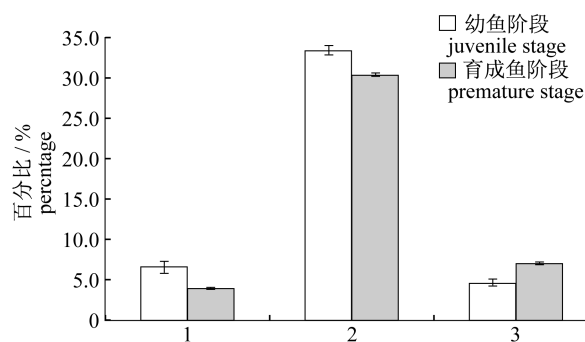


图 2 两个阶段团头鲂对饲料适宜蛋白/脂肪比、蛋白质、脂肪的需要量比较

1. 饲料蛋白/脂肪比; 2. 饲料蛋白质百分含量; 3. 饲料脂肪百分含量

Fig. 2 The comparison of optimal dietary P/L ratio, protein content and lipid content of blunt snout bream in two growth stages

1. optimal dietary protein to lipid ratio; 2. optimal dietary protein concentration; 3. optimal dietary lipid concentration

3 讨论

鱼类是变温动物, 其生长发育阶段差异、养殖环境条件变化等是影响鱼类营养需要量的主要因素^[10]。鱼类对淀粉能量的利用能力有限, 蛋白/脂肪比是饲料蛋白质与脂肪平衡、蛋白质与能量平衡的重要指标, 也是养殖鱼类对饲料营养需要量的重要指标之一。鱼体不同生长发育阶段, 其生理条件、能量代谢强度有较大的差异, 对饲料中适宜的蛋白/脂肪比需要存在差异^[5]。

3.1 以生长速度和饲料效率确定团头鲂的饲料蛋白/脂肪比需要量

采用半纯化饲料, 依据养殖实验的鱼类生长速度和饲料效率结果, 采用生长速度、饲料效率与饲料中营养素浓度的回归方程是确定养殖鱼类对饲料营养素需要量的规范方法。生长速度采用体质量特定生长率作为评价指标, 可以有效反映实验期间鱼体每日平均增重量; 而饲料效率则选用饲料系数、鱼体对饲料蛋白质沉积率和能量保留率作为评价指标。

本实验中, 依据目前团头鲂养殖饲料中蛋白质、脂肪比例确定了实验饲料中蛋白质、脂肪的浓度范围, 蛋白质浓度 26.93% ~ 35.63%、脂肪浓度为 3.35% ~ 10.24%。同时, 为了保持各实验组饲料氨基酸的平衡模式一致, 采用将鱼粉、酪蛋白按照等比例 (6%) 增、减的方案, 在保持磷脂含量一定

的情况下,以豆油调整饲料脂肪比例。首次采用相同的饲料在同一个池塘中,分别对两个生长阶段的团头鲂进行网箱养殖,所得到的团头鲂两个生长阶段对饲料蛋白/脂肪比的需要量具有较好的可靠性和实用性。依据特定生长率、饲料系数、蛋白质沉积率和能量保留率4个指标与饲料中蛋白/脂肪比的回归关系,得到团头鲂对饲料中蛋白/脂肪比的需要量,分别以饲料含量和单位体质量每日需要量表示,结果为:幼鱼阶段团头鲂[(35.07±0.45)g]蛋白/脂肪比6.09~7.58,适宜蛋白质水平为32.83%~33.98%、脂肪水平为4.48%~5.39%;在日均摄食量为5.06 g/100 g体质量的条件下,按照100 g体质量每日需要表示,蛋白质需要量为1.66~1.72 g/100 g体质量,脂肪需要量为0.23~0.27 g/100 g体质量。育成鱼阶段团头鲂[(101.65±1.82)g]蛋白/脂肪比为4.03~4.34,适宜蛋白质水平为30.19%~30.72%、脂肪水平为7.07%~7.49%;在日均摄食量为3.61 g/100 g体质量的条件下,蛋白质需要量为1.09~1.11 g/100 g体质量,脂肪需要量为0.26~0.27 g/100 g体质量。

