

文章编号: 1000-0615(2018)05-0744-10

DOI: 10.11964/jfc.20170310770

复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长、体组成与生化指标的影响

林仕梅^{1*}, 马卉佳¹, 徐 韬¹, 陈拥军¹, 黄先智²

(1. 西南大学动物科技学院, 淡水渔业资源与生殖发育教育部重点实验室, 重庆 400716;

2. 西南大学蚕学与系统生物学研究所, 重庆 400716)

摘要: 为研究复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长、体组成、抗氧化与生化指标的影响, 在基础饲料中用复合蛋白源(由棉粕+菜粕+蚕蛹+桑叶发酵而成)分别替代饲料中0%、12%、24%、36%和48%的鱼粉, 配制成5种等氮等脂(含粗蛋白CP 42%, 粗脂肪EE 8.5%)的实验饲料, 在室内循环水族箱内饲喂杂交鳢(初始体质量22 g)8周。结果显示, 当复合蛋白源替代鱼粉水平大于12%时, 杂交鳢的终末体质量(FBW)和特定生长率(SGR)显著降低, 在48%替代水平达到最低。36%和48%替代水平蛋白质效率(PER)显著降低, 而饲料系数(FCR)显著升高。各实验组摄食率(FR)无显著差异。替代水平组全鱼粗脂肪含量以及脏体比(VSI)和肠脂比(IPF)显著降低, 而水分含量显著增加。随替代水平的增加, 胰蛋白酶活性显著降低, 而肠脂肪酶活性显著升高。替代水平24%以上肝脏谷丙转氨酶(GPT)、过氧化氢酶(CAT)和超氧化物歧化酶(SOD)活性显著升高。替代水平12%以上血清中总胆固醇(CHO)含量显著降低, 而替代水平36%以上血糖(GLU)含量会显著降低。各实验组血清甘油三酯(TC)、总蛋白(TP)和白蛋白(ALB)含量无显著变化。研究表明, 复合蛋白源替代12%鱼粉不会影响杂交鳢的生长, 而高水平替代会抑制杂交鳢的生长, 但可以改善杂交鳢机体糖脂代谢, 提高机体的抗氧化能力。

关键词: 杂交鳢; 复合蛋白源; 鱼粉; 生长; 生化指标

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

杂交鳢(*Channa sp.*)是我国重要的淡水经济养殖鱼类^[1]。目前, 已对杂交鳢开展了部分营养学研究^[2-6]。但杂交鳢优质高效配合饲料的开发, 及其营养与饲料参数等方面的研究仍较为缺乏, 加之鱼粉价格居高不下, 杂交鳢养殖效益急剧下滑, 致使植物蛋白大量使用, 导致杂交鳢饲料适口性差, 生产实践中出现“吐料”现象, 影响其生长和饲料利用。郑晶等^[7]的研究发现, 饲料中添加诱食剂可以提高杂交鳢的摄食量, 进而促进其生长。另外, 通过生物发酵或蛋白源的互补, 也是改善植物蛋白利用的有效途径^[8]。众所周知, 我国菜粕和棉粕资源丰富,

但因其含抗营养因子而使其在水产饲料尤其是肉食性鱼类饲料中使用受限^[9]。近年来, 蚕蛹^[10]、桑叶^[11]因资源丰富且富含特殊的生物活性物质而倍受关注。动物学实验已证实, 饲料中添加桑叶或蚕蛹可以有效降低血糖和血脂以及提高机体的抗氧化能力, 实现促生长的作用^[10-14]。如何提高植物蛋白质的利用效率并改善其利用效果, 一直是水产动物营养学家致力于研究的课题。为此, 本实验将棉粕、菜粕、蚕蛹和桑叶进行生物发酵后, 配制成一种复合蛋白源, 替代不同水平的鱼粉, 研究其对杂交鳢生长、体组成、抗氧化和生化指标的影响, 旨在为新型

收稿日期: 2017-03-29 修回日期: 2017-03-29

资助项目: 公益性行业科研专项(农业)(201303053); 重庆市生态渔产业技术体系专项

通信作者: 林仕梅, E-mail: linsm198@163.com

蛋白源的开发和水产饲料配制技术的优化提供新思路。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

复合蛋白源是棉粕、菜粕、蚕蛹和桑叶通过乳酸菌(*Lactobacillus*)、酵母菌(*Yeast*)、芽孢杆菌(*Bacillus Cohn*)和固氮菌(*Azotobacteraceae*)通过固态发酵配制而成,其营养组成见表1。

表1 复合蛋白源常规组成及氨基酸含量(干物质基础)

