

文章编号: 1674 - 5566(2015)03 - 0375 - 08

团头鲂幼鱼对饲料中 Fe 的需求量

刘汉超¹, 叶元土¹, 蔡春芳¹, 吴 韬¹, 陈科全¹, 浦琴华²

(1. 苏州大学 基础医学与生物科学学院, 江苏 苏州 215123; 2. 浙江一星实业股份有限公司, 浙江 海盐 314300)

摘 要: 为了研究团头鲂对饲料铁的需要量, 以平均体重 50 g/尾的团头鲂为实验对象, 采用半纯化饲料, 以 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 为铁源, 设置 Fe 添加量分别为 0、120、240、360、480 mg/kg (饲料 Fe 总量为 391.40、492.29、585.98、681.85、776.46 mg/kg) 共 5 个 Fe 含量梯度, 每个实验组 4 个平行, 在池塘网箱中养殖 43 d。经过回归拟合分析饲料 Fe 添加量、饲料 Fe 总量与团头鲂特定生长率、饲料系数、蛋白沉积率、脂肪沉积率的关系, 得到团头鲂对饲料中无机 Fe 补充量为 124.55 ~ 130.18 mg/kg, 饲料总 Fe 含量为 493.26 ~ 497.76 mg/kg; 在日均摄食量为 5.10 g/100g 体重下, 团头鲂对饲料总 Fe 每日需要量为 2.52 ~ 2.54 mg/100g 体重。饲料 Fe 含量对团头鲂的成活率、内脏指数、鳞片重/体重、体重/体长、脊椎骨重/体重均无显著影响 ($P > 0.05$)。饲料 Fe 含量对团头鲂的脊椎骨长/体长有显著影响 ($P < 0.05$); 饲料 Fe 的补充, 有利于团头鲂脊椎骨的生长。

研究亮点: 目前对团头鲂 Fe 元素需要量和饲料中添加量的研究较多, 而关于基础饲料中 Fe 元素含量的研究很少, 甚至被忽略。本实验通过对 50 g 团头鲂的养殖实验, 以生长指标、沉积率指标为依据提出团头鲂实用饲料中的最适补充量和最适总量, 并以每日需要量的形式表达出来。

关键词: 团头鲂; Fe; 需要量; 生长

中图分类号: S 965.119

文献标志码: A

Fe 是鱼类必需的微量元素之一, 在鱼体内具有多种生理作用。例如 Fe 是鱼体血红蛋白的重要组成部分, 参与氧气的运输, 同时也是细胞色素、过氧化氢酶的重要组成部分, 在氧化还原反应中起传递氢的作用。Fe 在鱼类免疫活动过程中也起到了重要的作用, 能调节鱼类的非特异性免疫反应。团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 隶属鲤形目 (Cypriniformes), 鲤科 (Cyprinidae), 鲂亚科, 鲂属 (*Megalorama*), 是我国重要的淡水经济鱼类之一。关于鱼类对饲料中 Fe 需要量的研究, 王辉亮等^[1]报道了黑鲮 (*Sparus macrocephalus*) 对 Fe 的需要量为 89 mg/kg。黄耀桐和刘永坚^[2]研究了草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*) 对 Fe 的适宜添加量为 900 mg/kg。陈冬梅和刘维德^[3]认为鲤鱼 (*Cyprinus carpio*) 对 Fe 的最适需要量为 141.7 mg/kg。蒋蓉^[4]的研究表明黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 饲料中 Fe 的最适

添加量为 80 mg/kg。本研究主要通过养殖实验, 在实验结束时通过测定团头鲂生长、形体骨骼指标、常规体成分、蛋白沉积率、脂肪沉积率的含量, 确认团头鲂饲料中 Fe 的需要量。

1 材料与方法

1.1 实验材料

团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*) 为浙江一星饲料集团海盐实验基地池塘养殖 1 冬龄鱼种, 实验团头鲂初始平均体重为 50 g, 经 2 周暂养、驯化后, 选择体格健壮、规格整齐的鱼种 400 尾, 随机分成 5 组, 每组设 4 个重复, 每个重复放 20 尾鱼。

1.2 实验饲料

以酪蛋白、秘鲁鱼粉、豆油、糊精、淀粉和纤维素为原料配置半纯化饲料, 以 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (四川龙蟒钛业股份有限公司, 饲料级) 为 Fe 源, 分

收稿日期: 2014-04-24 修回日期: 2014-12-06

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201003020)

作者简介: 刘汉超(1988—), 男, 硕士研究生, 研究方向为水产动物营养与饲料学。E-mail: 57095442@qq.com

通信作者: 叶元土, E-mail: yeyt@suda.edu.cn

别添加 0、0.4、0.8、1.2、1.6 g/kg $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 饲料中无机 Fe 补充量分别为 0、120、240、360、480 mg/kg 的 5 种半纯化饲料, 实验饲料组成及营养水平见表 1。饲料原料经粉碎过 60 目筛, 混合均匀后加适量水搅拌,

