

玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆摄食、生长及体组成的影响

刘兴旺^{1,2}, 麦康森¹, 艾庆辉^{1*}, 刘付志国¹, 张彦娇¹

(1. 中国海洋大学教育部海水养殖重点实验室, 山东 青岛 266003;

2. 广东恒兴饲料实业股份有限公司, 广东 湛江 524094)

摘要: 以鱼粉和玉米蛋白粉作蛋白源, 配制6种等氮等能的饲料。其中5种饲料(C0、C12、C25、C38和C50.5)分别含有0%、12%、25%、38%和50.5%的玉米蛋白粉以替代相应的鱼粉蛋白。其余1种饲料(C50.5_{CAA})是在饲料C50.5基础上补充1.8%晶体氨基酸混合物(L-lysine:1.2%, L-arg:0.6%)。经7周的生长试验, 结果表明随着饲料中玉米蛋白粉替代水平的升高, 大菱鲆(12.51±0.02)g的摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率均显著下降。饲料中玉米蛋白粉含量为50.5%时, 大菱鲆摄食率显著低于其他处理组($P < 0.05$)。当饲料中玉米蛋白粉含量超过25%时, 大菱鲆特定生长率显著低于对照组(C0)($P < 0.05$)。当饲料中玉米蛋白粉含量超过38%时, 饲料效率和蛋白质效率与对照组(C0)相比显著下降($P < 0.05$)。C50.5_{CAA}组的摄食率、特定生长率和蛋白质效率与C50.5组相比都有升高的趋势, 但差异不显著。而饲料中添加晶体氨基酸显著提高了大菱鲆的饲料效率($P < 0.05$)。饲料中玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆鱼体水分、粗蛋白、粗脂肪及灰分含量均无显著影响。饲料中玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆血清甘油三酯和尿素氮含量也不产生显著影响, 然而, 随着饲料中玉米蛋白粉含量升高, 血清总胆固醇含量显著下降($P < 0.05$)。

关键词: 大菱鲆; 玉米蛋白粉; 鱼粉; 生长

中图分类号: S 963.16

文献标志码: A

近年来, 鱼粉价格的不断上涨使养殖成本上升, 严重制约了水产养殖业的发展, 通过开发新型饲料蛋白源节约鱼粉的用量成为亟待解决的重大问题。玉米蛋白粉(corn gluten meal)是玉米加工淀粉的副产品, 由于具有蛋白含量高、富含维生素B和E、不含抗营养因子等诸多优点^[1], 其作为鱼粉的替代蛋白源在五条鲷(*Seriola quinqueradiata*)^[2]、齿舌鲈(*Dicentrarchus labrax*)^[3]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)^[4]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[5]、金头鲷(*Sparus aurata*)^[6-7]和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[8]等水产动物中进行了较多研究。这些研究发现玉米蛋白粉能够替代30%~70%左右的鱼粉蛋白而对水产动物的生长无不良影响。在大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)的研究中发

现, 补充晶体氨基酸的情况下, 玉米蛋白粉单独与其他植物蛋白混合可以替代33%~50%的鱼粉蛋白^[9-10]。然而, 关于通过添加晶体氨基酸来提高动物对蛋白利用率的效果仍有争论^[11]。本研究探讨在不添加晶体氨基酸条件下不同玉米蛋白粉替代水平对大菱鲆摄食、生长、体组成及相关生理代谢的影响, 以及在高替代水平下添加晶体氨基酸的效果, 以期为其在大菱鲆饲料中的应用提供更多理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉(粗蛋白74.3%)和玉米蛋白粉(粗蛋白65.5%)作为蛋白源, 鱼油、豆油和大豆卵磷脂作为脂肪源, 小麦粉作为糖源, 配制6种等氮等能

收稿日期:2011-06-22 修回日期:2011-10-09

资助项目:现代农业产业技术体系建设专项资金资助(nycytx-50-G07)

