

大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆摄食、生长及体组成的影响

刘兴旺^{1,2}, 艾庆辉^{1*}, 麦康森¹, 刘付志国¹, 徐玮¹

(1. 中国海洋大学海水养殖教育部重点实验室, 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: 研究了大豆浓缩蛋白(SPC)替代鱼粉对大菱鲆生长及生理生化指标的影响。5种饲料分别含有0、12.0%、25.0%、37.0%和49.5%的SPC以替代相应的鱼粉,并分别添加0、0.83%、1.65%、2.48%和3.30%的必需氨基酸混合物(L-lysine: DL-methionine: L-leucine: L-valine: L-threonine = 18:6:3:2.5:2)以平衡各组饲料的氨基酸组成。每种饲料投喂3个水族箱(300 L),每个水族箱放养实验鱼16尾,实验鱼初始体质量为(31.1 ± 0.1) g。经过9周生长实验,结果显示随着饲料中SPC替代水平的升高,大菱鲆摄食率、特定生长率均显著下降($P < 0.001$)。然而,当使用0~37.0%的SPC替代鱼粉时,各处理组饲料效率和蛋白质效率未出现显著差异($P > 0.05$)。饲料中SPC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($P > 0.05$)。各处理组干物质和粗蛋白的表观消化率之间也未出现显著差异($P > 0.05$)。研究表明,在本实验条件下SPC不能作为大菱鲆饲料中替代鱼粉的有效蛋白源,造成SPC替代效果较差的主要原因是其对大菱鲆饲料适口性的显著影响。

关键词: 大菱鲆; 大豆浓缩蛋白; 鱼粉; 替代; 摄食生长

中图分类号: S 963.31

文献标志码: A

大菱鲆(*Scophthalmus maximus* L.)属鲆形目(Pleuronectiformes),鲆科(Bothidae),菱鲆属,俗称“多宝鱼”,是名贵的低温经济鱼类。由于具有经济价值高、生长迅速、宜于集约化养殖等优点,大菱鲆养殖已发展成为中国北方海水养殖的支柱产业。近年来,鱼粉价格的不断上涨使大菱鲆饲料成本不断上升,严重制约了其养殖业的可持续发展,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^[1]。大豆浓缩蛋白(soy protein concentrate, SPC)是由豆粕经乙醇或甲醇提取后的大豆制品,粗蛋白含量一般为65%~70%。由于去除了豆粕中大部分抗营养因子、可溶性碳水化合物和粗纤维等,SPC在水产饲料中具有很好地应用前景^[2]。许多研究者对在水产饲料中采用SPC替代鱼粉进行了研究,然而结果差异较大^[3-8]。这些研究结果的差异可能与饲料配方、晶体氨基酸添加及鱼的品种、规格和养殖模式有关。在大菱鲆的研究

中曾发现SPC能够替代25%的鱼粉蛋白而不影响其生长^[9]。在此研究中,饲料的能量水平相对较高(粗脂肪22.7%)。受生产工艺限制,中国水产饲料企业能够生产的最高脂肪水平一般在12%左右。因此,本实验在前述研究的基础上,探讨当饲料蛋白和脂肪水平分别为50%和12%时,在添加晶体氨基酸条件下不同比例的SPC替代鱼粉蛋白对大菱鲆摄食、生长及饲料转化率的影响,从而估算其饲料中SPC的适宜添加量,为进一步研制大菱鲆高效环保配合饲料提供更多理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉(粗蛋白74.3%)和SPC(粗蛋白70.1%)作为蛋白源,氨基酸组成见表1,鱼油、豆油和大豆卵磷脂作为脂肪源,配制5种等氮(粗蛋白50%)等能(20.5 kJ/g)的饲料。5种饲料分别含有

收稿日期: 2013-08-11

修回日期: 2013-09-26

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项(CARS 50-G-08)

通信作者: 艾庆辉, E-mail: qhai@ouc.edu.cn

0、12.0%、25.0%、37.0%和49.5%的SPC以替代0、20%、40%、60%和80%的鱼粉蛋白(表2)。根据原料氨基酸组成,5种饲料分别补充0、0.83%、1.65%、2.48%和3.30%必需氨基酸混合物(L-lysine:DL-methionine:L-leucine:L-valine:L-

threonine = 18:6:3:2.5:2)以满足大菱鲆必需氨基酸需要。各组饲料氨基酸组成如表3所示。同时,所有饲料组均添加了500 mg/kg Y_2O_3 (Fluka Chemicals®)作为外源指示剂以测定饲料中营养素的表观消化率。

