

文章编号:1000-0615(2012)04-0529-09

DOI:10.3724/SP.J.1231.2012.27621

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

曹俊明^{1,2,3*}, 严 晶^{1,2,3,4}, 黄燕华^{1,2,3}, 王国霞^{1,2,3}, 张荣斌^{1,2,3,4},
陈晓瑛^{1,2,3}, 文远红^{1,2,3}, 周婷婷^{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. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070)

摘要: 设计 6 种等氮等能的试验饲料, 以评价不同比例的家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾幼虾生长性能、抗氧化以及非特异性免疫指标的影响。选用 960 尾体质量为(0.56±0.03) g 的凡纳滨对虾随机分为 6 组, 分别投喂用家蝇蛆粉替代鱼粉的 6 种饲料, 替代比例(等蛋白替代)分别为 0、20%、40%、60%、80%和 100%, 记为 G0、G20、G40、G60、G80 和 G100。45 d 的养殖试验结果显示, G20~G60 组凡纳滨对虾的增重率(WGR)与对照组相比差异不显著($P>0.05$), G80、G100 组 WGR 显著降低($P<0.05$)。除 G40 组外, 各替代组凡纳滨对虾的特定生长率(SGR)均显著低于对照组($P<0.05$)。G100 组摄食量(FI)显著低于其它各组($P<0.05$)。当替代水平不超过 60%时, 家蝇蛆粉对凡纳滨对虾的饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PPV)和肝胰指数(HSI)影响不显著($P>0.05$); 随替代水平的继续增加, FCR 和 HSI 显著升高, PER 和 PPV 显著降低($P<0.05$)。替代组对虾肥满度(CF)和存活率(SR)均不同程度的高于对照组, 但差异不显著($P>0.05$)。随家蝇蛆粉替代水平的增加, 全虾粗蛋白、钙(Ca)和总磷(P)含量显著升高($P<0.05$), 粗脂肪含量显著降低($P<0.05$), 干物质和灰分含量差异不显著($P>0.05$)。各替代组对虾血清和肝胰腺超氧化物歧化酶(SOD)活性、血清丙二醛(MDA)含量与对照组相比差异不显著($P>0.05$), G80 和 G100 组肝胰腺 MDA 含量显著高于对照组($P<0.05$)。血清酚氧化酶(PO)活性随家蝇蛆粉替代量的增加而显著降低, 其中 G20 组显著高于其它各组($P<0.05$)。肝胰腺碱性磷酸酶(AKP)活性随添加量的增加而显著降低($P<0.05$)。家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾的血细胞总数(THC)、血清一氧化氮(NO)含量、AKP 活性和肝胰腺 PO 活性、NO 含量影响不显著($P>0.05$)。

关键词: 凡纳滨对虾; 家蝇蛆粉; 鱼粉; 生长; 抗氧化; 非特异性免疫

中图分类号: S 963.32⁺¹

文献标志码: A

鱼粉是传统的优质蛋白源, 不仅蛋白质含量高, 富含赖氨酸、蛋氨酸等必需氨基酸, 而且矿物质和维生素含量丰富, 适口性好, 能够被水产动物很好的消化和利用^[1]。然而, 鱼粉资源有限且价格昂贵, 因此有必要寻找水产饲料中替代鱼粉的蛋

白源。植物性蛋白源产量大、来源广泛且价格相对较低廉, 但是其必需氨基酸缺乏或者不平衡, 矿物质含量低, 含有抗营养因子, 适口性较差^[2-3]; 陆生动物蛋白源主要是加工副产品, 其蛋白质含量高, 必需氨基酸的含量丰富, 然而其质量主要依赖于

收稿日期: 2011-07-09

修回日期: 2011-12-13

资助项目: 2010年广东省中小企业发展专项项目; 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)

