

文章编号:1000-0615(2005)04-0512-07

饲料蛋白质和维生素 C 含量对黄颡鱼生长和免疫力的影响

王吉桥¹, 王文辉¹, 李文宽², 骆小年², 李敬伟²

(1. 大连水产学院生命科学与技术学院, 辽宁 大连 116023;

2. 辽宁省淡水水产研究院, 辽宁 辽阳 111000)

摘要:将黄颡鱼种放养在网箱中,投喂蛋白质含量 30.0%、38.0% 或 46.0% 和维生素 C 磷酸酯 0、500、1000 或 1500 mg kg⁻¹ 的半纯饲料。50 d 的饲养表明:饲料蛋白质含量在 38%~40% 时,鱼的特殊生长率和蛋白质效率最高,饲料系数最低。饲料维生素 C 磷酸酯含量为 847、850、994 和 634 mg kg⁻¹ 时,血清总蛋白、球蛋白、溶菌酶活性最高,超氧化物歧化酶活力最低。饲料蛋白质含量从 30% 上升到 38% 时,鱼体蛋白含量由 60.95% 升到 69.86%,脂肪由 29.27% 降至 21.69%; 达 46% 时,鱼体蛋白(64.35%) 含量下降,而脂肪(26.06%) 含量上升。饲料粗蛋白含量为 38% 时,鱼肌肉中饱和与单不饱和脂肪酸的含量分别极显著地低于和显著高于饲料粗蛋白为 30% 和 46% 组。后两组鱼肌肉 n-3/n-6 值极显著和显著高于饲料蛋白含量为 38% 时,两个高蛋白饲料组中,鱼肌肉中 n-6 系列多不饱和脂肪酸和亚麻酸含量极显著和显著高于饲料蛋白 30% 组。黄颡鱼种饲料中蛋白质和维生素 C 的最适含量分别为 35.58%~40.60% 和 600~800 mg kg⁻¹。

关键词:黄颡鱼;蛋白质;维生素 C;生长;免疫力

中图分类号:S963

文献标识码:A

Effects of dietary protein and vitamin C levels on growth and immunity of juvenile *Pelteobagrus fulvidraco*

WANG Ji-qiao¹, WANG Wen-hui¹, LI Wen-kuan², LUO Xiao-nian², LI Jing-wei²

(1. Life Science and Technique Institute, Dalian Fisheries University, Dalian 116023, China;

2. Liaoning Freshwater Fisheries Institute, Liaoyang 111000, China)

Abstract: Juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson) with 18.0 g in body weight were stocked into 36 net cages of 60 cm × 60 cm × 120 cm each and fed semi-purified formulated feed containing 30%, 38% and 46% of dietary protein and supplemented with four levels of ascorbic acid-2-phosphate (AA) (0, 500, 1000, 1500 mg kg⁻¹ diet,) at 22 ± 3 for 50 days. The results showed that the fish fed the formulated feed containing 38.0% - 40.0% dietary protein had the maximal special growth rate (SGR), and protein efficiency ratio (PER) and the minimal feed coefficient (FC). The catfish had the maximal levels of total plasma protein, γ-globulin, and activities of lysozyme and the minimal activity of superoxide dismutase when fed 847, 850, 994 and 634 AA mg kg⁻¹ diet. In the fish fed the formulated feed varying from 30% to 38% in dietary protein, the protein in muscles increased from 60.95% to 69.86%, and the lipid decreased from 29.27% to 21.69%, whereas the fish fed the formulated feed containing 46% dietary protein had a decrease in protein (64.35%) and an increase in lipid (26.06%) levels in muscles. There were significantly higher saturated fatty acid levels (SFA) ($P < 0.01$) and monounsaturated fatty acid levels ($P < 0.05$) in muscles in the fish fed the feed containing 38% dietary protein than those in the fish fed the feed containing 30% and 46% dietary protein. There were significantly higher linolenic acid and n-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFA) levels in muscles in the fish fed the 38% and 46% ($P < 0.01$, $P < 0.05$) dietary protein feeds than those in the fish fed the 30% dietary protein feeds. It was found that there was

收稿日期:2004-06-11

资助项目:辽宁省自然科学基金项目(2002215)

作者简介:王吉桥(1950-),男,辽宁大连人,教授,博士,从事水产养殖生态学和饲料研究。Tel: 0411-4762691

significantly higher n - 3 / n - 6 ratio in the 30 % and 46 % dietary protein groups than in the 38 % dietary protein group. For yellow catfish juveniles, the optimal dietary protein and vitamin C levels have been considered as 35.58 - 40.60 % and 600 - 800 mg \cdot kg⁻¹, respectively.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; protein; vitamin C; growth; immunity