Tab. 1 Proximate composition and amino acid profiles of compound proteins and fermented compound proteins (dry matter) %		
项目 items	复合蛋白源 compound proteins	发酵复合蛋白源 fermented compound proteins
粗蛋白 crude protein	38.5	42.6
粗脂肪 crude lipid	5.2	4.3
灰分 ash	5.6	6.8
赖氨酸 lysine	1.97	2.52
蛋氨酸 methionine	0.54	0.61
苏氨酸 threonine	1.42	1.48
缬氨酸 valine	1.76	1.98
精氨酸 arginine	3.66	3.84
异亮氨酸 isoleucine	1.27	1.35
亮氨酸 leucine	2.58	3.14
组氨酸 histidine	1.07	1.12
苯丙氨酸 phenylalanine	1.96	2.09
天门冬氨酸 aspartic acid	3.53	4.36
谷氨酸 glutamic acid	6.65	7.78
丝氨酸 serine	1.68	1.75
甘氨酸 glycine	1.77	2.03
丙氨酸 alanine	1.73	1.89
脯氨酸 proline	1.77	1.96
酪氨酸 tyrosine	1.26	1.57
胱氨酸 cystine	0.59	0.81

以鱼粉和豆粕为主要蛋白源,以鱼油和豆油为脂肪源,配制应用基础饲料(CP 42%, EE 8.5%) (表2)。在基础饲料中用复合蛋白源分别替

代0%、12%、24%、36%和48%鱼粉,并补充晶体氨基酸(达到与0%替代水平饲料同等赖氨酸和蛋氨酸水平)配制成5种等氮等脂的实验饲料。各饲料原料粉碎过80目筛,采取逐级稀释法混合均匀,用洋工TSE65S型双螺旋杆湿法膨化机(北京现代洋工机械科技发展有限公司)制成粒径为3.0 mm的浮性膨化颗粒饲料,风干后放入4 °C冰箱中保存备用。

1.2 饲养管理

实验鱼选用当年培育的体质健壮、规格整齐的杂交鳢(初始体质量为22 g)450尾,随机分成5个处理,每个处理设3个重复,每个重复30尾。在室内淡水循环水族缸(有效体积为250 L)中饲养杂交鳢8周,日投饲率为体质量的3%~5%,每天08:00、12:30、17:30各投喂1次。水源为曝气自来水,实验期间水温为(24.6±1.5) °C, pH为7.1±0.4,溶解氧>6.5 mg/L,氨氮<0.53 mg/L,亚硝酸盐氮<0.09 mg/L。

1.3 样品制备与分析

饲养实验结束后,禁食24 h后称重。每重复随机取5尾鱼于尾静脉取血,将一部分的血液样品保存在医用真空采血管中,用于血液细胞分析和生化分析;另一部分血液样品于6 000×g 4 °C条件下离心10 min,收集血清,-20 °C保存备用。每重复随机取3尾鱼作为全鱼样品,用于体组成的测定;每重复随机取4尾鱼,用MS-222进行麻醉,测体长、体高,分离出内脏、肝胰脏、肠道(全肠),用于形体指标的测定和作为酶活性分析样品;将肝胰脏、肠道样品于冰水浴中制成匀浆液,于10 000×g 4 °C条件下离心30 min,取上清液,-20 °C保存备用。

饲料原料及全鱼样品均在105 °C烘干至恒重,然后采用凯式定氮法测定粗蛋白含量,索式抽提法测定粗脂肪含量,高温(550 °C)灼烧法测定粗灰分含量。饲料氨基酸含量采用日立835-50氨基酸分析仪。

采用全自动生化分析仪(日立7100)测定血清代谢指标,包括谷丙转氨酶(GPT)、谷草转氨酶(GOT)活性及总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)的含量。血糖含量采用上海强生血糖仪测定。

1.4 计算公式

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=

表 2 实验饲料组成及营养水平(风干基础)
Tab. 2 Composition and nutritional levels of the test diets (air-dry basis)

项目 items	复合蛋白源替代水平 levels of compound proteins				
	0	12	24	36	48
原料 ingredients					
秘鲁蒸汽鱼粉 Peru steam-treated fish meal	45	39.6	34.2	28.8	23.4
去皮豆粕 dehulled soybean meal	23	23	23	23	23
复合蛋白源 compound proteins	0	8.5	17	25.5	34
高筋面粉 strong flour	24.8	21.7	18.6	15.5	12.4
鱼油 fish oil	3	3	3	3	3
豆油 soybean oil	1	1	1	1	1
氯化胆碱 choline chloride	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
复合预混料 compound-premix	1	1	1	1	1
磷酸二氢钙 Ca (H ₂ PO ₄) ₂	2	2	2	2	2
L-赖氨酸硫酸盐 L-lysine·H ₂ SO ₄	0	0.169	0.354	0.523	0.692
DL-蛋氨酸 DL-methionine	0	0.051	0.112	0.153	0.214
营养水平 nutrient levels					
粗蛋白 crude protein	42.5	42.2	42.2	41.9	41.9
粗脂肪 crude lipid	8.54	8.59	8.59	8.62	8.63
粗灰分 crude ash	10.5	10.5	10.3	10.1	9.85
赖氨酸 lysine	2.81	2.79	2.80	2.79	2.81
蛋氨酸 methionine	0.97	0.97	0.96	0.97	0.96

注: L-赖氨酸硫酸盐含 65% L-赖氨酸; DL-蛋氨酸含 98% DL-蛋氨酸

Notes: L-lysine·H₂SO₄ consists of 65% L-lysine; DL-methionine consists of 98% DL-methionine

$(\ln W_t - \ln W_0)/t \times 100$;