通讯作者:艾庆辉, E-mail:qhah@ouc.edu.cn

的饲料。其中,5种饲料(C0、C12、C25、C38和C50.5)分别含有不同梯度(0%、12%、25%、38%和50.5%)的玉米蛋白粉以替代相应的鱼粉蛋白。其余1种饲料(C50.5_{CAA})是在饲料C50.5的基础上补充1.8%晶体氨基酸混合物(L-Lys:1.2%,L-Arg:0.6%)。饲料配方及化学成分分析见表1,其氨基酸组成见表2。

将所有原料粉碎(过80目筛)后按表1配方混合均匀,然后再加入鱼油、豆油和大豆卵磷脂,手工将油脂微小颗粒搓散,于V型立式混合机(上海天祥V-0.5型)中混合均匀,最后再加入大约30%蒸馏水形成硬团,全自动鱼用饵料机(260,山东威海友谊机械厂)中将饲料挤压成直

径3.0 mm×3.0 mm的颗粒,在50℃恒温下干燥12 h,置-20℃冰箱备用。

1.2 饲养管理

养殖实验在中国海洋大学鳌山卫实验基地进行,采用循环流水系统,每桶(300 L)进水量为1.0 L/min。养殖期间水温控制为(18.0±0.5)℃,盐度为28.5~32.0,溶氧维持在7 mg/L左右。试验开始前大菱鲆禁食24 h,选择大小均匀(12.51±0.02)g、体格健壮的大菱鲆幼鱼,随机分配于18个养殖桶中(每个处理组设3个重复),每桶18尾实验鱼。每天早晚投饵2次(08:30,18:00),表观饱食投喂。饲养试验共进行7周。

表1 实验饲料配方和化学成分(%干重)分析表
Tab.1 Formulation and proximate composition(% dry weight) of six experimental diets

原料 ingredient	饲料 diet no.					
	C0	C12	C25	C38	C50.5	C50.5 _{CAA}
鱼粉 fish meal ¹	61.00	50.60	40.20	29.80	19.40	19.40
玉米蛋白粉 corn gluten meal ¹	0.00	12.00	25.00	38.00	50.50	50.50
高筋面粉 wheat flour	29.20	26.55	22.70	18.90	15.50	13.70
油脂 oils ²	6.30	7.10	8.10	8.80	9.60	9.60
大豆卵磷脂 soybean lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 vitamin mix ³	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
矿物质预混料 mineral mix ⁴	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
VC 磷酸酯(35%) ascorbic acid	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
氯化胆碱(50%) chlorine chloride	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
晶体氨基酸 crystalline amino acids ⁵	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.00
防霉剂 mold inhibitor	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
抗氧化剂 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
成分含量 proximate analysis(n=3)						
粗蛋白/% crude protein	50.08	50.01	49.87	50.21	49.33	51.32
粗脂肪/% crude lipid	12.64	12.78	12.58	12.93	12.88	12.89
灰分/% ash	13.37	10.88	9.36	7.91	6.81	6.84
总能/(MJ/kg) gross energy	20.73	21.03	20.81	21.17	20.78	20.71

注:1. 鱼粉购自七好生物科技有限公司(中国山东),粗蛋白74.3%,粗脂肪7.3%;玉米蛋白粉由七好生物科技有限公司(中国山东)提供,粗蛋白65.5%;粗脂肪0.2%。2. 鱼油:豆油=1:1。3. 维生素预混料(mg或IU/kg饲料),维生素A醋酸酯,16 000 IU;维生素D₃, 2 500 IU;维生素E醋酸酯,200;维生素K₃(MSB),5.1;维生素B₁,24.5;核黄素,36;泛酸钙,58.8;维生素B₆,19.8;维生素B₁₂,0.1;烟酸,198;叶酸,19.6;生物素,1.2;肌醇,784。4. 矿物质预混料(mg/kg饲料),MgSO₄·7H₂O,1 200;CuSO₄·5H₂O,10;ZnSO₄·H₂O,50;FeSO₄·H₂O,80;MnSO₄·H₂O,45;CoCl(1%),50;Na₂SeO₃(1%),20;Ca(IO₃)₂(1%),60;沸石粉,8485。5. 晶体氨基酸混合物,L-lysine:1.2%,L-arg:0.6%;crystalline amino acids(CAA)。

