

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

吉红^{1,2,3*}, 程小飞¹, 李杰^{1,4}, 张建禄¹, 刘超³

(1. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水产科学研究所, 陕西 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学安康水产试验示范站, 陕西 安康 725021;

4. 通威股份有限公司, 四川 成都 610041)

摘要: 为研究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, 试验配制含10%鱼粉的基础饲料(CP 36.18%, EE 5.18%)和蚕蛹替代50%鱼粉蛋白的蚕蛹饲料(CP 35.38%, EE 5.06%), 饱食饲喂饲养于室内循环水养殖系统中的框鳞镜鲤幼鱼(12.10 ± 0.89)g 61 d, 日投喂3次。结果显示, 蚕蛹组与鱼粉组的末体质量、增重率、特定增长率、饲料系数、成活率等生长性能指标, 肥满度、内脏指数、脾脏指数、肝胰脏指数、肠指数等生物学性状指标, 以及全鱼、肌肉、肝胰脏的一般营养成分均无显著性差异($P > 0.05$); 蚕蛹组全鱼 Lys 水平和肌肉 Tyr 水平, 肌肉 C14:0、C16:1n-7、C18:1n-7 水平显著低于鱼粉组($P < 0.05$), C18:3n-3、 $\sum n$ -3PUFA 水平显著高于鱼粉组($P < 0.05$), 肝胰脏 C18:3n-3、C22:5n-3 水平显著高于鱼粉组($P < 0.05$), 动脉粥样硬化指数(IA)和促凝血指数(IT)差异不显著($P > 0.05$); 蚕蛹组和鱼粉组血清生化指标无显著性差异($P > 0.05$); 蚕蛹组和鱼粉组的前肠和中肠肠道褶皱高度、褶皱密度、褶皱宽度、粘膜下层厚度没有明显差异($P > 0.05$), 蚕蛹组前肠肌层显著较鱼粉组薄($P < 0.05$), 中肠没有显著差异($P > 0.05$)。在本试验条件下, 综合考虑其生长指标、体成分、血清生化指标及肠道组织结构形态, 蚕蛹替代框鳞镜鲤日粮中50%鱼粉蛋白对机体氨基酸和脂肪酸组成有一定影响, 但不影响框鳞镜鲤的健康状况, 且有促进生长及饲料利用的趋势。

关键词: 框鳞镜鲤; 蚕蛹; 生长性能; 体成分; 血清生化指标; 肠道组织结构

中图分类号: S 963

文献标志码: A

鱼粉因蛋白质含量高、氨基酸平衡、适口性好、抗营养因子少、利于消化吸收等优点, 作为饲料中最重要的蛋白源一直被广泛应用于水产养殖业^[1-2]。近年来由于不良气候影响、海洋环境污染、生态环境恶化及过度捕捞等原因, 渔业资源受到严重破坏, 导致全球鱼粉供应量下降, 另一方面随着市场对水产品需求量的日益增加, 水产养殖业快速发展, 使得鱼粉等原料资源供需矛盾日益紧张, 市场价格波动随之增大^[3-4]。因此, 寻求质

优价廉、来源丰富的鱼粉替代物, 已经成为全球水产养殖业可持续发展的关键。蚕蛹是缫丝厂主要副产品, 我国蚕蛹资源丰富, 产量约占世界总产量的80%, 年产干蚕蛹高达(10~20) × 10⁴ t^[5-6]。陕西省位居西北蚕蛹主产区之首, 仅安康地区每年产干蚕蛹2 500 t^[7]。干蚕蛹含有50%~70%的粗蛋白, 24%~33%的粗脂肪, 氨基酸种类齐全, 配比均衡, 且必需氨基酸含量丰富, 营养价值可以和优质鱼粉相媲美, 价格却比鱼粉低廉,

收稿日期:2012-01-12 修回日期:2012-06-03

资助项目:财政部“大学推广模式建设项目”

通讯作者:吉红, E-mail: jihong0405@hotmail.com

是一种优质昆虫蛋白源^[8-10]。蚕蛹作为饲料蛋白源已经在尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[11]、麦瑞加拉鲮鱼 (*Cirrhinus mrigala*)^[12]、喀拉鲃 (*Catla catla*)^[12,14]、南亚野鲮 (*Labeo rohita*)^[12-13]、建鲤 (*Cyprinus carpio* var. *jian*)^[15]、黄鳝 (*Monopterus albus*)^[16]、泥鳅 (*Misgurnus anguillicaudatus*)^[16]等水产动物营养饲料学方面有一定研究,但有关框鳞镜鲤 (*Cyprinus carpio* var. *specularis*, 以下简称框鲤),对蚕蛹利用方面的研究尚未见报道。

框鳞镜鲤属鲤形目 (*Cypriniformes*)、鲤科 (*Cyprinidae*)、鲤属 (*Cyprinus*),为淡水杂食性鱼类,20世纪80年代引进我国。由于生长快、抗病强、产量高、养殖风险低、品质好、价格高等优点,框鲤受到广大养殖户和消费者喜爱^[17],其繁育及养殖已经从引进之初的东北地区扩展到东南沿海、四川、陕西等地,目前对框鲤的研究仅见于杂交育种^[18-19]及肉质评价^[20],有关框鲤营养与饲料方面研究尚不多见。

本试验采用蚕蛹作为框鲤日粮中鱼粉替代蛋白源,从生长、饲料利用、生物学性状、一般体成

分、氨基酸及脂肪酸组成、血清生化指标及肠道组织结构等方面探讨蚕蛹替代鱼粉对框鲤生长性能、体成分及健康状况的影响,以期为框鲤全价人工配合饲料的开发及饲料资源的利用提供参考资料。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验蚕蛹 (CP 55.35%, EE 24.37%) 购自陕西省安康市第二缫丝厂,鱼粉 (CP 62.36%, EE 7.92%) 及其他饲料原料购自陕西省汉中市联创农业发展有限公司饲料厂。所有原料粉碎过60目筛,用小型搅拌机搅拌均匀,制粒后风干,于-20℃冰柜储存,饲喂前手工制成直径2mm,长2.5mm的颗粒。

本试验共设2组饲料,即鱼粉组 (FM, 含10%鱼粉的基础日粮) 和蚕蛹组 (SWP, 蚕蛹替代基础日粮中50%的鱼粉蛋白)。试验饲料配方和一般营养组成、氨基酸组成、脂肪酸组成分别见表1、表2和表3。

表1 试验饲料配方及一般营养成分 (风干基础)

Tab.1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (air-dry basis)

项目 items	鱼粉组		蚕蛹组		项目 items	鱼粉组		蚕蛹组	
	FM	SWP	FM	SWP		FM	SWP	FM	SWP
小麦 wheat	11	11.5	全脂大豆 full fat soybean	3	3				
豆粕 soybean meal	18	18	细米糠 fine rice bran	4	4				
菜粕 rapeseed meal	22	22	预混料 premix	1	1				
棉粕 cotton meal	22	22	三氧化二铬 chromic oxide	1	1				
鱼粉 fish meal	10	5	合计 total	100	100				
蚕蛹粉 silkworm pupae meal	0	5.5	营养成分 proximate composition						
豆油 soybean oil	2	1	灰分 ash	12.08	11.94				
磷酸二氢钙 Ca(H ₂ PO ₄) ₂	2	2	水分 moisture	12.01	12.12				
膨润土 bentonite	2	2	粗蛋白 crude protein	36.18	35.38				
沸石粉 zeolite powder	2	2	粗脂肪 crude lipid	5.18	5.06				

注:预混料含有0.1%维生素混合物和0.9%无机盐混合物(mg/kg饲料),VA 300 IU,VD₃ 100 IU,VE 2.50 mg,VK₃ 2.50 mg,VB₁ 0.30 mg,VB₂ 0.56 mg,VB₆ 0.50 mg,VC-磷酸酯 12 mg,烟酸 1.00 mg,泛酸钙 1.50 mg,叶酸 0.05 mg,肌醇 6.00 mg,维生素混合物载体为玉米蛋白粉; Fe 270 mg,Cu 3.15 mg,Zn 108 mg,Mn 27 mg,Mg 162 mg,Co 1.53 mg,I 0.585 mg,Se 0.45 mg,无机盐混合物载体为沸石粉。
Notes: Premix contain 0.1% vitamin premix and 0.9% mineral premix (mg/kg of diet), VA 300 IU, VD₃ 100 IU, VE 2.50 mg, VK₃ 2.50 mg, VB₁ 0.30 mg, VB₂ 0.56 mg, VB₆ 0.50 mg, ascorbyl-2-monophosphate 12 mg, nicotinic acid 1.00 mg, calcium pantothenate 1.50 mg, folic acid 0.05 mg, Inositol 6.00 mg, corn gluten meal was used as a carrier; Fe 270 mg, Cu 3.15 mg, Zn 108 mg, Mn 27 mg, Mg 162 mg, Co 1.53 mg, I 0.585 mg, Se 0.45 mg and zeolite powder was used as a carrier.

