

DOI: 10.3724/SP.J.1118.2013.00392

蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉品质的影响

黄燕华^{1,2,3}, 文远红^{1,2,3,4}, 曹俊明^{1,2,3}, 王国霞^{1,2,3}, 莫文艳^{1,2,3}, 陈晓瑛^{1,2,3},
刘群芳^{1,2,3,4}, 刘小玲^{1,2,3,4}

1. 广东省农业科学院 畜牧研究所, 广东 广州 510640;
2. 广东省动物育种与营养公共实验室, 广东 广州 510640;
3. 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广东 广州 510640;
4. 华南农业大学 动物科学学院, 广东 广州 510642

摘要: 选用初始体质量约 2.02 g 的黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)960 尾, 随机分为 6 组, 分别投喂 6 种用蝇蛆粉替代饲料中 0%、20%、40%、60%、80%、100%鱼粉配制的等氮(39.5%)等能(16.8 MJ/kg)饲料, 分别记为 G0、G20、G40、G60、G80 和 G100。养殖期为 60 d。结果显示, 黄颡鱼肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪含量受蝇蛆粉替代鱼粉水平的影响不显著($P>0.05$), 但 G60~G100 灰分含量与 G0 相比显著升高($P<0.05$)。蝇蛆粉替代鱼粉对肌肉 pH、滴水损失(DL)、蒸煮损失(CL)和超氧化物歧化酶(SOD)活性影响不显著($P>0.05$)。与 G0 相比, G20~G100 肌肉胶原蛋白含量差异不显著($P>0.05$), G40~G60 肌肉丙二醛(MDA)含量显著降低($P<0.05$)。与 G0 相比, G80 肌肉精氨酸(Arg)、组氨酸(His)、苯丙氨酸(Phe)、必需氨基酸(TEAA)含量显著高($P<0.05$), 各替代组总氨基酸含量差异不显著($P>0.05$)。各组肌肉谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、天冬氨酸(Asp)等风味氨基酸和总风味氨基酸(TFAA)含量差异不显著($P>0.05$)。肌肉 $C_{14:0}$ 、 $C_{18:3n-3}$ 、DHA、EPA+DHA、多不饱和脂肪酸(PUFA)、n-3 PUFA 含量和 n-3/n-6 比值随蝇蛆粉替代鱼粉水平的升高而降低, 其中 G60~G100 显著低于 G0($P<0.05$); $C_{16:1}$ 、单不饱和脂肪酸(MUFA)含量随替代水平增加而升高, 其中 G60 和 G100 显著升高($P<0.05$)。结果表明, 当蝇蛆粉替代鱼粉水平不超过 40% 时, 除 MDA 含量显著降低外, 蝇蛆粉对黄颡鱼肌肉常规成分、理化指标、氨基酸和脂肪酸含量影响不显著。

关键词: 黄颡鱼; 鱼粉; 蝇蛆粉; 肌肉品质; 理化指标; 氨基酸; 脂肪酸

中图分类号: S963

文献标志码: A

文章编号: 1005-8737-(2013)02-0392-10

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属鲇形目(Siluriformes)、鲿科(Bagridae)、黄颡鱼属, 俗称黄骨鱼, 是中国常见淡水经济鱼类。其无肌间刺、含肉率高、肉质细嫩、味道鲜美、营养丰富, 深受中国、日本、韩国等国家消费者喜爱。近年来, 黄颡鱼养殖规模逐渐扩大, 对配合饲料需求量不断增加, 但黄颡鱼对饲料蛋白质需求量较高。据报道, 体质量 0.2~2.0 g 黄颡鱼对饲料粗蛋白质需求量为 45%, 体质量 2.0~20.0 g 黄颡鱼对饲料

粗蛋白质需求量为 44%~36%^[1]。随着鱼粉价格不断上涨, 鱼粉资源短缺成为影响黄颡鱼配合饲料发展的主要因素。因此, 寻找供应充足、廉价的动植物蛋白源替代饲料中的鱼粉, 对于降低饲料成本, 提高经济效益和促进黄颡鱼养殖业发展都具有重要意义。

蝇蛆粉(maggot meal)是蝇蛆的产物, 蝇蛆产量大、饲养时间短、易饲养、易获取, 是一种易被开发的蛋白资源; 蝇蛆粉的蛋白质含量高, 氨

收稿日期: 2012-06-29; 修订日期: 2012-08-25。

基金项目: 广东省农业攻关项目(2010B020309003); 广东省海洋渔业科技推广专项项目(A201001H03); 2010 年广东省中小企业发展专项。

作者简介: 黄燕华(1969-), 女, 研究员, 博士, 硕士生导师, 主要从事水产动物营养学研究。E-mail: huangyh111@126.com

通信作者: 曹俊明, 研究员, 博士, 博士生导师。E-mail: junmcao@163.com

基酸组成平衡,富含维生素和矿物质,含有凝集素、抗菌肽等活性成分,是一种营养全面的蛋白源^[2]。据报道,蝇蛆粉可部分替代凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[3]、黄鳝(*Monopterus albus*)^[4]、非洲鲇(*Clarias gariepinus*)^[5]、鲤(*Cyprinus carpio*)^[6]或全部替代尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[7]饲料中的鱼粉。严晶等^[8]指出,当凡纳滨对虾饲料中蝇蛆粉替代鱼粉水平不超过60%时,对对虾肌肉常规成分、氨基酸、肌苷酸含量影响不显著。Ogunji等^[9]报道,蝇蛆粉能显著提高尼罗罗非鱼体粗脂肪、饱和脂肪酸含量,降低鱼体亚油酸、亚麻酸、DHA等多不饱和脂肪酸含量。本实验前期研究结果显示,蝇蛆粉替代饲料中20%~100%鱼粉对黄颡鱼幼鱼存活率、形体指标和体成分无显著性影响,当替代水平为20%时,对增重率、饲料系数、蛋白质效率和蛋白质沉积率的影响不显著(另文发表)。目前,有关蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉品质的研究尚未见报道。因此,作者研究了不同水平的蝇蛆粉等蛋白替代鱼粉对黄颡鱼肌肉常规成分、理化指标、氨基酸和脂肪酸等品质指标的影响,以便为其在黄颡鱼饲料中的应用提供相关依据。

