

不同饲料蛋白水平下点带石斑鱼对鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物的利用能力

付闰吉, 纪文秀, 王岩*, 谢宁峡

(浙江大学动物科学学院, 浙江 杭州 310029)

摘要: 通过10周网箱养殖实验,评价了不同饲料蛋白水平下点带石斑鱼对1种鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物的利用能力。采用2×4实验设计,设2个饲料蛋白水平(490 g/kg和530 g/kg粗蛋白),每个饲料蛋白水平下设4个鱼粉水平,其中1组饲料中加入500 g/kg鱼粉(对照),另外3组饲料中分别加入139、278、416 g/kg的鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物(鸡肉粉:羽毛粉:血粉=65:20:15)替代对照饲料中30%、60%、90%的鱼粉。实验鱼初始体重为(33.4±0.1) g。实验期间,除恶劣天气外,每天分两次按饱食量投喂实验鱼。实验结果表明,饲料蛋白水平对摄食量、增重,饲料系数、氮储积效率、能量储积效率和鱼体组成无显著影响;饲料鱼粉含量显著影响增重,饲料系数、氮储积效率和能量储积效率,但对摄食量和鱼体组成无显著影响。在相同饲料蛋白水平下,特定增长率(SGR)随鱼粉含量降低而下降;当鱼粉含量相同时,摄食高蛋白饲料的鱼SGR略高于摄食低蛋白饲料的鱼。本实验结果显示,通过添加鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物可将点带石斑鱼饲料鱼粉含量降低到200 g/kg,在490~530 g/kg范围内提高饲料蛋白水平无助于降低点带石斑鱼饲料鱼粉含量。

关键词: 点带石斑鱼; 鸡肉粉; 羽毛粉; 血粉; 生长; 食物利用

中图分类号: S 963

文献标识码: A

鱼粉是鱼类配合饲料的优质蛋白源,其在饲料中含量因鱼种类不同而有所差异,肉食性鱼类饲料中鱼粉含量可高达300~600 g/kg^[1],约占世界鱼粉产量12%的鱼粉用于生产水产动物饲料^[2]。近年来,世界范围内水产养殖产业快速发展,对鱼粉的需求量日益增加,导致鱼粉供应紧张,价格攀升。降低饲料中鱼粉含量是降低饲料成本和摆脱水产养殖对鱼粉的依赖性,保证水产养殖产业可持续发展的关键环节。过去30多年来,国内外围绕利用廉价动、植物蛋白原料替代鱼饲料中鱼粉开展了大量研究^[3-20],但迄今为止开发无鱼粉肉食性鱼类饲料尚存在困难。

鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉为畜禽加工副产品,其蛋白质和能量含量较高且蛋白质消化率较高,可作为鱼类饲料蛋白源^[2]。目前已检验了多种鱼,如鲩状黄姑鱼^[1,17]、大鳞大马哈鱼^[3-4]、

虹鳟^[5,9]、金头雕^[6,8]、金赤雕^[7]、红拟石首鱼^[10]、杂交条纹鲈^[11,14]、石斑鱼^[12,18-19]、大菱鲆^[13]、胡子鲶^[15]和驼背鲈^[6]对鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉的利用能力。已发表的研究工作多数是检验在适宜饲料蛋白水平下利用单种畜禽动物蛋白原料替代饲料中鱼粉的水平。Guo等^[17]发现将鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉搭配可提高其对鲩状黄姑鱼饲料鱼粉的替代水平。Wang等^[20]发现提高饲料蛋白水平有助于降低鲩状黄姑鱼饲料鱼粉含量。这些研究结果表明,通过适度增加饲料蛋白水平和合理搭配使用多种畜禽动物蛋白原料可较大幅度降低鲩状黄姑鱼饲料中的鱼粉含量^[17,20],然而,该结论是否适用于其它鱼类尚未被广泛验证。

点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*)属鲈形目,鲈科,其生长速度快、肉质鲜美、市场价格较

收稿日期:2010-07-14

修回日期:2010-07-30

资助项目:国家自然科学基金项目(30771673);浙江省科技厅项目资助(2008C22055)

通讯作者:王岩, Tel/Fax:0571-86971891, E-mail:ywang@zju.edu.cn

· 续表 2 ·

原料(g/kg) feed ingredient	饲料 test feeds							
	HC	HM ₁	HM ₂	HM ₃	LC	LM ₁	LM ₂	LM ₃
矿物质预混物 ² mneral premix	10	10	10	10	10	10	10	10
鱼油 fish oil	37	37	37	38	37	37	37	38
干物质(%) ³ dry matter	87.6	89.0	89.7	88.3	88.4	88.1	87.8	88.4
粗蛋白(%) ³ crude protein	53.2	53.7	53.6	53.4	50.9	49.6	49.3	49.8
粗脂肪(%) ³ crude lipid	9.0	9.9	9.1	8.0	9.0	9.4	8.7	9.2
灰分(%) ³ ash	9.4	9.3	9.5	9.3	9.3	9.2	9.1	9.2
总能(MJ/kg) ³ gross energy	18.9	19.4	19.4	19.2	18.9	18.8	18.6	18.9
磷(%) ³ phosphorus	1.7	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.7