表1 实验原料中氨基酸组成(干物质)

氨基酸 amino acid	鱼粉 fish meal	大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate	氨基酸 amino acid	鱼粉 fish meal	大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate
天冬氨酸 Asp	6.28	7.07	亮氨酸 Leu	5.21	5.24
苏氨酸 Thr	3.09	2.62	酪氨酸 Tyr	2.35	1.06
丝氨酸 Ser	2.66	3.54	苯丙氨酸 Phe	2.95	3.23
谷氨酸 Glu	9.05	14.63	组氨酸 His	2.16	1.54
甘氨酸 Gly	4.18	3.00	赖氨酸 Lys	5.72	4.06
丙氨酸 Ala	4.29	3.11	脯氨酸 Pro	2.37	3.86
蛋氨酸 Met	2.23	0.99	精氨酸 Arg	4.31	4.81
异亮氨酸 Ile	3.00	3.12			

表2 实验饲料配方和化学成分(干重)分析表

原料 ingredient	饲料组 diet no.				
	1	2	3	4	5
鱼粉 fish meal ¹	61.0	48.8	36.6	24.4	12.2
大豆浓缩蛋白 soy protein concentrate ¹	0.0	12.0	25.0	37.0	49.5
面粉 wheat flour	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
次粉 wheat-middlings	13.2	11.1	8.0	5.9	3.4
油脂 oils ²	6.3	7.3	8.3	9.2	10.1
大豆卵磷脂 soybean lecithin	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
维生素预混料 vitamin mix ³	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
矿物质预混料 mineral mix ⁴	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
VC 磷酸酯(35%) ascorbic acid	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
氯化胆碱 choline chloride(50%)	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_3)_2$	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
晶体氨基酸 crystalline amino acids ⁵	0.0	0.8	1.7	2.5	3.3
诱食剂 attractants ⁶	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
防霉剂 mold inhibitor	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
乙氧基喹啉 ethoxyquin	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
成分含量 proximate analysis (n = 3)					
粗蛋白/% crude protein	50.5	50.0	49.8	49.9	51.2
粗脂肪/% crude lipid	12.4	12.4	12.3	12.2	12.2
灰分/% ash	13.5	12.3	10.5	9.7	8.7
总磷/% total phosphorus	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0
总能/(MJ/kg) gross energy	20.7	20.9	21.0	20.8	21.2

注:1. 鱼粉为 Alimentos Marinos S. A. (智利,蒸汽烘干)公司生产,粗蛋白74.3%,粗脂肪7.3%;大豆浓缩蛋白为山东东营万得福植物蛋白生物科技有限公司生产,粗蛋白70.1%,粗脂肪0.8%;2. 鱼油:豆油 = 1:1:3. 维生素预混料(mg或IU/kg饲料):维生素B₁,24.5;核黄素,36;维生素B₆,19.8;维生素B₁₂,0.1;维生素K₃(MSB),5.1;肌醇,784;泛酸钙,58.8;烟酸,198;叶酸,19.6;生物素,1.2;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;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,8 485;5. 晶体氨基酸混合物:L-lysine:DL-methionine:L-leucine:L-valine:L-threonine = 18:6:3:2.5:2;6. 含有甜菜碱6.6 g和DMPT 3.4 g

Notes:1. Fish meal, steam dried, produced by Alimentos Marinos S. A. (Alimar, Chile), crude protein, 74.3% dry matter, crude lipid 7.3% dry matter; SPC supplied by Dong Ying Wonderful Vegetable Protein Science and Technology Co., Ltd. (Shandong, China), crude protein, 70.1% dry matter, crude lipid, 0.8% 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(10 g/kg), 50; Na₂SeO₃ (10 g/kg), 20; Ca(IO₃)₂ (10 g/kg), 60; Zeolite, 8 485; 5. Crystalline amino acids (CAA), Supplied the following ratios: L-lysine: DL-methionine: L-leucine: L-valine: L-threonine = 18:6:3:2.5:2 to balance amino acid profiles; 6. Contained betaine 6.6 g and DMPT 3.4 g