Notes:1. Fish meal, obtained from Qihao Bio-tech Company(Shandong, China), crude protein, 74.3% dry matter, crude lipid 7.3% dry matter; CGM obtained from Qihao Bio-tech Company(Shandong, China), crude protein, 65.5% dry matter, crude lipid, 0.2% dry matter. 2. fish oil: soybean oil = 1:1. 3. Vitamin premix(mg or IU/kg diet), thiamin 24.5 mg; riboflavin, 36 mg; pyridoxine HCl, 19.8 mg; vitamin B₁₂, 0.1 mg; vitamin K₃, 5.1 mg; inositol, 784 mg; pantothenic acid, 58.8 mg; niacin acid, 198 mg; folic acid, 19.6 mg; biotin, 1.20 mg; retinol acetate, 16 000 IU; cholecalciferol, 2 500 IU; alpha-tocopherol, 200 mg. 4. Mineral premix(mg/kg diet), MgSO₄·7H₂O, 1 200; CuSO₄·5H₂O, 10; ZnSO₄·H₂O, 50; FeSO₄·H₂O, 80; MnSO₄·H₂O, 45; CoCl(1%), 50; Na₂SeO₃(1%), 20; Ca(IO₃)₂(1%), 60; Zoelite, 8485. 5. Supplied the following ratios, L-lysine:1.2%, L-arg:0.6% to balance amino acid profiles.

表2 实验饲料氨基酸组成(%干物质)
Tab.2 Amino acid composition(% dry weight) of six experimental diets fed

氨基酸组成 amino acid profile	饲料 diet no.					
	C0	C12	C25	C38	C50.5	C50.5 _{CAA}
天冬氨酸 Asp	4.07	4.04	4.01	3.51	2.67	1.66
苏氨酸 Thr	1.77	1.72	1.60	1.41	1.38	1.32
丝氨酸 Ser	1.87	1.83	1.96	1.69	2.00	1.96
谷氨酸 Glu	7.06	6.82	7.39	7.37	8.59	8.02
甘氨酸 Gly	2.79	2.38	1.82	1.72	1.44	1.49
丙氨酸 Ala	2.53	2.56	2.61	2.85	2.83	2.99
蛋氨酸 Met	1.03	1.07	1.01	1.03	0.95	1.15
异亮氨酸 Ile	1.87	1.49	1.48	1.36	1.26	1.30
亮氨酸 Leu	3.46	4.74	4.85	5.08	5.35	5.65
络氨酸 Tyr	1.27	1.19	1.33	1.52	1.55	1.62
苯丙氨酸 Phe	1.81	1.85	2.15	1.94	2.42	2.17
组氨酸 His	1.10	0.81	0.86	0.84	0.87	0.79
赖氨酸 Lys	3.21	2.34	2.01	1.46	1.22	2.29
脯氨酸 Pro	2.69	3.19	3.36	2.67	2.97	3.57
精氨酸 Arg	2.68	1.93	1.74	1.61	1.53	2.19
∑EAA ^a	16.93	15.95	15.69	14.73	14.99	16.86
∑NEAA ^b	22.28	22.00	22.47	21.33	22.04	21.31
∑EAA/∑NEAA	0.76	0.72	0.70	0.69	0.68	0.79

注:a. ∑EAA 必需氨基酸总和;b. ∑NEAA 非必需氨基酸总和。

Notes:a. ∑EAA sum of essential amino acids; b. ∑NEAA sum of non-essential amino acids.

1.3 样品收集及化学分析

养殖试验结束后,停止喂食 24 h,分别称量每桶鱼体质量重并记录鱼体个数,计算每桶大菱鲂的平均体质量。每桶取 5~7 尾鱼用于体常规分析。此后,每桶随机抽取 6 尾大菱鲂,以注射器自尾静脉取血,离心后分离血清并于 -75 °C 保存,用于血清胆固醇、甘油三酯和尿素氮的测定。

鱼体和饲料常规成分分析均采用文献[12]的方法。其中,水分的测定为 105 °C 烘干恒重法(24 h);粗蛋白的测定为凯氏定氮法,采用瑞典 TECATOR 公司 1030 型蛋白质自动分析仪;粗脂肪的测定为索氏抽提法;粗灰分的测定为箱式电阻炉 550 °C 灼烧法(16 h)。总氨基酸的测定为 6 N HCl 水解法(24 h),采用日立 L-8800 型氨基酸自动分析仪分析。总能采用氧弹式热量计(Parr 1281,美国)测定。血清中甘油三酯、胆固醇及尿素氮用南京建成公司试剂盒进行测定。

