

doi: 10.7541/2020.011

饲料中猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫生长性能、血液生理生化、肌肉组成及质构特性的影响

程小飞^{1,2} 蒋国民¹ 向劲¹ 宋锐^{1,2} 李绍明¹ 伍远安^{1,2*} 刘丽^{1*} 王志明³

(1. 湖南省水产科学研究所, 长沙 410153; 2. 水产高效健康生产湖南省协同创新中心, 常德 415000;

3. 长沙市水生动物防疫检疫站, 长沙 410153)

摘要: 以初始体重(17.47±2.56) g的芙蓉鲤鲫为研究对象, 通过8周的生长实验, 研究在饲料中无害化处理产品猪肉骨粉(以下简称肉骨粉)替代鱼粉蛋白对芙蓉鲤鲫生长性能、血液生理生化指标、肌肉组成及质构特性的影响。实验设置3种等氮(38%)等脂(6%)饲料, 以肉骨粉替代饲料中鱼粉蛋白的0(FM)、50%(T1)、100%(T2)。结果显示: (1)芙蓉鲤鲫的生长性能在各处理组之间无显著性差异($P>0.05$); (2)随着饲料中肉骨粉含量的升高, 芙蓉鲤鲫饲料系数呈增大趋势, 当替代比例达到100%时显著大于对照组(FM, $P<0.05$); (3)芙蓉鲤鲫替代组血红蛋白含量显著高于对照组($P<0.05$), 谷草转氨酶呈下降趋势, 当替代水平达到100%时显著低于对照组($P<0.05$), 而其他血液生理生化指标各处理组间无显著性差异($P>0.05$); (4)肉骨粉替代鱼粉蛋白对芙蓉鲤鲫背肌粗蛋白质、水分和灰分含量无显著性影响($P>0.05$), 但对其脂肪含量有一定影响, 50%替代组背肌粗脂肪含量显著低于对照组($P<0.05$); (5)肉骨粉替代50%鱼粉蛋白显著降低了芙蓉鲤鲫背肌中Asp、Glu、Gly、Ala、Val、Met、Ile、Leu、Tyr、Phe、 Σ EAA、 Σ DAA、 Σ TAA含量($P<0.05$); (6)肉骨粉替代鱼粉蛋白提高了芙蓉鲤鲫肌肉弹性和黏附性, 且50%替代组显著大于对照组($P<0.05$)。结果表明, 猪肉骨粉能替代芙蓉鲤鲫幼鱼饲料中100%鱼粉蛋白(饲料中鱼粉含量为10%)而对鱼体的生长、血液指标、肌肉组成及质构特性无显著不利影响。

关键词: 肉骨粉; 芙蓉鲤鲫; 鱼粉; 生长性能; 血液生理生化; 质构特性

中图分类号: S965.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3207(2020)01-0085-10

非传染性病死畜禽是畜禽养殖及其加工过程中不可避免的“副产物”, 既是农业废弃物, 又是生物资源, 用则利, 弃则害^[1]。非传染性病死动物无害化处理后的资源利用是当今社会各界关注的热点, 其对于保障食品安全和生态环境安全, 促进养殖业健康发展具有重要意义。化制法是病死动物无害化处理的主要方式之一, 是指将病死动物进行破碎预处理后, 再于高温高压条件下进行灭菌及相关处理的一种无害化处理方式^[2]。无害化处理产品肉骨粉(Meat and bone meal, MBM), 主要营养成分有蛋白质、脂肪、矿物质以及各种维生素等, 其中粗蛋白含量一般为50%—60%, 且氨基酸组分比较平衡,

脂肪含量为8%—12%^[3]。杨慧杰等^[4]研究表明, 病死猪经过无害化生物降解以后所制得的肉骨粉, 营养价值和饲用价值高, 基本符合国家规定的饲料用肉骨粉标准。非传染性病死猪无公害化处理产品(猪肉骨粉)作为动物蛋白原料替代水产饲料中的鱼粉, 一方面可以降低病死动物尸体随意丢弃对环境的污染, 达到保护生态环境的目的; 另一方面可以实现生物资源再利用, 解决蛋白质饲料原料紧缺问题, 降低养殖成本。

芙蓉鲤鲫(*Furong crucian carp*)是湖南省水产科学研究所散鳞镜鲤(*Cyprinus carpio*)为母本, 兴国红鲤(*Cyprinus carpio* var *singguoensis*)为父本杂交

收稿日期: 2018-12-25; 修订日期: 2019-09-17

基金项目: 湖南省科技重大专项资金(2017NK1030); 国家大宗淡水鱼产业技术体系长沙综合试验站项目(CARS-45-47)资助 [Supported by the Major Science and Technology Special Project in Hunan Province (2017NK1030); the Earmarked Fund for China Agriculture Research System (CARS-45-47)]

作者简介: 程小飞(1986—), 男, 陕西山阳人; 硕士; 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: chengxiaofei19@126.com

通信作者: 伍远安, 男, 研究员; E-mail: wuyuanan9259@163.com; 刘丽, 女, 副研究员; E-mail: hnhhliliu@163.com *共同通信作者

获得杂交子代芙蓉鲤(*Cyprinus capio* Furong),再以芙蓉鲤为母本,红鲫(*Carassius auratus* red var.)为父本进行杂交培育而成,属于国家农业农村部水产新品种(GS-02-001-2009)^[5]。芙蓉鲤体色偏黄,鳞片紧密且具有生长快、肉质好、性腺败育以及抗性强等优点,深受广大养殖户的喜爱。目前对芙蓉鲤的研究主要集中在遗传育种^[6-8]及营养需求^[9-12]等方面,但关于鱼粉替代在芙蓉鲤上的研究尚未见报道。

本实验研究了以非传染性病死猪无害化处理产品猪肉骨粉为蛋白源,替代芙蓉鲤饲料中50%和100%鱼粉蛋白,通过测定芙蓉鲤的生长性能、营养成分、血液生理生化指标及质构特性,综合评价猪肉骨粉在芙蓉鲤饲料中的应用效果,以期为非传染性病死动物无公害化处理产品(猪肉骨粉)在水产饲料中的应用提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

本实验所用无害化处理产品猪肉骨粉(粗蛋白66.65%、粗脂肪13.34%)由湖南盛祥环保科技有限公司提供,鱼粉(粗蛋白66.67%、粗脂肪8.22%)及其他饲料原料均购于湖南大北农农业科技有限公司。实验设计了3组等氮(38%)等脂(6.5%)的饲料,以鱼粉组(FM)饲料作为对照组,分别以肉骨粉蛋白替代鱼粉蛋白的50%(T1)和100%(T2),共3个处理,每个处理3平行。所有原料粉碎过60目筛,用小型搅拌机搅拌充分混匀,经饲料机(环模颗粒机SZLH200,江苏正昌集团有限公司)制成1.5 mm粒径的颗粒饲料,风干后于-20℃冰柜密封储存。实验饲料配方和基本生化组成见表1,实验饲料氨基酸组成见表2。