黄颡鱼 (*Pelteobagrus fulvidraco*) 是新兴淡水养殖对象,养殖规模日益扩大。有关黄颡鱼生物学和养殖技术的研究很多^[1],但营养需求的研究并不多^[2,3]。目前生产中使用的黄颡鱼配合饲料多参照鲤的配方。至于黄颡鱼对维生素的需要量,迄今尚未见报道。本实验研究了在不同粗蛋白水平的配合饲料中添加不同剂量的维生素 C 对黄颡鱼生长和免疫力的影响,以为黄颡鱼饲料的配制和疾病防治提供必要的理论基础。

1 材料与方法

1.1 实验鱼

实验鱼来自辽宁省辽阳市忠信养殖公司,暂养后从 1 200 尾(平均体长 9.7 cm;平均体重 18.0 g)中挑选规格整齐、体质健壮的鱼 900 尾,用高锰

酸钾溶液消毒后,随机分成 12 组(每组 25 尾),每组 3 个重复,放入 36 个(60 cm \times 60 cm \times 120 cm)网箱中,投喂 12 种饲料。网箱放在微流水的直径为 8 m 的家鱼产卵池中。

1.2 实验饲料

以鱼粉、豆饼为蛋白源,配成粗蛋白含量分别为 30.0 %、38.0 % 和 46.0 % 的饲料,每千克饲料再添加 0、500、1000 和 1500 mg 维生素 C 磷酸酯(表 1)。

1.3 饲养管理

实验期间平均水温为(22 \pm 3) ,日投饲率前期为体重的 5 % ,后期为 3 % ,每天在 5 : 00 ~ 6 : 00 时和 17 : 00 ~ 18 : 00 投喂,日投饲量 40 % 和 60 % 。保持微流水,每 3 d 排污、换水 90 % ,全天充气,溶解氧保持在 7.0 mg L⁻¹ 左右。

表 1 实验饲料配方及成分分析

Tab. 1 Ingredients and proximate compositions of the experimental diets

%

成分 ingredients	D - 1	D - 2	D - 3	D - 4	D - 5	D - 6	D - 7	D - 8	D - 9	D - 10	D - 11	D - 12
鱼粉 fish meal	20.0	20.0	20.0	20.0	32.0	32.0	32.0	32.0	44.0	44.0	44.0	44.0
豆饼 soybean cake	20.0	20.0	20.0	20.0	24.0	24.0	24.0	24.0	28.0	28.0	28.0	28.0
棉饼 cotton seed	18.0	18.0	18.0	18.0	16.0	16.0	16.0	16.0	14.0	14.0	14.0	14.0
米糠 rice bran	15.0	15.0	15.0	15.0	8.0	8.0	8.0	8.0	4.0	4.0	4.0	4.0
豆油 soybean oil	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
纤维素 cellulose	19.0	19.0	19.0	19.0	12.0	12.0	12.0	12.0	2.0	2.0	2.0	2.0
复合矿物盐 a mineral mixture	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
复合维生素 b vitamin mixture	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
维生素 C Vc	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500
羧甲基纤维素 CMCd	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
成分测定 composition analysis												
粗蛋白 crude protein	30.02	29.80	29.09	29.75	37.95	38.24	38.42	38.04	45.97	46.07	46.07	46.01
粗脂肪 crude fat	9.95	8.57	9.63	10.01	9.83	10.09	9.71	9.9	9.20	9.17	9.83	9.33
灰份 crude ash	9.12	10.26	9.82	9.61	10.35	9.99	10.07	9.63	10.35	10.42	10.33	9.37
无氮浸出物 N - free extract	21.05	20.08	21.06	20.65	19.59	19.76	19.39	20.42	20.13	19.28	19.31	19.35
能量(MJ \cdot kg ⁻¹) energy	14.64	13.88	14.30	14.53	16.22	16.46	16.20	16.17	17.96	17.83	18.09	17.89
维生素 C(mg \cdot kg ⁻¹) Vc	10	511	1009	1510	6	507	1006	1508	8	508	1007	1509

注:a,b. 参照文献[8]推荐的斑点叉尾鮰复合矿物盐和复合维生素;c. 抗坏血酸 - 2 - 硫酸酯(单位:mg \cdot kg⁻¹);d. 羧甲基纤维素

Notes: a, b. mineral mixture and vitamin mixture after reference[8]; c. ascorbic acid - 2 - phosphate; d. carboxyl methyl cellulose.