通讯作者: 曹俊明, E-mail: junmcao@163.com

原材料的质量和加工工艺,受污染的动物副产物在饲料中的使用可能会引起环境和生物安全问题^[4]。家蝇蛆粉(housefly maggot meal, HMM)蛋白质含量高,含有多种微量元素以及抗菌肽、凝集素、干扰素等活性成分,且养殖蝇蛆的原料来源广泛,饲养周期短,技术简单,具有替代水产动物饲料中鱼粉的巨大潜力^[5]。家蝇蛆作为一种新型的动物蛋白源,以其自身的优势受到越来越多的关注。研究发现,以鲜活蝇蛆直接投喂稚鳖(*Trionyx sinensis*)^[6]、吉富罗非鱼(Gift tilapia)^[7]、中国对虾(*Fenneropenaeus chinensis*)^[8-9]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)^[10]均取得了良好的效果。据报道,家蝇蛆粉可以部分或全部替代杂交鲢(♀*Heterobranchus longifilis* × ♂*Clarias gariepinus*)^[11]、非洲鲢(*Clarias gariepinus*)^[12]、尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)^[13-16]饲料中的鱼粉,而有关家蝇蛆粉替代饲料中鱼粉对凡纳滨对虾生长的影响尚未见报道。

凡纳滨对虾是我国对虾的主要养殖品种之一^[17],在世界范围内的水产养殖种类中,对虾养殖消耗的鱼粉量最大,约占水产饲料消耗鱼粉量的24%~27%,由于鱼粉价格的升高,对虾饲料中鱼粉所占比例从2005年的35%降低到2006年的25%,预计未来对虾饲料中鱼粉的含量还会继续减少^[18]。因此,开展对虾饲料中鱼粉替代蛋白源的研究显得更加紧迫。本试验研究了饲料中不同比例家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾幼虾生长性能、体组成、抗氧化和非特异免疫指标的影响,以便为其在对虾饲料中的应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

以进口秘鲁红鱼粉、豆粕、花生粕为主要蛋白源,高筋面粉作为糖源,鱼油和磷脂为脂肪源,配制基础饲料,并作为对照饲料,其鱼粉含量为28%。采用等蛋白替代方式,以家蝇蛆粉分别替代对照饲料中20%、40%、60%、80%和100%的鱼粉配制5种试验饲料。家蝇蛆购于河北省玉田县,养殖原料以麸皮为主,适当加入少量鱼粉,收集的蝇蛆直接在北方冬天的自然条件下阴干,运至实验室后用万能粉碎机粉碎,置于-20℃冰箱中保存备用。水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分、钙、磷含量分别为9.5%、52.3%、12.7%、8.4%、1.2%和1.1%。6

种饲料的配方及营养组成见表1,其粗蛋白水平为37%左右,总能约18 MJ/kg。饲料原料经粉碎后过80目筛,加入鱼油、磷脂和水,混匀后用SLX-80型双螺杆挤压机制成直径为1.0 mm的颗粒饲料,55℃下烘干,自然冷却后放入密封袋中,置于-20℃冰箱中保存备用。

1.2 试验虾与饲养管理

试验用虾购自广州市番禺对虾养殖场,饲养试验在广东省农业科学院畜牧研究所水产研究中心室内循环水养殖系统中进行。养殖系统包括24个350 L圆柱形玻璃纤维缸(直径80 cm,高70 cm,水体体积300 L),进水速率为3.5 L/min。将购买后的虾暂养于水泥池中,驯养2周后选取健康、活泼、体质量(0.56±0.03) g的凡纳滨对虾,随机分为6组,每组4个重复,每个重复40尾虾。每组对虾分别投喂对照饲料和5种试验饲料,记作G0、G20、G40、G60、G80和G100。日投饵3次(8:00, 14:00和20:00),饱食投喂,养殖期为45 d。每天记录水温、投饵量、死亡情况。试验期间水温(27±2)℃,盐度5.0~6.0,溶解氧>6.0 mg/L,氨氮<0.10 mg/L,亚硝酸盐<0.01 mg/L, pH=(7.80±0.10)。

1.3 样品采集与分析

试验结束时,禁食24 h,称重,统计对虾存活率。每个重复随机取5尾虾,用于测量肥满度和肝胰指数;每个重复随机取10尾虾采集血液,剥离肝胰腺,用于制备血清和肝胰腺匀浆液;另取10尾虾用于全虾体成分分析。