表 2 试验饲料氨基酸组成(风干基础)

Tab.2 Amino acids composition of the experimental diets (air-dry basis)

氨基酸 amino acid	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	氨基酸 amino acid	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
天冬氨酸 Asp	3.29	3.19	异亮氨酸 Ile	1.44	0.96
苏氨酸 Thr	1.38	1.30	亮氨酸 Leu	2.86	2.47
丝氨酸 Ser	1.56	1.69	络氨酸 Tyr	1.23	1.35
谷氨酸 Glu	7.61	7.17	苯丙氨酸 Phe	1.80	1.62
脯氨酸 Pro	3.80	3.79	酪氨酸 Lys	1.79	1.55
谷氨酸 Gly	1.71	1.58	组氨酸 His	0.94	0.81
丙氨酸 Ala	1.74	1.65	精氨酸 Arg	2.76	2.51
胱氨酸 Cys	0.99	0.99	∑ EAA ^a	11.99	10.25
缬氨酸 Val	1.85	1.39	∑ DAA ^b	14.35	13.59
蛋氨酸 Met	0.87	0.97	∑ TAA ^c	37.62	34.98

注:a. EAA 必需氨基酸总和;b. DAA 鲜味氨基酸总和,包括谷氨酸、甘氨酸、天门冬氨酸和丙氨酸;c. TAA 氨基酸总和;下表同。

Notes:a. EAA is total essential amino acids; b. DAA is total delicious amino acids, which include Glu, Gly, Asp, Ala;c. TAA is total amino acids; And it is the same in the follows.

表 3 试验饲料脂肪酸组成(占总脂肪酸)

Tab.3 Fatty acids composition of the experimental diets (in total fatty acids)

脂肪酸 fatty acids	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	脂肪酸 fatty acids	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
C14:0	1.22	0.80	C18:3n-3(ALA)	3.95	11.57
C16:0	17.44	18.62	C20:2n-6	0.12	0.09
C18:0	4.80	6.35	C20:3n-6	0.09	0.04
C20:0	0.19	0.19	C20:3n-3	0.35	0.16
∑ SFA ^a	23.66	25.96	C20:4n-6(AA)	0.13	0.05
C16:1n-7	1.19	0.93	C20:5n-3(EPA)	0.14	0.08
C18:1n-9	31.23	28.40	C22:4n-3	0.09	0.07
C18:1n-7	1.93	1.65	C22:5n-6	0.01	0.15
C20:1n-11	0.55	0.53	C22:5n-3	0.02	0.04
C20:1n-9	0.15	0.19	C22:6n-3(DHA)	0.18	0.11
C22:1n-11	0.05	n. d.	DHA + EPA	0.32	0.19
C22:1n-9	0.34	0.27	DHA/EPA	1.50	1.42
∑ MUFA ^b	35.45	31.97	∑ n-3 PUFA ^c	4.72	12.04
C18:2n-6(LA)	35.37	29.26	∑ PUFA ^d	40.89	42.07
C18:3n-6	0.45	0.44	n-3/n-6	0.13	0.40

注:a. ∑ SFA 表示饱和脂肪酸总和,包括 C14:0, C16:0, C18:0, C20:0;b. ∑ MUFA 表示单不饱和脂肪酸总和,包括 C16:1n-7, C18:1n-9, C18:1n-7, C20:1n-11, C20:1n-9, C22:1n-11, C22:1n-9;c. ∑ n-3PUFA 表示 n-3 多不饱和脂肪酸总和,包括 C18:3n-3, C20:3n-3, C20:5n-3, C22:4n-3, C22:5n-3, C22:6n-3;d. ∑ PUFA 表示多不饱和脂肪酸总和,包括 C18:2n-6(LA), C18:3n-3, C20:2n-6, C20:3n-6, C20:3n-3, C20:4n-6, C20:5n-3, C22:4n-3, C22:5n-6, C22:5n-3, C22:6n-3;下表同。

Notes:a. ∑ SFA is total saturated fatty acids; b. ∑ MUFA means total monounsaturated fatty acids; c. ∑ n-3PUFA means total n-3 polyunsaturated fatty acids included C18:3n-3, C20:3n-3, C20:5n-3, C22:4n-3, C22:5n-3, C22:6n-3; d. ∑ PUFA means total polyunsaturated fatty acids. And it is the same in the following tables.

1.2 试验鱼及饲养管理

试验框鲤由西北农林科技大学安康水产试验示范站提供。选择初始体质量(12.10 ± 0.89) g 健康鱼种 102 尾,随机分配在 6 个缸,每个试验组 3 个重复,每个重复 17 尾,饲养于西北农林科技大学安康水产试验示范站室内控温循环水养殖系

统,养殖缸容积为每个 300 L。试验开始前用陕西省某商品饲料(CP 40.76%、EE 3.52%)驯养 10 d。试验期间饱食投喂,日投喂 3 次(8:30, 12:30, 16:30),共饲养 61 d。期间水温为 27.5 ~ 30.5 °C,溶氧为 5.0 ~ 8.0 mg/L, pH 为 7.8 ~ 8.4,氨氮 0.10 ~ 0.20 mg/L,亚硝酸盐 0.05 ~

0.15 mg/L, 硫化物 0.05 ~ 0.10 mg/L。

1.3 样品采集与检测

采样前饥饿 24 h, 每尾称体质量、测体长、全长; 每缸随机取 6 尾鱼用 MS-222 麻醉后, 尾静脉抽血, 血液样品 4 °C 冰箱过夜, 4 °C 下, 3 000 r/min, 离心 10 min 制备血清; 每缸另随机取 2 尾鱼采用组织捣碎机进行匀浆, 作为全鱼样本; 其他鱼解剖, 测量肠长, 称空壳重、肝胰脏重、脾重及肠重, 取肝胰脏组织迅速置液氮中保存, 随后转至 -70 °C 冰箱待用, 肌肉、全鱼样品于 -20 °C 保存待用; 分别取前肠和中肠于波恩氏液(石蜡切片样品)和戊二醛固定液(扫描电镜样品)中保存待用。

采用以下公式计算生长性能和生物学性状:

成活率 (survival ratio, SR, %) = 终末鱼数量 / 初始鱼数量 × 100;

摄食率 (feed intake, FI, %/d) = 投饲总量 / [饲养天数 × (初始鱼体质量 + 终末鱼体质量 + 死亡鱼体质量) / 2];

增重率 (weight gaining rate, WGR, %) = (终末鱼体质量 + 死亡鱼体质量 - 初始鱼体质量) / 鱼体初重 × 100;

特定生长率 (specific growth rate, SGR, %/d) = (Ln 终末平均体质量 - Ln 初始平均体质量) × 100 / 饲养天数;

绝对增长率 (absolute growth rate, AGR, g/d) = (终末平均体质量 - 初始平均体质量) / 饲养天数;

饲料系数 (feed conversion ratio, FCR, g/g) = 投饲总量 / (终末鱼体质量 + 死亡鱼体质量 - 初始鱼体质量);