实验开始和结束时从每组随机取鱼 5 尾,分析鱼体组成。每隔 25 d,称量各组鱼体重,计算特殊增重率($SGR = [100\% \times (\ln \text{初体重} - \ln \text{末体重}) / \text{饲养天数}]$),调整投饲量;测量鱼体组成和血液免疫指标,计算蛋白质效率(PER)。

1.4 生化分析

样品的水分、灰份、粗蛋白、粗脂肪和粗纤维含量分别用恒温干燥、马福炉中灼烧(550 °C)、凯氏定氮、索氏抽提和酸碱法测定;用差值计算无氮浸出物的含量;再根据粗蛋白、粗脂肪和无氮浸出物的含量计算总能^[4];饲料中维生素 C 含量参照美国全国饲料协会分析方法测定^[5]。采用改进的 Folich 法提取鱼体肌肉中的脂质^[4]。

1.5 血清生化分析

血清总蛋白及血清 α -球蛋白含量和溶菌酶、超氧化物歧化酶(SOD)活力参考文献[6]的方

法测定。

1.6 数据处理

用软件 SPSS11.0 进行变量的 Pearson 相关分析、双因素方差分析和 LSD 多重比较。

2 结果

2.1 饲料蛋白质含量对生长、饲料系数和蛋白质效率的影响

饲料蛋白质含量由 30% 升至 40% 时,SGR 值由 45.97% 升至 60.18% (图 1),蛋白质效率逐渐升高,饲料系数降低;升到 46% 时,SGR 值($P < 0.05$)和蛋白质效率($P < 0.01$)显著下降(表 2,图 2,图 3)。根据估算最适饲料蛋白质含量的二次曲线模型^[7,8],计算出折点对应的 SGR 值为 60.47%、蛋白质效率值为 1.16 和最小饲料系数(FC)为 2.47 时,相对应的饲料蛋白质含量分别为 40.44%、35.58% 和 40.60%。

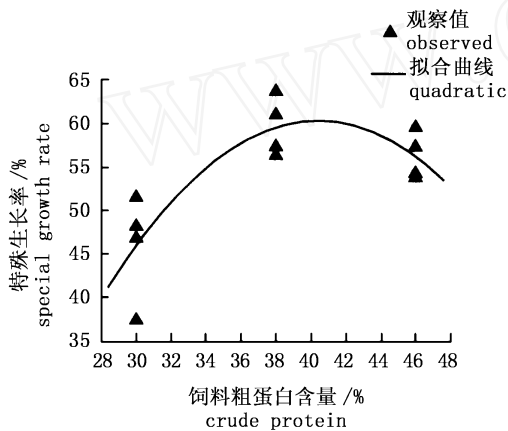


图 1 特殊增长率与饲料粗蛋白含量的关系

Fig. 1 Relationship between SGR and CP

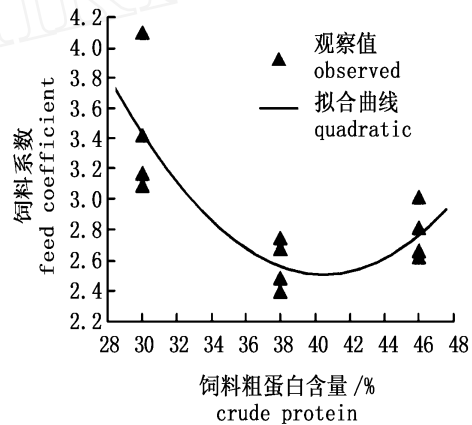


图 2 饲料系数与饲料粗蛋白含量的关系

Fig. 2 Relationship between FC and CP

2.2 维生素 C 含量对鱼生长和饲料系数的影响

随着饲料中维生素 C 含量的增加,鱼的 SGR 和饲料系数先升高、后降低,但无显著相关性($P > 0.05$)。根据二次曲线模型计算折点对应的 SGR 值为 57.18% 和饲料系数值为 2.69 时,对应的饲料维生素 C 含量为 587 和 594 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.3 维生素 C 含量对鱼血清生化指标的影响

饲料中维生素 C 的含量对鱼血清总蛋白和 α -球蛋白含量及血清溶菌酶活力有显著影响($P < 0.01$) (表 3)。饲料中维生素 C 的含量从 0 升至 1000 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,血清总蛋白和 α -球蛋白含

量增加,血清溶菌酶活力增加,升到 1500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,血清总蛋白和 α -球蛋白含量下降(图 4,图 5),溶菌酶活力降低(图 6)、SOD 活力升高(图 7)。依二次曲线模型可知:当血清总蛋白($28.01 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)、 α -球蛋白($3.891 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)含量及血清溶菌酶活力达到最大值($0.5759 \text{ U} \cdot \text{L}^{-1}$)、SOD 活力达到最小值(82.82)时,对应的饲料维生素 C 含量分别为 847、850、994 和 634 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.4 粗蛋白和维生素 C 含量对鱼肌肉生化组成的影响