饲料中的蛋白/脂肪过高或过低都会影响营养物质利用效率,并可能引起养殖鱼类生长抑制。本实验中,两个阶段的实验结果呈现一个共性的趋势,饲喂较低蛋白/脂肪比,即低蛋白、高脂肪水平的饲料(蛋白/脂肪比为2.63、3.20实验组)的团头鲂生长受到抑制,特定生长率和蛋白质沉积率较低,表明团头鲂对饲料蛋白/脂肪比、以及对饲料蛋白质和脂肪含量均有一个最适宜的需要量,在饲料蛋白质供给不足的情况下,即使增加饲料中脂肪含量、增加脂肪来源的能量也难以满足需要,不能获得最佳的生长效果。当饲料中蛋白/脂肪比过量、例如增加到7.25、10.64时,团头鲂特定生长率和蛋白沉积率出现明显下降的趋势,如育成鱼阶段的蛋白质沉积率从蛋白/脂肪比5.33组的54.26%分别显著下降到7.25和10.64组的49.16和45.13%,表明过高的饲料蛋白质、过低的饲料脂肪同样不利于团头鲂的生长,不利于团头鲂对饲料蛋白质的沉积。

团头鲂幼鱼阶段在饲料蛋白/脂肪比为4.07(30.09P:7.39L)、5.33(31.63P:5.93L)、7.25(33.78P:4.66L)组获得的FCR无显著差异($P > 0.05$),显示在团头鲂幼鱼阶段的饲料中,如果考

虑增加饲料脂肪含量、降低饲料蛋白质含量,以脂肪替代部分粗蛋白是完全可行的,该结果也符合动物营养的普遍规律,即饲料脂肪作为主要能量源,对饲料蛋白质具有一定的节约作用。但低蛋白高脂肪组2.63(26.93P:10.24L)、3.20(28.50P:8.91L)FCR值显著高于5.33(31.63P:5.93L)组($P < 0.05$),提示脂肪对蛋白质的节约作用有限。从营养物质代谢的角度看,以脂肪节约蛋白质,仅限于把蛋白质的分解供能降低到最低限度,使之更好地用于合成体蛋白^[11],而蛋白质的其他功能则是脂肪无法替代的,这与Li等^[12]在团头鲂幼鱼[均重(1.76±0.04)g]上的研究结果一致。

3.2 不同生长阶段的团头鲂蛋白/脂肪比需要量的差异

本实验结果表明,两个生长阶段团头鲂的营养需要量存在一定差异,对饲料中适宜蛋白/脂肪比、蛋白质含量的需求为幼鱼>育成鱼,这与斑点叉尾鲷^[5]、石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)^[13]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[14]的研究结果类似。一般认为,体质量对代谢的影响遵从“体表面积法则”,外环境对内稳态的干扰通过体表发生作用,机体维持内稳态所消耗能量与体表面积相关;由于幼鱼比成鱼单位体质量的表面积较大,其维持内稳态耗能也相对较多,为满足生长的需要,对摄入能量的要求随之增高^[15]。此外,与育成鱼阶段相比,幼鱼阶段生长旺盛,代谢强度大,其细胞分裂速度、组织的修复和更新较快;而蛋白质和脂肪作为组织细胞的重要组成成分,相应地在幼鱼阶段需求较高。

鱼体的营养需求除了受到生长阶段、鱼体自身代谢机制的影响外,受到水温和季节性的影响也较大^[16]。适宜温度范围内,水温升高,养殖鱼类的摄食强度增强,代谢旺盛,所需要的蛋白质含量也就较高,反之较低^[11]。相同体质量的非洲鲷(*Ictalurus africanus*)^[5]在水温分别为24和29℃时,其适宜的C(能量)/P(蛋白质)分别是40和28.6 kJ/g蛋白质,适宜的C/P随水温的升高而下降,在高温下鱼类能量代谢对蛋白质依赖增强。本实验中,幼鱼阶段是在夏季进行,实验期间水温逐渐升高;育成鱼阶段是在秋季进行,水温逐渐降低。水温的差异,在一定程度上也造成了育成鱼阶段对饲料蛋白/脂肪比、蛋白质含量的需求较低

于幼鱼阶段。

本实验中,对饲料的适宜脂肪浓度需求表现为团头鲂育成鱼 > 幼鱼,育成鱼阶段高于幼鱼 2.35%。这与青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)的脂肪需求报道存在差异,王道尊等^[17]研究指出,青鱼的当年幼鱼、1冬龄幼鱼、成鱼阶段的脂肪需求分别为 6.5%、6.0%、4.5%。分析认为,养殖季节性的影响是造成上述差异的主要原因。育成鱼阶段的养殖实验在秋季进行,水温逐步下降,团头鲂的自然习性是要储备脂肪以备越冬所需。此外,育成鱼阶段的整体摄食率较低于幼鱼阶段,只有较高脂肪水平的饲料,才能保证育成鱼获取所需要的脂肪量。