1.4 计算与统计分析

大菱鲂摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率参照以下公式计算:

$$\text{摄食率 (FI)} = 100 \times I \times 2 / (W_t + W_0) \times t$$

$$\text{特定生长率 (SGR)} = (\text{Ln}W_t - \text{Ln}W_0) / t$$

$$\text{饲料效率 (FER)} = \text{鱼体增重} / I$$

$$\text{蛋白质效率 (PER)} = (W_t - W_0) \times 100 / I \times P$$

其中 W_t (g) 和 W_0 (g) 分别为终末和初始均重, t (d) 为实验时间, I (g) 为摄入的干物质的含量, P 为饲料中蛋白质含量(%)。

采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),当处理之间差异显著($P < 0.05$)时,用 Tukey 氏检验进行多重比较分析。所有统计分析均采用 SPSS 11.0 软件进行。

2 结果

2.1 玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲂生长及饲料利用率的影响

经过 49 d 的饲养试验,饲料玉米蛋白粉对大菱鲂的成活率没有显著影响(表 3, $P > 0.05$)。对照组(C0)大菱鲂表现出最好的摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率,随着玉米蛋白粉替代鱼粉水平的升高,大菱鲂摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率都呈下降的趋势($P < 0.05$)。饲料玉米蛋白粉含量达 50.5% 时,大菱鲂摄食率显著低于玉米蛋白粉含量较低的其他各组($P < 0.05$);饲料玉米蛋白粉含量超过 25% 时,

大菱鲆特定生长率显著低于对照组 ($P < 0.05$)。而当饲料中玉米蛋白粉含量超过 38% 时,各处理组饲料效率和蛋白质效率与对照组相比呈显著差异 ($P < 0.05$)。C50.5_{CAA} 组大菱鲆的摄食率、特

定生长率和蛋白质效率与 C50.5 组相比都有升高的趋势,但差异不显著 ($P > 0.05$),然而添加晶体氨基酸显著提高了大菱鲆的饲料效率 ($P < 0.05$)。

表 3 玉米蛋白粉替代鱼粉水平对大菱鲆摄食和生长性能的影响

Tab.3 Growth performance of *S. maximus* fed diets containing various concentrations of fish meal and CGM

饲料 diet no.	初始体质量/g initial weight	终末体质量/g final weight	摄食率 FI	特定生长率/(%/d) SGR	饲料效率 FER	蛋白质效率 PER	成活率/% survival
C0	12.51	47.19 ^a	1.57 ^a	2.71 ^a	1.49 ^a	2.98 ^a	98.15
C12	12.51	43.30 ^{ab}	1.50 ^{abc}	2.53 ^{ab}	1.47 ^a	2.94 ^{ab}	98.15
C25	12.51	38.15 ^{bc}	1.44 ^{abc}	2.27 ^{bc}	1.44 ^{ab}	2.88 ^{abc}	98.15
C38	12.51	35.15 ^{cd}	1.42 ^{abc}	2.10 ^{cd}	1.18 ^{bc}	2.36 ^{cd}	92.59
C50.5	12.51	30.11 ^d	1.17 ^d	1.79 ^e	1.15 ^c	2.33 ^d	94.44
C50.5 _{CAA}	12.51	30.85 ^d	1.33 ^{cd}	1.84 ^{de}	1.24 ^{ab}	2.41 ^{bcd}	94.44
Pooled S. E. M	0.020	1.560	0.030	0.080	0.040	0.080	1.250
ANOVA							
F 值		33.426	11.682	37.778	7.288	7.553	0.558
P 值		0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.730

注:表中同列中不同小写字母表示组间差异显著 ($P < 0.05$),后同。

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different ($P < 0.05$), the same as following.