饲料蛋白含量由 30% 升至 38% 时,鱼体蛋白含量从 60.95% 升至 69.86%,脂肪和肌肉总能含

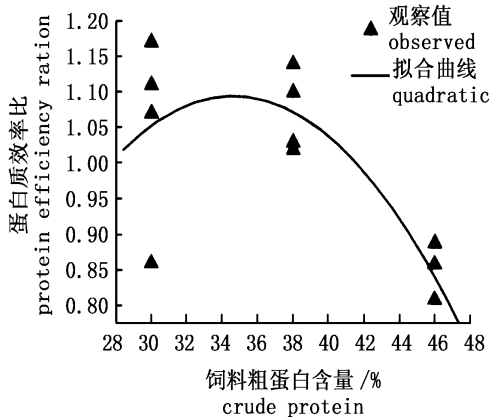


图 3 蛋白质效率比与饲料粗蛋白含量的关系

Fig. 3 Relationship between PER and CP

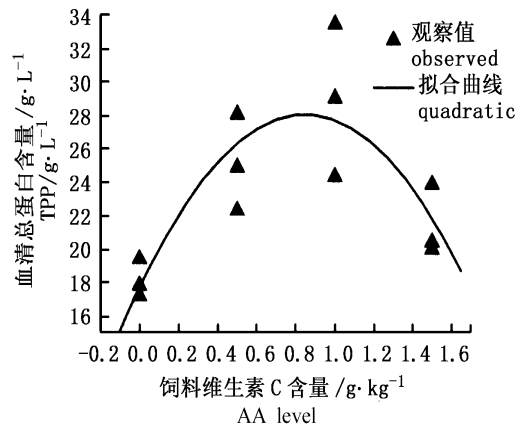


图 4 血清总蛋白含量与饲料维生素 C 含量的关系

Fig. 4 Relationship between TPP and AA level

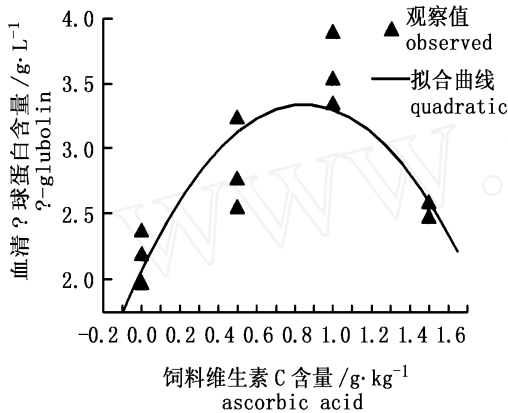


图 5 血清 球蛋白含量与饲料维生素 C 含量的关系

Fig. 5 Relationship between γ -g and AA level

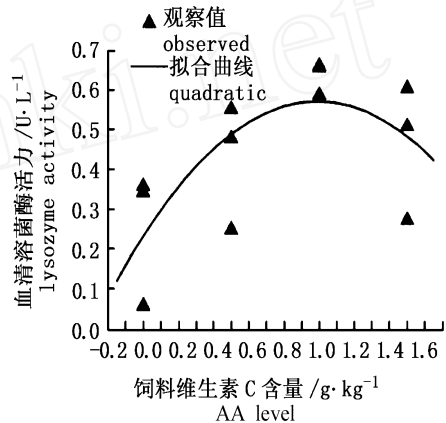


图 6 血清溶菌酶活力与饲料维生素 C 含量的关系

Fig. 6 Relationship between LS and AA level

表 2 黄颡鱼种摄食含不同数量蛋白质和维生素 C 饲料时的生长和饲料利用率 (n = 25)

Tab. 2 The growth performance and dietary utilization of *P. fulvidraco* juveniles at various dietary protein and vitamin C levels

	饲料蛋白 30% 的维生素 C 含量 vitamin C in 30% dietary protein				饲料蛋白 38% 的维生素 C 含量 vitamin C in 38% dietary protein				饲料蛋白 46% 的维生素 C 含量 vitamin C in 46% dietary protein			
	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500
初体重 (g) initial BW	455.3	443.0	450.0	456.7	452.3	447.7	456.3	455.3	448.3	448.7	456.0	451.0
特殊增长率 (%) SGR	48.25	53.76	46.67	37.14	61.11 ^a	63.35 ^a	56.10 ^b	54.84 ^b	55.18 ^b	59.56 ^a	53.88	55.50 ^b
蛋白效率 PER	1.05	0.94	1.02	0.82	1.03	1.07 ^b	0.96	1.22 ^a	0.94	1.01	0.92	0.95
饲料系数 FC	3.16	3.09	3.26	4.05	2.55 ^a	2.47 ^a	2.75 ^b	2.81	2.79	2.61 ^b	2.86	2.78