1.2 实验鱼及饲养管理

本实验于湖南省水产科学研究所孵化棚内的水泥池养殖系统开展,水泥池(长2.8 m×宽1.6 m×深1.0 m),实验期间水泥池全天24h进行不间断鼓风机增氧,且保持微流水。实验芙蓉鲤由湖南鱼缘生物科技有限公司提供的当年苗种。实验开始前1d,实验鱼饥饿24h,选取初始规格均匀、体格健壮的芙蓉鲤270尾[初重:(17.47±2.56) g],随机分配至9个相同规格水泥养殖池,每实验组3个重复,每个重复30尾。实验期间按体重的3.0%—7.0%投喂饲料,日投喂4次(8:00、11:00、15:00和17:30),生长实验共持续56d。实验期间水温为25.0—33.0℃,溶解氧为5.30—5.80 mg/L, pH为7.00—7.64,氨氮为0.10—0.20 mg/L,亚硝酸盐0.03—0.05 mg/L,硫化

表1 实验饲料配方及化学成分(%干物质)

Tab. 1 Formulation and chemical composition of the experimental diets (% dry matter)

原料Ingredient	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
白鱼粉White fish meal	10	5	0
肉骨粉Meat and bone meal	0	5	10
大豆粕Soybean meal	20	20	20
菜粕Canola meal	16	16	16
棉粕Cottonseed meal	16	16	16
玉米蛋白粉Corn gluten meal	10	10	10
次粉Wheat middlings	10	10	10
玉米淀粉Corn starch	7	7	7.5
鱼油Fish oil	3.5	3.5	3
磷酸二氢钙Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2	2	2
沸石粉Zeolite powder	2	2	2
膨润土Bentonite	2	2	2
预混料Premix ¹	1	1	1
氯化胆碱Choline chloride	0.5	0.5	0.5
总计Total	100	100	100
化学组成 Chemical composition			
水分Moisture	7.22	6.96	7.30
粗脂肪Crude lipid	6.37	6.63	6.30
粗蛋白质Crude protein	37.84	38.26	37.88
灰分Ash	11.33	11.20	11.04

注: FM. 代表鱼粉饲料组, 即对照组; T1. 表示肉骨粉替代50%鱼粉蛋白饲料组; T2. 表示肉骨粉替代100%鱼粉蛋白饲料组; 预混料¹: 马斯特牌1%草食性鱼复合预混合饲料(青岛马斯特生物技术有限公司, 每千克不低于): 维生素A乙酸酯300 IU; 维生素D₃ 100 IU; DL- α -生育酚乙酸酯1.6 g; 甲萘醌0.5 g; 硝酸硫胺0.5 g; 核黄素0.8 g; 盐酸吡哆醇0.6 g; 氰钴胺0.0015 g; D-泛酸钙1.8 g; 烟酰胺2.5 g; 叶酸0.15 g; D-生物素0.004 g; L-抗坏血酸-2-磷酸酯7 g; 肌醇8 g; Fe 12 g; Cu 0.4 g; Zn 5 g; Mn 2 g; Mg 10 g; Co 0.03 g; I 0.585 mg; Se 0.01 g; 无机盐混合物载体为沸石粉

Note: FM means fish meal group; T1 means meat and bone meal replacement of 50% fish meal protein group; T2 means meat and bone meal replacement of 100% fish meal protein group; Premix¹: Master 1% premixed feed for herbivorous fish (Qingdao Master Biotechnology Co., Ltd., the contents of vitamin and mineral element is not less than the following per kilogram): VA 300 IU; VD₃ 100 IU; DL- α -tocopheryl acetate 1.6 g; Menadione 0.5 g; Thiamine nitrate 0.5 g; VB₂ 0.8 g; VB₆ 0.6 g; VB₁₂ 0.0015 g; Calcium pantothenate 1.8 g; Niacinamide 2.5 g; Folic acid 0.15 g; D-biotin 0.004 g; L-Ascorbate-2-phosphate 7 g; Inositol 8 g; Fe 12 g; Cu 0.4 g; Zn 5 g; Mn 2 g; Mg 10 g; Co 0.03 g; I 0.585 mg; Se 0.01 g and zeolite powder was used as a carrier

物0.03—0.04 mg/L。

1.3 样品采集与检测

实验鱼采样前饥饿24h, 每尾鱼测体长和体重; 每池随机取10尾鱼用MS-222麻醉后, 尾静脉取血, 分别放进0.5 mL的喷涂有EDTA K2抗凝剂的离心管(制备全血)和1.5 mL的非抗凝离心管。非抗凝血液样品4℃冰箱过夜后, 3000 r/min, 离心10min制备

表 2 实验饲料氨基酸组成(%干物质)

Tab. 2 Amino acid profile of the experimental diets (% dry matter)

氨基酸Amino acid	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
必需氨基酸EAA			
苯丙氨酸Phe	2.18	2.14	2.04
蛋氨酸Met	0.79	0.75	0.68
赖氨酸Lys	2.27	2.13	1.95
苏氨酸Thr	1.54	1.52	1.41
亮氨酸Leu	3.76	3.58	3.51
异亮氨酸Ile	1.61	1.52	1.46
缬氨酸Val	2.10	2.04	1.97
必需氨基酸总和 Σ EAA ^a	14.25	13.68	13.02
非必需氨基酸NEAA			
丝氨酸Ser	1.92	1.92	1.79
谷氨酸Glu	8.11	8.05	7.76
甘氨酸Gly	1.87	2.01	2.06
丙氨酸Ala	2.37	2.31	2.28
胱氨酸Cys	0.26	0.33	0.31
天冬氨酸Asp	3.72	3.68	3.51
酪氨酸Tyr	1.64	1.58	1.50
组氨酸His	1.28	1.28	1.24
精氨酸Arg	2.83	2.92	2.75
脯氨酸Pro	2.59	2.63	2.63
非必需氨基酸总和 Σ NEAA ^b	26.59	26.71	25.83
鲜味氨基酸总和 Σ DAA ^c	16.07	16.05	15.61
总氨基酸 Σ TAA ^d	40.84	40.39	38.85

注: a. Σ EAA 必需氨基酸总和; b. Σ NEAA 非必需氨基酸总和; c. Σ DAA 鲜味氨基酸总和; 其包括谷氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸和丙氨酸; d. Σ TAA 氨基酸总和; 下同

Note: a. Σ EAA is total essential amino acids; b. Σ NEAA is total non-essential amino acids; c. Σ DAA is total delicious amino acids, which include Glu, Gly, Asp, Ala; d. Σ TAA is total amino acids; the same applies below

血清; 每池随机取10尾鱼解剖, 测量肠长, 称空壳重、肝胰脏重、脾重及肠重, 取肝胰脏组织和肠组织迅速置液氮中保存, 随后转至 -80°C 冰箱保存待用。其他实验鱼留作全鱼样品, 经液氮速冻后于 -20°C 保存待用。

采用以下公式计算生长性能和生物学性状:

成活率(Survival rate, SR , %)=终末鱼数/ 初始鱼数 $\times 100\%$;

摄食率(Feeding rate, FR , %BW/d)=饲料摄入干物质/[投喂天数 $\times$ (初始体重+终末体重)/2];

增重率(Weight gain rate, WGR , %)=(终末体重-初始体重)/初始体重 $\times 100\%$;

特定生长率(Specific growth rate, SGR , %/d)=[$\ln$ 终末体重 $-\ln$ 初始体重]/饲养天数 $\times 100\%$;