用小型面条加工机加工成 1.5 mm 粗细的条状料, 电风扇吹干后再手工搓碎, 筛选 2 ~ 3 mm

长的颗粒饲料置于冰箱中, $-20\text{ }^\circ\text{C}$ 密封保存。

各实验组饲料 Fe 含量的实测值分别是 391.40、492.29、585.98、681.85、776.46 mg/kg。因此, 对饲料 Fe 补充量与实际测定值进行分析, 得到饲料中总 Fe 含量(y)与饲料中 Fe 的补充量(x)之间的关系式是: $y = 0.7997x + 393.66$, $R^2 = 0.9999$ 。

表 1 实验饲料组成及营养水平

Tab. 1 Composition and nutrient levels of experimental diets

%

原料 material	Fe 组别/(mg/kg) Fe Group				
	0	120	240	360	480
酪蛋白 casein	213	213	213	213	213
秘鲁进口蒸汽鱼粉 fish meal	205	205	205	205	205
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	30	30	30	30	30
豆油 soybean oil	50	50	50	50	50
大豆磷脂 soy lecithin	10	10	10	10	10
氯化胆碱 choline chloride	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
维生素预混料 vitamin premix ¹	1	1	1	1	1
矿物质预混料 mineral premix ²	5	5	5	5	5
糊精 dextrin	100	100	100	100	100
α -淀粉 α -starch	255	255	255	255	255
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	29.5	29.1	28.7	28.3	27.9
羧甲基纤维素 carboxymethyl cellulose	100	100	100	100	100
$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Zn 34.4%)	0	0.4	0.8	1.2	1.6
合计	1 000	1 000	1 000	1 000	1 000
营养水平 nutrient levels ³					
粗蛋白 CP/%	31.42	31.32	32.47	31.76	31.93
粗脂肪 EE/%	9.56	9.58	9.61	9.63	9.59
灰分 ash/%	8.11	8.12	8.32	7.99	8.09
钙 calcium content	1.05	1.06	1.11	1.15	1.09
磷 phosphor content	1.81	1.99	1.85	1.90	1.91

注: 1. 维生素预混料为每千克日粮提供 V_A 10 mg; V_{B1} 8 mg; V_{B2} 8 mg; V_{B6} 20 mg; V_{B12} 0.1 mg; V_C 250 mg; 泛酸钙 20 mg; 烟酸 25 mg; V_{D3} 4 mg; V_{K3} 6 mg; 叶酸 5 mg; 肌醇 100 mg。2. 矿物质预混料为每千克日粮提供 Cu 4 mg; Mn 30 mg; Zn 120 mg; I 0.65 mg; Se 0.5 mg; Co 0.17 mg; Mg 300 mg, Fe 按照各实验组设计。3. 实测值。

1. The vitamin premix provided following for per kg of feed V_A 10 mg; V_{B1} 8 mg; V_{B2} 8 mg; V_{B6} 20 mg; V_{B12} 0.1 mg; V_C 250 mg; calcium pantothenate 20 mg; niacin 25 mg; V_{D3} 4 mg; V_{K3} 6 mg; folic acid 5 mg; inositol 100 mg. 2. The Mineral premix provided following for per kg of feed Cu 4 mg; Mn 30 mg; Zn 120 mg; I 0.65 mg; Se 0.5 mg; Co 0.17 mg; Mg 300 mg. 3. Measured values.

1.3 饲养管理

养殖实验在 5 个 667 m^2 的池塘网箱(网箱规格为 1 m \times 1 m \times 1.5 m)中进行, 以海盐县长山河河水为水源, 池塘中设置两台 1.5 kW 叶轮式增氧机, 每天运行 8 h。日投喂 2 次, 每天 8:00、15:00 定时投喂, 日投喂量为鱼体重的 3% ~ 5%。每两周根据估算的鱼体重增加量调整投喂量。整个养殖实验期间, 随季节变化, 池塘水温逐渐升高, 水温日变化趋势见图 1。养殖实验期间, 水温 21 ~ 32.9 $^\circ\text{C}$ 、溶氧 > 7.0 mg/L、pH 7.0 ~ 7.4、氨氮 0.20 ~ 0.30 mg/L、硫化物 < 0.05 mg/L。正式养殖实验共计 43 d。

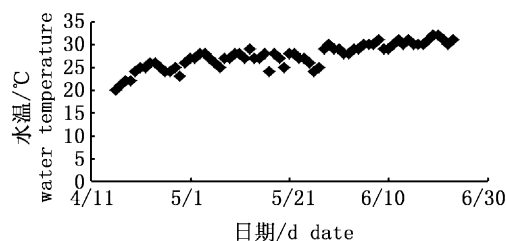


图 1 水温日变化曲线图

Fig. 1 Daily variation of water temperature

养殖过程中, 每 10 天从塘口取 5 份水样, 采用原子吸收分光光度计(型号 GGX-9, 北京海光仪器公司)测定水体中 Fe、Cu、Mn、Zn 的含量^[11],