2.2 玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆鱼体生化组成的影响

实验结束后,各处理组大菱鲆鱼体中水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分分析数据见表 4。大菱鲆鱼体水分含量范围在 76.46% ~ 77.44%,粗蛋白含量范围在 14.72% ~ 15.44%,粗脂肪含量范围在 3.70% ~ 4.47%,灰分含量范围在 3.37% ~ 3.67%,各饲料组间没有出现显著差异,但随着玉

表 4 摄食不同玉米蛋白粉替代鱼粉水平饲料的大菱鲆常规体组成(%湿基)

Tab.4 Proximate composition(% wet weight) of the whole body of *S. maximus* fed diets containing various concentrations of fish meal and CGM

饲料 diet no.	水分/% moisture	粗蛋白/ (% w. w.) crude protein	粗脂肪/ (% w. w.) crude lipid	灰分/ (% w. w.) crude ash
C0	76.61	15.44	4.47	3.42
C12	76.46	15.31	4.35	3.37
C25	76.80	14.80	4.46	3.54
C38	76.71	14.94	4.34	3.55
C50.5	77.44	14.73	3.70	3.67
C50.5 _{CAA}	77.07	14.72	4.43	3.62
Pooled S. E. M	0.152	0.107	0.107	0.037
ANOVA				
F 值	0.872	1.613	1.421	2.180
P 值	0.527	0.230	0.285	0.125

米蛋白粉比例的升高鱼体粗蛋白含量有下降的趋势 ($P > 0.05$)。

2.3 玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆血清生化指标的影响

玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆血清中甘油三酯和尿素氮含量无显著影响(表 5, $P > 0.05$)。随着饲料玉米蛋白粉含量的升高,血清胆固醇含量呈下降趋势,且在 C50.5 组时显著低于对照组 ($P < 0.05$)。C50.5_{CAA} 组与 C50.5 组相比血清胆固醇有升高的趋势,且与对照组差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 5 玉米蛋白粉替代鱼粉水平对血液相关生理指标的影响
Tab.5 Hematocrit and biometric indices of *S. maximus* at the end of the experiment

饲料 diet no.	血清甘油三酯/ (mmol/L) triglycerides	总胆固醇/ (mmol/L) total cholesterol	尿素氮/ (mg/L) UN
C0	3.83	3.43 ^a	4.64
C12	4.38	2.87 ^{ab}	5.16
C25	3.68	2.42 ^{ab}	5.52
C38	3.54	2.41 ^{ab}	7.26
C50.5	3.07	2.04 ^b	6.14
C50.5 _{CAA}	3.79	2.40 ^{ab}	4.63
Pooled S. E. M	0.254	0.132	0.387
ANOVA			
F 值	0.382	4.772	1.211
P 值	0.252	0.012	0.362

3 讨论

在7周的生长实验中,随着玉米蛋白粉替代鱼粉水平的升高,大菱鲆摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率均呈下降的趋势($P < 0.05$)。一些研究表明,饲料中一定量的植物蛋白不影响鱼类摄食率^[6,13]。但也有研究发现随着饲料中植物蛋白的升高,鱼类的摄食率下降,从而影响鱼类生长^[8,14]。本研究中,随着玉米蛋白粉添加量的升高,大菱鲆摄食率有显著下降的趋势,说明鱼粉中存在的促摄食物物质对大菱鲆摄食非常重要。玉米蛋白粉比例上升时,饲料中促摄食物物质逐渐减少,从而影响了饲料的适口性,使摄食率降低。实验结果表明当饲料玉米蛋白粉含量超过25%时,大菱鲆特定生长率显著低于对照组($P < 0.05$)。说明玉米蛋白粉能够替代饲料中25%的鱼粉蛋白而不影响大菱鲆的生长,该研究结果与Regost等^[9]在大菱鲆上的研究结果相似。此外,在金头鲷^[6]、牙鲆^[5]、真鲷^[15]和五条鲈^[2]上的研究也发现玉米蛋白粉能够替代饲料中的部分鱼粉而不会对鱼的生长造成负面影响。