蛋白质效率 (protein efficiency, PER, g/g) = (终末鱼体质量 + 死亡鱼体质量 - 初始鱼体质量) / 蛋白质摄入量;

肥满度 (condition factor, CF, g/cm³) = 全鱼重 / (体长³) × 100;

肝胰脏指数 (hepatosomatic index, HSI, %) = 肝胰脏重 / 体质量 × 100;

脏体比 (viscerosomatic index, VSI, %) = 内脏总重 / 全鱼重 × 100;

肠指数 (intestine index, %) = 肠重 / 全鱼重 × 100;

脾脏指数 (spleen index, %) = 脾脏重 / 全鱼

重 × 100。

动脉粥样硬化指数和促凝血指数是通过测定肌肉脂肪酸组成来评价其对人体消费者健康状况潜在影响的指标^[34-35], 计算公式如下:

(1) 动脉粥样硬化指数 (index of atherogenicity, IA) = [(12:0) + (4 × 14:0) + (16:0)] / [(PUFA n-6 and n-3) + MUFA]⁻¹

(2) 促凝血指数 (index of thrombogenicity, IT) = [(14:0) + (16:0) + (18:0)] / [(0.5 × MUFA) + (0.5 × n-6) + (3 × n-3) + (n-3 × n-6⁻¹)]⁻¹

其中, PUFA 包括 C18:2n-6、C18:3n-3、C20:4n-6 和 C22:6n-3; MUFA 包括所有系列的 C14:1、C16:1、C18:1 和 C20:1。

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); 血清生化指标采用岛津 I Lab 600 全自动生化分析仪测定; 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 22 h 过滤定容至 50 mL, 取 0.5 mL 真空干燥制作成样品, 使用氨基酸自动分析仪 (BECKMAN®, 121 MB, USA) 测定样品氨基酸组成及比例; 脂肪酸测定采用安捷伦 GC-7820 气相色谱仪测定, 称取适量的样品, 放入组织捣碎机中搅碎, 真空干燥, 干燥样品用苯-石油醚 (1:1 体积比) 提取脂肪后, 用 0.4 mol/L 氢氧化钾-甲醇液酯化 30 min, 然后热水浴浓缩, 加水分层, 上层液使用气相色谱法检测分析, 并按面积归一化法计算脂肪酸各组分含量, 气相色谱条件: 30 m × 0.320 mm × 0.25 μm Agilent 19091J-413 GC Columns, 柱箱温度 210 °C, 检测器温度 (FID) 300 °C, 进样器温度 250 °C, 载气为高纯 N₂, 尾吹 30 mL/min, 氢气 40 mL/min, 空气 450 mL/min。

石蜡组织切片制样: 将前肠和中肠取出, 分别经浓度为 70%、80%、90%、95% 和 100% 的乙醇梯度脱水, 并置于二甲苯中透明, 最后包埋于低熔点石蜡中使用 RM-2250 型切片横向往连续切片, 厚度为 6 μm, 而后展片于清洁的载玻片上, 采用 H. E 染色, 中性树胶封片。光镜观察粘膜褶皱高度和宽度、粘膜下层厚度、肌层厚度, 以及浆膜层和杯状细胞等; 扫描电镜 (SEM) 制样及观察: 取前肠样品用 0.1 mol/L (pH = 7.3) 的磷酸缓冲液

冲洗 3~4 次,立即投入 4 ℃ 的 2.5% 戊二醛溶液中固定 48 h,磷酸缓冲液漂洗,用 1% 锇酸固定 1.5 h,梯度酒精脱水,醋酸异戊酯过渡,临界点干燥法干燥,喷金, JSM-6360LV 扫描电镜观察并拍照。

1.4 数据处理

试验结果用平均值 ± 标准差 (mean ± SD) 表示;使用 SPSS 18.0 软件中的独立样本 *T* 检验对数据进行分析; $P < 0.05$ 为差异性显著, $P < 0.01$

为差异极显著。

2 结果

2.1 蚕蛹替代鱼粉对框鲤生长性能的影响

由表 4 可知,饲养试验结束后,蚕蛹组和鱼粉组之间在成活率、末重、绝对增长率、特定增长率、增重率、饲料系数、蛋白质效率、摄食率方面无显著性差异 ($P > 0.05$)。

表 4 蚕蛹替代鱼粉对框鲤生长性能的影响

Tab. 4 Effect of silkworm pupae replacement of fish meal on growth performance of *C. carpio* var. *specularis*

组别 group	成活率/% SR	初重/g IBW	末均重/g FIW	绝对增长率/ (g/d) AGR	特定生长/ (%/d) SGR	增重率/% WGR	饲料系数 FCR	蛋白质效率/ (g/g) PER	摄食率/ (%/d) FI
鱼粉组 FM	96.07 ± 3.39	12.19 ± 0.07	60.27 ± 12.02	0.84 ± 0.06	2.73 ± 0.12	375.06 ± 31.36	1.99 ± 0.12	1.39 ± 0.09	4.58 ± 0.19
蚕蛹组 SWP	96.07 ± 3.39	12.17 ± 0.24	63.74 ± 19.46	0.91 ± 0.04	2.84 ± 0.01	403.39 ± 3.67	1.91 ± 0.03	1.48 ± 0.02	4.50 ± 0.09

注:表格中所给数据为平均数及 3 个(或 3 个以上)重复的标准差。下表同。

Notes: Values are means and standard deviation of three (or more than three) replicates. The same as below.

2.2 蚕蛹替代鱼粉对框鲤生物学性状的影响

由表 5 可知,蚕蛹组与鱼粉组的肠指数、肥满度、内脏指数、肝胰脏指数、脾脏指数之间差异不

显著 ($P > 0.05$),其中蚕蛹组的肥满度、内脏指数、肝胰脏指数、脾脏指数低于鱼粉组。

表 5 蚕蛹替代鱼粉对框鲤生物学性状的影响

Tab. 5 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on biological parameters of *C. carpio* var. *specularis*

组别 group	肠指数/% II	肥满度/(g/cm ³) CF	内脏指数/% VSI	肝胰脏指数/% HSI	脾脏指数/% SI
鱼粉组 FM	2.79 ± 0.71	3.26 ± 0.30	13.94 ± 1.76	2.26 ± 0.42	0.28 ± 0.08
蚕蛹组 SWP	2.79 ± 0.69	3.15 ± 0.34	13.59 ± 1.73	2.15 ± 0.33	0.27 ± 0.10

2.3 蚕蛹替代鱼粉对框鲤体成分的影响

对一般营养成分的影响 由表 6 可知,蚕蛹组与鱼粉组之间全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分差异不显著 ($P > 0.05$),其中蚕蛹组全鱼的粗蛋白、水分、粗脂肪、粗灰分高于鱼粉组;蚕蛹组与鱼粉组之间肌肉的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰

分差异不显著 ($P > 0.05$),其中蚕蛹组肌肉的水分低于鱼粉组,粗蛋白、粗脂肪、粗灰分高于鱼粉组;蚕蛹组与鱼粉组之间肝胰脏的水分、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分差异不显著 ($P > 0.05$),其中蚕蛹组肝胰脏的水分、粗脂肪低于鱼粉组,粗蛋白、粗灰分高于鱼粉组。

表 6 蚕蛹替代鱼粉对框鲤全鱼、肌肉和肝胰脏一般营养成分的影响(以湿重计)

Tab. 6 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on proximate composition of whole body, muscle and hepatopancrease of *C. carpio* var. *specularis* (wet weight basis) %

组别 group	全鱼 whole body		肌肉 muscle		肝胰脏 hepatopancrease	
	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
水分 moisture	75.02 ± 1.48	75.25 ± 0.55	76.69 ± 1.64	76.25 ± 2.99	69.38 ± 3.68	68.70 ± 0.68
粗脂肪 crude lipid	6.43 ± 9.5	7.05 ± 7.0	3.72 ± 1.48	4.31 ± 2.39	4.90 ± 0.57	3.97 ± 0.76
粗蛋白 crude protein	13.53 ± 1.47	15.00 ± 0.92	17.90 ± 0.60	18.43 ± 0.55	15.10 ± 0.91	15.11 ± 1.47
灰分 crude ash	2.64 ± 0.37	2.73 ± 0.15	1.33 ± 0.05	1.37 ± 0.10	1.95 ± 0.30	2.27 ± 0.48