结果见表 2。通过单因素方差分析得出各实验组间无显著性差异 ($P > 0.05$), 水体微量元素含量远小于饲料中微量元素的含量, 所以可以认为水

体中 Fe、Cu、Mn、Zn 含量对于鱼体饲料中微量元素吸收利用率的影响很小, 故认为水体 Fe、Cu、Mn、Zn 对鱼体吸收无影响。

表 2 养殖水体 Fe、Cu、Mn、Zn、Mg 含量
Tab. 2 Content of Fe, Cu, Mn, Zn in breeding aquatics water

组别/(mg/kg) group	Fe 实测值/(mg/kg) values of Fe	Fe	Cu	Mn	Zn
0	391.40	0.32 ± 0.03	0.30 ± 0.03	0.03 ± 0.01	0.35 ± 0.06
120	492.29	0.32 ± 0.05	0.29 ± 0.04	0.03 ± 0.01	0.36 ± 0.07
240	585.98	0.31 ± 0.01	0.30 ± 0.02	0.02 ± 0.02	0.37 ± 0.02
360	681.85	0.33 ± 0.02	0.31 ± 0.05	0.02 ± 0.03	0.37 ± 0.03
480	776.46	0.33 ± 0.05	0.30 ± 0.04	0.03 ± 0.02	0.36 ± 0.05

1.4 样品采集与分析

1.4.1 生长性能指标、形体指标、内脏指数

饲养实验结束时, 统计每个重复实验的饲料日摄入量。禁食 24 h 后称量每个养殖网箱鱼体总重和计数鱼尾数, 计算成活率、增重率、饲料系数; 随机从每个养殖网箱里抽取 6 尾鱼测量体长、体重、鳞片重、脊椎骨重、脊椎骨长, 计算肥满度、特定生长率、体重/体长、鳞片重/体重。开水剥离鱼肉等其他部分, 留取脊椎骨, 用水冲洗干净, 纸巾吸干水分, 测量长度并称重, 以长度比、重量比判断主轴骨骼生长情况, 计算脊椎骨长/体长、脊椎骨重/体重。解剖取内脏团称重, 计算内脏指数。计算公式如下:

$$S_R = (N_1/N_0) \times 100\% \quad (1)$$

式中: S_R 为成活率; N_1 为终尾数; N_0 为初尾数。

$$W_{GR} = [(S_1 - S_0)/S_0] \times 100\% \quad (2)$$

式中: W_{GR} 为增重率; S_1 为末体重; S_0 为初体重。

$$S_{GR} = (\ln S_{a1} - \ln S_{a0})/D \times 100\% \quad (3)$$

式中: S_{GR} 为特定生长率; S_{a1} 为末均重; S_{a0} 为初均重; D 为养殖天数。

$$F_{CR} = W_f/W_i \quad (4)$$

式中: F_{CR} 为饲料系数; W_f 为每网箱投喂饲料总量; W_i 为每网箱鱼体总增重量。

$$C_F = W/L^3 \times 100\% \quad (5)$$

式中: C_F 为肥满度; W 为体重; L 为体长。

$$V_{BR} = W_v/W \times 100\% \quad (6)$$

式中: V_{BR} 为内脏指数; W_v 为内脏重; W 为体重。

$$P_{DR} = (W_1 \times P_1 - W_0 \times P_0)/(W_f \times P_f) \times 100\% \quad (7)$$

式中: P_{DR} 为蛋白质沉积率; W_1 为实验结束时鱼体总重; P_1 为实验结束时鱼体粗蛋白质含量; W_0 为实验开始时鱼体总重; P_0 为实验开始时鱼体粗蛋

白质含量; W_f 为消耗饲料总重; P_f 为饲料粗蛋白质含量。

$$L_{RE} = (W_1 \times F_1 - W_0 \times F_0)/(W_f \times F_f) \times 100\% \quad (8)$$

式中: L_{RE} 为脂肪沉积率; W_1 为实验结束时鱼体总重; F_1 为实验结束时鱼体粗脂肪含量; W_0 为实验开始时鱼体总重; F_0 为实验开始时鱼体粗脂肪含量; W_f 为消耗饲料总重; F_f 为饲料粗脂肪含量。

1.4.2 鱼体常规体成分的分析方法

采用常规的解剖方法获取肝胰脏、肌肉、全鱼用于测量鱼体常规体成分。采用 105 °C 常压干燥法测定饲料、鱼体水分含量, 凯氏定氮法测定粗蛋白质含量, 索氏抽提法测定粗脂肪含量, 高温消化炉 550 °C 灼烧法测定粗灰分含量, 分光光度法测定磷含量, 乙二醇四乙酸二钠滴定法测定钙含量。上述测定步骤均参照 AOAC (1995) 规定的方法进行。