表3 实验饲料氨基酸组成(干物质)
Tab.3 Amino acid composition(dry weight) of
five experimental diets %

氨基酸组成 amino acid profile	饲料组 diet no.				
	1	2	3	4	5
天冬氨酸 Asp	4.07	4.27	4.27	4.78	5.41
苏氨酸 Thr	1.77	1.78	1.71	1.75	1.80
丝氨酸 Ser	1.87	1.97	1.98	2.00	2.05
谷氨酸 Glu	7.06	7.44	7.47	7.78	8.21
甘氨酸 Gly	2.79	2.64	2.36	2.06	1.82
丙氨酸 Ala	2.53	2.14	1.94	1.66	1.29
蛋氨酸 Met	1.03	0.94	0.90	1.01	1.20
异亮氨酸 Ile	1.87	1.79	1.63	2.08	2.21
亮氨酸 Leu	3.46	3.39	3.47	3.81	4.03
酪氨酸 Tyr	1.27	1.29	1.25	1.01	0.83
苯丙氨酸 Phe	1.81	1.92	1.94	1.95	1.85
组氨酸 His	1.10	0.96	0.98	0.86	0.76
赖氨酸 Lys	3.21	3.35	3.33	3.38	3.70
脯氨酸 Pro	2.69	3.05	3.46	3.29	3.68
精氨酸 Arg	2.68	2.72	2.63	2.74	2.76

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,加入约30%蒸馏水形成硬团,放入全自动鱼用饵料机(260,山东威海友谊机械厂)中挤压成直径3.0 mm × 3.0 mm的颗粒,在60℃恒温下干燥10 h,置-20℃冰箱备用。

1.2 饲养管理

饲养实验在中国海洋大学鳌山卫基地进行,采用循环流水系统,每桶(300 L)进水量为1.0 L/min。实验开始前大菱鲆禁食24 h,选择大小均匀(31.1 ± 0.1) g、体格健壮的大菱鲆幼鱼,随机分配于15个养殖桶中(每个处理组设3个重复),每桶16尾实验鱼。实验开始时,另取6尾实验鱼测定初始体组成。每种饲料投喂3个水族箱,每天早晚投喂2次(8:30, 17:00),表观饱食投喂。饲养实验共进行9周。养殖期间水温控制为(18.0 ± 0.5)℃,盐度为28.5 ~ 32, pH 7.8 ~ 8.5,氨氮 < 0.03 mg/L,溶氧7 mg/L左右。

1.3 样品收集及化学分析

养殖实验结束后,停止喂食24 h,分别称量每桶鱼总重并记录鱼体个数,计算大菱鲆平均体质量。每桶取5尾鱼用于体常规分析。此后,每桶随机抽取5尾大菱鲆,分别称重、测量体长并解剖

称取内脏重量以测定肥满度和脏体比。为了测定干物质和粗蛋白的表观消化率,每个水族箱剩余的实验鱼在相同实验条件下继续养殖。然后按照Cheng等^[10]描述的方法在投喂5 h后用丁香酚麻醉并挤压实验鱼腹部以取得粪便。粪便每周收集2次,直到样品干重足够用于分析(大约2 g)。

鱼体和饲料常规成分分析均采用AOAC^[11]的方法。其中,水分的测定为105℃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℃灼烧法(16 h)。总能采用氧弹式热量计(Parr 1281,美国)测定。氨基酸的测定为6 N HCl水解法(24 h),采用氨基酸自动分析仪(Biochrom 30, GE, England)分析。饲料和粪便中Y₂O₃含量采用高氯酸消化后,用等离子原子吸收光谱仪(ICP-OES; VISTA-MPX, VARIAN)分析测定。

1.4 计算与统计分析

大菱鲆摄食率、特定生长率、饲料效率和蛋白质效率等参照以下公式计算:

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

$$\text{特定生长率 (specific growth rate, SGR)} = (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

$$\text{饲料效率 (feed efficiency ratio, FER)} = (W_t - W_0) / I$$

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

$$\text{肥满度 (condition factor, CF)} = 100 \times \text{体质量 (g)} / \text{体长 (cm)}^3$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI)} = 100 \times \text{内脏重 (g)} / \text{体质量 (g)}$$