1 材料与方法

1.1 蝇蛆粉

实验用蝇蛆购于河北省玉田县,以麸皮为主要养殖原料,自然条件下阴干并被收集。在实验室粉碎后过80目筛,−20℃冰箱中保存备用。蝇蛆粉呈淡黄色,无臭味异味,无结块霉变。经测定,蝇蛆粉水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙和总磷含量(%风干基础)分别为:8.2、53.0、13.5、10.8、1.0、1.1,能量为20.9 MJ/kg;含9种必需氨基酸和8种非必需氨基酸,其中赖氨酸、蛋氨酸含量(g/100g风干基础)分别为3.1和1.4;含6种脂肪酸,其中多不饱和脂肪酸仅含亚油酸,含量(%总脂肪酸)为22.1。

1.2 实验饲料

以秘鲁红鱼粉、豆粕、玉米蛋白粉为蛋白源,高筋面粉为糖源,大豆油、鱼油为脂肪源配制对

照组饲料,用蝇蛆粉等蛋白替代对照组饲料中20%、40%、60%、80%和100%的鱼粉,配制5种替代饲料。6种饲料的配方及营养组成见表1,其粗蛋白质约39.5%,总能约16.8 MJ/kg。饲料原料粉碎后过80目筛,维生素和矿物质等微量成分采用逐级扩大法混匀,然后加入豆油、鱼油和水混匀,用SLX-80型双螺旋杆挤压机制成直径为2.00 mm的颗粒饲料,50℃烘干,自然冷却装入密封袋,−20℃冰箱中保存备用。

1.3 实验鱼与饲养管理

实验用黄颡鱼购于广东省清远市黄沙渔业基地,在广东省农业科学院畜牧研究所水产研究室的室内循环水养殖系统中驯养2周,每日于08:00和17:00用天邦黄颡鱼0号料饱食投喂。养殖系统由24个350 L圆柱形玻璃纤维缸(直径80 cm,高70 cm,容水量320 L)组成。实验开始时,挑选出规格整齐、体质健壮、平均体质量约为2.02 g的黄颡鱼960尾,随机分为6个处理组,每组4重复,每个重复放鱼40尾,分别投饲对照组饲料和5种替代饲料,记为G0、G20、G40、G60、G80和G100。每日于08:00、14:00和18:00饱食投饲,投饲量为体质量的4%~6%,并根据各组幼鱼摄食和生长情况调节。实验为期60 d,每天记录投饲量、死亡情况、水温。水温27.0~30℃,光照为自然光源,全天24 h不间断曝气,pH 7.3~8.0,亚硝酸<0.05 mg/L,氨氮<0.02 mg/L。

1.4 样品采集与分析

1.4.1 样品采集 养殖实验结束时,停食24 h,每个重复取12尾鱼,冰盘上解剖取其背肌,其中4尾用于测定肌肉pH,4尾用于测定滴水损失,4尾用于测定蒸煮损失。每个重复取12尾鱼,冰盘上解剖取其背肌,其中6尾用于测定肌肉胶原蛋白、丙二醛含量和超氧化物歧化酶活性,6尾用于测定肌肉常规成分、氨基酸和脂肪酸测定,样品混合于−80℃保存。

1.4.2 饲料和肌肉常规成分测定 采用冷冻干燥法(GB/T6435-1986)、凯氏定氮法(GB/T6432-1994)、乙醚抽提法(GB/T6432-1994)、550℃灼烧法(GB/T6438-1992)分别测定水分、粗蛋白质、粗

表 1 饲料配方及营养组成
Tab. 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets

%, 干物质基础 DM basis

原料 ingredients	饲料 diet					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
鱼粉 fish meal	36.00	28.80	21.60	14.40	7.20	0.00
蝇蛆粉 maggot meal	0.00	8.94	17.88	26.82	35.76	44.70
豆粕 soybean meal	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
玉米蛋白粉 corn gluten meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
鱼油 fish oil	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
大豆油 soybean oil	3.40	2.70	2.00	1.30	0.60	0.00
高筋面粉 strong flour	24.12	24.04	23.20	22.36	21.24	19.90
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0.60	1.00	1.30	1.50	1.80	2.00
维 C 酯(35%)vitamin C	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
HJ-水产黏合剂 adhesive HJ for aquatic animal	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
甜菜碱(98%)betaine	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
复合维生素 vitamin premix ¹⁾	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
复合矿物质 mineral premix ²⁾	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 choline chloride	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
微晶纤维素 cellulose	2.48	1.12	0.62	0.22	0.00	0.00
营养组成 nutrient composition						
水分 moisture	9.26	9.18	9.29	9.29	9.27	9.18
粗蛋白质 crude protein	39.48	39.47	39.41	39.45	39.30	38.97
粗脂肪 crude lipid	7.02	6.99	6.96	6.79	7.22	6.99
灰分 ash	7.90	7.67	8.02	7.66	7.70	7.67
钙 Ca	1.53	1.42	1.46	1.11	1.15	1.10
总磷 total P	0.98	0.99	0.97	0.98	0.96	0.89
总能 gross energy / (MJ·kg ⁻¹)	16.82	16.84	16.95	16.91	16.99	17.00

注: 1) 由广州飞禧特水产科技有限公司提供, 每千克维生素预混料含: VA 3 200 000 IU; VD 1 600 000 IU; VE 16 g; VK 3 g; VB₁ 4 g; VB₂ 8 g; VB₆ 4.8 g; VB₁₂ 0.016 g; 烟酸 28 g; 泛酸钙 16 g; 叶酸 1.28 g; 生物素 0.064 g; 肌醇 40 g. 2) 由广州飞禧特水产科技有限公司提供, 每千克矿物质预混料含: 钙 230 g; 钾 36 g; 镁 9 g; 铁 10 g; 锌 8 g; 锰 1.9 g; 铜 1.5 g; 钴 0.25 g; 碘 0.032 g; 硒 0.05 g. Note: 1) The vitamin premix is provided by the fishtech fisheries science & technology company, LTD. One kg of vitamin premix contained: VA 3 200 000 IU; VD 1 600 000 IU; VE 16 g; VK 4 g; VB₁ 4 g; VB₂ 8 g; VB₆ 4.8 g; VB₁₂ 0.016 g; nicotinic acid 28 g; calcium pantothenate 16 g; folic acid 1.28 g; biotin 0.064 g; inositol 40 g. 2) The mineral premix is provided by The Fishtech Fisheries Science & Technology Company, LTD. One kg of mineral premix contained: Ca 230 g; K 36 g; Mg 9 g; Fe 10 g; Zn 8 g; Mn 1.9 g; Co 0.25 g; I 32 mg; Se 0.05 g.