影响水产动物对植物蛋白利用的因素主要包括适口性差、消化率低和氨基酸不平衡^[16]。赖氨酸、精氨酸等是玉米蛋白粉的主要限制性氨基酸。当玉米蛋白粉从0%增加到50.5%时,饲料赖氨酸和精氨酸水平分别从3.21%和2.68%降低到1.22%和1.53%(表2)。在改善鱼类对植物蛋白的利用途径中,人们尝试在添加晶体氨基酸来提高动物对蛋白的利用率,但添加晶体氨基酸的效果仍有争论^[11]。有研究者认为受吸收不同步等因素的影响,添加晶体氨基酸并不能提高植物蛋白利用^[17]。然而,越来越多的研究者认为鱼类能够有效利用晶体氨基酸从而提高植物蛋白的利用^[18-20]。在本研究中,C50.5_{CAA}组大菱鲆的摄食率、特定生长率和蛋白质效率与C50.5组相比都有升高的趋势,但无显著差异($P > 0.05$)。添加晶体氨基酸显著提高了大菱鲆的饲料效率($P < 0.05$),说明添加晶体氨基酸对提高大菱鲆对植物蛋白的利用有作用,其效果有待于进一步研究。

在本实验条件下,随着饲料中玉米蛋白粉含量升高,大菱鲆血清中胆固醇含量逐渐下降,且在C50.5组时显著低于对照组($P < 0.05$)。这与在大西洋鲑(*Salmo salar*)^[21]、齿舌鲈^[22]和金头

鲷^[23]等上的研究结果相似。大量研究表明,植物蛋白具有降胆固醇的效果^[24],这可能跟植物蛋白中含有的非淀粉多糖等抗营养因子的生理功能有关^[25],也可能与植物蛋白添加后导致的鱼类摄食率下降相关。

参考文献:

- [1] 周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- [2] Shimeno S, Masumoto T, Hujita T, et al. Alternative protein sources for fish meal in diets of young yellowtail[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(1): 137-143.
- [3] Ballestrazzi R, Lanari D, D'Agaro E, et al. The effect of dietary protein level and source on growth, body composition, total ammonia and reactive phosphate excretion of growing sea bass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Aquaculture, 1994, 127: 197-206.
- [4] Gomes E F, Rema P, Kaushik S J. Replacement of fish meal by plant proteins in the diet of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*: digestibility and growth performance [J]. Aquaculture, 1995, 130: 177-186.
- [5] Kikuchi K. Partial replacement of fish meal with corn gluten meal in diets for Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* [J]. Journal of the World Aquaculture Society, 1999, 30: 357-363.
- [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 sea bream (*Sparus aurata*): Nutritional and Histological Implications [J]. Aquaculture, 1997, 157: 343-355.
- [7] Pereira T G, Oliva-Teles A. Evaluation of corn gluten meal as a protein source in diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juveniles [J]. Aquaculture Research, 2003, 34(13): 1111-1117.
- [8] 韩斌,黄旭雄,华雪铭,等. 玉米蛋白粉替代部分鱼粉对凡纳滨对虾摄食量、生长和肌肉成分的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(4): 658-665.
- [9] Regost C, Arzel J, Kaushik S J. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 1999, 180: 99-117.
- [10] Fournier V, Huelvan C, Desbruyeres E. Incorporation of a mixture of plant feedstuffs as substitute for fish meal in diets of juvenile turbot (*Psetta maxima*) [J].