注:1. 维生素预混物(每 kg 饲料):维生素 A,16 000 IU;维生素 D₃,3 000 IU;维生素 E,200 mg;维生素 K₃,20 mg;维生素 B₁,13.4 mg;维生素 B₂,20 mg;维生素 B₆(比哆醇),30 mg;维生素 B₁₂,27 μg;D-泛酸钙,80 mg;氯化胆碱,1 200 mg;烟碱酸,130 mg;生物素 1 000 μg;叶酸,6.6 mg;维生素 C,200 mg;氯化胆碱,1 200 mg。

2. 矿物质预混物(mg·kg 饲料):Ca(H₂PO₄)₂·H₂O,400;乳酸钙,1 000;柠檬酸铁,100;MgSO₄·7H₂O,400;K₂HPO₄,700;NaH₂PO₄·H₂O,250;AlCl₃·6H₂O,20;ZnCl₂,60;CuSO₄·5H₂O,30;MnSO₄·4H₂O,20;KI,20。

μg³. 粗蛋白、粗脂肪、灰分和能量含量按风干样计,数据为两次测定结果的平均值($n=2$)。

Notes:1. Vitamin premix is a adjusted commercial product[RV 2118,DSM(China)Limited],and the vitamin premix provides per kg of feed: vitamin A,16 000 IU; vitamin D₃,3 000 IU; vitamin E,200 mg; vitamin K₃,20 mg; vitamin B₁,13.4 mg; vitamin B₂,20 mg; vitamin B₆,30 mg; vitamin B₁₂,27 μg; pantothenate,80 mg; niacinamide,130 mg; folic acid,6.6 mg; biotin,1 000 μg; inositol,270 mg; vitamin C,200 mg; choline chloride,1 200 mg.

2. Mineral mixture contained (mg/kg diet): Ca(H₂PO₄)₂·H₂O,400; calcium lactate,1 000; ferric citrate,100; MgSO₄·7H₂O,400; K₂HPO₄,700; NaH₂PO₄·H₂O,250; AlCl₃·6H₂O,20; ZnCl₂,60; CuSO₄·5H₂O,30; MnSO₄·4H₂O,20; KI,20.

3. Crude protein,lipid,ash and gross energy are expressed on a dry matter basis in air and given as means($n=2$).

表 3 实验饲料必需氨基酸组成
Tab.3 Essential amino acid profile of the test feeds

饲料 test feed	Met	Lys	Thr	Ile	His	Val	Leu	Arg	Phe	Tyr
HC	0.98	3.18	1.88	1.83	1.80	2.10	3.60	2.46	2.05	1.44
HM ₁	1.00	3.24	1.92	1.88	1.78	2.24	3.75	2.55	2.16	1.52
HM ₂	1.04	3.19	1.92	1.88	1.71	2.36	3.85	2.63	2.20	1.58
HM ₃	1.04	3.18	1.90	1.88	1.77	2.40	3.96	2.60	2.23	1.58
LC	0.98	2.80	1.68	1.62	1.58	1.80	3.08	2.22	1.72	1.27
LM ₁	0.92	2.82	1.68	1.67	1.56	1.92	3.24	2.26	1.83	1.27
LM ₂	0.86	2.82	1.72	1.68	1.58	2.08	3.41	2.38	1.94	1.28
LM ₃	0.85	2.90	1.73	1.70	1.60	2.13	3.57	2.45	2.02	1.32

注:氨基酸含量按风干样计,数据为两次测定结果的平均值($n=2$)。

Notes:Amino acids are expressed on a dry matter basis in air and given as means($n=2$).

1.3 饲养实验

饲养实验于 2008 年 8 月至 10 月在广东省汕头市南澳县深澳湾进行,所用点带石斑鱼购自当地海水鱼育苗场。实验前将鱼在传统养殖网箱(长 2.5 m,宽 2.5 m,深 2.0 m)中暂养 2 个月,暂养期间逐渐驯化鱼从摄食冰鲜杂鱼改为摄食配合饲料。实验前 2 周,挑选规格整齐的 1 150 尾鱼,驯养在 35 个实验网箱(长 1 m,宽 1 m,深 1.5 m)内,每个网箱放养 30 尾鱼。驯养期间每天投喂 2 次。实验开始时先将驯养的鱼停食 48 h,然后每次取 30 尾鱼,成群称重后分别随机放入 24 个实

验网箱内。每组饲料设 3 个重复。实验鱼体重为(33.4±0.1)g(平均值±标准误, $n=24$)。从剩余驯养鱼中随机取 3 组鱼(3 尾/组)单尾称重并测量体长,解剖称肝重,然后保存在-20℃冰箱内作为实验初始样品。

实验期间,除高温天气或养殖海区出现大的风浪外,每天上午 8:00 和下午 14:00 投喂实验饲料,每次喂鱼按少量多遍的原则,直至观察不到鱼摄食活动停止投喂。实验期间记录死鱼数量及重量,每天测量网箱内水温和盐度(实验期间水温变化范围为 24~30℃,盐度