摄食率(feeding rate, FR, g/d) = $F \times 2 / [(W_t + W_0) \times t]$;

饲料系数(feed conversion ratio, FCR) = $F / (W_t - W_0)$;

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER) = $(W_t - W_0) / (F \times F_p)$;

成活率(survival rate, SR, %) = $N_t / N_0 \times 100$;

脏体比(viscerasomatic index, VSI, %) = $100 \times W_v / W_t$;

肝体比(hepatsomatic index, HSI, %) = $100 \times W_h / W_t$;

肠脂比(intraperitoneal fat ratio, IPF, %) = $100 \times W_i / W_0$;

式中, W_t (g)和 W_0 (g)分别为终末体质量和初始体质量; t 为养殖实验天数; F (g)为尾均摄食量; F_p (%)为饲料蛋白质含量; N_t (尾)和 N_0 (尾)分别为终

末尾数和初始尾数; L (cm)为鱼体长; W_v (g)为内脏重; W_h (g)为肝胰脏重; W_i (g)为肠重。

1.5 数据处理方法

数据均以平均值±标准误(mean±SE)表示, 采用SPSS 17.0对所得数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA), 若差异达到显著水平, 则进行Tukey多重比较, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 复合蛋白源替代水平对杂交鳢生长性能的影响

当复合蛋白源替代水平大于12%时, 杂交鳢的终末体质量和特定生长率显著降低, 48%替代水平达到最低($P < 0.05$) (表3)。随着饲料复合蛋白源替代水平的增加, 36%和48%替代水平蛋白质

表 3 复合蛋白源对杂交鳢生长性能的影响

Tab. 3 Effects of compound proteins on growth performance of hybrid snakehead

项目 items	复合蛋白源替代水平/% levels of compound proteins				
	0	12	24	36	48
初始体质量/g IBW	22.13±0.24	22.07±0.27	22.51±0.07	22.31±0.11	22.22±0.08
终末体质量/g FBW	67.29±2.10 ^a	64.75±1.38 ^{ab}	60.22±0.62 ^b	49.35±0.56 ^c	44.46±0.75 ^d
特定生长率/(%/d) SGR	1.98±0.04 ^a	1.92±0.05 ^a	1.76±0.02 ^b	1.42±0.03 ^c	1.25±0.04 ^d
蛋白质效率/% PER	2.01±0.10 ^a	2.00±0.05 ^a	1.79±0.05 ^a	1.50±0.03 ^b	1.31±0.03 ^b
饲料系数 FCR	1.19±0.06 ^c	1.19±0.03 ^c	1.34±0.04 ^c	1.58±0.03 ^b	1.82±0.04 ^a
摄食率/(%/d) FR	2.14±0.08	2.08±0.006	2.17±0.05	2.14±0.06	2.18±0.01
成活率/% SR	100	100	100	100	100

注: 同行数值不同上标字母表示差异显著($P<0.05$), 表4, 表6, 表7同

Notes: Values in the same row with different superscripts show significant difference ($P<0.05$), the same below as Tab.4, Tab.6 and Tab.7

效率显著降低, 而饲料系数显著升高($P<0.05$)。各实验组摄食率无显著差异($P>0.05$)。实验期间, 各实验组杂交鳢的成活率均为100%。

2.2 复合蛋白源替代水平对杂交鳢形体指标和体组成的影响

杂交鳢的全鱼粗脂肪含量、脏体比和肠脂比均随着复合蛋白源替代水平的增加显著降低($P<0.05$), 而水分含量显著升高($P<0.05$) (表4)。其中, 36%和48%替代水平的全鱼粗脂肪含量、脏体比和肠脂比达到最低, 而水分含量达到最高($P<0.05$)。各实验组肝体比、粗蛋白和灰分含量均没有显著差异($P>0.05$)。

2.3 复合蛋白源替代水平对杂交鳢消化酶活性的影响

随着饲料复合蛋白源替代水平的增加, 杂交鳢的胰蛋白酶活性显著降低($P<0.05$), 而肠脂肪酶活性显著增加($P<0.05$), 各实验组胃蛋白酶活性无显著变化($P>0.05$) (表5)。

2.4 复合蛋白源替代水平对杂交鳢肝脏转氨酶活性和抗氧化指标的影响

当复合蛋白源替代水平大于24%时, 肝脏谷丙转氨酶、过氧化氢酶和超氧化物歧化酶活性显著升高($P<0.05$), 而这些指标在对照组和12%替代水平组间无显著差异($P>0.05$)。各实验

表 4 复合蛋白源替代水平对杂交鳢形态指标和体组成的影响
Tab. 4 Morphological measurements and nutrient composition of hybrid snakehead fed diets containing different levels of compound proteins