1.5 数据处理

实验数据用“平均值 ± 标准差”表示, 实验结果用 SPSS 17.0 软件进行统计分析, 在 One-Way ANOVA 进行方差分析的基础上采用 Duncan's 多重比较检验组间差异, 实验数据表中同列上标为不同小写字母者表示有显著差异。以 $P < 0.05$ 表示差异显著。根据特定生长率、饲料系数、蛋白沉积率、脂肪沉积率的数据, 采用一元三次模型分析团头鲂对饲料中 Fe 的需求量。

2 结果

2.1 以团头鲂生长速度和饲料系数确定的 Fe 的需要量

经过 43 d 的养殖实验, 饲料 Fe 补充量对团头鲂生长速度和饲料系数的影响结果见表 3。补

充不同浓度的 Fe 对团头鲂鱼体的生长产生了不同的影响。当饲料中 Fe 补充量从 0 mg/kg 增加到 120 mg/kg 时,末体重和增重率均显著上升 ($P < 0.05$)、饲料系数显著下降 ($P < 0.05$),从 120 mg/kg 增加到 480 mg/kg 时,末体重、增重率显著下降 ($P < 0.05$)、饲料系数显著上升 ($P < 0.05$)。团头鲂的特定生长率也随着饲料中 Fe 补充量的增加呈先升后降的趋势,120 mg/kg 组的特定生长率显著高于 0、360、480 mg/kg 3 个组 ($P < 0.05$)。成活率在各组之间无显著性差异 ($P > 0.05$)。

采用一元三次模型分析饲料 Fe 补充量、Fe 总量与团头鲂饲料系数、特定生长率之间的关系(图 2, 3)。特定生长率的回归方程为 $y = 0.0188x^3 - 0.2x^2 + 0.6187x + 1.2885$, $R^2 = 0.9589$, 计算得到当具有最大特定生长率时饲料中添加的 Fe 为 124.55 mg/kg, 依据饲料中补充 Fe 与饲料中总 Fe 的关系式 ($y = 0.7997x +$

393.66), 计算得到此时饲料中总的 Fe 含量为 493.26 mg/kg。

饲料系数与饲料中补充的 Fe 含量的回归方程为 $y = -0.0269x^3 + 0.2876x^2 - 0.893x + 2.573$, $R^2 = 0.9699$ 。计算得到当具有最小饲料系数时饲料中补充的 Fe 为 130.18 mg/kg, 依据饲料中补充 Fe 与饲料中总 Fe 的关系式 ($y = 0.7997x + 393.66$), 计算得到此时饲料中总的 Fe 含量为 497.76 mg/kg。

因此,经回归分析得出,当饲料 Fe 补充量为 124.55 ~ 130.18 mg/kg 时,此时饲料中 Fe 实际含量为 493.26 ~ 497.76 mg/kg, 团头鲂生长效果最好。该实验中,团头鲂日均摄食量为 5.10 g/100g 体重,因此饲料 Fe 日均添加量为 0.64 ~ 0.66 mg/100g 体重时(饲料 Fe 日均总量为 2.52 ~ 2.54 mg/100g 体重)团头鲂可获得最大生长。

表 3 饲料 Fe 含量对团头鲂生长性能的影响

Tab. 3 Effects of dietary Fe content on growth performance of bluntnose black bream

组别 /(mg/kg) group	Fe 实测值 /(mg/kg) values of Fe	初体重/g IBW	末体重/g FBW	增重率/% WGR	成活率/% SR	饲料系数 FCR	特定生长率/(%/d) SGR
0	391.40	50.15 ± 0.24	105.15 ± 1.58 ^c	109.73 ± 2.19 ^c	98.75 ± 2.17	1.95 ± 0.04 ^a	1.72 ± 0.03 ^c
120	492.29	49.90 ± 0.29	112.45 ± 3.57 ^a	125.30 ± 6.12 ^a	100.00 ± 0.00	1.71 ± 0.08 ^c	1.89 ± 0.06 ^a
240	585.98	50.08 ± 0.29	110.03 ± 1.18 ^{ab}	119.70 ± 2.15 ^{ab}	100.00 ± 0.00	1.78 ± 0.03 ^{bc}	1.83 ± 0.02 ^{ab}
360	681.85	50.13 ± 0.33	107.63 ± 1.46 ^{bc}	114.70 ± 2.51 ^{bc}	98.75 ± 2.17	1.87 ± 0.04 ^{ab}	1.78 ± 0.03 ^{bc}
480	776.46	49.85 ± 0.37	104.50 ± 3.62 ^c	109.68 ± 8.76 ^c	100.00 ± 0.00	1.94 ± 0.15 ^a	1.72 ± 0.10 ^c

注:同一列中上标为相同字母者表示差异不显著;上标为不同字母者表示差异显著 ($P < 0.05$), 显著水平为 $\alpha = 0.05$, 表 4、5 同。

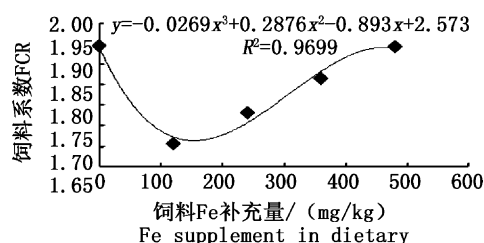


图 2 饲料 Fe 补充量(x)与饲料系数(y)的关系
Fig. 2 Relationship between dietary Fe recruitment content (x) and FCR(y) of bluntnose black bream