脂肪和灰分含量。采用氧氮量热仪(IKA-C2000)测定饲料总能。

1.4.3 肌肉结合氨基酸含量测定 每缸取 6 尾鱼的背肌, 冷冻干燥(德国 CHRIST 公司)后粉碎。采用 6 mol·L⁻¹ 盐酸水解法, 用 Waters 美国高效液相色谱仪(510 型)测定结合氨基酸含量。分析柱: PICO.TAG 氨基酸分析柱, 检测波长: 254 nm, 柱温: 38℃, 流速: 1 mL·min⁻¹。

1.4.4 肌肉脂肪酸组成测定

每缸取 6 尾鱼的背肌, 冷冻干燥(德国 CHRIST

公司)后粉碎。称取 15 mg 肌肉样品于玻璃试管中, 加入 1 mL 饱和氢氧化钾-甲醇溶液, 迅速摇匀, 于 75℃热水中水浴 10 min, 取出冷却至室温; 加入 2 mL 三氟化硼-无水甲醇溶液(三氟化硼: 无水甲醇=1: 2)振荡混匀, 密封试管口, 于 75℃热水中水浴 10 min, 冷却至室温; 再加入 0.1 mL 饱和氯化钠溶液, 使其分层, 再加入 2 mL 正己烷混匀于 4℃ 3 000 r/min, 离心 5 min, 取最上层油层用气质联用仪(美国 Agilent 6890N-5975)作脂肪酸组成分析。分析柱: Agilent DB-23(30 m×0.25 mm×

0.25 μm), 色谱和质谱条件参照刘穗华等^[10]的方法。

1.4.5 肌肉理化指标测定

① 肌肉 pH 测定

每缸分别取 4 尾鱼同侧新鲜背肌, 室温放置 45 min 后立即用肌肉 pH 直测仪(德国麦特斯 pH-Star)测定 pH 值, 记为 pH_{45 min}; 测定后装入密封袋中, 4℃保存 24 h, 再次测定 pH 值, 记为 pH_{24 h}。

② 肌肉滴水损失测定

每缸分别取 4 尾鱼同侧新鲜背肌, 吸水纸吸干背肌上的水分和血渍, 称重, 放于离心管中(离心管底部垫有适量吸水纸), 于 4℃ 4 000 r/min 离心 20 min, 取出肉样, 吸水纸吸干肌肉表面的水分, 称重。

滴水损失(Drip loss, DL, %)=100×(离心前肌肉的质量-离心后肌肉的质量)/离心前肌肉的质量。

③ 肌肉蒸煮损失测定

每缸分别取 4 尾鱼同侧新鲜背肌, 吸水纸吸干背肌上的水分和血渍, 称重, 装入密封袋中, 70℃隔水蒸煮 15 min, 取出肉样冷却, 吸水纸吸干肌肉表面的水分, 称重。

蒸煮损失(cooking loss, CL, %)=100×(蒸煮前肌肉的质量-蒸煮后肌肉的质量)/蒸煮前肌肉的质量。

④ 肌肉胶原蛋白、丙二醛和超氧化物歧化酶测定

肌肉胶原蛋白(collagen)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量和超氧化物歧化酶(superoxide

dismutase, SOD)活性采用南京建成生物工程研究所的试剂盒测定, 具体测定方法参照试剂盒说明书。肌肉组织蛋白质含量参考 Bradford^[11]的考马斯亮蓝法测定, 以小牛血清白蛋白为标准品。

1.5 数据统计与分析

实验数据用平均值±标准差($\bar{x} \pm SD$, $n=4$)表示。用 SPSS 16.0 for windows 软件进行数据统计分析。首先检验数据方差齐性, 如满足方差齐性则进行单因素方差分析(one-way ANOVA), 差异显著再作 Tukey 多重比较; 如不满足方差齐性则用 Dunnett's T3 检验法进行多重比较, $P<0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉常规成分的影响

如表 2 所示, 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉水分、粗蛋白质和粗脂肪含量无显著影响($P>0.05$), 其中 G0~G80 肌肉水分含量随蝇蛆粉替代鱼粉比例的增加而逐渐降低, 粗蛋白质、粗脂肪含量随替代水平的增加而逐渐增加。灰分含量随蝇蛆粉替代鱼粉水平的升高而增加, 其中 G60~G100 显著高于 G0($P<0.05$)。

2.2 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉理化指标的影响

从表 3 可以看出, 肌肉 pH_{45 min}、滴水损失(DL)、蒸煮损失(CL)和超氧化物歧化酶(SOD)活性受蝇蛆粉的影响不显著($P>0.05$)。pH_{24 h}较 pH_{45 min}略有增加, 但各替代组与 G0 相比差异不显著($P>0.05$), 其中 G60 显著高于 G40($P<0.05$)。与 G0 相

表 2 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉常规成分的影响
Tab. 2 Effects of replacement of fish meal with maggot meal on muscle nutritional composition of *Pelteobagrus fulvidraco*

$n=4$; $\bar{x} \pm SD$; %, 干物质基础 DM basis

指标 index	分组 group					
	G0	G20	G40	G60	G80	G100
水分 moisture	79.06±0.26	78.89±1.07	78.56±0.24	78.29±0.42	78.08±0.39	78.43±0.23
粗蛋白质 crude protein	81.11±1.52	81.26±1.29	82.37±2.05	82.78±2.05	83.20±0.38	82.68±1.29
粗脂肪 crude lipid	10.95±1.12	11.14±1.49	11.29±2.39	11.45±0.58	11.60±0.21	11.17±0.67
灰分 ash	5.69±0.12 ^a	5.89±0.18 ^{ab}	5.92±0.16 ^{ab}	5.97±0.07 ^b	6.00±0.14 ^b	6.07±0.08 ^b

注: 同行数据肩标不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Note: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

比, 各替代组肌肉胶原蛋白含量差异不显著($P>0.05$), 其中 G40 和 G60 显著高于 G100($P<0.05$)。G40~G60 丙二醛(MDA)含量显著低于其他各组($P<0.05$), 其他替代组与 G0 相比差异不显著($P>0.05$), 其中 G20 含量显著低于 G100。

2.3 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉氨基酸含量的影响

表 4 列出了肌肉中检测出的 9 种必需氨基酸和 8 种非必需氨基酸的含量。蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉异亮氨酸(Ile)、苏氨酸(Thr)、蛋氨酸

表 3 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉理化指标的影响

Tab. 3 Effects of replacement of fish meal with maggot meal on muscle physiochemical indexes of *Pelteobagrus fulvidraco*