绝对增长率(Absolute growth rate, AGR , g/d)=(终末体重-初始体重)/饲养天数;

饲料系数(Feed conversion ratio, FCR)=投饲总量/(终末体重-初始体重);

肥满度(Condition factor, CF , g/cm^3)=(体重/体长³) $\times 100\%$;

肝胰脏指数(Hepatosomatic index, HSI , %)=肝胰脏重/体重 $\times 100\%$;

内脏指数(Viscerosomatic index, VI , %)=内脏重/体重 $\times 100\%$;

脂指数(Lipid index, %)=肠系膜脂肪重/体重 $\times 100\%$;

肠指数(Intestine index, %)=肠重/体重 $\times 100\%$;

脾脏指数(Spleen index, %)=脾脏重/体重 $\times 100\%$ 。

1.4 样品分析

取样及对样品的处理: 取芙蓉鲤背部两侧肌肉, 用组织捣碎机粉碎以做体成分分析。

营养成分测定: 实验饲料与背肌营养成分均参照AOAC(2003)标准方法进行测定, 干物质测定采用恒温干燥法(105°C); 蛋白质测定采用凯氏定氮法测定; 脂肪测定采用索氏抽提法测定; 灰分测定采用马福炉灼烧法(550°C); 氨基酸测定采用酸水解法, 取样品0.5 g, 用6 mol/L的盐酸于 110°C 下水解22h过滤定容至50 mL, 取0.5 mL真空干燥制作成样品, 使用德国Sykam公司S-433D型氨基酸分析仪测定样品氨基酸组成及比例。

血液生理生化指标测定: 丙氨酸转氨酶(Alanine amino transtrase, ALT)、天门冬氨酸转氨酶(Aspartic amino transtrase, AST)、甘油三酯(Triglyceride, TG)、胆固醇(Cholesterol, CHOL)、高密度脂蛋白(High-density lipoprotein cholesterol, HDL-c)、低密度脂蛋白(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-c)、总蛋白(Total protein, TP)、白蛋白(Albumin, ALB)、球蛋白(Globulin, GLO)、白蛋白/球蛋白(Albumin/Globulin, A/G)、血糖(Glucose, GLU), 采用美国贝克曼库尔特AU5800全自动生化分析仪进行测定, 其中ALT和AST检测使用上海复星长征医学科学有限公司试剂盒, HDL-c和LDL-c检测使用浙江伊利康生物技术有限公司试剂盒, CHOL、TG和GLU检测使用上海科华生物工程股份有限公司试剂盒, TP、ALB和GLO检测使用是中生北控生物科技股份有限公司试剂盒。

血液生理指标: 白细胞(White blood cell, WBC)、红细胞(Red blood cell, RBC)、血红蛋白(Hemoglobin, HGB)、红细胞比容(Hematocrit, HCT)、红细胞平均体积(Mean corpuscular volume, MCV)、

红细胞平均血红蛋白含量(Mean corpuscular hemoglobin, MCH)、红细胞平均血红蛋白浓度(Mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC)、血小板数(Platelet, PLT)、红细胞分布宽度(Red cell volume distribution width, RDW-CV)、血小板分布宽度(Platelet distribution width, PDW)、平均血小板体积(Mean platelet volume, MPV)、大型血小板比率(Platelet-large cell ratio, P-LCR)、血小板压积(Platelet ocrit, PCT), 采用日本希森美康全自动细胞分析仪分析。

肌肉质构特性: 采用美国FTC公司的MS-PRO型质构仪检测, 采用球形探头(直径6.35 mm), 对肌肉进行2次压缩进行质地多面剖析(TPA)模式测实。其中质构特性指标包括弹性、硬度、咀嚼性、黏聚性、回复性和黏着性, 各参数定义详见文献[13]。取芙蓉鲤侧线以上靠近头部的肌肉块, 修剪成10 mm×10 mm×5 mm的方块, 每尾鱼取3个平行样品进行测定, 每一个样品进行6次平行测量, 去最大值和最小值后, 取平均值。TPA模式设定参数为测实速度: 1 mm/s; 变形程度: 50%; 最小压力: 0.1 N; 两次压缩时间间隔: 5s。数据采集速率: 200 pps。

1.5 统计分析

采用SPSS18.0软件进行统计分析。实验数据首先进行方差齐性检验; 方差齐性后, 进行单因素方差分析(One-way ANOVA), 用Duncan's多重比较来确定各实验组间差异的显著性, $P<0.05$ 被认为差异显著。

2 结果

2.1 生长和饲料利用

实验结果如表3所示, 芙蓉鲤的终末体重、摄食率、绝对生长率、特定生长率和增重率在各处理组间无显著性差异($P>0.05$)。终末体长随着替代比例增加呈逐渐降低趋势, 且T2组体长显著低于FM组($P<0.05$), T1组与FM组、T2组差异不显著($P>0.05$)。饲料系数随着替代比例增加呈逐渐上升趋势, 且T2组饲料系数显著大于FM组($P<0.05$), T1组与FM组、T2组差异不显著($P>0.05$)。芙蓉鲤的存活率各处理组间无显著性差异($P>0.05$)。

2.2 形态学

芙蓉鲤形体指标如表4所示。随着饲料中肉骨粉含量的升高, 芙蓉鲤的肥满度呈增大趋势, 且T2组显著大于FM组和T1组($P<0.05$), T1组与FM组差异不显著($P>0.05$)。各处理组间芙蓉鲤的内脏指数、肝胰脏指数、脂指数、肠指数、肠体比、脾脏指数无显著性差异($P>0.05$)。

表3 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤幼鱼生长及饲料利用的影响
Tab. 3 Effects of the replacement of fish meal with meat and bone meal on the growth and feed utilization of juvenile Furong crucian carp

指标Index	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
初始体重IBW (g)	17.03±0.06	17.03±0.10	17.02±0.05
终末体重FBW (g)	48.32±0.13	47.54±2.54	47.19±1.37
终末体长Length (cm)	11.81±0.71 ^a	11.72±0.77 ^{ab}	11.56±0.69 ^b
摄食率FR (% BW/d)	1.90±0.07	1.98±0.04	2.00±0.03
绝对生长率AGR (g/d)	0.56±0.01	0.54±0.05	0.54±0.03
特定生长率SGR (%/d)	1.86±0.00	1.83±0.10	1.82±0.05
增重率WGR (%)	173.44±8.59	159.47±5.79	160.21±6.77
饲料系数FCR	1.15±0.06 ^b	1.25±0.05 ^{ab}	1.26±0.05 ^a
成活率SR (%)	94.44±5.09	90.00±6.67	91.11±5.09

注: 表中数据表示为平均值±标准差, 同行数值不同上标英文字母表示差异显著($P<0.05$); 下同

Note: Data presented are means±SD. Values in the same row with different superscript letters are significantly different ($P<0.05$); the same applies below

表4 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤幼鱼生物性状的影响

Tab. 4 Effects of the replacement of fish meal with meat and bone meal on the biological parameters of juvenile Furong crucian carp