注:表中的 a、b 分别表示同一行不同水平的均值之间差异极显著和显著

Notes: Letters a, and b represent intergroup statistical difference and significant difference between the dietary conditions

体重 BW = body weight; 特殊增长率 SGR = special growth rate; 饲料系数 FC = feed conversion ratio; 蛋白效率 PER = protein efficiency

ratio

表 3 黄颡鱼种摄食含不同数量粗蛋白和维生素 C 的饲料时的免疫力(n = 15)

Tab.3 Growth and immunity in *P. fulvidraco* juveniles fed the diets containing various crude protein and ascorbic acid levels

	饲料蛋白 30 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 30 % dietary protein				饲料蛋白 38 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 38 % dietary protein				饲料蛋白 46 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 46 % dietary protein			
	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500
总蛋(g L ⁻¹) TPP	17.86	28.13 ^b	33.54 ^a	24.02	19.47	22.4	24.45 ^b	20.56	17.23	24.99 ^b	29.11 ^a	20.13
球蛋(g L ⁻¹) - G - 1	2.363	3.235 ^b	3.525 ^a	2.472	1.962	2.763	3.344 ^a	2.581	2.181	2.544	3.889 ^a	2.472
溶菌(U L ⁻¹)LS ¹	0.06	0.251	0.591 ^a	0.276	0.359 ^b	0.555 ^a	0.664 ^a	0.61 ^a	0.344	0.481 ^b	0.661 ^a	0.513 ^a
SOD	116.49	77.65 ^a	187.68	152.08	220.03	103.55 ^b	135.9	110.02	106.78 ^b	64.7 ^a	122.96	194.14

注:表中的 a、b 分别表示同一行不同水平均值之间差异极显著和显著

Notes: Letters a, and b represent intergroup statistical difference and significant difference between the dietary conditions

量分别从 29.27 % 和 25.98 MJ · kg⁻¹ 降至 21.69 % 和 25.07 MJ · kg⁻¹; 再升到 46 % 时, 鱼体蛋白含量下降到 64.35 % (图 8), 脂肪和总能含量升至 26.06 % 和 25.50 MJ · kg⁻¹。饲料蛋白为 38 % 时, 鱼体蛋白含量极显著地高于饲料蛋白为

30 % 和 46 % 时 (P < 0.01)。根据二次曲线模型计算折点对应的鱼体蛋白含量为 69.96 %、脂肪为 23.86 %、肌肉总能为 25.08 MJ · kg⁻¹ 时, 对应的饲料蛋白含量分别为 38.94 %、39.07 % 和 39.42 %。

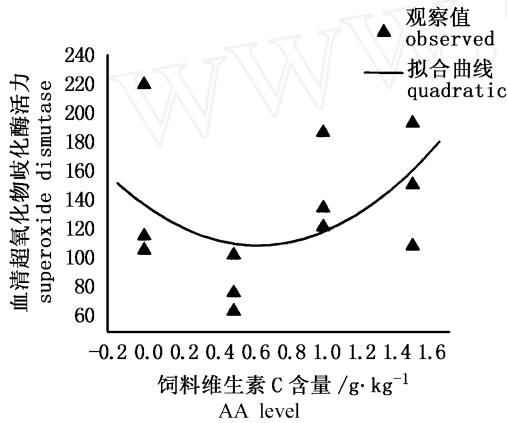


图 7 血清 SOD 活力与饲料维生素 C 含量的关系

Fig. 7 Relationship between SOD activity and AA level

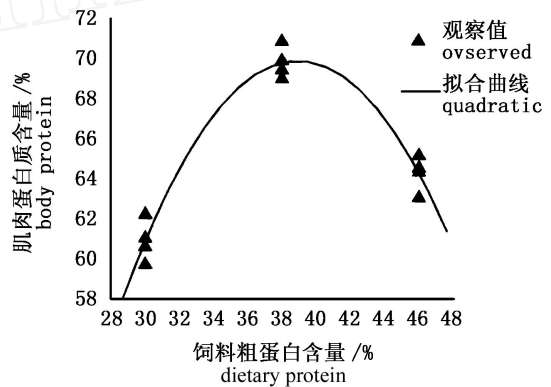


图 8 肌肉蛋白含量与饲料粗蛋白含量的关系

Fig. 8 Relationship between body protein and dietary protein

表 4 黄颡鱼摄食含不同数量粗蛋白的饲料时肌肉的生化组成(n = 5)

Tab.4 The proximate composition of muscle in *P. fulvidraco* fed the diets containing various crude protein levels