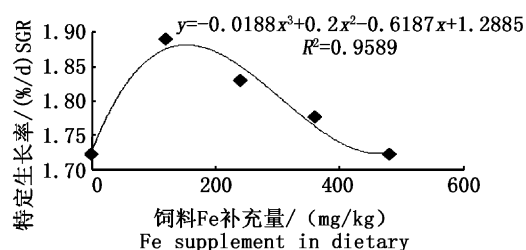


图 3 饲料 Fe 补充量(x)与特定生长率(y)的关系
Fig. 3 Relationship between dietary Fe recruitment content (x) and SGR(y) of bluntnose black bream

2.2 团头鲂形体、骨骼与饲料 Fe 含量的关系

实验结束后,测定鱼体肥满度、内脏指数、体重/体长、脊椎骨长/体长、脊椎骨重/体重、鳞片重/体重来反映饲料中 Fe 含量对团头鲂形体、骨骼的影响,结果见表 4。方差分析结果显示,各实

验组间鱼体的肥满度、内脏指数、体重/体长、脊椎骨重/体重、鳞片重/体重均无显著性差异 ($P > 0.05$)。0 mg/kg 组团头鲂的脊椎骨长/体长显著低于 120 mg/kg 组 ($P < 0.05$)。随着添加 Fe 浓度的增加,鱼体内脏指数呈逐渐上升的趋势;脊

椎骨长/体长、鳞片重/体重呈先上升后下降的趋势并在 120 mg/kg 组达到最大值。各实验组间饱满度不受不同 Fe 补充量的影响。

上述结果显示,随着饲料 Fe 补充量的增加,团头鲂脊椎骨长/体长增加。表明,饲料 Fe 对团头鲂鱼体脊椎骨的生长有促进作用。

表 4 饲料 Fe 含量对团头鲂形体指标的影响

Tab. 4 Effects of dietary Fe content on body index of bluntnose black bream

组别 /(mg/kg) group	Fe 实测值 /(mg/kg) values of Fe	饱满度/% fatness	体重/体长 weight/body length	脊椎骨长/体长 the length of spine /body length	脊椎骨重/体重 the weight of spine /weight	鳞片重/体重 the weight of scale/ weight	内脏指数/% visceral index
0	391.40	2.15 ± 0.05	6.66 ± 0.36	0.67 ± 0.02 ^b	0.031 ± 0.004	0.077 ± 0.004	5.15 ± 0.41
120	492.29	2.14 ± 0.06	6.58 ± 0.21	0.70 ± 0.01 ^a	0.030 ± 0.001	0.082 ± 0.003	5.17 ± 0.39
240	585.98	2.20 ± 0.09	6.44 ± 0.47	0.69 ± 0.03 ^{ab}	0.029 ± 0.002	0.082 ± 0.009	5.25 ± 0.76
360	681.85	2.14 ± 0.05	6.53 ± 0.15	0.69 ± 0.01 ^{ab}	0.031 ± 0.002	0.081 ± 0.006	5.36 ± 0.29
480	776.46	2.21 ± 0.02	6.62 ± 0.37	0.68 ± 0.02 ^{ab}	0.028 ± 0.002	0.078 ± 0.006	5.41 ± 0.17

2.3 团头鲂鱼体蛋白、脂肪沉积率与饲料 Fe 含量的关系

饲料 Fe 补充量对团头鲂体成分、蛋白沉积率、脂肪沉积率的影响结果见表 5。由表可知,全鱼粗脂肪含量显著受到饲料中不同 Fe 水平的影响($P < 0.05$),0 mg/kg 组全鱼粗脂肪含量显著低于其他 4 组($P < 0.05$);肌肉、肝胰脏粗脂肪含量差异不显著($P > 0.05$);全鱼、肌肉、肝胰脏粗蛋白含量在各组间差异不显著($P > 0.05$)。团头鲂蛋白沉积率、脂肪沉积率随着饲料中 Fe 含量的增加呈先升后降的趋势,120 mg/kg 组的蛋白沉积率、脂肪沉积率显著高于其他四组($P < 0.05$),显示饲料中 Fe 添加量为 120 mg/kg 时,饲料总 Fe 含量为 492.29 mg/kg,团头鲂的蛋白脂肪沉积率在 5 个组别中最优。

采用一元三次模型分析饲料 Fe 补充量、Fe 总量与团头鲂蛋白沉积率、脂肪沉积率之间的关

系。蛋白沉积率的回归方程为: $y = 3.6267x^3 - 25.52x^2 + 43.003x + 93.718, R^2 = 0.9944$,计算得到当具有最大蛋白沉积率时饲料中添加的 Fe 为 126.34 mg/kg,此时饲料中总的 Fe 含量为 494.69 mg/kg。脂肪沉积率与饲料中补充的 Fe 含量的回归方程为: $y = 4.8683x^3 - 34.117x^2 + 63.13x + 162.98, R^2 = 0.9542$ 。计算得到当具有最大脂肪沉积率时饲料中补充的 Fe 为 128.44 mg/kg,此时饲料中总的 Fe 含量为 496.37 mg/kg。