对全鱼和肌肉氨基酸组成的影响 由表7知,蚕蛹组的全鱼赖氨酸水平显著低于鱼粉组 ($P < 0.05$),天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、胱氨酸、缬氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、苯丙氨酸、赖氨酸、组氨酸稍低于鱼粉组,蛋氨酸、甘氨酸、酪氨酸稍高于鱼粉组,必需氨基酸、鲜味氨基酸及总氨基酸水平稍低于鱼粉组,但没有显著性差异 ($P > 0.05$);由表7知,蚕蛹组的肌肉氨基酸

组成中,酪氨酸水平显著低于鱼粉组 ($P < 0.05$),天冬氨酸、苏氨酸、丝氨酸、谷氨酸、脯氨酸、甘氨酸、胱氨酸、缬氨酸、蛋氨酸、亮氨酸、苯基丙氨酸、赖氨酸、组氨酸、精氨酸稍低于鱼粉组,丙氨酸、异亮氨酸稍高于鱼粉组,必需氨基酸、鲜味氨基酸、总氨基酸稍低于鱼粉组,但没有显著性差异 ($P > 0.05$)。

表7 蚕蛹替代鱼粉对框鲤全鱼和肌肉氨基酸组成的影响(以湿重计)
Tab.7 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on amino acid composition of whole body and muscle of *C. carpio* var. *specularis* (wet weight basis) %

氨基酸 amino acid	全鱼 whole body		肌肉 muscle	
	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
天冬氨酸 Asp	1.29 ± 0.23	1.26 ± 0.15	1.68 ± 0.02	1.27 ± 0.52
苏氨酸 Thr	0.58 ± 0.08	0.56 ± 0.06	0.73 ± 0.01	0.57 ± 0.19
丝氨酸 Ser	0.61 ± 0.08	0.57 ± 0.12	0.67 ± 0.05	0.55 ± 0.14
谷氨酸 Glu	2.29 ± 0.20	2.20 ± 0.16	2.99 ± 0.08	2.62 ± 0.60
脯氨酸 Pro	1.47 ± 0.06	1.47 ± 0.25	1.37 ± 0.07	1.34 ± 0.03
甘氨酸 Gly	0.95 ± 0.08	1.02 ± 0.32	0.76 ± 0.01	0.72 ± 0.09
丙氨酸 Ala	0.94 ± 0.03	0.93 ± 0.13	1.06 ± 0.06	1.06 ± 0.11
胱氨酸 Cys	0.32 ± 0.08	0.31 ± 0.07	0.27 ± 0.06	0.23 ± 0.00
缬氨酸 Val	0.72 ± 0.02	0.69 ± 0.10	0.87 ± 0.09	0.86 ± 0.10
蛋氨酸 Met	0.28 ± 0.17	0.35 ± 0.18	0.67 ± 0.60	0.13 ± 0.01
异亮氨酸 Ile	0.55 ± 0.04	0.53 ± 0.10	0.75 ± 0.13	0.80 ± 0.10
亮氨酸 Leu	1.26 ± 0.01	1.17 ± 0.05	1.62 ± 0.12	1.69 ± 0.15
酪氨酸 Tyr	0.33 ± 0.29	0.36 ± 0.15	0.44 ± 0.17	0.07 ± 0.12 *
苯丙氨酸 Phe	0.63 ± 0.03	0.60 ± 0.02	0.79 ± 0.06	0.76 ± 0.12
赖氨酸 Lys	1.23 ± 0.02	1.14 ± 0.06 *	1.61 ± 0.14	1.58 ± 0.30
组氨酸 His	0.39 ± 0.12	0.38 ± 0.09	0.55 ± 0.03	0.31 ± 0.22
精氨酸 Arg	0.87 ± 0.05	0.87 ± 0.11	1.02 ± 0.02	0.90 ± 0.18
Σ EAA	5.24 ± 0.21	5.03 ± 0.27	7.04 ± 0.65	6.38 ± 0.95
Σ DAA	5.46 ± 0.42	5.41 ± 0.74	6.5 ± 0.16	5.67 ± 1.31
Σ TAA	14.69 ± 1.16	14.41 ± 1.51	17.86 ± 0.61	15.45 ± 2.87

注: * 表示组间存在差异显著 ($P < 0.05$), ** 表示组间存在极差异显著 ($P < 0.01$);下表同。

Notes: * means in the same row are significant difference at $P < 0.05$ **, means in the same row are significant difference at $P < 0.01$; The same as below.

对肌肉和肝胰脏脂肪酸组成的影响 由表8知,蚕蛹组肌肉 C14:0、C16:1n-7、C18:1n-7 显著低于鱼粉组 ($P < 0.05$), Σ n-3PUFA 显著高于鱼粉组 ($P < 0.05$), C22:6n-3 (DHA)、C20:5n-3 (EPA) 及 DHA 与 EPA 比率、DHA 与 EPA 之和、Σ SFA 稍低于鱼粉组, Σ MUFA、Σ PUFA、Σ n-3PUFA 与 Σ n-6PUFA 比率 (n-3/n-6) 稍高于鱼粉组,但没有显著性差异 ($P > 0.05$);蚕蛹组肝胰脏中 C18:3n-3 (ALA) 和 C22:5n-3 (DPA) 显著高于鱼粉组 ($P < 0.05$), DHA、EPA、DHA 与 EPA 之

和、Σ n-3PUFA、Σ PUFA、n-3/n-6、Σ MUFA、DHA 与 EPA 比率稍低于鱼粉组,但没有显著性差异 ($P > 0.05$)。蚕蛹组和鱼粉组肌肉中 IA 和 IT 差异不显著,且均小于 1。

2.4 蚕蛹替代鱼粉对框鲤血清生化指标的影响

由表9可知,蚕蛹组和鱼粉组试验鱼血清的 ALT、AST 活性及 TP、ALB、GLO、CHOL、TG 和 GLU 含量无显著性差异 ($P > 0.05$),其中,蚕蛹组的 ALT、AST 稍高于鱼粉组,TP、ALB、GLO、CHOL、TG 和 GLU 稍低于鱼粉组。

表 8 蚕蛹替代鱼粉对框鲤肌肉和肝胰脏脂肪酸组成的影响(占总脂肪酸)
 Tab. 8 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on fat acids composition of muscle and hepatopancreas of *C. carpio* var. *specularis* (in total fatty acids) %