变化为24~32)。实验结束后先停食48 h,将每个实验网箱的鱼捕出并群体称重,从中随机取3尾鱼,单尾称重、测量体长和肝重后在-20℃下保存。

1.4 样品分析

所取实验鱼样品化冻后在120℃下蒸煮20 min,在105℃下烘24 h后磨成细粉(过40目筛)。饲料原料、实验饲料和实验鱼样品的水分、粗蛋白(Kjeldahl法)、粗脂肪(乙醚抽提)和磷含量按AOAC(1995)方法分析^[18]。在550℃下灼烧样品至恒重,根据灼烧前后样品重量确定灰分含量。用弹式热量计(Parr 1281,美国)测定样品总能,用氨基酸自动分析仪(Sykam 433,德国)测定氨基酸。

1.5 数据处理

摄食率(简称FI)、鱼体增重(简称WG)、特定生长率(简称SGR)、饲料系数(简称FCR)、氮储积效率(简称NRE)、能量储积效率(简称ERE)、磷储积效率(简称PRE)、肥满度指数(简称CF)、肝重指数(简称HSI)、氮废物排放量(简称TNW)、磷废物排放量(简称TPW)和单位鱼产量饲料鱼粉消耗指数(简称RCP)分别按下式计算:

$$FI(\%) = 100 \times I / [(W_t + W_0 + W_d) / 2] / t$$

$$WG(g) = W_t / N_t - W_0 / N_0$$

$$SGR(\%/d) = 100 \times [\ln(W_t / N_t) - \ln(W_0 / N_0)] / t$$

$$FCR = I / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$NRE(\%) = 100 \times (W_t \times C_{Nt} - W_0 \times C_{N0} + W_d \times C_{N0}) / (I \times C_{Nf})$$

$$ERE(\%) = 100 \times (W_t \times C_{Et} - W_0 \times C_{E0} + W_d \times C_{E0}) / (I \times C_{Ef})$$

$$PRE(\%) = 100 \times (W_t \times C_{Pt} - W_0 \times C_{P0} + W_d \times C_{P0}) / (I \times C_{Pf})$$

$$CF(g/cm) = 100 \times W_s / L_s^3$$

$$HSI(\%) = 100 \times W_l / W_s$$

$$TNW[gN/kg fish gain] = 1000 \times (I \times C_{Nf} / 100) \times (1 - NRE/100) / [(W_t - W_0 + W_d) \times 6.25]$$

$$TPW[gP/kg fish gain] = 1000 \times (I \times C_{Pf} / 100) \times (1 - PRE/100) / (W_t - W_0 + W_d)$$

$$RCP = WG \times FCR \times FL / (W_t / N_t \times DMF_t - W_0 / N_0 \times DMF_0)$$

式中, $I(g)$ 表示鱼摄食饲料量; $W_t(g)$ 和 $W_0(g)$ 分别表示实验开始和结束时网箱内鱼总重量; $W_d(g)$ 表示死鱼总重量; $t(d)$ 表示实验时间; N_t 和 N_0 分别表示实验开始和结束时网箱内鱼尾数; $C_{Nt}(\%)$ 和 $C_{N0}(\%)$ 分别表示实验开始和结束时全鱼氮含量; $C_{Nf}(\%)$ 表示饲料氮含量; $C_{Et}(MJ/kg)$ 和 $C_{E0}(MJ/kg)$ 分别表示实验开始和结束时全鱼能量含量; $C_{Ef}(MJ/kg)$ 表示饲料能量含量; $C_{Pt}(\%)$ 和 $C_{P0}(\%)$ 分别表示实验开始和结束时全鱼磷含量; $C_{Pf}(\%)$ 表示饲料磷含量; $W_s(g)$ 和 $L_s(cm)$ 分别表示实验结束时样品鱼体重和体长, $W_l(g)$ 表示样品鱼肝重; $DMF_t(\%)$ 和 $DMF_0(\%)$ 分别表示实验开始和结束时全鱼干物质含量。

用针对双因素实验设计的方差分析方法检验饲料处理对WG、SGR、FI、FCR、NRE、ERE、PRE、CF、HSI、全鱼组成(水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分)、TNW、TPW和RCP的影响,用Duncan氏方法进一步检验饲料组间差异。百分数表示的数据方差分析前先经过反正弦转换。取 $P < 0.05$ 为差异显著性水平。

2 结果

2.1 摄食、生长和饲料利用效率

本实验中,除投喂饲料HM₃的一口网箱意外破损导致部分鱼逃逸外,其余各处理组实验鱼平均成活率超过86%,不同饲料处理间成活率无显著差异($P > 0.05$,表4)。饲料蛋白水平对FI、WG、FCR、NRE和ERE无显著影响($P > 0.05$);饲料鱼粉含量显著影响WG、FCR、NRE和ERE($P < 0.05$),但对FI无显著影响($P > 0.05$,表4和表5)。在相同饲料蛋白水平下,随饲料鱼粉含量下降,FBW和WG呈下降趋势;在530 g/kg饲料蛋白水平下,摄食饲料HM₃的鱼FBW和WG显著低于摄食饲料HC的鱼($P < 0.05$),但在490 g/kg蛋白水平下,摄食不同鱼粉含量的饲料的鱼FBW和WG无显著差异($P > 0.05$)。从图1可见,在相同饲料蛋白水平下,SGR均随鱼粉含量降低而下降,但SGR与鱼粉含量不相关(530 g/kg蛋白水平下, $r^2 = 0.43$, $P > 0.05$;490 g/kg蛋白水平下, $r^2 = 0.31$, $P > 0.05$)。530 g/kg蛋白水平下SGR随鱼粉含量下降较490 g/kg蛋白水平下略快。