其中W_t(g)和W₀(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(%)。

干物质和粗蛋白表观消化率按照以下公式计算:

$$\text{ADC (干物质或粗蛋白, \%)} = [1 - (\text{饲料 Y}_2\text{O}_3 / \text{粪便 Y}_2\text{O}_3) \times (\text{粪便干物质或粗蛋白含量} / \text{饲料干物质或粗蛋白含量})] \times 100$$

数据采用单因素方差分析(One-Way ANOVA),当不同处理之间差异显著(P < 0.05)

时,用 Tukey 氏检验进行多重比较分析。所有统计分析均使用 SPSS 11.0 软件。

2 结果

2.1 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆生长及饲料利用率的影响

经过 9 周的饲养实验,各处理组大菱鲆成活率为 100%。然而,SPC 替代鱼粉显著影响了大菱鲆的摄食率(FI)、特定生长率(SGR)、饲料效率(FER)和蛋白质效率(PER)(表 4)。FI 和

SGR 随着饲料 SPC 水平的升高而线性下降。对照组 FI 显著高于含 25.0%、37.0% 和 49.5% SPC 组($P < 0.001$)。即使在 12% SPC 水平组,大菱鲆 SGR 与对照组相比也显著下降($P < 0.001$)。0、12.0%、25.0% 和 37.0% SPC 各处理组 FER 和 PER 无显著差异。然而,0、12.0% 和 25.0% SPC 处理组 FER 显著高于 49.5% SPC 处理组($P < 0.05$)。49.5% SPC 处理组 PER 也显著低于其他各组($P < 0.01$)。

表 4 大豆浓度蛋白替代鱼粉水平对大菱鲆摄食和生长性能的影响

Tab. 4 Growth performance of turbot fed diets containing various concentrations of fish meal and SPC

饲料组 diet no.	终末体质量/g final weight	摄食率/(g/100B. W./d) FI	特定生长率/(%/d) SGR	饲料效率 FER	蛋白质效率 PER
1	111.5 ^a	1.28 ^a	2.00 ^a	1.40 ^a	2.76 ^a
2	96.9 ^b	1.17 ^{ab}	1.81 ^b	1.40 ^a	2.79 ^a
3	88.5 ^b	1.06 ^{bc}	1.67 ^b	1.39 ^a	2.79 ^a
4	78.5 ^c	1.01 ^{bc}	1.48 ^c	1.36 ^{ab}	2.72 ^a
5	64.1 ^d	0.92 ^c	1.16 ^d	1.20 ^b	2.35 ^b
Pooled S. E. M.	4.36	0.04	0.08	0.02	0.054
ANOVA					
F	78.177	16.734	79.54	4.647	6.105
P	<0.001	<0.001	<0.001	0.022	0.009

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 the following

2.2 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆鱼体生化组成的影响

养殖实验结束后,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 5。大菱鲆鱼体水分含量范围在 77.1%~79.0%,粗蛋白

含量范围为 14.4%~15.6%,粗脂肪含量范围为 2.8%~3.8%,灰分含量范围为 3.4%~3.8%,各饲料组间没有出现显著差异($P > 0.05$)。但随着 SPC 比例的升高,大菱鲆鱼体水分有增加的趋势,粗脂肪有降低的趋势。

表 5 摄食不同大豆浓缩蛋白替代鱼粉水平饲料的大菱鲆常规体组成(湿基)

Tab. 5 Proximate composition(wet weight) of the whole body of turbot fed diets containing various concentrations of fish meal and SPC

饲料组 diet no.	水分/% moisture	粗蛋白/(% w. w.) crude protein	粗脂肪/(% w. w.) crude lipid	灰分/(% w. w.) ash
1	77.1	15.4	3.8	3.6
2	77.2	15.6	3.7	3.4
3	77.3	15.6	3.2	3.7
4	77.5	15.3	3.1	3.8
5	79.0	14.4	2.8	3.7
Pooled S. E. M.	0.271	0.157	0.156	0.050
ANOVA				
F	2.033	3.1	2.256	2.591
P	0.165	0.067	0.135	0.101