增重率(weight gain rate, WGR, %)=100×(终末虾体质量+死亡虾体质量-初始虾体质量)/初始虾体质量

特定生长率(specific growth rate, SGR, %/d)=100×[Ln(末均体质量)-Ln(初均体质量)]/饲养天数

摄食量(feed intake, FI, g)=投饵总量/[(试验开始时放虾尾数+试验结束时虾尾数)/2]

饲料系数(feed conversion ratio, FCR)=摄食量/(终末虾体质量+死亡虾体质量-初始虾体质量)

蛋白质效率(protein efficiency ratio, PER, %)=100×(终末虾体质量+死亡虾体质量-初始虾体质量)/摄入蛋白量

表 1 饲料配方及营养水平(风干基础)
 Tab. 1 Composition and nutrient levels of the experimental diets (air dry basis) %

原料 ingredients	G0	G20	G40	G60	G80	G100
鱼粉 fish meal	28.00	22.40	16.80	11.20	5.60	0
家蝇蛆粉 HMM	0	7.36	14.72	22.08	29.44	36.80
豆粕 soybean meal	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
花生粕 peanut meal	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
乌贼膏 squid cream	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
虾壳粉 shrimp shell meal	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
高筋面粉 strong flour	23.35	21.64	19.94	17.23	14.52	11.82
海藻酸钠 sodium alginate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼油 fish oil	2.35	1.91	1.47	1.03	0.59	0.15
大豆磷脂(50%) soybean lecithin	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.00
氯化胆碱(50%) choline chloride	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
胆固醇 cholesterol	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
维生素预混料 ^a vitamin premix	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
乳酸钙 calcium lactate	0	0.69	1.37	2.06	2.75	3.43
矿物质预混料 ^b mineral premix	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
VC 酯(35%) vitamin C	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
微晶纤维素 cellulose	2.00	1.00	0	0	0	0
营养水平 nutrient levels						
水分 moisture	7.26	6.97	7.34	7.12	7.37	7.76
粗蛋白 crude protein	36.62	37.18	37.18	37.08	36.88	36.82
粗脂肪 crude lipid	7.39	8.02	8.59	9.10	9.91	10.03
灰分 ash	10.73	11.03	11.27	11.53	11.86	12.16
钙 Ca	1.54	1.58	1.63	1.66	1.70	1.70
总磷 total P	1.33	1.35	1.35	1.35	1.38	1.39
总能/(MJ/kg) GE	17.76	17.58	17.72	17.90	18.10	18.06

注: a. 每千克维生素预混料含维生素 A 4 000 000 IU; 维生素 D 2 000 000 IU; 维生素 E 30 g; 维生素 K₃ 10 g; 维生素 B₁ 5 g; 维生素 B₂ 15 g; 维生素 B₆ 8 g; 泛酸钙 25 g; 叶酸 2.5 g; 生物素 0.08 g; 烟酸 40 g; 维生素 B₁₂ 0.02 g; 肌醇 150 g.

b. 每千克矿物质预混料含有 MgSO₄·H₂O 12 g; KCl 90 g; Met-Cu 3 g; FeSO₄·H₂O 1 g; ZnSO₄·H₂O 10 g; Ca(IO₃)₂ 0.06 g; Met-Co 0.16 g; NaSeO₃ 0.0036 g.

Notes: a. One kilogram of vitamin premix contained VA 4 000 000 IU; VD 2 000 000 IU; VE 30 g; VK₃ 10 g; VB₁ 5g; VB₂ 15 g; VB₆ 8 g; calcium pantothenate 25 g; folic acid 2.5 g; biotin 0.08 g; nicotinic acid 40 g; VB₁₂ 0.02 g; inositol 150 g.

b. One kilogram of mineral premix contained MgSO₄·H₂O 12 g; KCl 90 g; Met-Cu 3 g; FeSO₄·H₂O 1 g; ZnSO₄·H₂O 10 g; Ca(IO₃)₂ 0.06 g; Met-Co 0.16 g; NaSeO₃ 0.0036 g.