$n=4$; $\bar{x} \pm \text{SD}$

指标 index	G0	G20	G40	G60	G80	G100
pH _{45 min}	6.74±0.10	6.68±0.10	6.71±0.06	6.83±0.07	6.80±0.02	6.76±0.04
pH _{24 h}	6.75±0.09 ^{ab}	6.74±0.05 ^{ab}	6.72±0.03 ^a	6.86±0.09 ^b	6.81±0.03 ^{ab}	6.82±0.02 ^{ab}
滴水损失 DL / %	10.52±1.76	10.27±1.41	10.17±0.57	10.65±0.79	10.84±0.97	10.78±0.99
蒸煮损失 CL / %	32.13±3.37	31.56±1.53	31.40±0.51	31.34±0.66	32.09±1.16	32.70±0.42
胶原蛋白 / ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$) collagen	312.70±10.99 ^{ab}	317.65±16.13 ^{ab}	326.29±7.25 ^a	326.52±8.20 ^a	310.15±6.65 ^{ab}	297.27±8.61 ^b
丙二醛 MDA / ($\text{nmol} \cdot \text{mg}^{-1}$ protein)	0.80±0.03 ^{ab}	0.76±0.03 ^b	0.64±0.03 ^c	0.60±0.02 ^c	0.78±0.03 ^{ab}	0.84±0.02 ^a
超氧化物歧化酶 SOD / ($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1}$ protein)	12.46±0.82	13.26±0.67	13.88±1.91	14.00±0.81	13.75±0.48	14.43±0.47

注: 同行数据肩标不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Note: In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

表 4 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉氨基酸组成的影响

Tab. 4 Effects of replacement of fish meal with maggot meal on amino acids composition in muscle of *Pelteobagrus fulvidraco*

$n=4$; $\bar{x} \pm \text{SD}$; g/(100g), 干物质基础 DM basis

氨基酸 amino acid	G0	G20	G40	G60	G80	G100
必需氨基酸 essential amino acid						
精氨酸 Arg	6.62±0.12 ^a	6.74±0.25 ^a	6.78±0.14 ^a	6.93±0.38 ^{ab}	7.44±0.38 ^b	6.87±0.27 ^{ab}
组氨酸 His	1.68±0.33 ^a	1.82±0.12 ^{ab}	1.86±0.10 ^{ab}	1.92±0.13 ^{ab}	2.18±0.09 ^b	1.76±0.21 ^a
异亮氨酸 Ile	2.92±0.10	3.32±0.78	3.03±0.11	3.15±0.26	3.36±0.10	2.79±0.31
亮氨酸 Leu	5.32±0.21 ^{ab}	5.41±0.39 ^{ab}	5.40±0.15 ^{ab}	5.70±0.35 ^{ab}	6.14±0.47 ^b	5.20±0.57 ^a
苏氨酸 Thr	3.31±0.08	3.52±0.19	3.50±0.10	3.58±0.23	3.72±0.16	3.44±0.29
蛋氨酸 Met	1.52±0.11	1.72±0.36	1.58±0.15	1.50±0.62	1.86±0.27	1.44±0.29
赖氨酸 Lys	6.72±0.42	7.24±0.75	7.38±0.59	7.39±0.58	8.08±1.08	6.93±1.10
缬氨酸 Val	3.39±0.06 ^{ab}	3.45±0.24 ^{ab}	3.45±0.11 ^{ab}	3.53±0.23 ^{ab}	3.91±0.34 ^b	3.14±0.56 ^a
苯丙氨酸 Phe	2.86±0.05 ^a	2.96±0.19 ^{ab}	2.91±0.24 ^{ab}	3.10±0.24 ^{ab}	3.36±0.19 ^b	2.85±0.30 ^a
非必需氨基酸 non-essential amino acid						
谷氨酸 Glu [※]	10.71±0.53	11.13±0.89	10.72±0.32	10.83±0.95	11.49±0.33	11.04±0.97
丝氨酸 Ser	3.02±0.13	3.13±0.19	3.03±0.03	3.15±0.21	3.35±0.15	3.03±0.17
酪氨酸 Tyr	2.63±0.22	2.61±0.15	2.59±0.11	2.66±0.19	3.31±0.51	2.67±0.62
甘氨酸 Gly [※]	4.02±0.19	3.90±0.16	3.35±0.52	3.85±0.18	3.97±0.41	3.85±0.20
丙氨酸 Ala [※]	4.09±0.22	4.05±0.11	4.08±0.08	4.12±0.37	4.34±0.11	4.02±0.31
天冬氨酸 Asp [※]	7.37±0.46	7.82±0.38	7.60±0.51	7.79±0.73	8.14±0.23	7.61±0.57
半胱氨酸 Cys	0.14±0.01 ^{ab}	0.22±0.10 ^b	0.14±0.01 ^{ab}	0.14±0.01 ^{ab}	0.23±0.08 ^b	0.09±0.02 ^a
脯氨酸 Pro	2.60±0.15	2.69±0.33	2.56±0.17	2.71±0.07	2.93±0.22	2.85±0.20
风味氨基 TFAA	26.65±1.46	26.90±1.42	25.66±0.69	26.59±2.16	27.94±0.67	26.52±1.53
必需氨基酸 TEAA	34.56±0.80 ^a	36.17±2.38 ^{ab}	35.88±1.31 ^{ab}	36.80±2.50 ^{ab}	40.06±2.18 ^b	34.41±3.21 ^a
总氨基酸 TAA	69.60±2.26 ^{ab}	71.72±4.42 ^{ab}	69.18±1.53 ^a	72.05±4.79 ^{ab}	77.78±2.73 ^b	69.57±5.47 ^{ab}

注: ※-为风味氨基酸; TFAA-风味氨基酸的总含量; TEAA-必需氨基酸的总含量; TAA-所有氨基酸的含量。同行数据肩标不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Note: ※- flavor amino acid; TFAA-sum of flavor amino acids; TEAA-sum of essential amino acids; TAA-sum of all amino acids. In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

(Met)、赖氨酸(Lys)、丝氨酸(Ser)、酪氨酸(Tyr)和脯氨酸(Pro)含量影响不显著($P>0.05$)。G80 肌肉精氨酸(Arg)、组氨酸(His)、苯丙氨酸(Phe)含量显著高于 G0($P<0.05$)，亮氨酸(Leu)和缬氨酸(Val)含量显著高于 G100($P<0.05$)。谷氨酸(Glu)、甘氨酸(Gly)、丙氨酸(Ala)、天冬氨酸(Asp)等 4 种风味氨基酸和总风味氨基酸(TFAA)含量受蝇蛆粉的影响不显著($P>0.05$)，其中 G80 Glu、Ala、Asp 和 TFAA 含量最高。G0~G80 肌肉必需氨基酸(TEAA)和总氨基酸(TAA)含量随蝇蛆粉替代鱼粉水平的升高而增加，其中 G80 TEAA 含量显著高于 G0 ($P<0.05$)。