2.3 大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆肥满度、脏体比及表观消化率的影响

大豆浓缩蛋白替代鱼粉对大菱鲆肥满度、脏体比、干物质和粗蛋白表观消化率的影响如表6所示。随着饲料中 SPC 水平的升高,大菱鲆肥满

度呈现逐渐下降的趋势,虽然各处理组间未见到显著差异($P > 0.05$)。各处理组间脏体比差异也不显著($P > 0.05$)。同时,不同水平 SPC 替代鱼粉各处理组的干物质和粗蛋白表观消化率也没有显著差异($P > 0.05$)。

表6 大豆浓缩蛋白替代鱼粉水平对大菱鲆表观消化率及生理指标的影响
Tab.6 Biometric indices and apparent digestibility coefficients of nutrients by turbot fed diets with different levels of SPC

饲料组 diet no.	肥满度 CF	脏体比 VSI	干物质表观消化率/% ADC of dry matter	粗蛋白表观消化率/% ADC of crude protein
1	4.04	4.75	74.2	86.7
2	3.83	5.12	69.8	84.2
3	3.87	4.73	68.7	86.4
4	3.84	5.16	69.7	83.5
5	3.72	5.00	69.4	85.3
Pooled S. E. M.	0.05	0.10	0.84	0.72
ANOVA				
F	0.986	0.837	1.572	0.649
P	0.458	0.532	0.256	0.641

3 讨论

在本实验条件下,随着 SPC 替代水平的提高,大菱鲆 SGR 呈极显著下降趋势($P < 0.001$)。即使在最低替代水平时,大菱鲆生长性能仍显著低于对照组。该实验结果与在某些其他鱼类上的研究结果相似,即当饲料中添加任何比例大豆蛋白时,其生长及饲料转化率均会低于对照组,且随着添加量的提高,生长率及饲料转化率呈直线下降^[12]。Deng 等^[6]在牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)、Kissil 等^[13]在乌颊鱼(*Sparus aurata* L.)上的研究得到了类似的结果。相反,在大西洋庸鲽(*Hippoglossus hippoglossus*)^[3]、塞内加尔鲷(*Solea senegalensis*)^[5]、军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[8]、大西洋鲑(*Salmo salar*)^[13]和瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus vachelli*)^[14]的研究表明 SPC 可以部分(40%~75%)或全部替代饲料中的鱼粉而不影响鱼的生长。而 Day 等^[9]的研究却发现,饲料中 SPC 能够替代 25.0% 的鱼粉蛋白(18.5% SPC 含量)而对大菱鲆摄食、生长、FER 和 PER 不造成显著影响。该研究结果与本研究的差异可能与实验饲料的配方组成密切相关。在 Day 等^[9]的研究中所有饲料的脂肪水平(22.7%)显著高于本研究(12.0%)。可能较高的脂肪提供了更适宜大菱鲆生长的能量水平^[15]。

在本实验中,0、12.0%、25.0%和37.0% SPC 处理各组 FER 均无显著差异。该结果与 Day 等^[9]的研究相似,其发现当饲料中 SPC 水平分别为 0、18.5%和36.5%时,各处理组 FER 无显著差异。然而,Day 等^[9]发现当饲料 SPC 水平分别为 36.5%、55.0%和73.5%时,各处理组 PER 均显著相抵。而在本实验中,PER 仅在替代 80% 鱼粉蛋白(49.5% SPC 水平)时才显著下降。本实验结果中较好的 PER 可能与添加了赖氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、缬氨酸和苏氨酸这几种必需氨基酸,从而各处理氨基酸组成比较平衡有关^[16]。

一些研究表明,随着饲料中大豆蛋白添加量的提高,鱼类的摄食率逐渐下降^[17]。但也有研究表明,饲料中添加一定量植物蛋白不影响鱼类的摄食率^[18]。本实验中添加了诱食剂(甜菜碱和 DMPT)以改善 SPC 导致的饲料适口性下降,结果却显示这些诱食剂未能改善 SPC 处理组的适口性。随着 SPC 替代鱼粉蛋白比例的提高,大菱鲆 FI 呈极显著下降趋势($P < 0.001$)。Deng 等^[6]在牙鲆上也得到了类似的研究结果。由此可以推测 SPC 对大菱鲆 FI 的影响是限制其替代鱼粉的主要限制因素。Day 等^[9]的研究中添加了 0.27% 或 0.5% 的肌苷-5'-磷酸作为诱食剂,结果显示仅当 SPC 水平在 100% 替代鱼粉时才影响大菱鲆的摄食率。实验饲料适口性的差异可能是导致两个