指标Index	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
肥满度CF (g/cm ³)	2.93±0.32 ^b	2.94±0.37 ^b	3.05±0.35 ^a
内脏指数VSI (%)	6.62±0.96	6.36±0.84	6.55±0.96
肝胰脏指数HSI (%)	1.44±0.24	1.39±0.29	1.52±0.35
脂指数LI (%)	0.64±0.43	0.60±0.36	0.60±0.39
肠指数II (%)	1.79±0.24	1.72±0.34	1.69±0.23
肠体比ILR (cm/cm)	2.43±0.33	2.35±0.45	2.40±0.31
脾脏指数SI (%)	0.23±0.07	0.20±0.07	0.22±0.08

2.3 血液生理

实验结果如表5表示, 饲料中肉骨粉替代鱼粉蛋白, 芙蓉鲤血液中血红蛋白含量显著升高($P<0.05$), 而不同替代组间差异不显著($P>0.05$)。芙蓉鲤血液中的白细胞含量、红细胞含量、红细胞比容、红细胞平均体积、平均血红蛋白量、平均血红蛋白浓度、血小板含量、红细胞分布宽度、血小板分布宽度、平均血小板体积、大型血小板比率和血小板压积在各处理组间无显著性差异($P>0.05$)。

2.4 血清生化

实验结果如表6所示, 芙蓉鲤血清谷草转氨酶随着饲料中肉骨粉含量的上升呈下降趋势, 当替

表 5 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫幼鱼血液生理指标的影响

Tab. 5 Effects of the replacement of fish meal with meat and bone meal on the blood physiological indices of juvenile Furong crucian carp

指标Index	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
白细胞WBC ($10^9/L$)	745.54±88.61	787.97±86.42	767.44±79.90
红细胞RBC ($10^{12}/L$)	1.47±0.32	1.91±0.30	1.83±0.09
血红蛋白HGB (g/L)	71.00±20.51 ^b	102.33±8.50 ^a	101.33±7.02 ^a
红细胞比容HCT (L/L)	0.25±0.07	0.31±0.03	0.30±0.06
红细胞平均体积MCV (fL)	170.17±33.46	165.27±30.13	165.80±36.07
平均血红蛋白量MCH (pg)	48.00±6.32	55.10±13.97	55.33±4.37
平均血红蛋白浓度MCHC (g/L)	284.67±24.13	332.67±45.62	342.00±56.40
血小板PLT ($10^9/L$)	68.00±25.91	34.00±29.55	52.67±40.80
红细胞分布宽度RDW-CV (%)	22.03±9.74	22.43±9.50	19.30±8.20
血小板分布宽度PDW (%)	8.00±1.31	8.07±1.42	9.03±1.62
平均血小板体积MPV (fL)	7.57±1.00	8.27±1.64	8.33±0.75
大型血小板比率P-LCR (%)	11.87±6.59	15.43±8.49	16.87±5.27
血小板压积PCT (%)	0.09±0.10	0.02±0.02	0.05±0.04

表 6 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫幼鱼血清生化指标的影响

Tab. 6 Effects of the replacement of fish meal with meat and bone meal on the serum biochemical indices of juvenile Furong crucian carp

指标Index	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
总蛋白TP (g/L)	25.17±1.37	23.70±1.13	23.23±3.06
白蛋白ALB (g/L)	9.27±0.32	9.13±0.23	9.07±1.01
球蛋白GLO (g/L)	15.90±1.04	14.57±1.02	14.17±2.05
白球比A/G	0.58±0.02	0.63±0.04	0.64±0.03
谷丙转氨酶ALT (U/L)	6.00±1.00	6.33±2.31	8.00±2.00
谷草转氨酶AST (U/L)	189.00±22.91 ^a	134.33±35.16 ^{ab}	110.33±30.89 ^b
谷丙/谷草ALT/AST	0.03±0.01 ^b	0.05±0.01 ^b	0.08±0.02 ^a
碱性磷酸酶AKP (U/L)	25.67±11.68	33.33±15.04	20.33±6.66
葡萄糖GLU (mmol/L)	9.30±1.48	8.13±1.51	9.96±3.57
甘油三酯TG (mmol/L)	1.04±1.42	0.91±0.19	0.98±0.13
总胆固醇CHOL (mmol/L)	4.07±0.24	4.22±0.44	4.31±0.48
高密度脂蛋白HDL-c (mmol/L)	2.76±0.14	2.95±0.30	2.94±0.43
低密度脂蛋白LDL-c (mmol/L)	1.74±0.12	1.85±0.37	1.93±0.33
极低密度脂蛋白VLDL-c (mmol/L)	0.21±0.03	0.18±0.04	0.20±0.03

代比例达到100%, 谷草转氨酶含量显著低于对照组($P>0.05$), 而T1组与FM组、T2组差异不显著($P>0.05$)。血清谷丙转氨酶/谷草转氨酶的比值在FM、T1和T2三处理组有逐渐升高的趋势, 且T2组显著高于FM组和T1组($P<0.05$), T1组与FM组差异不显著($P>0.05$)。芙蓉鲤鲫血清白蛋白、球蛋白、总蛋白、白球比、谷丙转氨酶、碱性磷酸酶、葡萄糖、甘油三酯、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、低密度脂蛋白胆固醇、极低密度脂蛋白胆固醇在FM、T1和T2三处理组间均没有显著差异($P>0.05$)。

2.5 背肌生化组成及氨基酸组成

背肌生化组成如表 7 所示, 芙蓉鲤鲫背肌中水分和灰分含量在各组间没有显著差异($P>0.05$); 粗蛋白质含量FM、T1、T2有依次降低的趋势, 但差异不显著($P>0.05$); 粗脂肪含量FM组显著高于T1组($P<0.05$), T2组与FM和T1之间差异不显著($P>0.05$)。

背肌氨基酸组成如表 8 所示, T1组的天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸显著低于FM组($P<0.05$), T1组的谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、酪氨酸显著低于T2组($P<0.05$); T2组除甘氨酸显著低于FM外($P<0.05$), 其余氨基酸均与FM组没有显著差异($P>0.05$)。ΣEAA、ΣDAA、ΣTAA表现为T1<T2<FM, 且T1显著小于FM($P<0.05$), T2与T1及T2与FM均差异不显著($P>0.05$); FM、T1、T2三个处理组间的苏氨酸、丝氨酸、胱氨酸、组氨酸、赖氨酸、精氨酸、脯氨酸没有显著差异($P>0.05$)。

2.6 质构特性

如表 9 所示, FM、T1和T2三处理组实验鱼肌肉的硬度、胶黏性、咀嚼性和内聚性均没有显著性差异($P>0.05$), 而T1和T2替代组肌肉的弹性显著高于FM组($P<0.05$)。T1组的黏附性显著大于FM组($P<0.05$), 与T2组差异不显著($P>0.05$), T2组的黏附

表 7 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫幼鱼背肌化学组成的影响 (% 以湿重计)

Tab. 7 Effects of fish meal replaced by meat and bone meal on dorsal muscle chemical composition of juvenile Furong crucian carp (% wet matter)

化学组成 Chemical composition	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
水分Moisture	80.91±0.07	81.18±0.04	80.10±0.53
粗脂肪Crude lipid	0.74±0.03 ^a	0.52±0.07 ^b	0.6±0.06 ^{ab}
粗蛋白质Crude protein	18.18±0.29	17.50±0.34	17.31±0.21
灰分Ash	1.11±0.01	1.10±0.02	1.10±0.02