2.4 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉脂肪酸组成的影响

由表 5 可知，与 G0 肌肉脂肪酸含量相比，G40~G100 $C_{14:0}$ 含量和 n-3/n-6 比值显著降低

($P<0.05$)，G60~G100 $C_{16:1}$ 含量显著升高($P<0.05$)，G60~G100 $C_{18:3n-3}$ 、 $C_{22:6n-3}$ (DHA)和 EPA+DHA、多不饱和脂肪酸(PUFA)和 n-3 系多不饱和脂肪酸含量显著降低($P<0.05$)。G60 和 G100 单不饱和脂肪酸(MUFA)含量显著高于 G0 和 G20($P<0.05$)。蝇蛆粉替代鱼粉对肌肉 $C_{16:0}$ 、 $C_{18:0}$ 、 $C_{18:1}$ 、 $C_{20:1}$ 、 $C_{20:2n-6}$ 、饱和脂肪酸(SFA)和 n-6 系多不饱和脂肪酸含量影响不显著($P>0.05$)。各替代组 $C_{18:2n-6}$ 含量与 G0 相比差异不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉常规成分的影响

本实验结果表明，当蝇蛆粉替代鱼粉水平超过 60%时，肌肉灰分含量显著增加，但水分、粗蛋白、粗脂肪含量差异不显著。这不同于严品等^[8]用蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾的研究结果。其

表 5 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉脂肪酸组成的影响
Tab.5 Effects of replacement of fish meal with maggot meal on fatty acids composition in muscle of *Pelteobagrus fulvidraco*
 $n=4$; $\bar{x} \pm SD$; %; 占总脂肪酸比 total fatty acids

脂肪酸 fatty acid	G0	G20	G40	G60	G80	G100
$C_{14:0}$	2.04±0.16 ^a	1.99±0.09 ^a	1.72±0.04 ^b	1.52±0.09 ^b	1.49±0.08 ^b	1.24±0.16 ^c
$C_{16:0}$	19.32±0.17	19.31±0.55	19.49±0.27	19.83±1.01	20.81±0.57	18.75±4.04
$C_{18:0}$	5.28±0.20	5.13±0.48	4.88±0.10	5.61±0.53	5.16±0.41	7.45±4.60
Σ SFA	26.64±0.18	26.42±0.83	26.10±0.23	26.95±1.14	27.46±0.90	27.44±0.79
$C_{16:1}$	4.69±0.59 ^a	5.02±0.83 ^a	6.90±0.34 ^{ab}	7.85±0.31 ^b	8.62±0.49 ^b	9.03±2.44 ^b
$C_{18:1}$	28.81±3.97	28.43±1.11	29.55±2.26	33.42±2.15	30.88±1.89	31.65±1.82
$C_{20:1}$	1.61±0.18	1.52±0.10	1.49±0.13	1.44±0.13	1.41±0.09	1.32±0.29
Σ MUFA	33.50±4.25 ^a	33.45±1.68 ^a	36.45±2.46 ^{ab}	41.26±2.14 ^b	39.51±2.30 ^{ab}	40.68±4.06 ^b
$C_{18:2n-6}$	19.87±1.80 ^{ab}	20.35±0.48 ^a	19.77±1.15 ^{ab}	17.37±0.86 ^{ab}	17.68±1.04 ^{ab}	16.95±2.18 ^b
$C_{18:3n-3}$	1.83±0.21 ^a	1.81±0.09 ^a	1.48±0.11 ^{ab}	0.99±0.40 ^c	1.24±0.15 ^{bc}	0.80±0.02 ^c
$C_{20:2n-6}$	0.98±0.23	1.02±0.09	1.20±0.12	1.09±0.15	1.31±0.15	1.25±0.34
$C_{20:3n-6}$	ND	ND	1.12±0.03	1.30±0.12	1.95±0.35	2.27±0.72
$C_{20:5n-3}$ (EPA)	2.91±0.48	2.65±0.15	1.83±0.27	ND	ND	ND
$C_{22:6n-3}$ (DHA)	8.81±1.46 ^a	8.39±1.17 ^a	7.71±1.03 ^{ab}	5.48±1.24 ^{bc}	5.85±1.04 ^{bc}	3.52±0.64 ^c
Σ (EPA+DHA)	11.72±1.91 ^a	11.04±1.23 ^a	9.55±1.29 ^a	5.48±1.24 ^b	5.85±1.04 ^b	3.52±0.64 ^b
Σ PUFA	34.59±3.61 ^a	34.40±0.78 ^a	33.11±2.43 ^a	26.23±2.05 ^b	27.72±1.47 ^b	24.79±1.52 ^b
Σ n-3 PUFA	13.55±2.08 ^a	12.85±1.22 ^a	11.03±1.39 ^a	6.47±1.49 ^b	6.78±0.56 ^b	4.31±0.64 ^b
Σ n-6 PUFA	21.04±1.54	21.55±0.67	22.09±1.24	19.76±0.99	20.94±1.02	20.48±1.36
Σ n-3 / Σ n-6	0.64±0.05 ^a	0.59±0.07 ^{ab}	0.50±0.04 ^b	0.33±0.07 ^c	0.32±0.02 ^c	0.21±0.03 ^c

注: ND 表示未检测出; Σ SFA 为饱和脂肪酸总量; Σ MUFA 为单不饱和脂肪酸总量; Σ PUFA 为多不饱和脂肪酸总量; Σ n-3PUFA 为 n-3 系多不饱和脂肪酸; Σ n-6 PUFA 为 n-6 系多不饱和脂肪酸。同行数据肩标不同小写字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

Note: ND means no detection; Σ SFA means sum of saturated fatty acids; Σ MUFA means sum of monounsaturated fatty acids; Σ PUFA means sum of polyunsaturated fatty acids; Σ n-3PUFA includes total $C_{18:3n-3}$, EPA and DHA; Σ n-6 PUFA includes total $C_{18:2n-6}$, $C_{20:2n-6}$ and $C_{20:3n-6}$. In the same row, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$).