	初始 initial	饲料蛋白 30 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 30 % dietary protein				饲料蛋白 38 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 38 % dietary protein				饲料蛋白 46 % 的维生素 C 含量 vitamin C in 46 % dietary protein			
		0	500	1000	1500	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500
粗蛋白 (%) CP	49.51	59.75	61.07	60.66	62.26	69.47 ^a	69.04 ^a	69.94 ^a	70.91 ^a	64.39 ^b	64.58 ^b	65.21 ^b	63.09 ^b
粗脂肪 (%) CF	32.50	31.10 ^a	29.13 ^a	29.30 ^a	27.36 ^a	21.54	21.85	20.87	22.12	26.26 ^a	25.56 ^a	25.12 ^a	26.88 ^a
粗灰分 (%) CA	3.63	3.20	3.03	3.00	3.15	3.06	3.20	3.23	3.06	3.15	3.06	3.30	2.94
总能(MJ kg ⁻¹) TE	24.55	26.42 ^a	25.95 ^a	25.92 ^a	25.54 ^a	24.94	24.96	24.79	25.51	25.60	25.37	25.35	25.54

注:表中的 a、b 分别表示同行平均数之间的差异极显著和显著

Notes: Letters a, and b represent intergroup statistical difference and significant difference between the dietary conditions

表 5 黄颡鱼摄食含不同数量蛋白和维生素 C 的饲料时肌肉中脂肪酸的组成(n = 6)

Tab. 5 The fatty acid constituent in muscle from *P. fulvidraco* fed the diets containing different crude protein levels

	饲料蛋白 30% 维生素 C 含量 vitamin C in 30% dietary protein				饲料蛋白 38% 维生素 C 含量 vitamin C in 38% dietary protein				饲料蛋白 46% 维生素 C 含量 vitamin C in 46% dietary protein			
	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500	0	500	1000	1500
SFA	24.11 ^a	23.46 ^a	23.50 ^a	23.21 ^a	22.47	22.37	22.49	22.21	22.83	23.47 ^a	23.69	23.75 ^a
MUFA	36.50	18.49	28.37	23.90	36.25 ^b	35.93 ^b	31.91 ^b	46.29 ^b	30.02	36.92	40.52	32.31
18C:2n - 6	8.77	10.14	9.60	10.91	10.59	11.08	12.00	9.02	10.76	9.72	8.86	11.28
18C:3n - 3	0.56	0.47	0.54	0.65	0.77 ^a	0.96 ^a	0.88 ^a	0.72 ^a	0.81 ^b	0.66 ^b	0.70 ^b	0.76 ^b
20C:2n - 6	0.78	2.01	1.15	2.05	1.04	0.21	1.13	0.75	1.18	0.86	0.54	0.93
20C:3n - 6	0.67	1.18	0.96	1.31	1.99	1.13	1.08	0.58	0.80	0.60	0.38	0.75
20C:4n - 6	1.30	2.51	1.92	2.22	1.41	1.69	1.65	0.83	1.89	1.41	0.45	1.42
20C:5n - 3	2.14	3.42 ^a	2.63 ^a	2.97 ^a	2.35	2.05	2.03	2.03	2.95 ^a	2.67 ^a	2.12	2.66 ^a
22C:5n - 3	1.80	2.37	2.23	2.20	1.70	2.02	1.85	1.62	2.10	1.85	1.34	2.00
22C:6n - 3	17.94	27.86 ^a	21.96 ^a	22.76	16.80	14.92	16.52	11.89	17.84 ^b	17.26 ^b	18.30 ^b	17.50 ^b
n - 3	11.52	15.84	13.62	16.50	15.02	14.12	15.85	11.18	14.62	12.59	10.23	14.38
n - 6	22.44	34.12	27.36	28.59	21.62 ^a	19.95 ^a	21.28 ^a	16.27 ^a	23.70 ^b	22.44 ^b	22.46 ^b	22.91 ^b
UFA	70.47	68.45	69.35	68.98	72.90	70.00	69.04	73.74	68.34	71.95	72.70	69.60
n - 3/n - 6	1.95 ^a	2.15 ^a	2.01 ^a	1.73 ^a	1.44	1.41	1.34	1.46	1.62 ^b	1.8 ^b	2.2 ^b	1.59 ^b

注:表中 a、b 分别表示同行平均值之间差异极显著和显著。

Notes: Letters a and b represent intergroup statistical difference and significant difference between the dietary conditions.