蛋白质沉积率 (productive protein value, PPV, %)=100×[(终末虾体质量 + 死亡虾体质量)×终末虾体蛋白含量-初始虾体质量×初始虾体蛋白含量]/摄入蛋白量

存活率 (survival rate, SR, %)=100×试验结束时虾的尾数/试验开始时虾的尾数

肥满度 (condition factor, CF, g/cm³) = 100×虾体质量/虾体长³

肝胰指数 (hepatosomatic index, HSI, %)=100×虾肝胰腺重/虾体质量

常规营养成分分析 饲料和全虾水分含量采用 105 °C 烘箱干燥法 (GB/T6435-1986)、粗蛋白含量采用凯氏定氮法 (GB/T6432-1994)、粗脂肪含量采用乙醚抽提法 (GB/T6433-1994)、灰分含量采用 550 °C 灼烧法 (GB/T6438-1992)、钙含量采用 EDTA 滴定法 (GB/T6436-2002)、总磷含量采用钼黄

比色法(GB/T6437-2002)进行测定。

生理生化指标分析 试验结束时每缸随机取5尾虾,用1 mL 无菌注射器于围心腔取血,合并置于无菌 Eppendorf 管中。吸取 150 μ L 抗凝剂^[19]于 Eppendorf 管中,立即加入凡纳滨对虾血液 100 μ L,迅速混匀,取 50 μ L 抗凝的血液,加入 10 mL pH 7.3 的 PBS 缓冲液,用细胞计数仪(Z₂ coulter, BECKMAN COULTER)进行计数。丙二醛(MDA)含量、超氧化物歧化酶(SOD)活性、一氧化氮(NO)含量、碱性磷酸酶(AKP)活性的测定采用南京建成生物工程研究所的试剂盒进行测定,具体测定方法参照试剂盒说明书进行。酚氧化物酶(PO)活性的测定参照 Ashida^[20]的方法进行。

1.4 数据统计与分析

试验数据用平均值 \pm 标准差(means \pm SD)表示。采用SPSS13.0软件进行数据统计和分析,先对数据进行方差齐性检验,如满足方差齐性条件则对数据进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),差异显著再作Duncan氏多重比较,如不满足方差齐性条件则用Dunnett氏T₃检验法进行多重比较, $P < 0.05$ 表示差异性显著。

2 结果

2.1 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

G20~G60 组凡纳滨对虾的增重率(WGR)与对照组相比差异不显著($P > 0.05$), G80、G100 组 WGR

显著降低($P < 0.05$)(表 2)。与对照组相比, G20 组特定生长率(SGR)显著降低, G40 组差异不显著, G60~G100 组 SGR 也显著降低($P < 0.05$)。G100 组对虾摄食量(FI)与对照组相比降低了 16.9% ($P < 0.05$), 其它替代组 FI 与对照组相比差异不显著($P > 0.05$)。当家蝇蛆粉替代鱼粉的水平不超过 60%时,对凡纳滨对虾的饲料系数(FCR)、蛋白质效率(PER)、蛋白质沉积率(PPV)和肝胰指数(HSI)影响不显著($P > 0.05$), 随替代水平的继续增加, FCR 和 HSI 显著升高, PER 和 PPV 显著降低($P < 0.05$)。各替代组对虾的肥满度(CF)均高于对照组,但差异未达到显著性水平($P > 0.05$)。家蝇蛆粉替代鱼粉在一定程度上可以提高凡纳滨对虾的存活率(SR),以 G60 组最高,比对照组升高 17.9%,但各组之间差异不显著($P > 0.05$)。

2.2 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾体成分的影响

家蝇蛆粉替代组全虾干物质含量与对照组之间没有显著性差异($P > 0.05$)。粗蛋白含量随家蝇蛆粉替代水平的增加呈升高的趋势,其中 G20~G80 组与对照组相比差异不显著($P > 0.05$), G100 组显著高于对照组($P < 0.05$)(表 3)。粗脂肪含量随着家蝇蛆粉替代水平的增加而降低, G40~G100 组显著低于对照组($P < 0.05$)。各组之间的灰分含量差异不显著($P > 0.05$)。钙和总磷含量随着家蝇蛆粉替代水平增加而显著升高($P < 0.05$)。

表 2 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

Tab. 2 Effect of HMM replacement of fish meal on growth performance and feed utilization of *L. vannamei*