研究表明, 随蝇蛆粉替代鱼粉水平的增加, 肌肉粗蛋白质和灰分含量显著增加, 水分和粗脂肪含量差异不显著。出现这些差异的原因可能与饲料蛋白源来源、必需氨基酸、多不饱和脂肪酸含量及养殖品种不同有关。Fasakin 等^[5]研究发现, 非洲鲶肌肉水分、粗蛋白质、粗脂肪和灰分含量不受蝇蛆粉来源的影响。胡亮等^[12]报道, 在高水平替代鱼粉的混合动物蛋白饲料中添加晶体赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸, 能显著提高花鲈(*Lateolabrax japonicus*)全鱼粗蛋白质、粗脂肪含量, 显著降低水分和灰分含量。据报道, 随饲料中赖氨酸含量的增加, 黄颡鱼肌肉水分含量显著降低, 粗蛋白质显著升高, 粗脂肪和灰分则不受影响^[13]。唐黎等^[14]指出, 随饲料中 EPA+DHA 含量和 n-3/n-6 比例的增加, 黄颡鱼肌肉水分含量显著增加, 粗蛋白质含量显著降低。Tan 等^[15]研究发现, 黄颡鱼体粗脂肪含量随饲料中共轭亚油酸含量的增加而显著降低, 水分、粗蛋白质和灰分含量受亚油酸的影响不显著。

肌肉品质与肌肉灰分、干物质、蛋白质和肌间脂肪含量和比例有关, 鱼肉水分含量低, 蛋白质、脂肪含量高, 鱼肥嫩好吃, 鱼肉品质好^[16]。许红等^[17]指出, 用肉骨粉和血粉替代饲料中的鱼粉能显著提高虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)肌肉粗蛋白质和粗脂肪含量, 改善肉质。代伟伟^[18]报道, 混合植物蛋白替代 80% 的鱼粉可显著提高半滑舌鳎(*Cynolossus semilaevis* Günther)体灰分含量, 提高肌肉铜、铁、镁、磷含量, 改善肌肉风味。本实验中, 当蝇蛆粉替代鱼粉水平不超过 80% 时, 黄颡鱼肌肉水分含量随蝇蛆粉替代鱼粉水平的升高而降低, 粗蛋白质和粗脂肪含量逐渐增加。这说明蝇蛆粉替代鱼粉可以提高黄颡鱼肌肉中干物质、蛋白质和脂肪含量, 一定程度上有利于肌肉品质改善。其进一步的影响值得深入研究。

3.2 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉理化指标的影响

肌肉 pH 直接影响肉的保藏性和蒸煮损失, pH 过高不利于食用, 过低不利于保存; pH 下降会对肉色、系水力、可溶性蛋白浓度等产生不利影响, 降低肌肉品质^[19]。李文倩等^[20]在研究鳊(*Siniperca*

chuatsi Basilewsky)肌肉品质中指出, 在一定范围内 pH 的增加, 将使肌肉品质得到改善。目前, 关于替代蛋白源对水产动物肌肉 pH 影响的研究尚未见报道。本实验中, 随蝇蛆粉替代鱼粉水平的增加, 各替代组 pH_{45 min} 和 pH_{24 h} 与对照组相比无显著性差异, 后者较前者略有增加, 这说明蝇蛆粉不会显著影响黄颡鱼肌肉 pH。

肌肉滴水损失和蒸煮损失是衡量肌肉蛋白质保持水分的能力, 直接影响肉的风味、质地和营养成分等食用品质。王国泽等^[21]指出, 用黄粉虫替代鱼粉饲喂鹌鹑, 可显著降低肌肉滴水损失和蒸煮损失, 改善肌肉系水力。本实验中, 肌肉滴水损失和蒸煮损失受蝇蛆粉的影响不显著, 其中在 20% 和 40% 替代组呈下降趋势, 这说明蝇蛆粉不会影响黄颡鱼肌肉蛋白质系水能力, 替代水平不超过 40% 时, 有利于保持肌肉系水力。

胶原蛋白广泛存在于动物结缔组织中, 与鱼肉结构、柔韧性和质地密切相关, 在很大程度上决定了肌肉的系水性能和嫩度^[22]。李宝山等^[23]指出, 草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)摄食蚕豆可显著提高肌肉胶原蛋白含量, 降低失水率, 改善鱼肉品质。本实验结果显示, 当蝇蛆粉替代鱼粉水平在 60% 以下时, 黄颡鱼肌肉胶原蛋白含量随替代水平的升高而逐渐增加, 这说明在此水平下蝇蛆粉可提高肌肉胶原蛋白含量, 改善肌肉系水力和嫩度, 提高肌肉品质。有关蝇蛆粉影响肌肉胶原蛋白含量的作用机理有待进一步研究。

丙二醛(MDA)是脂质过氧化作用的产物, 其含量高低可反应肌肉脂质过氧化程度和抗氧化能力, 其常与超氧化物歧化酶(SOD)相互配合测定。据报道, 在鲤鱼^[24]、草鱼^[25]饲料中添加适量 VE 能抑制肌肉不饱和脂肪酸的过氧化, 降低肌肉 MDA 含量, 改善肌肉品质。本实验中, 黄颡鱼肌肉 SOD 活性随替代水平的增加呈现升高趋势, 40% 和 60% 替代组 MDA 含量较其他组显著降低, 这说明蝇蛆粉替代一定比例鱼粉不会引起黄颡鱼氧化应激反应, 对抗氧化能力有一定提升作用。这可能与饲料粗脂肪含量较低(7.0%)和蝇蛆粉中含有的抗菌肽、凝集素等活性物质抑制多不

饱和脂肪酸的过氧化, 提高抗氧化能力有关^[3]。

3.3 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉氨基酸含量的影响

肌肉氨基酸组成和含量是肌肉品质研究的一项重要内容, 肉质的鲜美在一定程度上取决于风味氨基酸(天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸)含量, 其中天冬氨酸和谷氨酸是呈鲜味的特征性氨基酸, 甘氨酸和丙氨酸是呈甘味的特征性氨基酸。肌肉中高含量的风味氨基酸和必需氨基酸能提高鱼肉风味和肉质^[26]。赵占宇^[27]指出, 在大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)饲料中添加一定量的共轭亚油酸可显著提高肌肉天冬氨酸和谷氨酸含量, 改善肌肉风味。据报道, 玉米蛋白粉替代鱼粉不会对日本沼虾(*Macrobrachium nipponensis*)^[28]和罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)^[29]肌肉必需氨基酸、呈味氨基酸含量产生显著影响, 亦不会影响肌肉的营养价值和风味。本实验结果表明, 在蝇蛆粉替代鱼粉水平不超过 80% 范围内, 黄颡鱼肌肉精氨酸、组氨酸等必需氨基酸、总必需氨基酸、总风味氨基酸和总氨基酸含量随蝇蛆粉替代鱼粉水平的升高而增加; 单个风味氨基酸天冬氨酸、谷氨酸、甘氨酸和丙氨酸含量不受蝇蛆粉的影响。这说明蝇蛆粉可提高黄颡鱼肌肉必需氨基酸和风味氨基酸含量, 改善肌肉质量和风味。