脂肪酸 fatty acids	肌肉 muscle		肝胰脏 hepatopancreas	
	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
C14:0	0.89 ± 0.15	0.62 ± 0.16 *	0.83 ± 0.13	0.76 ± 0.15
C16:0	19.60 ± 2.22	19.47 ± 2.85	17.80 ± 2.27	18.75 ± 1.64
C18:0	7.64 ± 1.57	7.35 ± 2.24	10.46 ± 2.14	10.64 ± 3.03
C20:0	0.40 ± 0.15	0.46 ± 0.16	0.46 ± 0.12	0.36 ± 0.07
Σ SFA	28.62 ± 3.71	27.87 ± 4.92	29.55 ± 3.96	30.51 ± 4.31
C16:1n-7	1.70 ± 0.26	1.17 ± 0.29 *	1.86 ± 0.54	1.61 ± 0.52
C18:1n-9	34.97 ± 3.73	36.07 ± 9.11	42.31 ± 7.69	40.03 ± 3.88
C18:1n-7	1.85 ± 0.13	1.52 ± 0.20 *	1.68 ± 0.29	1.53 ± 0.17
C20:1n-11	1.43 ± 0.21	1.34 ± 0.48	2.20 ± 0.32	2.37 ± 0.59
C20:1n-9	0.11 ± 0.05	0.10 ± 0.08	0.11 ± 0.04	0.08 ± 0.02
C22:1n-11	0.14 ± 0.07	0.10 ± 0.07	0.24 ± 0.10	0.25 ± 0.07
C22:1n-9	0.12 ± 0.04	0.07 ± 0.06	0.10 ± 0.03	0.09 ± 0.01
Σ MUFA	40.32 ± 3.72	40.37 ± 8.44	48.51 ± 8.02	45.97 ± 4.76
C18:2n-6(LA)	22.56 ± 4.88	20.07 ± 5.72	14.63 ± 7.24	14.23 ± 5.32
C18:3n-6	0.26 ± 0.06	0.29 ± 0.06	0.33 ± 0.08	0.29 ± 0.03
C18:3n-3(ALA)	2.64 ± 0.42	5.36 ± 2.75	1.67 ± 0.76	2.82 ± 0.66 *
C20:2n-6	0.06 ± 0.08	0.12 ± 0.10	0.07 ± 0.05	0.05 ± 0.05
C20:3n-6	0.01 ± 0.02	0.02 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.03
C20:3n-3	0.17 ± 0.10	0.53 ± 0.54	0.19 ± 0.05	0.19 ± 0.05
C20:4n-6(AA)	0.23 ± 0.05	0.15 ± 0.08	0.28 ± 0.02	0.26 ± 0.05
C20:5n-3(EPA)	0.84 ± 0.15	0.75 ± 0.17	0.73 ± 0.21	0.88 ± 0.16
C22:4n-3	1.83 ± 0.74	1.88 ± 0.76	1.41 ± 0.75	1.61 ± 0.67
C22:5n-6	0.10 ± 0.06	0.26 ± 0.06	0.04 ± 0.03	0.03 ± 0.02
C22:5n-3(DPA)	0.24 ± 0.06	0.32 ± 0.13	0.11 ± 0.05	0.25 ± 0.07 **
C22:6n-3(DHA)	2.22 ± 1.15	2.01 ± 1.18	2.44 ± 1.82	2.88 ± 1.39
DHA + EPA	3.06 ± 1.22	2.76 ± 1.34	3.17 ± 1.96	3.76 ± 1.53
DHA/EPA	2.62 ± 1.20	2.53 ± 0.91	3.20 ± 1.52	3.13 ± 1.10
Σ n-3PUFA	7.94 ± 1.53	10.86 ± 1.34 **	5.52 ± 1.75	7.36 ± 1.25
Σ n-6PUFA	23.22 ± 4.96	20.90 ± 5.95	15.40 ± 7.30	14.9 ± 5.29
Σ PUFA	31.15 ± 4.09	31.76 ± 6.86	21.95 ± 8.40	23.53 ± 4.41
n-3/n-6	0.36 ± 0.14	0.56 ± 0.17	0.48 ± 0.21	0.64 ± 0.22
IA ^a	0.86 ± 0.18	0.88 ± 0.36	—	—
IT ^b	0.50 ± 0.05	0.43 ± 0.09	—	—

注:a. IA 表示动脉粥样硬化指数; b. 表示促凝血指数。

Notes: a. IA means index of atherogenicity; b. IT means index of thrombogenicity.

表 9 蚕蛹替代鱼粉对框鲤血清生化指标的影响

Tab. 9 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on serum biochemical indices of *C. carpio* var. *specularis*

组别 group	谷丙转氨酶/ (U/L) ALT	谷草转氨酶/ (U/L) AST/	总蛋白/ (g/L) TP	白蛋白/ (g/L) ALB	球蛋白/ (g/L) GLO	总胆固醇/ (mmol/L) CHOL	甘油三酯/ (mmol/L) TG	血糖/ (mmol/L) GLU
鱼粉组 FM	9.07 ± 2.35	129.40 ± 48.17	27.08 ± 2.18	9.18 ± 0.52	17.90 ± 1.81	2.94 ± 0.48	2.89 ± 0.68	13.22 ± 6.34
蚕蛹组 SWP	10.27 ± 3.67	170.27 ± 69.98	26.13 ± 4.17	8.85 ± 1.09	17.28 ± 3.16	2.88 ± 0.68	2.58 ± 0.55	10.63 ± 4.19

2.5 蚕蛹替代鱼粉对框鲤肠道组织结构形态的影响

框鲤肠道显微结构见图版 I 和表 10。框鲤肠道褶皱由前向后逐渐缩短,变窄,肌肉由前向后逐渐变薄;蚕蛹组和鱼粉组的前肠和中肠肠道褶

皱高度、密度、宽度、粘膜下层厚度没有明显差异;蚕蛹组前肠肌层显著较鱼粉组薄($P < 0.05$),中肠没有显著差异;框鲤肠道超微结构见图版 II。蚕蛹组和鱼粉组前肠粘膜褶皱都呈“V”字型,粘膜上皮细胞界限较清楚。

表 10 蚕蛹替代鱼粉对框鲤肠道组织形态的影响
Tab.10 Effects of silkworm pupae replacement of fish meal on intestinal histological structure of *C. carpio* var. *specularis*

项目 items	前肠 foregut		中肠 midgut	
	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP	鱼粉组 FM	蚕蛹组 SWP
粘膜褶皱数量/个 amount of mucosa	31.40 ± 3.58	29.67 ± 0.47	29.67 ± 0.58	29.50 ± 1.29
粘膜褶皱高/ μm height of mucosa	237.16 ± 24.87	257.68 ± 37.04	135.40 ± 26.52	154.06 ± 29.13
粘膜褶皱宽度/ μm width of mucosa	45.20 ± 9.80	40.55 ± 7.42	36.17 ± 7.90	35.06 ± 6.63
粘膜下层厚度/ μm thickness of submucosa	6.92 ± 1.62	7.27 ± 1.19	7.09 ± 1.48	6.60 ± 2.42
肌层厚度/ μm thickness of muscular coat	14.68 ± 1.88	13.39 ± 1.03 *	9.83 ± 0.41	10.10 ± 0.52

3 讨论

3.1 蚕蛹替代鱼粉对框鲤生长性能影响

蚕蛹作为鱼粉替代蛋白源,在全球水产饲料学领域中的研究相对肉骨粉、鸡肉粉、血粉、豆粕、菜粕、棉粕等常规动植物蛋白源较少,且研究不够深入,相关研究主要集中在对生长和饲料效率方面的探讨。Rangacharyulu 等^[12]分别用发酵蚕蛹和天然蚕蛹完全替代鱼粉(4.5%)池塘混养麦瑞加拉鲮、喀拉鲃、南亚野鲮和鲢(*Hypophthalmichthys molitrix*),结果表明发酵蚕蛹组的增重率、饲料系数、特定生长率显著好于鱼粉组和天然蚕蛹组,天然蚕蛹组和鱼粉组之间差异不显著;Begum 等^[13]研究发现蚕蛹粉和蚌肉粉混合物替代南亚野鲮仔鱼日粮中 50% 鱼粉蛋白时,饲料效率最好。Nandeesh 等^[15]研究表明蚕蛹可完全替代鱼粉,在饲料中可添加至 50% 而不影响鲤生长、饲料效率及其肉质,且在一定范围内饲料蛋白质沉积率随着饲料中蚕蛹的增加而提高。刘丹丹等^[16]从消化率的角度研究表明,蚕蛹可以完全或者部分替代黄鳝饲料中的鱼粉。本试验中,蚕蛹添加量至 5.5%,替代框鲤日粮中 50% 鱼粉蛋白,并没有对其生长和生物学性状及饲料效率产生不利影响,这与 Rangacharyulu 等^[12]、Begum 等^[13]、Nandeesh 等^[15]研究结果一致。也有研究认为,蚕蛹组饲料饲喂的尼罗罗非鱼仔鱼的增重和饲料转化率较鱼粉组差,但摄食量、末均重、存活率等却没有显著性差异^[11],这可能是与