因此,当饲料 Fe 补充量为 126.34 ~ 128.44 mg/kg 时,此时饲料中 Fe 实际含量为 494.69 ~ 496.37 mg/kg,团头鲂蛋白、脂肪沉积率最高。该实验中,团头鲂日均摄食量为 5.10 g/100g 体重,因此饲料 Fe 日均添加量为 0.65 ~ 0.66 mg/100g 体重时(饲料 Fe 日均总量为 2.53 ~ 2.54 mg/100g 体重)团头鲂蛋白、脂肪沉积率最高。

表 5 饲料 Fe 含量对团头鲂体组成的影响(干重基础)

Tab. 5 Effects of dietary Fe content on body composition of bluntnose black bream (dry weight basis) %

组别 /(mg/kg) group	Fe 实测值 /(mg/kg) values of Fe	粗蛋白 CP crude protein			粗脂肪 EE crude fat			蛋白沉积率 protein deposition rate	脂肪沉积率全鱼 fat deposition rate
		全鱼 whole fish	肌肉 muscle	肝胰脏 hepatopancreas	全鱼 whole fish	肌肉 muscle	肝胰脏 hepatopancreas	全鱼 whole fish	全鱼 whole fish
0	391.40	62.42 ± 3.53	88.64 ± 0.87	61.21 ± 0.73	30.15 ± 1.77 ^b	8.11 ± 0.12	29.74 ± 1.41	93.52 ± 2.08 ^c	162.28 ± 2.18 ^c
120	492.29	64.46 ± 3.94	87.86 ± 1.28	60.26 ± 1.50	31.45 ± 0.99 ^a	7.85 ± 0.36	28.77 ± 1.10	115.62 ± 1.58 ^a	199.64 ± 3.42 ^a
240	585.98	64.27 ± 2.97	89.27 ± 0.64	61.20 ± 2.69	31.22 ± 0.41 ^a	8.01 ± 0.88	28.49 ± 0.78	105.47 ± 1.79 ^b	187.54 ± 5.18 ^b
360	681.85	60.71 ± 0.69	87.63 ± 1.55	61.52 ± 1.45	31.23 ± 0.74 ^a	7.46 ± 0.48	29.00 ± 0.41	91.76 ± 3.47 ^c	179.54 ± 2.87 ^{bc}
480	776.46	61.32 ± 3.34	88.40 ± 1.59	61.85 ± 1.32	31.87 ± 0.54 ^a	8.10 ± 1.58	28.77 ± 1.23	89.32 ± 0.85 ^c	180.50 ± 1.47 ^{bc}

3 讨论

3.1 以团头鲂生长速度和饲料系数确定的 Fe 的需要量

本实验采用了半纯化饲料的配方方案,主要是尽量减少饲料原料中不同矿物质元素对实验中 Fe 不同水平的干扰,养殖实验则在池塘网箱中进行,可以更接近实际养殖环境,尽可能满足实验鱼类对实际生理、生长条件的需要。鱼类具有从水体中直接吸收可溶解的矿物质的能力,对本实验的实验元素 Fe 虽然有一定的影响,但由于本实验池塘水体中矿物质元素的含量均低,影响程度较小;同时,这也反映了实际养殖水域环境状况。

本实验结果表明,在基础饲料和实验条件相同的情况下,补充不同水平的 Fe 对团头鲂生长性能有显著性影响($P < 0.05$)。适当地补充 Fe 能促进团头鲂的生长。黄耀桐和刘永坚^[2]研究了草鱼 Fe 的适宜添加量为 900 mg/kg,他们认为草鱼不能够利用鱼粉和植物原料中的 Fe。佐藤秀一^[5]认为在鲤鱼中 Fe 的适宜添加量为 150 mg/kg,陈冬梅和刘维德^[3]的研究发现鲤鱼 Fe 的最适需要量为 141.7 mg/kg。魏万权^[6]研究了牙鲆(*Paralichthys olivaceus*) 幼鱼中适宜 Fe 的添加量是 50 mg/kg,此时饲料中 Fe 总含量是 373 mg/kg,当最大 Fe 添加量达到 140 mg/kg 时(饲料总 Fe 量 453 mg/kg)未产生毒性,只是牙鲆生长率降低。GATLIN^[7,14-15]研究发现饲料 Fe 添加量在 20 mg/kg 时斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*) 维持最适血液学指标,认为斑点叉尾鲷日粮中 Fe 的需求量在 30 mg/kg 左右。蒋蓉^[4]提出黄颡鱼饲料中 Fe 的适宜补充量是 80 mg/kg,此时相应的饲料中 Fe 总量为 840.53 mg/kg。说明不同鱼类对 Fe 的需求量有一定的差异。此外, PARK 和 SHIMIZU^[8,12-13]用添加 Fe 为 100 mg/kg,饲料中总 Fe 含量为 880 mg/kg 的饲料饲喂幼鳗,其生长未受到不利影响。