表 4 点带石斑鱼存活、摄食和生长

Tab. 4 Survival, feed intake and growth of malabar grouper fed the test feeds					mean \pm SE
饲料 test feed	初重 (g) initial body weight	末重 (g) final body weight	增重 (g) weight gain	摄食率 (%) feed intake	存活率 (%) survival rate
HC	32.5 \pm 0.2	123.1 \pm 4.9 ^c	90.6 \pm 5.1 ^c	1.59 \pm 0.03	89 \pm 6
HM ₁	33.0 \pm 0.3	114.2 \pm 3.2 ^{abc}	81.1 \pm 3.3 ^{bc}	1.56 \pm 0.05	90 \pm 8
HM ₂	33.4 \pm 0.5	112.0 \pm 5.8 ^{abc}	78.6 \pm 5.4 ^{bc}	1.52 \pm 0.05	96 \pm 3
HM ₃	33.7 \pm 0.3	96.39 \pm 1.3 ^a	62.7 \pm 1.5 ^a	1.52 \pm 0.05	67 \pm 12
LC	34.0 \pm 0.3	113.8 \pm 4.2 ^{abc}	79.8 \pm 4.1 ^{bc}	1.64 \pm 0.05	96 \pm 2
LM ₁	33.4 \pm 0.6	110.3 \pm 2.0 ^{abc}	76.9 \pm 1.6 ^{bc}	1.53 \pm 0.03	91 \pm 9
LM ₂	33.4 \pm 0.7	107.9 \pm 8.0 ^{ab}	74.5 \pm 7.5 ^{ab}	1.55 \pm 0.02	86 \pm 7
LM ₃	33.4 \pm 0.4	101.7 \pm 2.5 ^{ab}	68.3 \pm 2.1 ^{ab}	1.58 \pm 0.02	89 \pm 10

注:表中配合饲料间字母代表 Duncan 氏多重比较结果,字母不同者表示彼此差异显著($P < 0.05$)。

Notes: The superscripts present results of Duncan's test among feed treatments. The values within same column with different superscripts are statistically different at $P < 0.05$.

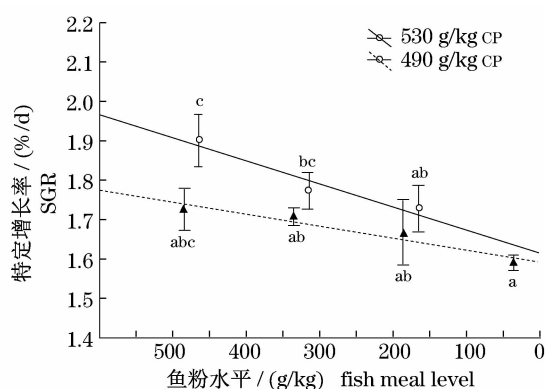


图 1 不同饲料蛋白含量下鱼粉水平对点带石斑鱼特定生长率的影响(平均值 \pm 标准误)图中字母代表 Duncan 氏多重比较结果,字母不同者表示彼此差异显著($P < 0.05$)。

Fig. 1 Effect of fish meal level on specific growth rate (SGR) of malabar group at different dietary protein level (mean \pm SE)

The superscripts present results of Duncan's test among feed treatments. The values within same column with different superscripts are statistically different at $P < 0.05$.

从表 5 可见,在 530 g/kg 饲料蛋白水平下,摄食饲料 HM₃ 的鱼 FCR 显著高于摄食其它饲料的鱼($P < 0.05$),但在 490 g/kg 蛋白水平下,不同饲料处理间 FCR 无显著差异($P > 0.05$)。在相同饲料蛋白水平下,NRE 和 PRE 先随饲料鱼粉含量降低略上升,然后下降。在 530 g/kg 饲料蛋白水平下,摄食饲料 HM₃ 的鱼 NRE 低于摄食饲料 HM₂ 的鱼($P < 0.05$),ERE 和 PRE 低于摄食饲料 HM₁ 和 HM₂ 的鱼($P < 0.05$);在 490 g/kg 蛋白水平下,不同饲料处理间 NRE、ERE 和 PRE 无显著差异($P > 0.05$)。

2.2 肥满度指数、肝重指数和鱼体组成

从表 6 可见,实验结束时,摄食不同蛋白和鱼粉水平的饲料的鱼 CF 和 HSI 无显著差异($P > 0.05$)。饲料蛋白水平和鱼粉含量对鱼体蛋白含量无显著影响($P > 0.05$),但二者对鱼体脂肪、灰分和能量含量产生影响($P < 0.05$)。在 530 g/kg 饲料蛋白水平下,摄食饲料 HM₃ 的鱼脂肪和能量