试验鱼的种类、大小以及蚕蛹替代鱼粉的水平及基础日粮的组成有关。以前学者关于蚕蛹替代鱼粉的研究中尚未见涉及生物学性状的报道,本试验中,研究发现蚕蛹组与鱼粉组的肠指数、肥满度、内脏指数、肝胰脏指数、脾脏指数等生物性状差异不显著($P > 0.05$),说明蚕蛹替代 50% 鱼粉蛋白不会对框鲤生物学基本特征产生显著影响。

3.2 蚕蛹替代鱼粉对框鲤体成分的影响

本试验条件下框鲤全鱼、肌肉、肝胰脏的粗蛋白、粗脂肪、灰分、水分含量不受蚕蛹替代鱼粉的影响,Rangacharyulu 等^[12]报道麦瑞加拉鲮、喀拉鲃、南亚野鲮饲料中分别用发酵蚕蛹和天然蚕蛹完全替代鱼粉,试验组全鱼的粗蛋白、粗脂肪、灰分、水分含量与鱼粉组没有显著差异,段培昌等^[21]对星斑川鲈(*Platichthys stellatus*)的研究也得到了类似的结果,但 Nandeesh 等^[15]对鲤、高荣兵等^[22]对点篮子鱼(*Siganus guttatus*)、Schwarz 等^[24]对鲤的研究表明,鱼体成分受替代蛋白源的影响,蚕蛹饲料饲喂的鱼其全鱼的粗蛋白和粗灰分显著高于鱼粉组,粗脂肪和水分低于鱼粉组,并且随着蚕蛹添加量的增加这一差距加大^[15],而豆粕替代鱼粉也会影响全鱼的粗蛋白和脂肪,且在最高的替代水平组出现全鱼、肝脏粗蛋白最低值,并分析指出这一现象主要由于低生长率和缺乏某种必需氨基酸所引起,为了保证机体正常的生理功能,机体动用了大量的蛋白^[22]。本研究的结果则表明蚕蛹对框鲤鱼体常规成分的贡献与鱼粉相似或优于鱼粉。

Merida 等^[23]采用向日葵粕替代鱼粉对尖吻重牙鲷(*Diplodus puntazzo*)的研究表明,8种必需氨基酸中唯有亮氨酸水平显著低于鱼粉组,其他几种氨基酸虽有变化但均不存在显著性差异,这与本研究结果类似,而 Schwarz 等^[24]研究发现鲤饲料中必需氨基酸和非必需氨基酸随着饲料蛋白含量的增加而显著升高,但试验鱼的氨基酸组成不受饲料中蛋白和能量含量的影响,同时试验鱼规格大小也不影响鱼体氨基酸组成,这可能与试验鱼种类及鱼粉替代蛋白源氨基酸组成相关。张恭勤等^[25]发现,蚕蛹8种必需氨基酸含量与鱼粉相近,其中缬氨酸和色氨酸含量显著高于鱼粉,赖氨酸和蛋氨酸较少,而本研究的结果与此相近,相关检测数据还证实饲料蛋白源影响饲料氨基酸组成,并会对框鲤机体氨基酸组成产生一定影响。

本研究为配制出等氮等能的试验饲料,鱼粉组饲料添加2%的大豆油,10%的鱼粉,而蚕蛹组饲料中添加1%的大豆油,5%的鱼粉及5.5%的蚕蛹粉,实测鱼粉组饲料的粗脂肪含量为5.18%,蚕蛹组饲料粗脂肪含量为5.06%。一般认为蚕蛹中油脂含量为25%~30%^[8-10],鱼粉中油脂含量为3.5%~10.1%^[30],本试验蚕蛹油脂含量实测值为24.37%,而鱼粉油脂含量实测值为7.92%。王瑾等^[26]研究表明,C16:0、C18:2、C18:1和C18:0是大豆油中的最主要的脂肪酸成分,其中含量最高的是LA(50.62%),依次是C18:1(32.45%),C16:0(11.12%)和C18:0(4.82%)。LA、C18:1的总含量高达83%,说明大豆油脂脂肪酸的不饱和程度较高。张妍宇等^[8]研究表明,蚕蛹油中主要的脂肪酸是C18:1(38.3%)、C18:2(30.2%)、C16:0(22.5%)、LA(4.3%)、C18:0(2.3%)、其他(2%)。一般认为,鱼体的脂肪酸组成基本反映了饲料的脂肪酸组成^[31-34]。本试验饲料油脂主要包括豆油、蚕蛹油(蚕蛹粉)、鱼油(鱼粉)等,两组试验饲料含有不同油脂,其脂肪酸组成差异引起饲料中脂肪酸组成差异,进而影响框鲤肌肉和肝脏中脂肪酸组成,而且这种差异与饲料脂肪酸组成呈正相关,本结果与前人的研究结果一致^[31-34]。

人体摄入n-3高不饱和脂肪酸(n-3 HUFA)和海水鱼油(富含n-3 HUFA)有利于人体健康^[35-36],而食用鱼粉、鱼油等海产原料所饲养的养殖鱼类是人体获取n-3 HUFA的有效途径,但

降低鱼粉鱼油等海产原料在饲料中的用量可促进水产养殖可持续发展及有效降低成本,且能够降低多氯联苯和二恶英含量及脂质过氧化反应^[37-38]。食物的饱和脂肪酸、单不饱和脂肪酸和多不饱和脂肪酸(除n-3 HUFA外)含量同样也会对人体健康产生正面或负面影响^[39]。动脉粥样硬化指数(IA)和促凝血指数(IT)是通过评价食物中油脂脂肪酸组成及含量对人体冠状动脉健康的影响^[40],前人研究发现高水平的IA(大于1.0)和IT(大于1.0)对人体健康有害^[41]。本研究中蚕蛹组和鱼粉组IA和IT均低于1.0,且没有显著差异,说明蚕蛹替代鱼粉不影响框鲤肉质的食用价值。

3.3 蚕蛹替代鱼粉对框鲤健康状况的影响

鱼类血液与机体的代谢、营养状况及疾病有着密切的关系^[27]。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ALT升高;当肝细胞受损坏死严重时,AST才释出。细胞内的AST和ALT等活性酶因多量释放而使其在血清中的含量升高,其升高程度与肝细胞受损程度相一致^[28]。目前框鲤血清生化指标范围尚无标准,研究结论大多是根据试验结果差异性进行比较而得出。本试验中,鱼粉组和蚕蛹组的各种血清生化指标均无显著性差异,其中蚕蛹组ALT和AST较鱼粉组分别高出13.23%和31.58%,这表明蚕蛹替代鱼粉可能对肝脏功能有潜在影响,这一方面尚需进一步的饲养试验的证实。

鱼类肠道组织可分为四层,即粘膜层、粘膜下层、肌肉层和浆膜层。鱼类肠道没有发达的肠绒毛,其肠壁内侧有许多向内突起的结构,少数学者将其称为小肠绒毛褶状绒毛^[42],但多数学者依据其形态特点,称之为褶皱、皱襞、肠褶、粘膜褶,本文统称为粘膜褶皱。鱼类肠道是营养物质消化吸收的主要场所,粘膜褶皱的高低和疏密、上皮细胞的高低、纹状缘的发达程度以及杯状细胞数量的多少等与消化吸收能力密切相关^[29]。大多鱼类肠道肌肉层由平滑肌组成,内层为环肌,外层为纵肌。环肌的波状收缩形成肠蠕动,从而推动食团向后移动,它的节律性舒缩是肠道分节运动的主要动力,纵肌的舒缩形成肠摆动,这些都极有利于肠道营养物质的消化。本研究中蚕蛹组前肠肌肉层显著较鱼粉组薄,说明蚕蛹替代鱼粉后会在一

一定程度上影响框鲤肠道结构,这可能是机体为了更好地吸收品质相对较差原料中的养分,使肠壁变薄的一种补偿机制。本研究条件下,蚕蛹替代鱼粉对框鲤消化道组织结构未造成显著损伤性影响。

参考文献:

- [1] 周歧存,麦康森,刘永坚,等. 动植物蛋白源替代鱼粉研究进展[J]. 水产学报, 2005, 29(3): 404-410.
- [2] Hardy R W. Aquaculture's rapid growth requirements for alternate protein source[J]. Feed Management, 1999, 50(1): 25-28.
- [3] Starkey T J. Status of fish meal supplies and market demand [R] // Baker H J, Bro. Stamford: Miscellaneous report, 1994: 28.
- [4] Tacon A G J. Global trends in aquaculture production with particular reference to low income food deficit countries [M]. Rome: FAO Technical Paper No. 12, 1998
- [5] 施自伦,李朝品,刘群红. 蚕蛹蛋白的现代研究概况[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(7): 3051-3052, 3088.
- [6] 林高堂,蒋立文. 蚕蛹综合利用研究进展[J]. 蚕蛹通报, 2006, 37(2): 1-4.
- [7] 谢华. 安康蚕桑综合利用的现状与发展建议[J]. 北方蚕业, 2007, 28(2): 47-48.
- [8] 张研宇,李建科. 蚕蛹油提取、精炼及其脂肪酸组成分析[J]. 油脂资源, 2010, 35(6): 76-79.
- [9] 王希娥,邝哲师,杨金波,等. 蚕蛹的综合利用研究进展[J]. 中国蚕业, 2008, 29(3): 7-10.
- [10] 杨吉园,叶明强,邝哲师,等. 饲料用蚕蛹的加工技术及其在畜牧水产业中的应用[J]. 中国蚕业, 2009, 30(4): 11-17.
- [11] Boscolo W R, Hayashi C, Meurer F, et al. Fish, meat and bone, poultry by-products and silkworm meals as attractive in diets for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fingerlings [J]. Revista Brasileira De Zootecnia-Brazilian Journal of Animal Science, 2001, 30(5): 1397-1402.
- [12] 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.
- [13] Begum N N, Chakraborty S C, Abdul M M, et al. Replacement of fish-meal by low-cost animal protein as a quality fish feed ingredient for Indian major carp, *Labeo rohita*, fingerlings [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1994, 64(2): 191-197.
- [14] Vijayakumaraswamy H V, Devaraj K V. Growth response of fry of *Catla catla* and the three formulated feeds [J]. Environment and Ecology, 1994, 12(3): 519-523.
- [15] 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(1): 235-242.
- [16] 刘丹丹,吉红,范宇友,等. 黄鳝和泥鳅对蚕蛹离体消化率的研究[J]. 湖北农业学, 2009, 48(1): 153-155.
- [17] 成凤莲,王珊. 水库网箱养殖框镜鲤的试验[J]. 内蒙古农业科技, 2005: 294-295.
- [18] 金万昆,朱振秀,王春英,等. 框鳞镜鲤(♀)×团头鲂(♂)杂交及其杂种F₁的形态学特征[J]. 淡水渔业, 2003, 33(5): 16-19.
- [19] 金万昆,俞丽,杨建新,等. 框鳞镜鲤♀×青鱼♂杂种F₁胚胎发育和仔鱼早期发育初步研究[J]. 水产学报, 2006, 30(1): 21-29.
- [20] 艾明艳,胡筱波,熊善柏. 框鳞镜鲤肌肉主要营养成分测定评价[J]. 营养学报, 2011, 33(1): 87-89.
- [21] 段培昌,张利民,王际英,等. 新型蛋白源替代鱼粉对星斑川鲈幼鱼生长、体成分和血液指标的影响[J]. 水产学报, 2009, 33(5): 797-804.
- [22] 高荣兵,庄平,章龙珍,等. 豆粕替代鱼粉对点篮子鱼生长性能的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1534-1540.
- [23] Merida S N, Cerda M J, Lloreens S M, et al. A study of partial replacement of fish meal with sunflower meal on growth, amino acid retention, and body composition of sharpsnout seabream, *diplodus puntazzo* (Actinopterygii: perciformes: sparidae) [J]. Acta Ichthyologica Et Piscatoria, 2011, 41(1): 47-54.
- [24] Schwarz F J, Kirchgessner M. Amino acid composition of carp (*Cyprinus carpio* L.) with varying protein and energy supplies [J]. Aquaculture, 1988, 72(3-4): 307-317.
- [25] 张恭勤,徐伟,谢维刚,等. 蚕蛹蛋白的生产与应用的研究[J]. 同济大学学报, 1992, (2): 98-101.
- [26] 王瑾,李祖光,胡伟,等. 大豆油中脂肪酸组成的气相色谱-质谱分析[J]. 浙江科技院学报, 2003, 15(SO): 16-18.

- [27] 周玉,郭文场,杨振国,等. 鱼类血液学指标研究的进展[J]. 上海水产大学学报, 2001, 10(2): 163 - 165.
- [28] 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.
- [29] 楼允东. 组织胚胎学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 101 - 104.
- [30] 王丹红, 吴文晞. 采用近红外光谱法测定鱼粉的品质[J]. 福建分析测试, 2002, 11(2): 1561 - 1563.
- [31] Asdari R, Aliyu-Paiko M, Hashim R. Effects of different dietary lipid sources in the diet for *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) juvenile on growth performance, nutrient utilization, body indices and muscle and liver fatty acid composition [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(1): 44 - 53
- [32] Martins D A, Valente L M P, Lall S P. Partial replacement of fish oil by flaxseed oil in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) diets: effects on growth performance, nutritional and sensory quality [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(6): 671 - 684.
- [33] Kamarudin M S, Fard E R, Saad C R, et al. Effects of dietary fish oil replacement by various vegetable oils on growth performance, body composition and fat acid profile of juvenile *Malaysian mahseer*, *Tor tambroides* [J]. Aquaculture Nutrition, 2011, 17(6): 671 - 684.
- [34] Robban S, Rebecca L, Steven R, et al. Effect of dietary lipid source on the growth, tissue composition and hematological parameters of largemouth bass (*Micropterus salmoides*) [J]. Aquaculture, 2006, 255(1 - 4): 210 - 222.
- [35] Connor W E. Importance of *n-3* fatty acids in health and disease [J]. American Journal of Clinical Nutrition, 2000, 71(1): 171S - 175S.
- [36] Kris-Etherton P M, Harris W S, Appel L J. Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease [J]. Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology, 2003, 23(2): 20 - 30.
- [37] Bell J G, Mcghee F, Tocher J R. Dioxin and dioxin-like polychlorinated biophenyls (PCBs) in Scottish farmed salmon (*Salmo salar*): effects of replacement of dietary marine fish oil with vegetable oils [J]. Aquaculture, 2005, 243(1 - 4): 305 - 314.
- [38] Baker T M, Davis S J. Muscle and hepatic fatty acid profiles and alpha-tocopherol status of African catfish (*Clarius garipinus*) given diets varying in oxidative state and vitamin E inclusion level [J]. Animal Science, 1997, 64(1): 187 - 195.
- [39] Conner W E, Lin D S, Colvis C. Differential mobilization of fatty acids from adipose tissue [J]. Journal of Lipid Research, 1996, 37(2): 290 - 298.
- [40] Ulericht T L V, Southgate D A T. Coronary heart disease; seven dietary factors [J]. The Lancet, 1991, 338(8773): 985 - 992.
- [41] Bobe G, Zimmerman S, Hammond E G, et al. Texture of butters made from milks differing in indices of atherogenicity [R]. Leaflet A S. Iowa State University Animal Industry Report, 2004.
- [42] 聂国兴, 王俊丽, 朱命炜, 等. 小麦基础饲料添加木聚糖酶对尼罗罗非鱼肠道食糜粘度和绒毛、微绒毛发育的影响 [J]. 水产学报, 2007, 31(1): 54 - 61.