4 结论

本实验条件下,两个生长阶段团头鲂获得最佳生长时对半纯化饲料的适宜蛋白/脂肪比、蛋白质、脂肪含量的需求存在差异:幼鱼阶段团头鲂[(35.07 ± 0.45)g]对饲料中蛋白/脂肪比需要量为 6.09 ~ 7.58,适宜蛋白质水平为 32.83% ~ 33.98%、脂肪水平为 4.48% ~ 5.39%;在日均摄食量为 5.06 g/100 g 体质量的条件下,团头鲂幼鱼对饲料蛋白质每日需要量为 1.66 ~ 1.72 g/100 g 体质量,对饲料脂肪每日需要量为 0.23 ~ 0.27 g/100 g 体质量。育成鱼阶段团头鲂[(101.65 ± 1.82)g]对饲料中蛋白/脂肪比需要量为 4.03 ~ 4.34,适宜蛋白质水平为 30.19% ~ 30.72%、脂肪水平为 7.07% ~ 7.49%。在日均摄食量为 3.61 g/100 g 体质量的条件下,团头鲂育成鱼对饲料蛋白质每日需要量为 1.09 ~ 1.11 g/100 g 体质量,对饲料脂肪每日需要量为 0.26 ~ 0.27 g/100 g 体质量。

感谢浙江一星实业股份有限公司的大力资助!

参考文献:

- [1] Lee S M, Jeon I G, Lee J Y. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish(*Sebastes schlegeli*) [J]. Aquaculture, 2002, 211(1-4): 227-239.
- [2] Kim L O, Lee S M. Effects of the dietary protein and lipid levels on growth and body composition of

bagrid catfish, *Pseudobagrus fulvidraco* [J]. Aquaculture, 2005, 243(1-4): 323-329.

- [3] Jiang G X, Liu W B, Wang Y H, et al. Effects of dietary protein to lipid ratio on growth digestive enzyme activities and muscle composition of juvenile channel catfish(*Ictalurus punctatus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2010, 34(7): 1129-1135. [蒋广震, 刘文斌, 王煜衡, 等. 饲料中蛋白脂肪比对斑点叉尾鲴幼鱼生长、消化酶活性及肌肉成分的影响. 水产学报, 2010, 34(7): 1129-1135.]
- [4] Biswas B K, Ji S C, Biswas A K, et al. Dietary protein and lipid requirements for the Pacific bluefin tuna, *Thunnus orientalis* juvenile [J]. Aquaculture, 2009, 288(1-2): 114-119.
- [5] Zhu X M, Li S J, Jiang X D. Applied values of energetics on developing and evaluating of aquatic formulated diets [J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2001, 20(suppl.): 29-35. [朱小明, 李少菁, 姜晓东. 能量代谢研究对水产配合饲料研制和评价的应用价值. 台湾海峡, 2001, 20(增刊): 29-35.]
- [6] Zhao Y F. Introduction for biology of conventional culture species(vol. 2) [J]. Scientific Fish Farming, 2005(2): 23. [赵永峰. 常规养殖品种生物学介绍(下). 科学养鱼, 2005(2): 23.]
- [7] Ke H W. An excellent fresh-water food fish, *Megalobrama amblycephala*, and its propagating and culturing [J]. Collected Papers of Hydrobiology, 1975, 5(3): 293-312. [柯鸿文. 一种优良淡水鱼——团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的繁殖和饲养. 水生生物学集刊, 1975, 5(3): 293-312.]
- [8] Ke H W. Cultivation of *Megalobrama amblycephala* [J]. Fisheries Science & Technology Information, 1986(5): 1-5. [柯鸿文. 中国团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)的养殖. 水产科技情报, 1986(5): 1-5.]
- [9] Liu Y, Xue M, Ren Z L, et al. The growth model of fish and its application in nutritional requirement [J]. Feed Industry, 2008, 29(10): 20-23. [刘颖, 薛敏, 任泽林, 等. 鱼类的生长模型及其在营养需求研究中的应用. 饲料工业, 2008, 29(10): 20-23.]
- [10] Mai K S. Aquatic animal nutrition and feed science [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2012: 27-29. [麦康森. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 2012: 27-29.]
- [11] Zhang Y Y, Liu B, Zhou C P, et al. The research progress of nutritional requirements for *Megalobrama*