表 5 点带石斑鱼饲料利用效率

Tab. 5 Feed utilization efficiency of malabar grouper fed the test feeds					mean \pm SE
饲料 test feed	饲料系数 feed conversion ratio	氮储积效率 (%) nitrogen retention efficiency	能量储积效率 (%) energy retention efficiency	磷储积效率 (%) phosphorus retention efficiency	
HC	1.01 \pm 0.05 ^a	27.14 \pm 1.89 ^{ab}	30.99 \pm 1.46 ^b	50.88 \pm 4.99 ^{bc}	
HM ₁	1.00 \pm 0.01 ^a	27.65 \pm 0.03 ^{ab}	30.15 \pm 1.01 ^b	52.65 \pm 8.50 ^c	
HM ₂	1.00 \pm 0.02 ^a	28.20 \pm 1.47 ^b	32.14 \pm 0.77 ^b	37.99 \pm 2.86 ^{ab}	
HM ₃	1.24 \pm 0.13 ^b	22.49 \pm 2.25 ^a	23.70 \pm 2.23 ^a	37.65 \pm 2.43 ^a	
LC	1.08 \pm 0.04 ^{ab}	26.05 \pm 2.85 ^{ab}	29.73 \pm 1.15 ^b	39.20 \pm 4.05 ^{abc}	
LM ₁	1.03 \pm 0.03 ^a	28.91 \pm 0.49 ^b	31.31 \pm 0.90 ^b	38.20 \pm 2.83 ^{ab}	
LM ₂	1.09 \pm 0.06 ^{ab}	27.26 \pm 2.23 ^{ab}	28.27 \pm 1.42 ^{ab}	44.21 \pm 6.24 ^a	
LM ₃	1.17 \pm 0.08 ^{ab}	24.57 \pm 1.38 ^{ab}	27.55 \pm 2.23 ^{ab}	38.98 \pm 1.27 ^a	

注:表中配合饲料间字母代表 Duncan 氏多重比较结果,字母不同者表示彼此差异显著($P < 0.05$)。

Notes: The superscripts present results of Duncan's test among feed treatments. The values within same column with different superscripts are statistically different at $P < 0.05$.

表6 点带石斑鱼条件指数、肝重指数和全鱼组成
Tab. 6 Condition factor, hepatosomatic index and proximate composition (wet weight basis) in whole body of malabar grouper

饲料 test feed	条件指数(g/cm) condition factor	肝指数(%) hepatosomatic index	水分(%) moisture	粗蛋白(%) crude protein	粗脂肪(%) crude lipid	灰分(%) ash	能量(MJ/kg) energy
实验开始时 initial	1.04 ± 0.06	1.94 ± 0.07	75.0 ± 0.2	17.7 ± 0.1	1.4 ± 0.5	5.7 ± 0.1	4.60 ± 0.2
实验结束时 final							
HC	2.59 ± 0.28	2.94 ± 0.22	71.7 ± 0.4 ^{ab}	16.9 ± 0.3	6.2 ± 0.3 ^{bc}	4.7 ± 0.0 ^{abc}	6.46 ± 0.1 ^b
HM ₁	2.73 ± 0.35	2.45 ± 0.57	72.0 ± 0.5 ^{ab}	16.9 ± 0.2	5.9 ± 0.4 ^{abc}	4.7 ± 0.1 ^{abc}	6.29 ± 0.2 ^{ab}
HM ₂	2.48 ± 0.07	2.99 ± 0.17	71.3 ± 0.2 ^{ab}	17.4 ± 0.2	6.5 ± 0.1 ^{bc}	4.7 ± 0.1 ^{abc}	6.58 ± 0.1 ^b
HM ₃	2.24 ± 0.04	2.71 ± 0.18	72.6 ± 0.1 ^b	16.7 ± 0.1	5.2 ± 0.1 ^a	4.9 ± 0.1 ^{bc}	5.99 ± 0.0 ^a
LC	2.79 ± 0.50	2.85 ± 0.31	71.3 ± 0.3 ^{ab}	16.6 ± 0.2	6.7 ± 0.1 ^{bc}	4.7 ± 0.0 ^{ab}	6.56 ± 0.1 ^b
LM ₁	2.34 ± 0.01	2.62 ± 0.26	71.1 ± 0.6 ^a	17.0 ± 0.3	6.9 ± 0.3 ^c	4.8 ± 0.1 ^{abc}	6.64 ± 0.2 ^b
LM ₂	2.19 ± 0.11	2.58 ± 0.20	71.9 ± 0.7 ^{ab}	16.8 ± 0.3	5.8 ± 0.5 ^{ab}	4.9 ± 0.0 ^c	6.24 ± 0.2 ^{ab}
LM ₃	2.33 ± 0.14	3.06 ± 0.46	71.9 ± 0.4 ^{ab}	16.8 ± 0.2	6.2 ± 0.3 ^{bc}	4.6 ± 0.1 ^a	6.38 ± 0.1 ^{ab}

注:表中配合饲料间字母代表 Duncan 氏多重比较结果,字母不同者表示彼此差异显著($P < 0.05$)。

Notes: The superscripts present results of Duncan's test among feed treatments. The values within same column with different superscripts are statistically different at $P < 0.05$.