研究中 SPC 替代水平差异的最主要因素。因此,在氨基酸平衡条件下,SPC 能够添加到 37.0% (替代 60% 鱼粉蛋白)而不影响大菱鲆的 FER 和 PER,但却因显著降低其 FI 而抑制生长。为了提高 SPC 在大菱鲆饲料中的应用,应尽快进行大菱鲆高效诱食剂的相关研究工作。

饲料的可消化性是影响动物对营养物质消化的重要原因之一。有研究显示 SPC 中的抗营养因子会影响鱼类的表观消化率^[4-5]。但更多的研究显示由于去除了大部分抗营养因子、可溶性碳水化合物和粗纤维等,SPC 不会对粗蛋白的表观消化率造成显著影响^[3,19-20]。在本实验中,各处理大菱鲆对饲料干物质和粗蛋白的表观消化率没有显著差异。该结果与 Day 等^[9]的研究结果一致,在其研究中也发现大菱鲆对 SPC 的粗蛋白表观消化率较高(87.5%),即使用 SPC 替代 100% 鱼粉蛋白时各处理组粗蛋白表观消化率也无显著差异。

本实验结果显示大菱鲆鱼体粗蛋白、水分、脂肪和灰分含量不受饲料中 SPC 替代鱼粉蛋白水平的影响。但是,却能够看到随着 SPC 替代量的升高大菱鲆鱼体脂肪含量呈逐渐下降的趋势。这可能与大豆蛋白中非淀粉多糖引起肠炎导致的脂肪吸收下降有关^[19]。一些研究表明饲料中的营养素尤其是主要营养素,如碳水化合物、脂肪和蛋白质等会影响鱼类形态学方面的指标如肥满度、脏体比和肝体比等^[21]。本实验中,大菱鲆的肥满度和脏体比未受到饲料中 SPC 替代鱼粉的影响。但是肥满度有随着 SPC 增加而下降的趋势,该趋势与鱼体脂肪含量一致,可能同样是由于植物蛋白对脂肪代谢的影响而导致。

参考文献:

- [1] Liu X W, Mai K S, Ai Q H, *et al.* Replacement of fish meal by corn gluten meal in diets of *Scophthalmus maximus* [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, 36(3) : 466 - 472. [刘兴旺, 麦康森, 艾庆辉, 等. 玉米蛋白粉替代鱼粉对大菱鲆摄食、生长及体组成的影响. *水产学报*, 2012, 36(3) : 466 - 472.]
- [2] Ai Q H, Xie X J. Advance in utilization of plant proteins by aquatic animals [J]. *Periodical of Ocean University of China; Natural Science*, 2005, 36(6) : 929 - 935. [艾庆辉, 谢小军. 水生动物对植物蛋白源利用的研究进展. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2005, 36(6) : 929 - 935.]
- [3] Berge G M, Grisdale-Helland B, Helland S J. Soy protein concentrate in diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) [J]. *Aquaculture*, 1999, 178(1) : 139 - 148.
- [4] Storebakken T, Shearer K D, Roem A J. Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus, and absorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with fish meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6(2) : 103 - 108.
- [5] Aragao C, Conceicao L E C, Dias J, *et al.* Soy protein concentrate as a protein source for Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup 1858) diets; Effects on growth and amino acid metabolism of postlarvae [J]. *Aquaculture Research*, 2003, 34(15) : 1443 - 1452.
- [6] Deng J, Mai K S, Ai Q H, *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(1) : 503 - 513.
- [7] Escaffre A M, Kaushik S, Mambrini M. Morphometric evaluation of changes in the digestive tract of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) due to fish meal replacement with soy protein concentrate [J]. *Aquaculture*, 2007, 273(1) : 127 - 138.
- [8] Salze G, McLean E, Battle P R, *et al.* Use of soy protein concentrate and novel ingredients in the total elimination of fish meal and fish oil in diets for juvenile cobia, *Rachycentron canadum* [J]. *Aquaculture*, 2010, 298(3) : 294 - 299.
- [9] Day O J, Gonzalez H G P. Soybean protein concentrate as a protein source for turbot *Scophthalmus maximus* L [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2000, 6(4) : 221 - 228.
- [10] Cheng Z, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Effects of dietary canola meal on growth performance, digestion and metabolism of Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2010, 305(1) : 102 - 108.
- [11] Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official methods of analysis of AOAC international, 16th edition [S]. Arlington, Virginia: AOAC International, 1995.
- [12] Elangovan A, Shim K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, 189(1) :