- amblycephala* Yih[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2010, 38(32): 18239 - 18241. [张媛媛, 刘波, 周传朋, 等. 团头鲂对营养需求的研究进展. 安徽农业科学, 2010, 38(32): 18239 - 18241.]
- [12] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings[J]. Aquaculture, 2010, 303(1-4): 65 - 70.
- [13] Chen H Y, Tsai J C. Optimum dietary protein level for the growth of juvenile grouper, *Epinephelus malabaricus*, fed semipurified diets[J]. Aquaculture, 1994, 119(2-3): 265 - 271.
- [14] Siddiqui A Q, Howlander M S, Adam A A. Effects of dietary protein levels on growth, feed conversion and protein utilization in fry and young Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* [J]. Aquaculture, 1988, 70(1-2): 63 - 73.
- [15] Lei S J. Effect of salinity and body weight on the oxygen consumption of *Oreochromis niloticus* × *O. mossambicus* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(6): 739 - 742. [雷思佳. 盐度与体重对台湾红罗非鱼耗氧率的影响. 应用生态学报, 2002, 13(6): 739 - 742.]
- [16] Wang W. Culture and enhancement of fish [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 23. [王武. 鱼类增养殖学. 北京: 中国农业出版社, 2000: 23.]
- [17] Wang D Z, Gong X Z, Liu Y F. The effects of fat content in feeds on the growth of black carp fingerlings[J]. Journal of Fisheries of China, 1987, 11(1): 23 - 28. [王道尊, 龚希章, 刘玉芳. 饲料中脂肪的含量对青鱼鱼种生长的影响. 水产学报, 1987, 11(1): 23 - 28.]

Research on the optimal protein to lipid (energy) ratio of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) in two growth stages

YAO Linjie, YE Yuantu*, CAI Chunfang, XU Fan, LIU Meng, LIU Hanchao,
DONG Jiaojiao, CHEN Kequan, HUANG Yuwei

(Key Laboratory of Aquatic Animal Nutrition in Jiangsu Province, Preclinical Medicine and
Biological Science College of Soochow University, Suzhou 215123, China)

Abstract: In order to estimate the appropriate protein to lipid (P/L) ratio of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) for semi-purified diet in different growth stages, 2 feeding trials including diets with different P/L levels were conducted in the same formula system. Casein and Peruvian fish meal were used as the source of protein, while soybean oil and soy lecithin were used as lipid source. Dietary protein concentration ranged from 26.93% to 35.65%, and the lipid concentration range was correspondingly between 10.24% and 3.35%. The experimental diets contained 6 gradients, and P/L ratios were 2.63, 3.20, 4.07, 5.33, 7.25, 10.64, respectively. Test one, two respectively used blunt snout bream with initial average weight of (35.07 ± 0.45) g (juvenile stage), (101.65 ± 1.82) g (premature stage), and were divided into 6 groups, each with 4 replicates. Experiments on the two tests were conducted in pond cages. Both the two tests were fed with the above-mentioned feed, precisely and on schedule. The feeding time were respectively 85 d, and 56 d. The results of 2 experiments showed that: with the feed P/L ratio gradually increased, the evaluation indexes such as the specific growth rate (SGR), the rate of protein deposition (PDR) and energy retention (ERR) increased first and then decreased. The feed conversion ratio (FCR) was the first decline after rising trend. The best growth appeared in the group of P/L 5.33. SGR, FCR, PDR and ERR were used as sensitive criteria for regression analysis, and it showed that different growth stages of blunt snout bream need different optimal P/L ratios: Appropriate P/L ratio of juvenile stage was 6.09 – 7.58, the optimal protein concentration was 32.83% – 33.98% and lipid concentration was 4.48% – 5.39%; In the conditions of the average daily intake of 5.06 g/100 g body weight, protein requirement was 1.66 – 1.72 g/100 g body weight, and lipid requirement was 0.23 – 0.27 g/100 g body weight for juvenile stage. Appropriate P/L ratio of premature stage was 4.03 – 4.34, the optimal protein concentration was 30.19% – 30.72% and lipid concentration was 7.07% – 7.49%. In the conditions of the average daily intake of 3.61 g/100 g body weight, protein requirement was 1.09 – 1.11 g/100 g body weight, and lipid requirement was 0.26 – 0.27 g/100 g body weight for premature stage.

Key words: *Megalobrama amblycephala*; growth; protein to lipid ratio; requirement

Corresponding author: YE Yuantu. E-mail: yeyt@suda.edu.cn