- Aquaculture,2004,236:451-465.
- [11] Reigh R C, Ellis S C. Effects of dietary soybean and fish protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets [J]. Aquaculture,1992,104:279-292.
- [12] Arlington V A. Official methods of analysis of official analytical chemists international [M]. 16th edn. Gaithersburg Maryland, USA: Association of official analytical chemists,1995.
- [13] Ostaszewska T, Dabrowski K, Palacios M E, et al. Growth and morphological changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and pacu (*Piaractus mesopotamicus*) due to casein replacement with soybean proteins [J]. Aquaculture, 2005,245:273-286.
- [14] Twibell R G, Wilson R P. Preliminary evidence that cholesterol improves growth and feed intake of soybean meal-based diets in aquaria studies with juvenile channel catfish, *Ictalurus punctatus* [J]. Aquaculture,2004,236:539-546.
- [15] Takagi S, Hosokawa H, Shimeno S, et al. Utilization of corn gluten meal in a diet for red sea bream *Pagrus major* [J]. Nippon Suisan Gakkaishi,2000,66(3):417-427.
- [16] 艾庆辉,谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展 [J]. 中国海洋大学学报:自然科学版, 2005,36(6):929-935.
- [17] Cowey C B. Amino acid requirements of fish: a critical appraisal of present values [J]. Aquaculture, 1994,124:1-11.
- [18] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic of antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Aquaculture,1995,133:257-274.
- [19] Yamamoto T, Shima T, Furuita H, et al. Influence of feeding diets with and without fish meal by hand and by self-feeders on feed intake, growth and nutrient utilization of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture,2002,214:289-305.
- [20] Lim S R, Choi S M, Wang X J, et al. Effects of dehulled soybean meal as a fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli* [J]. Aquaculture,2004,231:457-468.
- [21] Refstie S, Korsoeen O J, Storebakken T, et al. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) [J]. Aquaculture, 2000,190:49-63.
- [22] Dias J, Alvarez M J, Arzel J, et al. Dietary protein source affects lipid metabolism in the European seabass (*Dicentrarchus labrax*) [J]. Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology,2005,142(1):19-31.
- [23] Sitja-Bobadilla A, Pena-Llopis S, Gomez-Requeni P, et al. Effect of fish meal replacement by plant protein sources on non-specific defence mechanisms and oxidative stress in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. Aquaculture,2005,249:387-400.
- [24] Colgan H A, Floyd S, Noone E J, et al. Increased intake of fruit and vegetables and a low-fat diet, with and without low-fat plant sterol-enriched spread consumption: effects on plasma lipoprotein and carotenoid metabolism [J]. Journal of Human Nutrition and Dietetics: the Official Journal of the British Dietetic Association,2004,17(6):561-569.
- [25] Deng J, Mai K, Ai Q, et al. Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus* [J]. Aquaculture,2006,258:503-513.

Replacement of fish meal by corn gluten meal in diets of *Scophthatmus maximus*

LIU Xing-wang^{1,2}, MAI Kang-sen¹, AI Qing-hui^{1*}, LIUFU Zhi-guo¹, ZHANG Yan-jiao¹

(1. The Key Laboratory of Mariculture of Education Ministry of China, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. Guangdong Evergreen Feed Industrial Co., Ltd, Zhanjiang 524094, China)

Abstract: The corn gluten meal (CGM) was evaluated as a replacement of fish meal (FM) in a practical diet formulated to contain 50% protein and 12.5% lipid. FM was replaced by 0%, 12%, 25%, 38%, and 50.5% of CGM (C0, C12, C25, C38 and C50.5) respectively. And another diet (C50.5_{CAA}) was supplemental with a 1.80% essential amino acid (CAA) mixture (L-lysine: 1.2%, L-arg: 0.6%) based on the diet C50.5. Juvenile *Scophthatmus maximus* (12.51 ± 0.02 g) were reared in an indoor, semi-closed recirculating system. Each diet was randomly fed to triplicate groups of 18 fish per tank (300 L) arranged in a completely randomized design. The fish were hand-fed to satiation twice daily for 49 days. At the end of the feeding trial, feed intake (FI), specific growth rate (SGR), feed efficiency ratio (FER) and protein efficiency ratio (PER) were significantly affected by the inclusion of CGM, with decreasing values as inclusion levels of CGM rose. There were no significant differences ($P > 0.05$) in growth performance between fish fed diet C0 and C12. However, fish fed diet containing above 25% CGM had significantly lower ($P < 0.05$) growth than those fed diet C0 and/or C12. Supplementation with CAA significantly improved FER of fish ($P < 0.05$), and FI, SGR and PER of fish also showed a tendency to be improved by supplement with CAA. Body composition, serum triglycerides and serum urea of the fish were not significantly ($P > 0.05$) affected by dietary treatments. Total cholesterol concentration in serum of fish was significantly reduced with increasing dietary CGM level ($P < 0.05$).

Key words: *Scophthatmus maximus*; corn gluten meal; fish meal; growth

Corresponding author: AI Qing-hui. E-mail: qhai@ouc.edu.cn