饲料蛋白含量对鱼体肌肉灰分含量无显著影响($P > 0.05$, 表 4)。饲料蛋白含量为 38% 时, 鱼肌肉中单不饱和脂肪酸的含量显著($P < 0.05$)增高(表 5), 饱和脂肪酸含量极显著($P < 0.01$)地低于其他组。两个高蛋白饲料组鱼肌肉中亚麻酸和 n - 6 系列多不饱和脂肪酸的含量极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)地高于低饲料蛋白组。高、低蛋白饲料组鱼肌肉中 EPA 和 DHA 的含量和 n - 3/n - 6 值极显著($P < 0.01$)和显著($P < 0.05$)地高于中蛋白饲料组。

3 讨论

3.1 最适饲料蛋白含量的确定

用饲料系数和蛋白质功效比值等指标判断鱼类的最适饲料蛋白质需要量取决于摄食量的精确性^[9]。但是, 养殖条件和技术手段制约了食量的精确性和用其确定鱼类饲料最适蛋白质含量的可行性。目前多采用生长速率指标来确定鱼类饲料的最适蛋白质含量。黄颡鱼避强光, 白天活动少, 多静伏水底, 投喂后不便于收集残饵, 难以精确测定其摄食量。因此, 宜采用特殊生长率, 结合蛋白质功效比值和饲料系数等指标来估算鱼饲料中最适蛋白质含量。本实验中, 以特殊生长率为指标时, 最适饲料蛋白质含量为 40.44%, 而以蛋白质

功效比值和饲料系数为指标时, 则饲料最适蛋白质含量分别为 40.60% 和 35.58%。这与王永莉等^[10](适宜饲料蛋白含量 32% 以上)、王兴礼等^[11](体重 20 ~ 30g, 45% ~ 48%) 和韩庆等^[12](体重 6 g 和 11 g 左右, 44.35% 和 38.46%) 的结果相近。这表明, 黄颡鱼对饲料蛋白质的需要量高于草食性鱼类, 低于肉食性鱼类, 而与斑点叉尾鮰 (*Ictalurus punctatus*) 等鱼类相近^[13-16]。因此, 在人工养殖条件下, 由鱼种至成鱼阶段, 饲料蛋白质含量 40% ~ 36% 较为合适。

3.2 饲料中最适维生素 C 含量的确定

与虹鳟类似^[17], 实验黄颡鱼血液中溶菌酶和 SOD 活力随饲料维生素 C 含量的增加而逐渐升高, 随后相对稳定或降低, 多数养殖鱼类对维生素 C 酯的最适生长需要量为 50 ~ 100 mg · kg⁻¹ 饲料, 但不同养殖鱼类对饲料维生素 C 的最适免疫需要量不同^[18]。Montero 等^[19]以血清皮质醇含量、溶菌酶活力和补体活性为指标, 认为金头鲷 (*Sparus aurata*) 摄食每千克饲料含 250 mg 维生素 C 的饲料时, 耐密集和抗病力较强; 摄食含 500 ~ 300 mg 维生素 C 的饲料时, 头肾白细胞的吞噬活性、呼吸爆发活力较强^[20,21]; 促进斑点叉尾鮰和虹鳟伤口愈合的维生素 C 需要量分别为 60 mg · kg⁻¹ 和 1 000 mg · kg⁻¹^[22]; 饲料中维生素 C 含量

在 $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时异育银鲫血清溶菌酶活力达到最大值^[23]。尼罗罗非鱼和草鱼等淡水鱼类饲料中维生素 C 的推荐量一般为 $500 \sim 600 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[7]。因此,黄颡鱼最适免疫维生素 C 需要量为每千克饲料 $600 \sim 800 \text{ mg}$ 维生素 C 磷酸酯。

实验饲料维生素 C 含量与黄颡鱼特殊增长率无显著相关性。这可能是饲料蛋白含量对黄颡鱼生长的极显著影响掩盖了维生素 C 的贡献。蔡春芳等^[24]用不同蛋白质水平和必需氨基酸指数(EAAI)的饲料饲养异育银鲫,发现免疫力对饲料蛋白含量和 EAAI 回归关系显著 ($P < 0.05$)。

3.3 饲料蛋白含量对鱼体肌肉生化组成的影响

本试验中不同饲料蛋白水平下黄颡鱼肌肉中粗蛋白和粗脂肪含量分别变化在 $59.75\% \sim 70.91\%$ 和 $20.87\% \sim 31.20\%$ 之间,而粗灰分含量则稳定在 $2.94\% \sim 3.30\%$ 之间。鱼体肌肉蛋白含量随饲料粗蛋白水平的升高而先升后降;而粗脂肪含量的变化趋势则相反。这可能是鱼体内蛋白质(氨基酸)、脂类(脂肪酸)和糖类物质代谢途径不同及其相互转化影响了脂肪积累所致。有关黄颡鱼肌肉营养成分的研究,不同的研究者结果不同。黄峰等^[25]测定,其蛋白质、脂肪和灰分含量分别为 87.73% 、 9.15% 和 0.9% 。在本实验的范围内,饲料蛋白含量为 30% 和 46% 时,鱼体肌肉中 $n-3/n-6$ 脂肪酸值极显著 ($P < 0.01$) 和显著 ($P < 0.05$) 地高于饲料蛋白含量为 38% 时(表 4)。这种差异可能与不同饲料蛋白水平下鱼体肌肉中 EPA 和 DHA 含量的不同有关,其具体原因尚需深入研究,而其它几种脂肪酸的含量在不同的饲料蛋白水平下并没有显著的变化。