随着饲料中 Fe 含量的增加,团头鲂蛋白沉积率、脂肪沉积率呈先升后降的趋势,120 mg/kg 组的蛋白沉积率、脂肪沉积率显著高于其他 4 组($P < 0.05$)。由于铁对鱼体蛋白、脂肪沉积率影响的研究结果偏少,并未查阅到相关文献资料。

本实验中,依据饲料 Fe 补充量、Fe 总量与团

头鲂饲料系数、特定生长率之间的关系,得到实验条件下团头鲂最佳生产时的饲料中无机 Fe 补充量为 124.55 ~ 130.18 mg/kg,而对饲料中总 Fe 需要量为 493.26 ~ 497.76 mg/kg。实验期间团头鲂日均摄食量为 5.10 g/100g,因此,采用 100 g 体重每日需要量表示,团头鲂饲料中无机 Fe 补充量为 0.64 ~ 0.66 mg/100g,对饲料总 Fe 需要量为 2.52 ~ 2.54 mg/100g。

依据团头鲂鱼体蛋白质沉积率、脂肪沉积率与饲料中 Fe 含量的关系,得到团头鲂饲料无机 Fe 添加量为 126.34 ~ 128.44 mg/kg(饲料中总 Fe 实际含量为 494.69 ~ 496.37 mg/kg),饲料 Fe 日需要总量在 2.53 ~ 2.54 mg/100g。因此,团头鲂获得最大蛋白质和脂肪沉积率时,对饲料中补充的无机 Fe、总 Fe 需要量在上述以特定生长率、饲料系数确认的对饲料 Fe 需要量的区间内,建议采用上述依据团头鲂生长速度、饲料系数确认的对饲料 Fe 需要量作为团头鲂对饲料 Fe 的需要量。

3.2 团头鲂形体、骨骼生长与饲料 Fe 含量的关系

Fe 元素除了与鱼类的生长性能有关外,还与鱼类骨骼系统的生长和发育有关,对鱼类正常形体的维持有重要作用。如何确认饲料微量元素与鱼体生长的关系,一直没有很好的评价指标,本实验以肥满度、内脏指数、体重/体长、脊椎骨长/体长、脊椎骨重/体重、鳞片重/体重等指标来反映 Fe 对团头鲂形体和骨骼的影响。团头鲂随着饲料中 Fe 补充量的增加,脊椎骨长/体长、鳞片重/体重呈先升后降的趋势,体重/体长呈先降后升的趋势,内脏指数逐渐上升,其中 0 mg/kg 组的脊椎骨长/体长显著低于 120 mg/kg 组($P < 0.05$)。郭建林等^[9]研究表明随着饲料中补充 Fe 的增加,异育银鲫(*Carassius auratus*) 的体长生长大于体重生长。蒋蓉等^[4]在对黄颡鱼的研究中表明,Fe 的增加对鱼体肥满度增长有利。王友慧等^[10]研究表明 Fe 的增加可使体长/体重比增加。相关研究也证明缺 Fe 会导致鱼体生长迟缓、骨骼畸形和高死亡率。本实验结果表明缺 Fe 会导致骨骼生长迟缓,适度补充 Fe 元素可以促进鱼体骨骼的生长发育;鱼体脊椎骨长度增长与饲料补充的 Fe 含量显示出正相关关系。

4 结论

对体重为 50 g 的池塘养殖团头鲂,在平均日投饲量为 5.10 g/100g 体重时,饲料中无机 Fe 补充量为 124.55 ~ 130.18 mg/kg、饲料总 Fe 含量为 493.26 ~ 497.76 mg/kg 时生长最好,此时团头鲂对饲料总 Fe 日需要量为 2.52 ~ 2.54 mg/100g 体重。饲料 Fe 的补充,有利于团头鲂脊椎骨的生长。

参考文献:

- [1] 王辉亮,李荷芳,梁德海,等.黑鲟 Fe,Zn,Cu,Co 和 I 的营养需求[J].海洋科学集刊,1996(37):146-153.
WANG H L, LI H F, LIANG D H, et al. Requirements of Sparus Macrocephalus for Fe, Zn, Cu, Co and I [J]. Studia Marina Sinica, 1996(37):146-153.
- [2] 黄耀桐,刘永坚.草鱼种无机盐需要量之研究[J].水生生物学报,1989,13(2):134-151.
HUANG Y T, LIU Y J. Studies on the mineral requirement in juvenile grass carp [J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 1989, 13(2):134-151.
- [3] 陈冬梅,刘维德.铜,铁,锌,锰不同组合水平对鲤鱼生长的影响[J].饲料工业,2003,24(4):50-52.
CHEN D M, LIU W D. Cu, Fe, Zn, Mn level effect of different combinations on growth of carp [J]. Feed Industry Magazine, 2003, 24(4):50-52.
- [4] 蒋蓉.铜,铁,锰,锌对黄颡鱼生长和生理机能的影响[D].苏州:苏州大学,2006.
JIANG R. Effects of Cu, Fe, Mn, Zn on growth, physiological function of *Pelteobagrus fulvidraco* [D]. Suzhou: Soochow University, 2006.
- [5] 佐藤秀一.鱼类饲料的营养素添加剂—矿物质[J].国外水产,1993,18(2):35-39.
ZUO T X Y. Fish feed additive nutrients—mineral [J]. Foreign Fishery, 1993, 18(2):35-39.
- [6] 魏万权,李爱杰,李德尚,等.饲料中添加铁对牙鲆幼鱼生长的影响[J].水产学报,1999,23(s1):100-103.
WEI W Q, LI A J, LI D S, etc. Effect of dietary iron on growth of the juvenile flounder *olivaceus* [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(s1):100-103.
- [7] GATLIN III D M, WILSON R P. Characterization of iron deficiency and the dietary iron requirement of fingerling channel catfish [J]. Aquaculture, 1986, 52(3):191-198.
- [8] LEE J H, CHOI I Y, KIL I S, et al. Protective role of superoxide dismutases against ionizing radiation in yeast [J]. Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects, 2001, 1526(2):191-198.
- [9] 郭建林. Fe, Cu, Mn, Zn 对异育银鲫生长,生理机能及器官微量元素含量的影响[D].苏州:苏州大学,2007.
GUO J L. Effects of Fe, Cu, Mn, Zn on growth, physiological function, content of trace elements in organs of *Carassius auratus gibelio* [D]. Suzhou: Soochow University, 2007.
- [10] 王友慧,叶元土,林仕梅,等.嘉陵江 8 种鱼类不同组织微量元素含量分析[J].动物学杂志,2006,40(5):99-103.
WANG Y H, YE Y T, LIN S M, et al. Analysis of trace elements in different tissues of 8 kinds of rare fish in Jialing river [J]. Chinese Journal of Zoology, 2006, 40(5):99-103.
- [11] 刘福岭.食品物理与化学分析方法[M].北京:中国轻工业出版社,1987.
LIU F L. The method of food physical and chemical analysis [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1987.
- [12] SHIAU S Y, SU L W. Ferric citrate is half as effective as ferrous sulfate in meeting the iron requirement of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. The Journal of Nutrition, 2003, 133(2):483-488.
- [13] SAKAMOTO S, YONE Y. Iron deficiency symptoms of carp [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries (Japan), 1978, 44(10):1157-1160.
- [14] BAKER R T M, MARTIN P, DAVIES S J. Ingestion of sub-lethal levels of iron sulphate by African catfish affects growth and tissue lipid peroxidation [J]. Aquatic Toxicology, 1997, 40(1):51-61.
- [15] BJØRMEVIK M, MAGGE A. Effects of dietary iron supplementation on tissue iron concentration and haematology in Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernoering, 1993, 6(1):35-45.

Dietary Fe requirement of bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala*) juvenile

LIU Hanchao¹, YE Yuantu¹, CAI Chunfang¹, WU Tao¹, CHEN Kequan¹, PU Qinhua²

(1. College of Preclinical Medicine and Biological Science, Soochow University, Suzhou 215123, Jiangsu, China; 2. Zhejiang Yixing Industry Co, Ltd, Haiyan 314300, Zhejiang, China)

Abstract: In order to estimate the dietary Fe requirement of bluntnose black bream (*Megalobrama amblycephala*) juvenile, 5 semi-purified diets with different Fe supplementation of 0, 120, 240, 360, 480 mg/kg (measured values of Fe contents in 5 diets were 391.40, 492.29, 585.98, 681.85, 776.46 mg/kg, respectively) were formulated with FeSO₄ · H₂O as the Fe source. A total of 400 bluntnose black bream with an initial body weight of 50 g were randomly divided into 5 groups with 4 replicates per group and 20 bluntnose black bream per replicate. Each group of fish was fed the diet for 43 days. The results showed as follows: when the Fe supplement amount in the feed was 124.55 – 130.18 mg/kg (the actual Fe content was 493.26 – 497.76 mg/kg), bluntnose black bream has the best growth effect. In this experiment, the daily feed intake of bluntnose black bream was 5.10 g/100g body weight /d, so the added Fe content of the feed in the 0.64 – 0.66 mg/100g weight /d (the total Fe content of the feed was 2.52 – 2.54 mg/100g weight /d). The survival rate, viscera index, scale weight / body weight, body weight / body length, vertebral bone weight / body weight were not significantly affected by dietary Fe content ($P > 0.05$). But the 0 mg/kg group of vertebral bone length / body length was significantly lower than the 120 mg/kg group ($P < 0.05$). Supplement of Fe is conducive to the growth of the spine of bluntnose black bream.

Key words: bluntnose black bream; Fe; requirement; growth