本实验中, 80% 替代组肌肉精氨酸、组氨酸等必需氨基酸、总必需氨基酸含量显著高于鱼粉组, 这与严品等^[8]用蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾、Ai 等^[30]用肉骨粉替代鱼粉对大黄鱼的研究结果不同。其研究表明, 凡纳滨对虾肌肉和大黄鱼全鱼上述氨基酸受鱼粉替代物的影响不显著。出现这些差异的原因可能与饲料中必需氨基酸含量、养殖动物对氨基酸的消化利用能力不同有关。已有研究表明, 水产动物对植物蛋白源氨基酸的消化利用率低, 会影响水产动物肌肉中相关氨基酸的沉积^[31-32]。关于蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼氨基酸代谢的影响有待于进一步研究。

3.4 蝇蛆粉替代鱼粉对黄颡鱼肌肉脂肪酸组成的影响

脂肪酸是脂类重要的组成成分, 其中多不饱

和脂肪酸(PUFA)是人体不可缺少的营养物质, 且 PUFA 也是肉食香味重要的前体物质。Cameron 等^[33]研究大白猪(large white)肌肉风味与肌间脂肪酸组成时指出, 猪肉香味和总体可接受程度与 PUFA 含量呈负相关关系, 与单不饱和脂肪酸(MUFA)含量呈正相关关系。本实验中, 各组肌肉 MUFA 含量随蝇蛆粉替代鱼粉水平的增加而显著增加, PUFA 含量显著降低, 这说明蝇蛆粉可在一定程度上改善黄颡鱼肌肉香味和可接受程度。

本实验结果显示, 当替代水平超过 40% 时, 黄颡鱼肌肉亚麻酸、EPA 和 DHA 含量显著降低, 这可能与蝇蛆粉缺乏多不饱和脂肪酸和黄颡鱼对 PUFA 的利用能力有关。实验用蝇蛆粉多不饱和脂肪酸仅含亚油酸(22.06%), 随替代比例的增加饲料中亚油酸、亚麻酸、DHA 等 PUFA 含量逐渐降低, 其含量分别为 29.21%~23.08%、3.31%~1.79%、6.99%~2.66%, EPA 仅在鱼粉组和 20% 替代组的饲料中检测出来, 它们含量不足或亚麻酸与亚油酸比例不平衡可能影响了脂肪酸在黄颡鱼肌肉中的沉积。据报道, 饲料中 EPA、DHA 含量的显著影响黄颡鱼肌肉中 n-3 系多不饱和脂肪酸含量和 n-3/n-6 的比值^[14, 34]。已有研究表明, 亚麻酸与亚油酸比值显著影响黄颡鱼肝脏亚麻酸、EPA、DHA 等脂肪酸含量^[35]和凡纳滨对虾肌肉亚麻酸、亚油酸等脂肪酸含量^[10]。

4 结论

黄颡鱼饲料中以蝇蛆粉替代鱼粉是可行的。当蝇蛆粉替代鱼粉比例不超过 40% 时, 除肌肉丙二醛含量显著降低外, 对肌肉常规成分、理化指标、必需氨基酸、风味氨基酸、不饱和脂肪酸含量无显著性影响。

参考文献:

- [1] 文远红, 曹俊明, 黄燕华, 等. 黄颡鱼营养需求研究进展[J]. 广东农业科学. 2011, 38(18): 108-111.
- [2] 魏震, 周定刚, 任永林, 等. 蝇蛆粉作为鱼粉替代物在水产养殖中的应用[J]. 粮食与饲料工业, 2008(9): 34-35.
- [3] 曹俊明, 严品, 黄燕华, 等. 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长、抗氧化和免疫指标的影响[J]. 水产学报, 2012,