参考文献:

- 王吉桥. 黄颡鱼 *Pelteobagrus fulvidraco* (Richardson) 的生物学与养殖技术[J]. 现代渔业信息, 2003, 18(6): 1 - 8.
- 王兴礼. 黄颡鱼的营养需求量与饲料配制[J]. 饲料工业, 2004, 2: 52 - 54.
- 夏维福, 韩庆, 罗玉双, 等. 不同动植物蛋白比对黄颡鱼生长的影响[J]. 水利渔业, 2003, 23(3): 45 - 46.
- 张丽英. 饲料分析及饲料质量监测技术[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2002. 45 - 79.
- 李伟格, 李美同, 苏晓鸥, 等(译). 饲料添加剂分析[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1998. 36 - 37.
- 上海市医学化验所. 临床生化检验(上册)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. 31 - 35.
- 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1994. 89 - 107.
- Robbins K R, Norton H W, Baker D H. Estimation of nutrient requirements from growth data [J]. J Nutr, 1979, 109: 1710 - 1714.
- Mai K, Mercer J P, Donlon J. Comparative studies on the nutrition of two species of abalone, *Haliotis tuberculata* L. and *Haliotis discus hannai* Ino. . Optimum dietary protein level for growth [J]. Aquac, 1995, 136: 165 - 180.
- 王永莉, 蒋吉生. 黄颡鱼的生物学及池塘养殖技术[J]. 中国水产, 2000, (6): 33.
- 王兴礼, 高海波, 刘朋. 池塘主养黄颡鱼[J]. 科学养鱼, 2000, 6: 12.
- 韩庆, 夏维福, 罗玉双, 等. 不同营养水平对黄颡鱼春片鱼种生长的影响[J]. 饲料工业, 2002, 7: 43 - 44.
- 林鼎, 毛永庆, 蔡发盛. 黄颡鱼 *Ctenopharyngodon idella* 鱼种生长阶段蛋白质最适需要量的研究[J]. 水生生物学集刊, 1980, 7(2): 207 - 212.
- 邹志清, 苑福熙, 陈双喜. 团头鲂饲料中最适蛋白质含量[J]. 淡水渔业, 1987, 3: 21 - 24.
- 王吉桥. 海水和半咸水主要养殖鱼类对营养物质的需要[J]. 大连水产学院学报, 2000, 15(3): 215 - 222.
- 钱雪桥, 崔奕波, 解绥启, 等. 养殖鱼类饲料蛋白质需要量的研究进展[J]. 水生生物学报, 2002, 26(4): 410 - 416.
- Verlhac V, Gabaudan J, Obach A. Influence of dietary glucan and vitamin C on non-specific and specific immune responses of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquac, 1996, 153: 123 - 133.
- Dabrowski K, Ciereszko A. Ascorbic acid and reproduction in fish: endocrine regulation and gamete quality [J]. Aquaculture Research, 2001, 32, 623 - 638.
- Montero D, Marrero M, Izquierdo M S. Effect of vitamin E and C dietary supplementation on some immune parameters of gilthead seabream (*Sparus aurata* L) juveniles subjected to crowding stress [J]. Aquac, 1999, 168: 269 - 278.
- Mulero V, Esteban M A, Meseguer J. Effects of *in vitro* addition of exogenous vitamins C and E on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) phagocytes [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 1998, 185 - 199.
- Ortuno J, Cuesta A, Esteban M A. Effects of oral administration of high vitamin C and E dosages on the gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) innate immune system [J]. Veterinary Immunology and Immunopathology, 2001, 167 - 180.
- 姜俊, 周小秋. 维生素 C 营养与鱼类免疫[J]. 饲料工业, 2003, (2): 41 - 46.
- 宋学宏, 蔡春芳, 潘新法, 等. 用生长和非特异性免疫力评定异育银鲫维生素 C 需要量[J]. 水产学报, 2002, 26(4): 351 - 356.
- 蔡春芳, 吴康, 潘新法, 等. 蛋白质营养对异育银鲫生长和免疫力的影响[J]. 水生生物学报, 2001, 25(6): 590 - 595.
- 黄峰, 严安生, 熊传喜, 等. 黄颡鱼的含肉率及鱼肉营养评价[J]. 淡水渔业, 1999, (10): 3 - 6.