表 8 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫幼鱼背肌氨基酸组成的影响(%以湿重计)

Tab. 8 Effects of fish meal replaced by meat and bone meal on amino acid profile of dorsal muscle of juvenile Furong crucian carp (% wet matter)

氨基酸Amino acid	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
天冬氨酸Asp	1.94±0.03 ^a	1.77±0.07 ^b	1.90±0.09 ^{ab}
苏氨酸Thr	0.83±0.01	0.79±0.02	0.84±0.08
丝氨酸Ser	0.76±0.01	0.71±0.02	0.77±0.07
谷氨酸Glu	3.01±0.04 ^a	2.77±0.08 ^b	2.95±0.11 ^a
甘氨酸Gly	0.91±0.03 ^a	0.78±0.02 ^c	0.85±0.04 ^b
丙氨酸Ala	1.14±0.02 ^a	1.01±0.03 ^b	1.10±0.05 ^a
胱氨酸Cys	0.09±0.01	0.08±0.03	0.12±0.02
缬氨酸Val	0.93±0.02 ^a	0.84±0.02 ^b	0.91±0.06 ^{ab}
蛋氨酸Met	0.55±0.01 ^a	0.50±0.01 ^b	0.54±0.02 ^a
异亮氨酸Ile	0.81±0.01 ^a	0.74±0.03 ^b	0.80±0.04 ^{ab}
亮氨酸Leu	1.53±0.02 ^a	1.41±0.05 ^b	1.51±0.06 ^a
酪氨酸Tyr	0.65±0.02 ^a	0.58±0.02 ^b	0.63±0.03 ^a
苯丙氨酸Phe	0.83±0.02 ^a	0.75±0.03 ^b	0.81±0.05 ^{ab}
组氨酸His	0.62±0.02	0.59±0.03	0.62±0.04
赖氨酸Lys	1.83±0.07	1.76±0.04	1.83±0.09
精氨酸Arg	1.09±0.06	1.01±0.04	1.07±0.07
脯氨酸Pro	0.58±0.02	0.52±0.04	0.57±0.05
ΣEAA ^a	7.31±0.12 ^a	6.76±0.16 ^b	7.24±0.38 ^{ab}
ΣDAA ^b	7.00±0.09 ^a	6.33±0.20 ^b	6.80±0.29 ^{ab}
ΣTAA ^c	18.10±0.30 ^a	16.59±0.39 ^b	17.81±0.94 ^{ab}

表 9 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫幼鱼背肌质构特性的影响

Tab. 9 Effects of fish meal replaced by meat and bone meal on muscle texture characteristics of juvenile Furong crucian carp

指标Index	饲料组Diet		
	FM	T1	T2
硬度Hardness	25.15±9.58	19.80±5.46	21.39±2.61
弹性Springiness	1.54±0.22 ^b	2.02±0.17 ^a	1.97±0.29 ^a
胶黏性Gumminess	10.89±3.09	9.26±2.35	10.60±1.00
咀嚼性Chewiness	16.72±5.44	18.84±5.85	20.98±4.20
黏附性Adhesiveness	0.10±0.04 ^b	0.18±0.05 ^a	0.15±0.04 ^{ab}
内聚性Cohesiveness	0.36±0.05	0.38±0.05	0.39±0.06

性较FM组有所提高,但差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤鲫生长性能影响的评价

本研究中所选用的猪肉骨粉为非传染性病死猪经过无公害化处理后的产品。所用病猪并未感染恶性传染性疫病,符合《病害动物和病害动物产品生物安全处理规程》(GB 16548-2006)规定的可

化制法处理的要求,因此原则上不存在恶性传染性病原;此外,国内外研究表明,病死猪经无公害化处理后,其肉骨粉卫生和质量安全得到进一步提升。杨慧杰等^[4]利用生物降解技术对病死猪进行无害化处理,所得肉骨粉中细菌、霉菌和沙门氏菌数据均符合相关卫生标准要求,且生物安全指标(包括口蹄疫、猪瘟、高致病性猪蓝耳病、圆环病毒2型和伪狂犬病毒等项目)检测结果均为阴性。Routt等^[14]对17个不同化制处理厂的原料和产品进行了检测,发现经过处理后产气荚膜梭菌、李斯特菌、弯曲杆菌和沙门氏菌均被完全杀灭。曾中华^[15]研究发现,畜禽养殖场有机废弃物处理机(TY-FCW-26型)能有效杀灭猪瘟病毒、圆环病毒、伪狂犬病毒、蓝耳病毒及大肠杆菌、沙门氏菌和蛔虫卵,生物安全水平高。由此可见,经过无害化处理后,非传染性病死猪肉骨粉品质提高,所含菌类显著减少,质量更加安全。传统肉骨粉是由哺乳动物的屠宰中不宜食用的下脚料等经高温高压消毒及粉碎加工提炼等一系列加工处理制作而成,其中骨质成分和难以消化的残渣占有很大比例。根据我国饲料用骨粉及肉骨粉国家标准(GB/T 20193—2006)中肉骨粉粗蛋白质/(%)的标准划分规定:一级(≥ 50),二级(≥ 45),三级(≥ 40);粗灰分/(%)的标准划分规定:一级(≤ 33),二级(≤ 38),三级(≤ 43)。本实验中选用的猪肉骨粉原料(蛋白质66.65%,粗脂肪13.34%,水分3.25%,灰分18.25%)中肉粉比例远高于传统肉骨粉中的肉粉比例,从而其蛋白质含量和必需氨基酸组成等营养素要远优于传统肉骨粉。

本研究表明,肉骨粉替代芙蓉鲤鲫饲料中50%—100%鱼粉(鱼粉含量10%)时,芙蓉鲤鲫特定生长率、存活率在对照组和替代组之间未出现显著变化。类似的,敬婷等^[16]研究发现,肉骨粉可替代罗非鱼日粮中33%—100%鱼粉(鱼粉含量12%)而不影响鱼体的生长。Moutinho等^[17]对金头鲷(*Sparus aurata*)研究表明,肉骨粉替代其饲料50%鱼粉蛋白(鱼粉含量57.4%)对其生长没有显著影响,而当替代100%鱼粉蛋白时,其生长性能显著降低。分析认为,在不同鱼类的研究中,肉骨粉替代鱼粉的比例及对其生长性能的影响差异较大,首先可能与饲料中肉骨粉的绝对含量相关,其次可能与实验所选用肉骨粉的质量优劣相关。Nengas等^[18]实验发现,以禽肉粉及其副产品替代鱼粉蛋白时,某些限制性氨基酸的不足是制约金头鲷(*Sparus aurata*)生长的主要因素。在本实验中,替代组和对照组饲料在必需氨基酸含量和比例均非常接近,从而保证各实验饲料均有较好的营养价值。其次,来源于肉骨粉中大