- 4(36): 529–537.
- [4] 杨帆. 蝇蛆在黄鳝饲料中替代鱼粉的应用研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2011: 17–31.
- [5] Fasakin E A, Balogun A M, Ajayi O O. Evaluation of full-fat and defatted maggot meals in the feeding of clariid catfish *Clarias gariepinus* fingerlings [J]. *Aqu Res*, 2003, 34(9): 733–738.
- [6] Ogunji J, Sutter D, Rennert B, et al. Growth performance and body composition of carp (*Cyprinus carpio*) fed diets containing housefly maggot meal (magmaeal) [C]. IGB-Berlin.de. 2007: 140–148.
- [7] Ogunji J O, Kloas W, Wirth M, et al. Effect of housefly maggot meal (magmaeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings [J]. *J Animal Physiol Anim Nutr*, 2008, 92(4): 511–518.
- [8] 严晶, 曹俊明, 王国霞, 等. 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾肌肉营养成分、氨基酸和肌苷酸含量的影响[J]. *中国水产科学*, 2012, 19(2): 265–274.
- [9] Ogunji J O, Kloas W, Wirth M, et al. Housefly maggot meal (magmaeal) as a protein source for *Oreochromis niloticus* (Linn.) [J]. *Asian Fish Sci*, 2008, 21: 319–331.
- [10] 刘穗华, 曹俊明, 黄燕华, 等. 饲料中不同亚麻酸/亚油酸比对凡纳滨对虾幼虾生长性能和脂肪酸组成的影响[J]. *动物营养学报*. 2010, 22(5): 1413–1421.
- [11] Bradford M M. A Rapid and Sensitive Method for the Quantization of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding [J]. *Analyti Biochem*, 1976, 72: 248–254.
- [12] 胡亮, 薛敏, 王彬, 等. 晶体氨基酸提高混合动物蛋白替代花鲈饲料中鱼粉的潜力[J]. *水产学报*, 2011, 35(2): 268–275.
- [13] Cao J M, Chen Y, Zhu X, et al. A study on dietary L-lysine requirement of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Aqu Nutr*, 2012, 18(1): 35–45.
- [14] 唐黎, 施晓丽, 安苗, 等. 不同脂肪酸含量及比例对黄颡鱼幼体组成影响的研究[J]. *河北渔业*, 2010(10): 1–4.
- [15] Tan X, Luo Z, Xie P, et al. Effect of dietary conjugated linoleic acid (CLA) on growth performance, body composition and hepatic intermediary metabolism in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Aquaculture*, 2010, 310: 186–191.
- [16] 刘丽, 余红心, 肖维, 等. 鱼肉品质的研究进展[J]. *内陆水产*, 2008, 33(8): 9–12.
- [17] 许红, 李婵, 徐奇友, 等. 肉骨粉和血粉替代鱼粉对虹鳟生产性能和肉质的影响[J]. *饲料工业*, 2008(14): 23–24.
- [18] 代伟伟. 半滑舌鳎赖氨酸需求及其蛋白源替代研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011: 49–76.
- [19] Hagen O, Solberg C, Sirnes E, et al. Biochemical and structural factors contributing to seasonal variation in the texture of farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) flesh [J]. *J Agr Food Chem*, 2007, 55(14): 5803–5808.
- [20] 李文倩, 李小勤, 冷向军, 等. 鳊鱼肌肉品质评价的初步研究[J]. *食品工业科技*. 2010(9): 114–117.
- [21] 王国泽, 曹鑫涛, 宁巧, 等. 黄粉虫对鹌鹑生长性能与肉质的影响[J]. *畜禽业*, 2010(8): 14–15.
- [22] Sato K, Yoshinaka R, Sato M, et al. Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1986, 52(9): 1595–1600.
- [23] 李宝山, 冷向军, 李小勤, 等. 投饲蚕豆对草鱼生长和肌肉品质的影响[J]. *中国水产科学*, 2008, 6(15): 1042–1049.
- [24] 杨丹. 不同维生素E水平对鲤鱼生长性能和肌肉品质影响的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2009: 8–36.
- [25] 李小勤, 胡斌, 冷向军, 等. VE 对草鱼成鱼肌肉品质和抗氧化性能的影响[J]. *水生生物学报*. 2009, 33(6): 1132–1139.
- [26] Buchtov A H, Svobodov A Z, Kocour M, et al. Amino acid composition in fillets of mirror crossbreds common carp (*Cyprinus carpio*, Linnaeus 1758) [J]. *Acta Vet Brno*, 2009, 78: 337–344.
- [27] 赵占宇. 共轭亚油酸(CLA)对大黄鱼脂肪代谢、免疫、肉品质及 PPAR 基因表达的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2008: 77–87.
- [28] 胡盼, 黄旭雄, 郭腾飞, 等. 玉米蛋白粉部分替代鱼粉对日本沼虾生长和肌肉组成的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2011(2): 230–237.
- [29] 程媛媛, 周洪琪, 华雪铭, 等. 玉米蛋白粉部分替代鱼粉对罗氏沼虾生长、氨基酸沉积率和肌肉营养成分的影响[J]. *中国水产科学*, 2009, 16(4): 572–579.
- [30] Ai Q, Mai K, Tan B, et al. Replacement of fish meal by meat and bone meal in diets for large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* [J]. *Aquaculture*. 2006, 260(1): 255–263.
- [31] Regost C, Arzel J, Kaushik S J. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diet for turbot (*Psetta maxima*) [J]. *Aquaculture*. 1999, 180: 99–117.
- [32] Gómez-Requeni P, Mingarro M, Caldach-Giner J A, et al. Protein growth performance, amino acid utilisation and

- somatotropic axis responsiveness to fish meal replacement by plant protein sources in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) [J]. *Aquaculture*, 2004, 232: 493–510.
- [33] Cameron N D, Enser M, Nute G R, et al. Genotype with nutrition interaction on fatty acid composition of intramuscular fat and the relationship with flavour of pig meat [J]. *Meat Sci*, 2000, 55(2): 187–195.
- [34] 李敬伟. 黄颡鱼幼鱼对饲料中蛋白、能量、钙、磷和脂肪酸需要量[D]. 武汉: 华中农业大学, 2008: 23–37.
- [35] Tan X, Luo Z, Xie P, et al. Effect of dietary linolenic acid/linoleic acid ratio on growth performance, hepatic fatty acid profiles and intermediary metabolism of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* [J]. *Aquaculture*, 2009, 296: 96–101.

Effects of replacing fish meal with maggot meal on meat quality of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)

HUANG Yanhua^{1, 2, 3}, WEN Yuanhong^{1, 2, 3, 4}, CAO Junming^{1, 2, 3}, WANG Guoxia^{1, 2, 3}, MO Wenyan^{1, 2, 3}, CHEN Xiaoying^{1, 2, 3}, LIU Qunfang^{1, 2, 3, 4}, LIU Xiaoling^{1, 2, 3, 4}

1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Guangdong Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China;
3. Guangdong Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China;
4. College of Animal Science, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China.

Abstract: The aim of this experiment was to evaluate the effects of replacing fish meal with maggot meal on the nutritional composition, physiochemical indexes, amino and fatty acid composition of yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) muscle. Nine hundred and sixty fish with an initial body weight of ~2 g were randomly assigned to six groups and fed one of six isonitrogenous (39.5%) and isonergetic (16.8 MJ/kg) diets replacing 0% (G0), 20% (G20), 40% (G40), 60% (G60), 80% (G80) and 100% (G100) fish meal with maggot meal on a protein basis. After 60 days of the feed trial, there was no significant difference in muscle moisture, crude protein or crude lipid content among all treatments ($P>0.05$), but ash content of G60~G100 was significantly higher than that of G0 ($P<0.05$). No significant difference was found in pH, drip lose (DL), cooking lose (CL) or superoxide dismutase (SOD) activities among all groups ($P>0.05$). Compared with G0, there was no significant difference in collagen content with maggot meal treatments ($P>0.05$), but muscle malondialdehyde (MDA) content of G40 and G60 decreased significantly ($P<0.05$). Arginine, histidine, phenylalanine and total essential amino acid content in G80 were significantly higher than in G0 ($P<0.05$). No significant difference was observed in total amino acid, glutamic, glycine, alanine, aspartate or total flavor amino acid content among all groups ($P>0.05$). $C_{14:0}$, $C_{18:3n-3}$, DHA, EPA and DHA, polyunsaturated fatty acids (PUFA), n-3 PUFA content and n-3/n-6 ratio decreased with increasing maggot meal content, with significant diminution in G60~G100 compared with G0 ($P<0.05$). Compared with G0, $C_{16:0}$ and monounsaturated fatty acid (MUFA) content in G60 and G100 increased significantly ($P<0.05$). In conclusion, maggot meal had no significant effect on the nutritional composition, physiochemical indexes, amino acid or fatty acid composition in the muscle of *Pelteobagrus fulvidraco*, with the exception of MDA content, which significantly decreased when maggot meal replacement was less than 40%.

Key words: *Pelteobagrus fulvidraco*; fish meal; maggot meal; meat quality; physiochemical indices; amino acids; fatty acids

Corresponding author: CAO Junming. E-mail: junmcao@163.com