含量低于摄食饲料 HC 和 HM₂ 的鱼 ($P < 0.05$); 在 490 g/kg 蛋白水平下,摄食饲料 LM₂ 的鱼体脂肪含量低于摄食饲料 LM₁ 的鱼 ($P < 0.05$)。

2.3 饲料氮、磷废物量和单位鱼产量饲料鱼粉消耗指数

在 530 g/kg 饲料蛋白水平下,摄食饲料 HM₃ 的鱼 TNW 高于其它处理 ($P < 0.05$) (图 2); 在 490 g/kg 蛋白水平下,改变饲料鱼粉含量对 TNW 无显著影响 ($P > 0.05$) (图 2)。在 530 g/kg 饲料蛋白水平下,TPW 随饲料鱼粉含量降低呈上升趋势,摄食饲料 HM₃ 的鱼 TPW 高于其它处理 ($P < 0.05$); 在 490 g/kg 蛋白水平下,摄食不同鱼粉含量饲料的鱼 TPW 差异不显著 ($P > 0.05$)。在相同饲料蛋白水平下,RCP 随鱼粉含量的下降而降低。投喂饲料 HC、HM₁、HM₂ 时 RCP 分别为 (1.7 ± 0.1)、(1.2 ± 0.0)、(0.7 ± 0.0); 投喂 LC、LM₁、LM₂ 和 LM₃ 时 RCP 分别为 (1.8 ± 0.1)、(1.2 ± 0.0)、(0.7 ± 0.1) 和 (0.2 ± 0.0)。当鱼粉含量降至 50 ~ 200 g/kg 时,RCP < 1。

3 讨论

3.1 利用鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物替代点带石斑鱼饲料中鱼粉的潜力

本实验期间投喂饲料 HM₃ 的一口网箱内鱼意外逃逸,导致该处理组存活率偏低 (67%),分析 SGR 与饲料鱼粉水平关系时未采用此组数据。前期研究报道体重为 51 g 的点带石斑鱼 SGR 为 1.80%/d^[19]。本实验中体重为 33 g 的点带石斑鱼 SGR 达 1.90%/d,表明实验鱼生长正常。

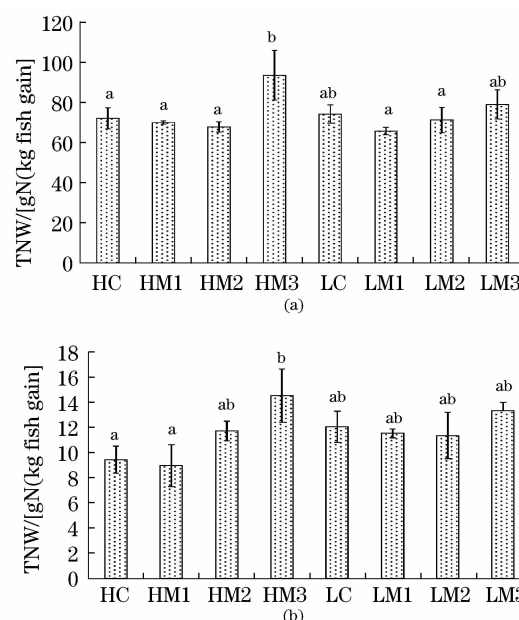


图2 养殖点带石斑鱼饲料氮和磷废物输出量 (平均值 ± 标准误): (a) 氮废物输出量; (b) 磷废物输出量

图中字母代表 Duncan 氏多重比较结果,字母不同者表示彼此差异显著 ($P < 0.05$)。

Fig. 2 Dietary nitrogen and phosphorus wastes output of malabar grouper (mean ± SE): (a) nitrogen wastes output; (b) phosphorus wastes output

The superscripts present results of Duncan's test, and the values with different superscripts are significantly different at $P < 0.05$.

研究表明,单独使用鸡肉粉、肉骨粉作为鱼粉替代物可将鲷状黄姑鱼饲料的鱼粉水平降低到 175 和 245 g/kg^[1],使用鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉混合物可将鲷状黄姑鱼饲料鱼粉水平降低到 70 g/

kg^[17]。Li 等^[18]指出通过分别添加鸡肉粉、肉骨粉可将点带石斑鱼饲料鱼粉含量降到 250 g/kg; Wang 等^[19]指出添加鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉混合物可将点带石斑鱼饲料鱼粉含量降到 250 g/kg。本实验中,在 490 ~ 530 g/kg 饲料蛋白水平下通过添加鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物将点带石斑鱼饲料鱼粉含量降至 200 g/kg 对鱼生长和食物利用效率未产生明显不良影响,表明 200 g/kg 鱼粉含量足以保障点带石斑鱼正常生长。

3.2 饲料氨基酸组成和蛋白水平对点带石斑鱼饲料鱼粉含量的影响

在水产饲料常用的几种畜禽蛋白原料中,鸡肉粉必需氨基酸组成相对平衡;肉骨粉缺乏 Iso 和 Met,但 His 含量相对较高;羽毛粉缺乏 His、Lys、Met 和 Try,但 Arg、Iso 和 Leu 含量相对较高;血粉缺乏 Iso 和 Met,但富含 Tyr 和 Phe, Lys 含量也相对较高^[2]。因此,合理搭配使用鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉可解决单独使用其中 1 种原料时产生的氨基酸组成不平衡问题,从而提高其替代饲料中鱼粉的水平^[17]。本实验中,利用鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物替代鱼粉未导致饲料必需氨基酸组成发生显著变化,使用鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物与早期研究中使用鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉混合物^[19]对点带石斑鱼饲料中鱼粉的替代水平接近,表明从鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉组合中去除肉骨粉不会导致混合物的营养价值明显下降。