项目 items	复合蛋白源替代水平 levels of compound proteins				
	0	12	24	36	48
形态指标 morphological measurements					
脏体比 VSI	8.48±0.10 ^a	7.46±0.16 ^b	7.22±0.12 ^b	6.15±0.10 ^c	6.20±0.06 ^c
肝体比 HSI	1.31±0.06	1.31±0.10	1.27±0.04	1.29±0.02	1.31±0.04
肠脂比 IPF	2.24±0.04 ^a	1.50±0.05 ^b	1.32±0.04 ^b	1.05±0.04 ^c	0.90±0.04 ^c
体组成 nutrition composition					
水分 moisture	70.13±0.11 ^c	71.32±0.22 ^b	71.89±0.26 ^{ab}	72.43±0.26 ^a	72.33±0.17 ^a
粗蛋白 crude protein	18.66±0.62	18.54±0.22	18.50±0.34	17.58±0.44	17.94±0.14
粗脂肪 crude lipid	5.69±0.25 ^a	4.59±0.05 ^b	4.44±0.03 ^b	4.06±0.05 ^b	4.13±0.04 ^b
灰分 ash	5.58±0.20	5.29±0.05	5.21±0.02	5.54±0.16	5.70±0.06

表 5 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢肠道和肝胰脏消化酶活性的影响

Tab. 5 Effects of compound proteins on digestive enzyme activities in intestine and hepatopancreas of hybrid snakehead

水平 levels	蛋白酶/(U/mg protein) protease		肠脂肪酶/(U/mg protein) intestinal lipase
	胃蛋白酶/(U/mg protein) pepsin	胰蛋白酶/(U/mg protein) trypsin	
0%	425.2±19.56	213.3±12.14 ^a	48.13±3.43 ^b
12%	417.88±13.20	208.49±9.02 ^a	65.60±4.87 ^{ab}
24%	413.78±37.86	189.58±12.16 ^{ab}	79.73±5.06 ^a
36%	406.10±12.18	151.33±7.62 ^b	75.20±6.70 ^a
48%	389.16±31.24	128.48±16.48 ^c	78.28±3.32 ^a

注：同列数据不同字母表示差异显著($P<0.05$)

Notes: different letters in the same column mean significant difference ($P<0.05$)

组谷草转氨酶活性无显著变化($P>0.05$) (表6)。

48%替代水平间血糖(GLU)含量无显著变化($P>0.05$) (表7)。

2.5 复合蛋白源替代水平对杂交鳢血液生化指标的影响

复合蛋白源替代水平在12%以上会显著降低血清中总胆固醇含量($P<0.05$)。各实验组血清甘油三酯、总蛋白、白蛋白含量无显著变化($P>0.05$)。当复合蛋白源替代水平大于36%时,杂交鳢血液中葡萄糖含量显著降低($P<0.05$),而在36%和

3 讨论

3.1 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢生长的影响

本研究结果显示,复合蛋白源替代24%以上鱼粉会显著降低杂交鳢的特定生长率和饲料效率。在军曹鱼(*Rachycentron canadum*)^[14]上的研究

表 6 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢肝脏转氨酶活性和抗氧化指标的影响

Tab. 6 Effects of compound proteins on transaminase activity and antioxidant in liver of hybrid snakehead

项目 items	复合蛋白源替代水平/% levels of compound proteins				
	0	12	24	36	48
转氨酶活性/(U/g protein) transaminase activity					
谷草转氨酶 GOT	107.37±5.58	111.40±1.80	122.63±2.34	114.00±5.20	119.00±11.50
谷丙转氨酶 GPT	132.70±4.70 ^b	139.00±6.80 ^b	153.95±3.05 ^a	162.15±5.95 ^a	158.19±2.60 ^a
抗氧化指标/(U/mg protein) antioxidant indices					
过氧化氢酶 CAT	153.09±7.25 ^b	183.37±4.94 ^{ab}	217.39±11.38 ^a	207.99±3.97 ^a	217.52±14.54 ^a
超氧化物歧化酶 SOD	221.36±1.96 ^b	259.40±16.79 ^{ab}	280.85±5.42 ^a	276.04±6.84 ^a	285.06±14.82 ^a

表 7 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢血液生化指标的影响

Tab. 7 Effects of compound proteins on blood biochemical indices of hybrid snakehead

项目 items	复合蛋白源替代水平/% levels of compound proteins				
	0	12	24	36	48
总胆固醇/(mmol/L) CHO	4.2±0.26 ^a	3.64±0.08 ^b	3.50±0.07 ^b	3.54±0.08 ^b	3.39±0.12 ^b
甘油三酯/(mmol/L) TC	1.22±0.06	1.18±0.07	1.23±0.04	1.10±0.08	1.06±0.13
总蛋白/(g/L) TP	31.17±1.59	27.67±1.20	29.00±0.58	28.93±1.30	26.23±1.36
白蛋白/(g/L) ALB	16.00±1.15	14.03±0.73	14.13±0.30	14.13±0.72	14.16±0.33
血液葡萄糖/(mmol/L) GLU	4.87±0.35 ^a	5.08±0.19 ^a	4.67±0.20 ^a	3.43±0.06 ^b	2.83±0.12 ^b