- 133 - 144.
- [13] Kissil G W, Lupatsch I, Higgs D A, *et al.* Dietary substitution of soy and rapeseed protein concentrates for fish meal, and their effects on growth and nutrient utilization in gilthead seabream *Sparus aurata* L [J]. *Aquaculture Research*, 2000, 31 (7) :595 - 601.
- [14] Yang Y H. Effects of dietary soy protein concentrate levels on feed intake, growth performance, digestion and protein metabolism of juvenile darkbarbel catfish *Pelteobagrus vachelli* [D]. Qingdao: Ocean University of China, 2011. [杨英豪. 大豆浓缩蛋白对瓦氏黄颡鱼幼鱼摄食、生长、消化和蛋白质代谢的影响. 青岛: 中国海洋大学, 2011.]
- [15] Cho S H, Lee S M, Lee S M, *et al.* Effect of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of juvenile turbot (*Scophthalmus maximus* L) reared under optimum salinity and temperature conditions [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11 (4) :235 - 240.
- [16] Ai Q H, Xie X. Effects of replacement of fishmeal by soybean meal and supplementation of methionine in fish meal/soybean meal-based diets on growth performance of the Southern catfish *Silurus meridionalis* [J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 2005, 36 (4) :498 - 507.
- [17] 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 (1) :539 - 546.
- [18] 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 (1 - 4) :273 - 286.
- [19] Storebakken T, Shearer K D, Roem A J. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish meal, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar* [J]. *Aquaculture*, 1998, 161 (1 - 4) :365 - 379.
- [20] Refstie S, Storebakken T, Baeverfjord G, *et al.* Longterm protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level [J]. *Aquaculture*, 2001, 193 (1 - 2) :91 - 106.
- [21] Kim J D, Lall S P. Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) [J]. *Aquaculture*, 2001, 195 (3 - 4) :311 - 319.

Effects of replacing fish meal with soy protein concentrate on feed intake and growth of turbot (*Scophthalmus maximus*)

LIU Xingwang^{1,2}, AI Qinghui^{1*}, MAI Kangsen¹, LIUFU Zhiguo¹, XU Wei¹

(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: This study evaluated the effects of fish meal replacement with soy protein concentrate (SPC) on feed intake, growth and nutrient utilization of turbot, *Scophthalmus maximus*. Five experimental diets were formulated, in which FM protein was replaced by SPC at 0, 12%, 25%, 37% (S75) and 49.5%, respectively. Five diets were supplemented with 0, 0.83%, 1.65%, 2.48% and 3.30% essential amino acid mixture (L-lysine: DL-methionine: L-leucine: L-valine: L-threonine = 18:6:3:2.5:2). Each diet was randomly assigned to triplicate groups of fish, and each group was stocked with 16 turbot [with an initial weight of (31.1 ± 0.1) g] in 15 fiberglass tanks (300 L). Fish were fed twice daily (8:30 and 17:00) to visual satiation for 9 weeks. At the end of the growth experiment, feed intake (FI) ($P < 0.001$) and specific growth rate (SGR) ($P < 0.001$) decreased linearly with increasing dietary SPC levels. There were no significant differences ($P > 0.05$) in feed efficiency ratio (FER) and protein efficiency ratio (PER) among fish fed diets with 0–37% SPC. Apparent digestibility coefficients of dry matter and crude protein of the diets were not significantly ($P > 0.05$) affected by dietary treatments. These results indicate that protein from SPC could not effectively replace FM protein in diets of turbot because of lower feed intake.

Key words: *Scophthalmus maximus*; soy protein concentrate; fish meal; replacement; feeding and growth

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