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

JI Hong^{1,2,3*}, CHENG Xiao-fei¹, LI Jie^{1,4}, ZHANG Jian-lu¹, LIU Chao³

(1. College of Animal Science and Technology, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. Institute of Fisheries Science, Northwest A&F University, Yangling 712100, China;

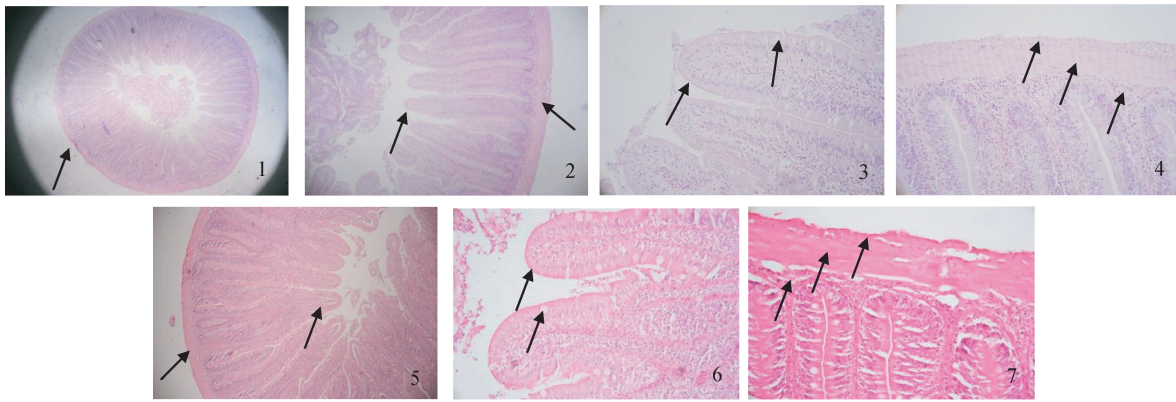
3. Ankang Fisheries Research Station of Northwest A&F University, Ankang 725021, China;

4. Tongwei Co., Ltd, Sichuan 610041, China)

Abstract: The experiment was conducted to evaluate the effects of partial replacement of fish meal (FM) with silkworm pupae (SWP) on juvenile *Cyprinus carpio* var. *specularis* [(12.10 ± 0.89) g]. FM diet (fish meal 10%, silkworm pupae 0%, CP 36.18%, EE 5.18%) and SWP diet (fish meal 5%, silkworm pupae 5.5%, CP 35.38%, EE 5.06%) were formulated to feed the fish three times daily to visual satiety in indoor circulating water system for 61 days. The results showed that final body weight (FBW), weight gain rate (WGR), special growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER), feed conversion ratio (FCR), survival rate (SR) of the SWP group and FM group were not significantly different ($P > 0.05$), while no difference was found in condition factor (CF), viscerosomatic index (VI), hepatosomatic index (HI), spleen index (SI), intestine index (II), as well as the content of moisture, crude lipid, crude protein, crude ash of the fish tissue ($P > 0.05$). The contents of Lys in whole body and Tyr in muscle of SWP group were significantly lower than those in FM group ($P < 0.05$). The contents of C14:0, C16:1n-7 and C18:1n-7 in muscle of SWP group were significantly lower than those in FM group, and the contents of C18:3n-3 and $\sum n-3$ PUFA in muscle of SWP group were significantly higher than those in FM group ($P < 0.05$). On the other hand, the contents of C18:3n-3 and C22:5n-3 in hepatopancreas of SWP group were significantly higher than those in FM group ($P < 0.05$). No significant difference was found in serum biochemical indices, index of atherogenicity (IA) and index of thrombogenicity (IT) between the two groups ($P > 0.05$). There are no significant differences in mucosa amount, mucosa height, mucosa width and submucosa thickness of foregut and midgut ($P > 0.05$), however, the muscular coat thickness of foregut was significantly lower in SWP group than FM group ($P < 0.05$). It is concluded that silkworm pupae is an acceptable alternative animal protein source, which can replace up to 50% of fish meal protein in *C. carpio* var. *specularis* diet without significant adverse impact on the health status, although it affects the tissue amino acid and fatty acids profiles, and has a tendency to promote the growth performance and feed utilization.

Key words: *Cyprinus carpio* var. *specularis*; silkworm pupae; growth performance; body composition; serum biochemical indices; intestinal histological structure

Corresponding author: JI Hong. E-mail: jihong0405@hotmail.com

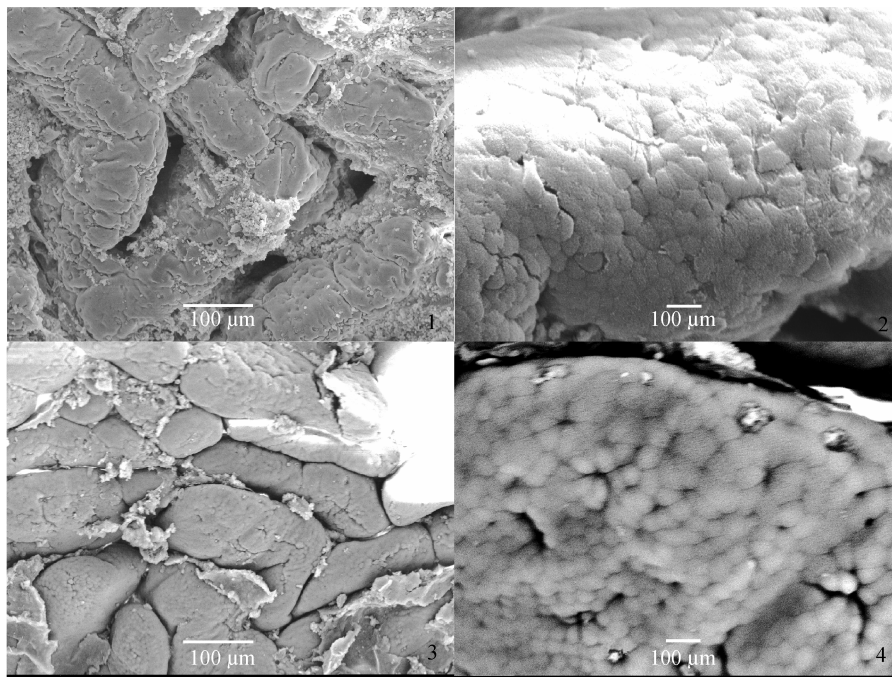


图版 I 框鲤肠道组织石蜡切片观察

1. 示鱼粉组前肠横切面全貌($\times 40$); 2. 示鱼粉组前肠褶皱和肌层($\times 100$); 3. 示鱼粉组前肠粘膜层,杯状细胞和纹状缘($\times 400$); 4. 示鱼粉组前肠粘膜下层、肌层和浆膜层($\times 400$); 5. 示蚕蛹组前肠褶皱和肌层($\times 100$); 6. 蚕蛹组前肠粘膜层,杯状细胞和纹状缘($\times 400$); 7. 蚕蛹组前肠粘膜下层、肌层和浆膜层($\times 400$)。

Plate I The observation on histology appearance of intestine of *C. carpio* var. *specularis* by paraffin section

1. Lengthwise section of whole foregut of FM group($\times 40$); 2. The foregut mucosa fold and muscular coats of FM group($\times 100$); 3. The foregut tunica mucosa, goblet cell and striated border of FM group($\times 400$); 4. The foregut submucosa, muscular coats and serosa of FM group($\times 400$); 5. The foregut mucosa fold and muscular coats of SWP group($\times 100$); 6. The foregut tunica mucosa, goblet cell and striated border of SWP group($\times 400$); 7. The foregut submucosa, muscular coats and serosa of SWP group($\times 400$).



图版 II 框鲤肠道粘膜上皮扫描电镜观察

1. 鱼粉组前肠粘膜褶,所示为“V”字型褶皱($\times 200$); 2. 鱼粉组前肠粘膜上皮细胞($\times 1\ 000$); 3. 蚕蛹组前肠粘膜褶,所示为“V”字型褶皱($\times 200$); 4. 蚕蛹组前肠粘膜上皮细胞($\times 1\ 000$)。

Plate II Scanning electron microscope (SEM) observation on the mucosa epithelium of the intestine of *C. carpio* var. *specularis*

1. The foregut mucosa fold of FM group, showing folds in V shape($\times 200$); 2. The foregut mucosa epithelium of FM group($\times 1\ 000$); 3. The foregut mucosa fold of SWP group, showing folds in V shape($\times 200$); 4. The foregut mucosa epithelium of SWP group($\times 1\ 000$).