发现,复合蛋白源替代鱼粉比例超过40%时,会显著降低军曹鱼的生长性能。而混合发酵蛋白替代奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* ♀×*O. aureus* ♂)稚鱼饲料中2/3鱼粉(占饲料6%)及奥尼罗非鱼鱼种饲料中全部鱼粉(占饲料9%),不会影响奥尼罗非鱼的生长性能^[15]。这些研究表明,相对于杂食性鱼类,肉食性鱼类对植物蛋白的耐受程度较低,对鱼粉的依赖性较大^[16],替代鱼粉比例因实验鱼种、规格以及食性等不同而有所差异。本实验还发现,复合蛋白源的添加并没有影响杂交鳢的摄食率,但显著降低胰蛋白酶活性以及蛋白质效率,这可能是植物蛋白中残余的抗营养因子抑制或拮抗了鱼类消化酶所致^[17]。这进一步证明复合蛋白源高比例替代鱼粉抑制杂交鳢生长的原因可能是消化率降低所致。因此,今后的研究,我们应该关注复合蛋白源的消化率。

已有研究表明,桑叶发酵后能够改善印度囊鳃鲶(*Heteropneustes fossilis*)的生长性能,与鱼下脚料配合使用能替代75%鱼粉^[18]。而天然蚕蛹粉和发酵蚕蛹粉能够100%替代鲤(*Cyprinus carpio*)饲料中的鱼粉而不影响其生长效果^[19]。本实验中,复合蛋白源替代12%的鱼粉也不影响杂交鳢的生长性能。这些结果显示,发酵工艺可以改善饲料原料的品质,提高植物蛋白的配方比例。

研究表明,发酵工艺可降低或去除植物性原料中抗营养因子的含量^[20]。但发酵的复合蛋白源高水平替代鱼粉仍然会降低杂交鳢的生长率,与复合蛋白源(棉粕、菜粕和桑叶占4/5)中粗纤维含量较高有关,因为粗纤维影响杂交鳢胰蛋白酶的活性,降低蛋白质的消化率,进而影响杂交鳢的生长^[21-22]。这可能是复合蛋白源替代鱼粉水平大于12%时不能改善杂交鳢生长性能的原因。关于复合蛋白源的优化与应用研究值得今后深入开展。

3.2 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢糖脂代谢的影响

众所周知,蚕蛹^[10]中富含 α -亚麻酸(C18:3n-3)和抗菌肽,桑叶^[11]中富含植物甾醇、黄酮、生物碱,这些生物活性物质均具有降血糖、降血脂的功效。这些功效已在畜禽^[23]和水产动物^[10, 24]饲料实践中得到证实与应用,甚至在人^[25]上也得到验证。本实验结果也显示,复合蛋白源高水平替代鱼粉能显著降低杂交鳢血清中胆固醇

(CHO)和血糖含量,表明复合蛋白源能够调节杂交鳢的糖脂代谢,这与复合蛋白源含有桑叶和蚕蛹(含量为40%)有关。一方面因为植物甾醇和黄酮可以抑制肠道内胆固醇的吸收,促进胆固醇向肝脏转运和代谢^[26];另一方面桑叶和蚕蛹中富含1-脱氧野尻霉素(DNJ)可通过抑制小肠 α -糖苷酶的活性,延缓食物中碳水化合物的吸收,起到降血糖的作用^[27]。但也有研究指出,复合蛋白源高水平替代鱼粉不会影响牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[28]和大菱鲆(*Scophthalmus maximus*)^[26, 29]总胆固醇含量。在育肥猪^[30]和蛋鸡^[31]上也有类似的报道。这些研究结果的差异可能与复合蛋白源的组成、动物的种类或实验目的不同有关。目前,有关桑叶、蚕蛹降糖降脂的作用机理仍然停留在推断与假设上^[10, 24],研究资料缺乏,尤其是在水产动物上还需要深入研究并阐明桑叶和蚕蛹调节机体糖脂代谢的机制。

血液中许多生化指标可反映动物机体的生理状况。本实验中,复合蛋白源替代鱼粉没有影响杂交鳢血清甘油三酯、总蛋白和白蛋白的含量。类似的结果在牙鲆^[28]和大菱鲆^[26, 29]上有同样的报道。这表明鱼体代谢的调节机制是比较复杂的。

3.3 复合蛋白源替代鱼粉对杂交鳢抗氧化能力的影响

肝脏作为重要的代谢器官,在鱼体生长以及健康方面起着至关重要的作用。通常鱼体内有自身的抗氧化保护系统,维持其正常的生理功能,包括CAT、SOD。SOD能清除生物氧化过程中产生的超氧阴离子自由基,在清除超氧阴离子自由基的同时生成的过氧化氢(H₂O₂)又可被CAT清除生成水(H₂O)和氧气(O₂),保护细胞免受过氧化损伤^[32]。本实验结果显示,复合蛋白源替代水平24%以上会显著提高杂交鳢肝脏CAT和SOD活性,表明复合蛋白源可以改善机体的抗氧化能力。在吉富罗非鱼(GIFT *O. niloticus*)^[10, 33]和大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)^[24]上的研究也发现,饲料中补充桑叶可以提高鱼体的抗氧化能力。同时,杂交鳢肝脏的转氨酶活性显著升高。这说明复合蛋白源在提高鱼体抗氧化能力、改善肝功能的同时,促进了肝脏蛋白质代谢。已有研究指出,桑叶中的黄酮、蚕蛹中的 α -亚麻酸是通过提高机体抗氧化能力,促进胰岛