Wang 等^[20]发现鳊状黄姑鱼饲料鱼粉需求受饲料蛋白水平影响,适度提高饲料蛋白水平可降低饲料鱼粉水平。本实验中,将饲料蛋白水平从 490 g/kg 增加到 530 g/kg,点带石斑鱼 WG 和 SGR 略有增加,但 SGR 随鱼粉含量降低而下降的幅度在 530 g/kg 饲料蛋白水平下比在 490 g/kg 蛋白水平下更大。这一实验结果与对鳊状黄姑鱼的研究结论^[20]不一致,意味着在 490 ~ 530 g/kg 范围内提高饲料蛋白水平无助于降低点带石斑鱼饲料鱼粉含量。研究发现,利用鸡肉粉、肉骨粉或鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉混合物部分替代饲料中鱼粉后鳊状黄姑鱼生长速度有时反而超过摄食对照饲料的鱼^[17,20];当使用鸡肉粉、肉骨粉或鸡肉粉、肉骨粉、羽毛粉和血粉混合物替代点带石斑鱼饲料中鱼粉后,鱼生长速度往往随饲料鱼粉含量下降而减慢^[18-19]。这一现象反映出点带石

斑鱼对饲料鱼粉的需求高于鳊状黄姑鱼。

研究表明,点带石斑鱼适宜饲料蛋白水平为 500 g/kg 粗蛋白^[21]。本实验中,当饲料鱼粉含量相同时,将饲料蛋白水平从 490 g/kg 提高到 530 g/kg,FI 无显著变化,但 WG 和 NRE 升高,表明网箱养殖点带石斑鱼适宜饲料蛋白水平应不低于 530 g/kg。因此,本实验中提高饲料蛋白水平未有助于显著降低点带石斑鱼饲料鱼粉含量可能与所设的 2 组饲料蛋白水平均低于点带石斑鱼饲料蛋白需求有关。点带石斑鱼和鳊状黄姑鱼均属肉食性鱼类,但二者摄食习性不同。点带石斑鱼属“慢食型”鱼类,平时栖息在网箱中、下层,通常在水面下 0.5 m 处摄食投入的饲料,摄食水层随摄食时间延长(饱食程度增加)逐渐下移;鳊状黄姑鱼属“快食型”鱼类,平时在网箱中、上层活动,通常在水表层激烈争夺投入的饲料。相比之下,点带石斑鱼饲料蛋白需求^[21]和饲料鱼粉需求^[18-19]高于鳊状黄姑鱼蛋白需求^[22]和饲料鱼粉需求^[17];点带石斑鱼摄食冰鲜杂鱼时生长率高于摄食配合饲料^[18],而鳊状黄姑鱼摄食配合饲料时生长率高于摄食冰鲜杂鱼^[1]。上述差别是否与二者摄食行为的差异有关,有待进一步实验研究。

3.3 利用鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物替代饲料鱼粉对饲料鱼粉效率和氮、磷排放的影响

本实验结果表明,养殖点带石斑鱼 RCP 随鱼粉含量下降而降低,但饲料氮、磷废物排放量随饲料鱼粉水平变化而变化。当饲料鱼粉含量为 500 g/kg 时,RCP 为 1.7 ~ 1.8, TWN 为 71.9 ~ 74.1, TPN 为 9.4 ~ 12.0,这时网箱养殖 1 kg 点带石斑鱼需消耗 1.7 ~ 1.8 kg 鱼粉,同时向养殖海域排放 71.9 ~ 74.1 g 氮和 9.4 ~ 12.0 g 磷;当饲料鱼粉水平降低至 200 g/kg 时,RCP 为 0.7, TWN 为 67.8 ~ 71.2, TPN 为 11.3 ~ 11.7,这时每 1 kg 鱼产量需要消耗 0.7 kg 鱼粉,同时向养殖海域排放 67.8 ~ 71.2 g 氮,11.3 ~ 11.7 g 磷。可见,利用鸡肉粉、羽毛粉和血粉混合物替代饲料中鱼粉可显著提高点带石斑鱼网箱养殖中的饲料鱼粉生产效率。用畜禽蛋白原料替代饲料鱼粉后对饲料氮、磷废物排放量的影响,是今后鱼类廉价动物蛋白源开发利用研究中一个值得重视的问题。

参考文献:

- [1] Wang Y, Guo J, Li K, *et al.* Replacement of fish meal with rendered animal ingredients in feeds for