量易消化吸收的磷、钙等矿物元素可能对于芙蓉鲤的生长具有重要促进作用^[19]。

在本实验中, 芙蓉鲤饲料系数随着饲料中肉骨粉含量的增加呈现上升的趋势, 当替代比例达到100%, 替代组饲料系数显著大于对照组。这与Moutinho等^[17]对金头鲷(*Sparus aurata*)报道相似, 金头鲷饲料效率随着饲料中肉骨粉替代鱼粉蛋白比例的增加而降低, 且75%替代显著低于对照组, 而50%替代差异不显著。即肉骨粉低水平替代鱼粉蛋白(替代低于50%鱼粉蛋白)不会对其饲料系数产生显著影响, 而高水平替代(替代75%—100%鱼粉蛋白)会使饲料系数显著升高。芙蓉鲤对高肉骨粉含量饲料具有较高的饲料系数可能与鱼类对肉骨粉的表观消化率较低有关。常青等^[20]发现花鲈(*Lateolabrax japonicus*)对于红鱼粉具有92.30%的蛋白质表观消化率和83.96%的能量表观消化率, 而对于肉骨粉, 蛋白质和能量的表观消化率分别为77.39%和67.94%。同样, 张松等^[21]研究结果表明, 异育银鲫对于肉骨粉的干物质、蛋白质、能量、磷的表观消化率随着饲料中肉骨粉含量的上升呈显著的下降趋势。研究发现, 肉骨粉中灰分的含量达20%以上, 而原料过高的灰分则严重限制鱼类对其蛋白质等营养素的消化吸收^[22]。

3.2 猪肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤血液生理生化指标影响的评价

血红蛋白的主要功能是运输和储存氧气, 其次还具有调节pH、控制一氧化碳水平、参与免疫反应的功能^[23]。在本实验中, 肉骨粉替代饲料中鱼粉蛋白, 能显著提高芙蓉鲤血液中血红蛋白水平, 而对鱼其他血液生理指标均未产生显著变化。血红蛋白水平的升高, 一方面有利于更有利于芙蓉鲤对氧气的获得, 在低溶解氧含量条件下降低其窒息点, 提高抗应激能力; 另一方有利于满足其各项生理代谢活动对血氧的需求。

在本实验中, 芙蓉鲤血清AST随肉骨粉含量增加而显著降低, 血清ALT在各处理组间无显著差异。田芊芊等^[24]对黄鳝的研究结果与本研究结果相同, 肉骨粉替代黄鳝饲料中的鱼粉, 黄鳝血清AST随饲料中肉骨粉含量升高显著降低, ALT在各组间无显著差异。陈建国^[25]也有类似报道, 团头鲂血清中AST和ALT含量随着肉骨粉替代鱼粉比例的升高而显著降低。血液中谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)是鱼类肝脏损伤程度的主要评价指标^[26]。AST和ALT主要分布于肝细胞内各种细胞器中。当肝细胞受到较轻损伤时, 先是血液中ALT升高; 当肝细胞受损坏死严重时, 肝脏中AST才释出。肝细胞

内的AST和ALT等活性酶因大量释放而使其在血清中的含量升高, 其升高的程度与肝细胞受损的程度相一致^[27]。因此, 可以认为以肉骨粉替代鱼粉蛋白对芙蓉鲤的肝功能未造成损伤。

3.3 猪肉肉骨粉替代鱼粉对芙蓉鲤营养成分和质构特性影响的评价

蛋白质和脂肪含量是肌肉营养成分的重要体现, 也影响着肌肉的品质好坏。在本实验中, 饲料中病死猪肉骨粉水平对芙蓉鲤粗脂肪含量有显著影响, 且50%替代组背肌粗脂肪含量显著低于鱼粉组, 而对其背肌粗蛋白质含量没有显著影响。类似的, 敬婷等^[16]报道, 罗非鱼日粮中肉骨粉替代鱼粉后各组之间全鱼水分、粗蛋白质差异不显著, 脂肪逐渐下降。Moutinho等^[17]报道, 金头鲷(*Sparus aurata*)日粮中肉骨粉替代50%及75%的鱼粉蛋白后各组之间全鱼水分、灰分、粗蛋白质差异不显著, 脂肪含量却在75%替代组显著降低。鱼类对脂肪的消化性能与脂肪源的脂肪酸组成有关, 动物性脂肪源的饱和脂肪酸含量高, 难以被鱼体消化^[28], 肉骨粉替代鱼粉后饲料中饱和脂肪酸的含量增加, 而饲料中饱和脂肪酸含量高会降低鱼体对饲料脂肪和干物质的消化率^[29]。此外, 本研究发现, 随着饲料中病死猪肉骨粉替代鱼粉水平增加, 芙蓉鲤背肌中必需氨基酸、鲜味氨基酸和总氨基酸呈一定的下降趋势。与本研究类似, 在框鳞镜鲤^[30]中以蚕蛹粉替代鱼粉和团头鲂^[25]中以肉骨粉替代鱼粉也会出现鱼体背肌中必需氨基酸、鲜味氨基酸和总氨基酸含量出现显著下降。本实验中芙蓉鲤背肌总氨基酸和必需氨基酸含量下降, 一方面由于替代组饲料中相应的氨基酸含量下降, 说明饲料与背肌氨基酸组成正相关; 另一方面, 实验肉骨粉中可能掺入了过多的皮毛、骨质、磷及难以消化的其他残渣等, 制约了氨基酸的消化吸收, 从而鱼体氨基酸含量下降。

质构剖面分析法(Texture Profile Analysis, TPA)是通过质构仪模拟人口腔的咀嚼动作来探讨食品的质构特性, 该方法具有客观、快捷、结果可量化等特点。感官和质构是反映肉质好坏的两种评价手段, 通过质构的分析, 能够客观的得到鱼肉品质的高低。肌肉的质构特性主要由弹性、硬度、咀嚼性、黏聚性、回复性和黏着性6个指标来表示。有研究表明, 质构指标与营养指标以及生理指标间均表现出一定的相关性, 鱼体的硬度与粗脂肪含量呈正相关, 而鱼体质构的黏附性和弹性与粗蛋白含量呈负相关^[31, 32]。因此在本实验中, 芙蓉鲤质构硬度降低, 而黏附性和弹性显著上升可能是与其背

肌粗脂肪和粗蛋白含量均出现一定程度的下降有关。TPA指标在一定程度上反映了肌肉的品质状况,胡芬等^[32]认为鱼类肌肉硬度较大、弹性较强,口感会更好。Mithchell^[33]研究表明弹性模拟鱼肉在口腔行为,弹性越大,咀嚼性越好,肉质越爽脆。在本实验中,猪肉骨粉替代鱼粉显著增加了芙蓉鲤肌肉的弹性及黏附性,说明猪肉骨粉替代鱼粉在一定程度上改善了芙蓉鲤肌肉特性,增强了鱼肉品质。

4 结论

在本实验条件下,以无害化处理产品猪肉骨粉替代芙蓉鲤幼鱼饲料中鱼粉蛋白,鱼体的生长性能在各处理组间无显著差异,而饲料系数在100%替代组显著高于对照组;实验鱼血液中血红蛋白含量替代组显著高于对照组,血液中谷草转氨酶含量随着饲料中肉骨粉替代比例增加而显著降低,血液其他生化指标在各处理组间没有显著差异;肌肉组成方面,50%替代组肌肉粗脂肪含量显著低于对照组,且背肌天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、酪氨酸、苯丙氨酸含量显著低于对照组;质构特性方面,替代组肌肉的弹性和黏附性均显著高于对照组。综合以上芙蓉鲤的各项指标情况,当鱼粉含量为10%时,建议病死猪肉骨粉可替代芙蓉鲤幼鱼饲料中100%鱼粉蛋白。