素分泌, 加快葡萄糖氧化分解这种途径达到降低血糖水平的^[10, 34]。本实验结果也证实这种推断, 即饲料中添加发酵桑叶和蚕蛹可能通过提高机体抗氧化能力及抑制脂质过氧化反应, 改善脂质代谢功能, 从而起到降低血糖、调节血脂水平的作用。这也是复合蛋白源的优势所在。但有关复合蛋白源对鱼体抗氧化能力影响方面的研究资料较为匮乏, 其作用机制还有待深入研究。

4 结论

饲料中, 适宜水平(12%)的复合蛋白源替代鱼粉不会影响杂交鳢的生长, 而高水平替代则会抑制其生长, 但可以改善杂交鳢机体的糖脂代谢, 提高机体的抗氧化能力。

参考文献:

- [1] Ghaedi A, Kabir M A, Hashim R. Effect of lipid levels on the reproductive performance of Snakehead murrel, *Channa striatus*[J]. *Aquaculture Research*, 2016, 47(3): 983-991.
- [2] Samantaray K, Mohanty S S. Interactions of dietary levels of protein and energy on fingerling snakehead, *Channa striata*[J]. *Aquaculture*, 1997, 156(3-4): 241-249.
- [3] Aliyu-Paiko M, Hashim R, Shu-Chien A C. Influence of dietary lipid/protein ratio on survival, growth, body indices and digestive lipase activity in Snakehead (*Channa striatus*, Bloch 1793) fry reared in re-circulating water system[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(5): 466-474.
- [4] Aliyu-Paiko M, Hashim R, Chong A S C, *et al.* Influence of different sources and levels of dietary protein and lipid on the growth, feed efficiency, muscle composition and fatty acid profile of Snakehead *Channa striatus* (Bloch, 1793) fingerling[J]. *Aquaculture Research*, 2010, 41(9): 1365-1376.
- [5] Shen H M, Chen X R, Chen W Y, *et al.* Influence of dietary phosphorus levels on growth, body composition, metabolic response and antioxidant capacity of juvenile snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*)[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2017, 23(4): 662-670.
- [6] Zhao P F, Li F J, Chen X R, *et al.* Dietary lipid concentrations influence growth, liver oxidative stress, and serum metabolites of juvenile hybrid snakehead (*Channa argus* × *Channa maculata*)[J]. *Aquaculture International*, 2016, 24(5): 1353-1364.
- [7] 郑晶, 蒋余, 吴晓清, 等. 4种诱食剂对杂交鳢生长和血清生化指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(8): 2497-2503.
- Zheng J, Jiang Y, Wu X Q, *et al.* Effects of four feeding attractants on growth and serum biochemical indices of hybrid snakehead[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(8): 2497-2503(in Chinese).
- [8] 刘勇, 冷向军, 李小勤. 发酵蛋白在水产饲料中的应用[J]. *上海海洋大学学报*, 2009, 18(1): 101-106.
- Liu Y, Leng X J, Li X Q. The application of fermented protein feed in aquatic feeds[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2009, 18(1): 101-106(in Chinese).
- [9] 林仕梅, 麦康森, 谭北平. 菜粕、棉粕替代豆粕对奥尼罗非鱼(*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*)生长、体组成和免疫力的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2007, 38(2): 168-173.
- Lin S M, Mai K S, Tan B P. Effect of soybean meal replacement by rapeseed-cottonseed compound on growth, body composition and immunity of Tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*[J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2007, 38(2): 168-173(in Chinese).
- [10] 白富瑾, 罗莉, 黄先智, 等. 蚕蛹油等7种油脂对吉富罗非鱼生长、体组成及脂质代谢影响的比较[J]. *水产学报*, 2017, 41(2): 258-270.
- Bai F J, Luo L, Huang X Z, *et al.* Comparative study on effects of silkworm pupal oil and other six kinds of lipid on growth, body composition and lipid metabolism of GIFT *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Fisheries of China*, 2017, 41(2): 258-270(in Chinese).
- [11] Park M Y, Lee K S, Sung M K. Effects of dietary mulberry, Korean red ginseng, and Banaba on glucose homeostasis in relation to PPAR- α , PPAR- γ , and LPL mRNA expressions[J]. *Life Sciences*, 2005, 77(26): 3344-3354.
- [12] Liu J X, Yao J, Yan B, *et al.* Effects of mulberry leaves to replace rapeseed meal on performance of sheep feeding on ammoniated rice straw diet[J]. *Small Ruminant Research*, 2001, 39(2): 131-136.
- [13] Islam M R, Siddiqui M N, Khatun A, *et al.* Dietary effect of mulberry leaf (*Morus alba*) meal on growth performance and serum cholesterol level of broiler chickens[J]. *SAARC Journal of Agriculture*, 2014, 12(2): 79-89.