- cuneate drum, *Nibea miichthioides* [J]. Aquaculture, 2006, 252: 421–428.
- [2] Hertrampf J W, Piedad-Pascual F. Handbook on ingredients for aquaculture feeds [M]. Netherlands, Dordrecht: Kluwer academic publishers, 2000.
- [3] Fowler L G. Feather meal as a dietary protein source during parr-smolt transformation in fall *Chinook salmon* [J]. Aquaculture, 1990, 89: 301–314.
- [4] Fowler L G. Poultry by-product meal as a dietary protein source in fall *Chinook salmon* diets [J]. Aquaculture, 1991, 99: 309–321.
- [5] Steffens W. Replacing fish meal with poultry by-product meal in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture, 1994, 124: 27–34.
- [6] Robaina L, Moyano F J, Izquierdo M S, et al. Corn gluten and meat and bone meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): Nutritional and histological implications [J]. Aquaculture, 1997, 157: 347–359.
- [7] Quartararo N, Allan G L, Bell J D. Replacement of fish meal in diets for Australian snapper, *Pagrus auratus* [J]. Aquaculture, 1998, 166: 279–295.
- [8] Nengas I, Alexia M N, Davies S J. High inclusion levels of poultry meals and related by products in diets for gilthead seabream *Sparus aurata* L. [J]. Aquaculture, 1999, 179: 13–23.
- [9] Bureau D P, Harris A M, Bevan D J, et al. Feather meals and meat and bone meals from different origins as protein sources in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets [J]. Aquaculture, 2000, 181: 281–291.
- [10] Kureshy N, Davis D A, Arnold C R. Partial replacement of fish meal with meat-and-bone meal, flash-dried poultry by-product meal in practical diets for juvenile red drum [J]. North American Journal of Aquaculture, 2000, 62: 266–272.
- [11] Webster C D, Thompson K R, Morgan A M, et al. Use of hempseed meal, poultry by-product meal, and canola meal in practical diets without fish meal for sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) [J]. Aquaculture, 2000, 188: 299–309.
- [12] Millamena O M. Replacement of fish meal by animal by-product meals in a practical diet for grow-out culture of grouper *Epinephelus coioides* [J]. Aquaculture, 2002, 204: 75–84.
- [13] Yigit M, Erdem M, Koshio S, et al. Substituting fish meal with poultry by-product meal in diets for black Sea turbot *Psetta maeotica* [J]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12: 340–347.
- [14] Rawles S D, Riche M, Gaylord T G, et al. Evaluation of poultry by-product meal in commercial diets for hybrid striped bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) in recirculated tank production [J]. Aquaculture, 2006, 259: 377–389.
- [15] Goda A M, El-Haroun E R, Kabir Chowdhury M A. Effect of totally or partially replacing fish meal by alternative protein sources on growth of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) reared in concrete tanks [J]. Aquaculture Research, 2007, 38: 279–287.
- [16] Shapawi R, Ng W K, Mustafa S. Replacement of fish meal with poultry by-product meal in diets formulated for the humpback grouper, *Cromileptes altivelis* [J]. Aquaculture, 2007, 273: 118–126.
- [17] Guo J L, Wang Y, Bureau D P. Inclusion of rendered animal ingredients and fish meal substitutes in practical diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides* (Chu, Lo et Wu) [J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13: 81–87.
- [18] Li K, Wang Y, Zheng Z X, et al. Replacing fish meal with rendered animal protein ingredients in diets for malabar grouper, *Epinephelus malabaricus*, reared in net pens [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 2009, 40: 67–75.
- [19] Wang Y, Li K, Han H, et al. Potential of using a blend of rendered animal protein ingredients to replace fish meal in practical diets for malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. Aquaculture, 2008, 281: 113–117.
- [20] Wang Y, Kong L, Li C, et al. The potential of land animal protein ingredients to replace fish meal in diets for cuneate drum, *Nibea miichthioides*, is affected by dietary protein level [J]. Aqua Nutrition, 2010, 16: 37–43.
- [21] Shiau S Y, Lan C W. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. Aquaculture, 1996, 145: 259–266.
- [22] Wang Y, Guo J, Li K, et al. Effects of dietary protein and energy levels on growth, feed utilization and body composition of cuneate drum, *Nibea miichthioides* [J]. Aquaculture, 2006, 252: 476–483.

The capacity of malabar grouper in utilizing a blend of poultry by-product meal, feather meal and blood meal as fish meal substitutes at different dietary protein levels

FU Run-ji, JI Wen-xiu, WANG Yan*, XIE Ning-xia

(College of Animal Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: A 10-week net pen experiment was carried out to examine the capacity of malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*) in utilizing a blend of poultry by-product meal, feather meal and blood meal at different dietary protein levels. A 2 × 4 experimental design, including two dietary protein levels (490 and 530 g/kg crude protein) and four fish meal level (500, 350, 200, 50 g/kg), was established. At each dietary protein level, one feed was formulated to contain 500 g/kg herring meal as control, and in the remaining three feeds, the blend that was formulated to contain 65% poultry by product meal, 20% feather meal and 15% blood meal was incorporated at 139, 278 or 416 g/kg to replace 30%, 60% or 90% of the fish meal. Initial body weight of the experimental fish was (33.4 ± 0.1) g per fish. During the experiment, fish were fed to satiation twice daily except the days during which extremely high temperature or heavy waves occurred. The results of the experiment indicated that dietary protein level did not significantly affect feed intake (FI), weight gain (WG), feed conversion ratio (FCR), nitrogen retention efficiency (NRE), energy retention efficiency (ERE) and whole body composition, while dietary fish meal content had significant effect on WG, FCR, NRE and ERE. At the same dietary protein level, specific growth rate (SGR) decreased with the decrease of fish meal level. At the same dietary fish meal level, fish fed the feeds containing 530 g/kg crude protein had slightly high SGR relative to fish fed the feeds containing 490 g/kg crude protein. Results of the present study reveal fish meal level in diets for malabar grouper can be reduced to 200 g/kg by incorporating the blend of poultry by-product meal, feather meal and blood meal, and no benefit was found in reducing dietary fish meal level for malabar grouper by elevating dietary protein level from 490 to 530 g/kg crude protein.

Key words: malabar grouper (*Epinephelus malabaricus*); poultry by-product; feather meal; blood meal; growth; feed utilization

Corresponding author: WANG Yan. E-mail: ywang@zju.edu.cn