参考文献:

- [1] Zhou H B, Shen Y J, Meng H B, *et al.* Research progress on the products and utilization of innocent treatment of dead livestock and poultry [J]. *Acta Ecologica Animalis Domastici*, 2018, **39**(2): 86-90. [周海宾, 沈玉君, 孟海波, 等. 病死畜禽无害化处理产物及其应用研究进展 [J]. *家畜生态学报*, 2018, **39**(2): 86-90.]
- [2] Shen Y J, Zhao L X, Meng H B. Present status of harmless disposal of dead livestock and poultry in China and counter-measures [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2013, **15**(6): 167-173.
- [3] Han T, Kang W H, Yuan L, *et al.* Research progress in biosafety disposal of animals and resource utilization [J]. *China Journal of Animal Quarantine*, 2015, **32**(2): 47-49. [韩涛, 亢文华, 原霖, 等. 动物无害化处理与资源利用研究进展 [J]. *中国动物检疫*, 2015, **32**(2): 47-49.]
- [4] Yang H J, Hao L Z, Liu J X. The technology of biological degradation of case fatality pigs and application evaluation of its products [J]. *Modern Journal of Animal Husbandry and Veterinary Medicine*, 2015(8): 57-60. [杨慧杰, 郝利忠, 刘敬先. 病死猪生物降解技术及其产物的应用评估 [J]. *现代畜牧兽医*, 2015(8): 57-60.]
- [5] Wang J L, Wu Y A, Li C W. Conventional freshwater-fish new hybrids, Furong crucian carp [J]. *Scientific Fish Farming*, 2010(5): 42. [王金龙, 伍远安, 李传武. 大宗淡水鱼新型杂交品种“芙蓉鲤” [J]. *科学养鱼*, 2010(5): 42.]
- [6] Li C W, Wang J L, Zeng C F. Gonadal structure histology and reproduction performance of Furong crucian-carp (*Cyprinus capio* Furong♀×*Carassius auratus* red var♂) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2010, **40**(3): 8-12. [李传武, 王金龙, 曾春芳. 芙蓉鲤(芙蓉鲤♀×红鲤♂)的性腺组织学及繁殖性能研究 [J]. *淡水渔业*, 2010, **40**(3): 8-12.]
- [7] Wang J L, L Z, Liu C W, *et al.* Genetic relationship between Furong crucian carp (Furong carp♀×red crucian carp♂) and the original brood stocks [J]. *Journal of Dalian Fisheries University*, 2010, **25**(3): 197-202. [王金龙, 刘臻, 李传武, 等. 芙蓉鲤(芙蓉鲤♀×红鲤♂)及其原始亲本间的遗传关系 [J]. *大连海洋大学学报*, 2010, **25**(3): 197-202.]
- [8] Zou L, Wang J, Zeng M, *et al.* The complete mitochondrial genome of the hybrid Furong-crucian [*Cyprinus capio* Furong (♀) × *Carassius auratus* red var (♂)] [J]. *Mitochondrial DNA PartB*, 2016(1): 506-507.
- [9] He Z G, Wu Y A, Wang J L, *et al.* Effect of dietary protein levels on growth performance and digestive enzyme activities of juvenile Furong crucian carp (*Cyprinus capio* Furong♀×*Carassius auratus* red var♂) [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2014, **53**(1): 153-156. [何志刚, 伍远安, 王金龙, 等. 饲料蛋白水平对芙蓉鲤幼鱼增重和消化酶活性的影响 [J]. *湖北农业科学*, 2014, **53**(1): 153-156.]
- [10] He Z G, Wang J L, Wu Y A, *et al.* Effect of dietary lipid-levels on serum biochemical indices, immune responses and antioxidant capability of juvenile Furong crucian carp (*Cyprinus capio* Furong♀×*Carassius auratus* red var♂) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(4): 655-662. [何志刚, 王金龙, 伍远安, 等. 饲料脂肪水平对芙蓉鲤幼鱼血清生化指标、免疫反应及抗氧化能力的影响 [J]. *水生生物学报*, 2016, **40**(4): 655-662.]
- [11] Chen L, Zhu X M, Han D, *et al.* Optimal dietary starch level for juvenile Furong crucian carp [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2016, **40**(4): 690-699. [陈林, 朱晓鸣, 韩冬, 等. 芙蓉鲤幼鱼饲料适宜淀粉含量 [J]. *水生生物学报*, 2016, **40**(4): 690-699.]
- [12] Chen L. Optimal dietary protein, lipid and starch level for juvenile Furong crucian carp [D]. Hefei: Anhui University, 2016: 41-42. [陈林. 芙蓉鲤饲料适宜蛋白质、脂肪及淀粉含量 [D]. 合肥: 安徽大学, 2016: 41-42.]
- [13] Xu K H, Zhao Q L, Liao M T, *et al.* Research of relationship between texture and sensory evaluation of tuna [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, **14**(12): 190-197. [徐坤华, 赵巧灵, 廖明涛, 等. 金枪鱼质构特性与感官评价相关性研究 [J]. *中国食*