- [14] 赵娟. 军曹鱼(*Rachycentron canadum*)对几种动植物蛋白源的利用研究[D]. 湛江: 广东海洋大学, 2011.
Zhao J. Study on utilization of several animal and plant protein sources for juvenile cobia, *Rachycentron canadum*[D]. Zhanjiang: Guangdong Ocean University, 2011(in Chinese).
- [15] 刘勇, 冷向军, 李小勤, 等. 混合发酵蛋白替代鱼粉对奥尼罗非鱼幼鱼生长、营养物质消化率及血清非特异性免疫的影响[J]. 上海海洋大学学报, 2009, 18(2): 160-166.
Liu Y, Leng X J, Li X Q, *et al.* Effect of fermented mixture-protein replacing fish meal on growth, apparent digestibility coefficients and serum non-specific immunity of tilapia (*Oreochromis niloticus*×*O. aureus*)[J]. Journal of Shanghai Ocean University, 2009, 18(2): 160-166(in Chinese).
- [16] Nandeesh M C, Gangadhara B, Varghese T J, *et al.* Growth response and flesh quality of common carp, *Cyprinus carpio* fed with high levels of nondefatted silkworm pupae[J]. Asian Fisheries Science, 2000, 13: 235-242.
- [17] Li Y, Ai Q H, Mai K S, *et al.* Comparison of high-protein soybean meal and commercial soybean meal partly replacing fish meal on the activities of digestive enzymes and aminotransferases in juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus* (Cuvier, 1828)[J]. Aquaculture Research, 2014, 45(6): 1051-1060.
- [18] Mondal K, Kaviraj A, Mukhopadhyay P K. Introducing mulberry leaf meal along with fish offal meal in the diet of freshwater catfish, *Heteropneustes fossilis*[J]. Electronic Journal of Biology, 2011, 7(3): 54-59.
- [19] Rangacharyulu P V, Giri S S, Paul B N, *et al.* Utilization of fermented silkworm pupae silage in feed for carps[J]. Bioresource Technology, 2003, 86(1): 29-32.
- [20] Bairagi A, Ghosh K S, Sen S K, *et al.* Duckweed (*Lemna polyrrhiza*) leaf meal as a source of feedstuff in formulated diets for rohu (*Labeo rohita* Ham.) fingerlings after fermentation with a fish intestinal bacterium[J]. Bioresource Technology, 2002, 85(1): 17-24.
- [21] 俞灵莺, 李向荣, 方晓. 桑叶总黄酮对糖尿病大鼠小肠双糖酶的抑制作用[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2002, 18(4): 313-315.
Yu L Y, Li X R, Fang X. Inhibitory effect of total flavonoids from mulberry tree leaf on small intestine disaccharidases in diabetic rats[J]. Chinese Journal of Endocrinology and Metabolism, 2002, 18(4): 313-315(in Chinese).
- [22] Li Y G, Ji D F, Zhong S, *et al.* Hybrid of l-deoxynojirimycin and polysaccharide from mulberry leaves treat diabetes mellitus by activating PDX-1/insulin-1 signaling pathway and regulating the expression of glucokinase, phosphoenolpyruvate carboxykinase and glucose-6-phosphatase in alloxan-induced diabetic mice[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 134(3): 961-970.
- [23] 章学东, 李有贵, 张雷, 等. 桑叶粉对蛋鸡生产性能、蛋品质和血清生化指标的影响研究[J]. 中国家禽, 2012, 34(16): 25-28.
Zhang X D, Li Y G, Zhang L, *et al.* Effect of dietary mulberry leaves on productive performance, egg quality and serum biochemical indices of laying hens[J]. China Poultry, 2012, 34(16): 25-28(in Chinese).
- [24] 徐韬, 彭祥和, 陈拥军, 等. 发酵桑叶替代鱼粉对大口黑鲈生长、脂质代谢与抗氧化能力的影响[J]. 水产学报, 2016, 40(9): 1408-1415.
Xu T, Peng X H, Chen Y J, *et al.* Effects of replacing fish meal with fermented mulberry leaves on the growth, lipid metabolism and antioxidant capacity in largemouth bass (*Micropterus salmoides*)[J]. Journal of Fisheries of China, 2016, 40(9): 1408-1415(in Chinese).
- [25] Doi K, Kojima T, Fujimoto Y. Mulberry leaf extract inhibits the oxidative modification of rabbit and human low density lipoprotein[J]. Biological & Pharmaceutical Bulletin, 2000, 23(9): 1066-1071.
- [26] 魏艳洁. 复合蛋白源替代大菱鲆幼鱼(*Scophthalmus maximus* L.)饲料中鱼粉的研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
Wei Y J. Study on the effect of fishmeal replacement with compound proteins in the diet of turbot juvenile (*Scophthalmus maximus* L.)[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015(in Chinese).
- [27] 杨少波, 张其安, 王娟. 降血糖天然食品资源及其降血糖机理研究进展[J]. 食品研究与开发, 2012, 33(4): 211-215.
Yang S B, Zhang Q A, Wang J. Research advances in natural food resources with hypoglycemic effects and their mechanism[J]. Food Research and Development, 2012, 33(4): 211-215(in Chinese).
- [28] Lee J, Choi I C, Kim K T, *et al.* Response of dietary sub-

- stitution of fishmeal with various protein sources on growth, body composition and blood chemistry of olive flounder (*Paralichthys olivaceus*, Temminck & Schlegel, 1846)[J]. *Fish Physiology and Biochemistry*, 2012, 38(3): 735-744.
- [29] Nagel F, von Danwitz A, Tusche K, *et al.* Nutritional evaluation of rapeseed protein isolate as fish meal substitute for juvenile turbot (*Psetta maxima* L.)-Impact on growth performance, body composition, nutrient digestibility and blood physiology[J]. *Aquaculture*, 2012, 356-357: 357-364.
- [30] 张立彬. 复合蛋白饲料全豆粕替代物饲喂生长育肥猪作用效果的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
Zhang L B. The study on effect on the growing-and-finishing pigs of compound protein substituent for soybean meal[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006(in Chinese).
- [31] 张艳铭. 复合蛋白饲料替代豆粕饲喂蛋鸡作用效果的研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2006.
Zhang Y M. The study of effect on compound protein feed substitution soybean meal to the laying hens[D]. Baoding: Agricultural University of Hebei, 2006(in Chinese).
- [32] 沈黄冕, 彭祥和, 林仕梅, 等. 发酵桑叶对高脂血症罗非鱼血脂、血糖水平的调节作用[J]. *动物营养学报*, 2016, 28(4): 1250-1256.
Shen H M, Peng X H, Lin S M, *et al.* Regulation of fermented mulberry leaves on serum lipid and blood glucose levels of Hyperlipidemia Tilapia(*Oreochromis niloticus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2016, 28(4): 1250-1256(in Chinese).
- [33] 李法见, 杨阳, 陈文燕, 等. 桑叶对罗非鱼生长性能、脂质代谢和肌肉品质的影响[J]. *动物营养学报*, 2014, 26(11): 3485-3492.
Li F J, Yang Y, Chen W Y, *et al.* Effects of dietary mulberry leaves on growth performance, fat metabolism and muscle quality of tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2014, 26(11): 3485-3492(in Chinese).
- [34] 陈玲玲, 刘炜, 陈建国, 等. 桑叶黄酮对糖尿病小鼠调节血糖的作用机制研究[J]. *中国临床药理学杂志*, 2010, 26(11): 835-838.
Chen L L, Liu W, Chen J G, *et al.* Study on the hypoglycemic mechanism of flavonoids of mulberry leaves on glycemia in diabetic mice[J]. *The Chinese Journal of Clinical Pharmacology*, 2010, 26(11): 835-838(in Chinese).

Effects of replacing fish meal with compound proteins on the growth, body composition and biochemical indices of hybrid snakehead

LIN Shimei^{1*}, MA Huijia¹, XU Tao¹, CHEN Yongjun¹, HUANG Xianzhi²

(1. Key Laboratory of Freshwater Fish Reproduction and Development, Ministry of Education, College of Animal Science and Technology, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2. Institute of Sericulture and Systems Biology, Southwest University, Chongqing 400716, China)

Abstract: This experiment was conducted to study the effect of replacement of fish meal by compound protein (fermented rapeseed meal+cotton meal+silkworm pupae+mulberry leaves) on the growth, body composition, anti-oxidant ability and biochemical indices of hybrid snakehead [with the initial weight (22 g)]. Five isonitrogenous and isolipid diets (CP 42%, EE 8.5%) were formulated to contain different levels of compound proteins based upon the basal diet to replace fish meal 0%, 12%, 24%, 36% and 48%. After 8 weeks, the results showed as follows: when the replacement ratio of fish meal by compound protein is more than 12%, the final body weight (FBW) and the specific growth rate (SGR) were significantly decreased, and reached a minimum at 48% substitution level. A lower protein efficiency ratio (PER) and higher feed conversion ratio (FCR) were observed at the 36% and 48% substitution levels. There is no significant difference in feeding rate (FR) for each test group. The replacement level of compound proteins decreased significantly body crude lipid, viscera somatic index (VSI) and intraperitoneal fat ratio (IPF), and increased significantly whole body moisture. With the compound protein level increasing, the activity of trypsin decreased significantly, while the activity of intestinal lipase increased significantly. When the compound protein level is higher than 24%, the activities of glutamyl pyruvic transaminase (GPT), superoxide thandismutase (SOD) and the catalyse (CAT) activities significantly increased. Serum CHO was decreased observably as compound protein ratio is more than 12%, but blood glucose content was decreased observably as compound protein ratio is more than 36%. There were no significant difference in total cholesterol (TC), total protein (TP) and albumin (ALB) for each test group. Results of above show that a suitable percentage (12%) of compound protein replacement of fish meal does not affect the growth of hybrid snakehead. And high replacement level would inhibit the growth of hybrid snakehead, but it can improve the glucolipid metabolism and antioxidant capacity of hybrid snakehead.

Key words: hybrid snakehead; compound proteins; fish meal; growth; biochemical indices

Corresponding author: LIN Shimei. E-mail: linsm198@163.com

Funding projects: National Special Research Fund for Non-profit Sector (Agriculture) of China (201303053); Chongqing Ecological Fishery Technology System