- 品学报, 2014, **14**(12): 190-197.]
- [14] Routt H F, Schaeffer D, Kakoma I, *et al.* Prevalence of selected foodborne pathogens in final rendered products [J]. *FPRF Directors Digest*, 2001(312): 1-7.
- [15] Zeng Z H. Biosafety assessment of organic waste processor for treatment of materials from diseased swine in livestock farms [J]. *China Journal of Animal Quarantine*, 2015, **32**(6): 18-22. [曾中华. 养殖场有机废弃物处理机处理病害生猪的生物安全评估 [J]. *中国动物检疫*, 2015, **32**(6): 18-22.]
- [16] Jing T, Li H Q, Luo L, *et al.* Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Freshwater Fisheries*, 2013, **43**(6): 51-56. [敬婷, 李洪琴, 罗莉, 等. 肉骨粉替代鱼粉对吉富罗非鱼生长、体组成、消化和非特异性免疫能力的影响 [J]. *淡水渔业*, 2013, **43**(6): 51-56.]
- [17] Moutinho S, Martínez-Llorens S, Tomás-Vidal A, *et al.* Meat and bone meal as partial replacement for fish meal in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*) juveniles: Growth, feed efficiency, amino acid utilization, and economic efficiency [J]. *Aquaculture*, 2017(468): 271-277.
- [18] Nengas I, Alexis M N, Davies S J. High inclusion levels of poultry meals and related byproducts in diets for gilt-head seabream *Sparus aurata* L [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**(1): 13-23.
- [19] Suloma A, Mabroke R S, El-Haroun E R. Meat and bone meal as a potential source of phosphorus in plant-protein-based diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. *Aquaculture International*, 2013, **21**(2): 375-385.
- [20] Chang Q, Liang M Q, Wang J L, *et al.* Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for Japanese sea bass (*Lateolabrax japonicus*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2005, **29**(2): 172-176. [常青, 梁萌青, 王家林, 等. 花鲈对不同饲料原料的表现消化率 [J]. *水生生物学报*, 2005, **29**(2): 172-176.]
- [21] Zhang S, Xie S Q, Zhu X M, *et al.* Effect of faecal collection interval and dietary meat and bone meal levels on digestibility of nutrients in gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2008, **32**(1): 79-90. [张松, 解绥启, 朱晓鸣, 等. 粪便收集时间和饲料中肉骨粉含量对异育银鲫消化率的影响 [J]. *水生生物学报*, 2008, **32**(1): 79-90.]
- [22] 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*): nutrition and histological implications [J]. *Aquaculture*, 1997, **157**(3): 347-359.
- [23] Yu L N, Yang D, Liu H Y, *et al.* Correlation between hemoglobin and asphyxiation point in twelve species of freshwater fish [J]. *Chinese Journal of Zoology*, 2017, **52**(3): 478-484. [余来宁, 杨东, 刘红艳, 等. 十二种淡水鱼类血红蛋白与窒息点的相关分析 [J]. *动物学杂志*, 2017, **52**(3): 478-484.]
- [24] Tian Q Q. Effects of dietary meat and bone meal instead of fish meal on the growth, metabolism and immune function in *Monopterus albus* [A]//Animal Nutrition and Feed Committee of China Fisheries Society. Summary of the 9th World Chinese Fish and Shrimp Nutrition Symposium [C] Jimei University Fisheries College, 2013: 1. [田芊芊. 饲料中肉骨粉替代鱼粉对黄鳝生长、代谢及免疫功能的影响 [A]//中国水产学会动物营养与饲料专业委员会. 第九届世界华人鱼虾营养学术研讨会论文摘要集 [C]//中国水产学会动物营养与饲料专业委员会: 集美大学水产学院. 2013: 1.]
- [25] Chen J G. Study on the replacement of fishmeal with meat and bone meal in *Megalobrama amblycephala* [D]. Thesis for Master of Science. Nanjing: Nanjing Agricultural College, 2013: 23-25. [陈建国. 团头鲂配合饲料中肉骨粉替代鱼粉的研究. 硕士学位论文 [D]. 南京: 南京农业大学, 2013: 23-25.]
- [26] Jeney G, Nemcsok J, Jeney Z. Acute effect of sublethal ammonia concentrations on common (*Cyprinus carpio* L.): II Effect of ammonia on blood plasma transaminases (GOT, GPT), GIDH enzyme activity and ATP value [J]. *Aquaculture*, 1992, **104**(1-2): 149-156.
- [27] Nyblom H, Berggren U, Balldin J, *et al.* High AST/ALT ratio may indicate advanced alcoholic liver disease rather than heavy drinking [J]. *Alcohol*, 2004, **39**(4): 336-339.
- [28] Turchini G M, Ng W K, Tocher D R. Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds [J]. *Aquaculture International*, 2011, **19**(3): 595-596.
- [29] Peng M, Xu W, Tan P, *et al.* Effect of dietary fatty acid composition on growth, fatty acids composition and hepatic lipid metabolism in juvenile turbot (*Scophthalmus maximus*, L.) fed diets with required n3 LC-PUFAs [J]. *Aquaculture*, 2017(479): 591-600.
- [30] Ji H, Cheng X F, Li J, *et al.* Effect of dietary replacement of fish meal protein with silkworm pupae on the growth performance, body composition, and health status of *Cyprinus carpio* var. *specularis* fingerlings [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2012, **36**(10): 1599-1611. [吉红, 程小飞, 李杰, 等. 蚕蛹替代鱼粉对框鳞镜鲤幼鱼生长性能、体成分及健康状况的影响 [J]. *水产学报*, 2012, **36**(10): 1599-1611.]
- [31] Tan R C, Zhao S M, Xiong S B. Effect of content of major compounds on texture quality of cured fish [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2006, **22**(3): 14-16. [谭汝成, 赵思明, 熊善柏. 腌腊鱼主要成分含量对质构特性的影响 [J]. *现代食品科技*, 2006, **22**(3): 14-16.]
- [32] Hu F, Li X D, Xiong S B, *et al.* Texture properties of freshwater fish and their correlation with nutritional components [J]. *Food Science*, 2011, **32**(11): 69-73. [胡芬, 李小定, 熊善柏, 等. 5 种淡水鱼肉的质构特性及与营养成分的相关性分析 [J]. *食品科学*, 2011, **32**(11): 69-73.]
- [33] Mitchell J. Food texture and viscosity: concept and measurement [J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2003, **3**(7): 839-840.

EFFECTS OF DIETARY FISHMEAL REPLACEMENT WITH MEAT AND BONE MEAL ON THE GROWTH PERFORMANCE, BLOOD PHYSIOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICES, MUSCLE CHEMICAL COMPOSITION AND TEXTURE CHARACTERISTICS IN JUVENILE FURONG CRUCIAN CARP (FURONG CARP ♀ × RED CRUCIAN CARP ♂)

CHENG Xiao-Fei^{1,2}, JIANG Guo-Min¹, XIANG Jin¹, SONG Rui^{1,2}, LI Shao-Ming¹, WU Yuan-An^{1,2},
LIU Li¹ and WANG Zhi-Ming³

(1. Fisheries Research Institute of Hunan Province, Changsha 410153, China; 2. Collaborative Innovation Center for Efficient and Health Production of Fisheries in Hunan Province, Changde 415000, China; 3. Changsha Aquatic Animal Epidemic Prevention and Quarantine Station, Changsha 410153, China)

Abstract: An 8-week growth experiment was conducted to investigate the effect of dietary replacement of fish meal protein with meat and bone meal (MBM) on growth performance, feed utilization, blood physiological and biochemical indices, muscle chemical composition and texture characteristics in juvenile Furong crucian carp (Furong carp ♀ × red crucian carp ♂) [initial body weight of (17.47±2.56) g]. Three isonitrogenous (crude protein: 38%) and isolipidic (Crude lipid: 6.5%) diets were formulated with 0, 50% and 100% dietary fish meal protein replaced by MBM (designated FM, T1 and T2). The results showed that, no significant differences were found in weight gain rate (*WGR*), specific growth rate (*SGR*) and feeding rate (*FR*) among the FM, T1 and T2 groups ($P>0.05$), while the feed conversion ratio (*FCR*) of the FM group was significantly higher than that of the T2 group ($P<0.05$). There was no significant difference in blood physiological and serum biochemical indices, except for the hemoglobin (HGB) and aspartic amino transferase (AST). The HGB content in the T1 and T2 groups, was significantly higher than that in the FM group ($P<0.05$). On the other hand, AST showed a downward trend with the increasing proportion of dietary MBM, and the AST of the T2 group was significantly higher than that of the FM group. The crude lipid content of the dorsal muscle in the T1 group was significantly lower than that in the FM group. Meanwhile, with the replacement of dietary fish meal with MBM, the Asp, Glu, Gly, Ala, Val, Met, Ile, Leu, Tyr, Phe, Σ EAA, Σ DAA and Σ TAA contents of dorsal muscle were decreased, while the elasticity and adhesion of dorsal muscle were increased. In summary, MBM is an acceptable alternative animal protein source for Furong crucian carp, and 100% dietary fish meal could be replaced by MBM without significantly adverse effects on the growth of Furong crucian carp.

Key words: Meat and bone meal; Furong crucian carp (Furong carp ♀ × red crucian carp ♂); Fish meal; Growth performance; Blood physiological and biochemical; Texture characteristics