指标 index	G0	G20	G40	G60	G80	G100
初均体质量/g IBW	0.55 \pm 0.02	0.56 \pm 0.03	0.56 \pm 0.01	0.56 \pm 0.02	0.56 \pm 0.03	0.56 \pm 0.02
末均体质量/g FBW	3.82 \pm 0.34 ^a	3.41 \pm 0.17 ^b	3.63 \pm 0.27 ^{ab}	3.47 \pm 0.23 ^{ab}	3.00 \pm 0.13 ^c	2.40 \pm 0.17 ^d
增重率/% WGR	501.02 \pm 65.11 ^a	468.39 \pm 58.75 ^{ab}	510.67 \pm 63.90 ^a	514.31 \pm 47.51 ^a	418.42 \pm 13.17 ^b	325.63 \pm 24.23 ^c
特定生长率/(%/d) SGR	4.39 \pm 0.17 ^a	4.13 \pm 0.19 ^b	4.23 \pm 0.14 ^{ab}	4.14 \pm 0.18 ^b	3.81 \pm 0.08 ^c	3.31 \pm 0.11 ^d
摄食量/g FI	5.27 \pm 0.28 ^a	5.23 \pm 0.54 ^a	5.13 \pm 0.34 ^a	5.05 \pm 0.16 ^a	4.89 \pm 0.18 ^a	4.38 \pm 0.24 ^b
饲料系数 FCR	1.76 \pm 0.21 ^c	1.90 \pm 0.22 ^{bc}	1.73 \pm 0.24 ^c	1.75 \pm 0.16 ^c	2.04 \pm 0.02 ^b	2.40 \pm 0.12 ^a
蛋白质效率/% PER	156.5 \pm 17.9 ^a	142.6 \pm 15.3 ^{ab}	157.9 \pm 20.3 ^a	155.0 \pm 14.8 ^a	132.8 \pm 1.6 ^{bc}	113.6 \pm 5.4 ^c
蛋白质沉积率/% PPV	28.57 \pm 3.29 ^{ab}	26.89 \pm 2.81 ^{ab}	29.86 \pm 3.68 ^a	29.32 \pm 2.88 ^a	24.99 \pm 0.78 ^{bc}	21.88 \pm 0.74 ^c
肝胰指数 HSI	5.30 \pm 0.35 ^c	5.59 \pm 0.21 ^{abc}	5.66 \pm 0.22 ^{abc}	5.43 \pm 0.24 ^{bc}	5.85 \pm 0.10 ^{ab}	5.94 \pm 0.41 ^a
肥满度 CF	0.83 \pm 0.02	0.84 \pm 0.04	0.87 \pm 0.01	0.85 \pm 0.03	0.84 \pm 0.04	0.85 \pm 0.03
存活率/% SR	83.75 \pm 11.27	87.50 \pm 13.99	91.88 \pm 9.66	98.75 \pm 1.44	96.25 \pm 2.50	98.13 \pm 1.25

注:同行上标不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Notes: Values in the same row with different small letter superscripts mean significant difference($P < 0.05$). The same is as follows.

2.3 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾抗氧化能力的影响

各家蝇蛆粉替代组血清和肝胰腺超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)活性均低于对照组, 但差异未达到显著水平($P>0.05$)(表 4)。各替代组血清丙二醛(malondialdehyde, MDA)含量与对照组相比差异不显著($P>0.05$), 其中 G80、G100 组 MDA 含量显著低于 G20、G40 组($P<0.05$)。G20~G60 组肝胰腺 MDA 含量与对照组相比差异不显著($P>0.05$), G80、G100 组显著高于对照组($P<0.05$)。

2.4 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾非特异性免疫功能的影响

血细胞总数(total haemocyte count, THC)以 G60 组最高, 其它各替代组均低于对照组, 但各组之间差异不显著($P>0.05$)(表 5)。血清酚氧化酶(phenol oxidase, PO)活性随家蝇蛆粉替代量的增加而显著降低, 其中 G20 组显著高于其它各组($P<$

0.05)。各替代组肝胰腺碱性磷酸酶(alkaline phosphatase, AKP)活性显著低于对照组($P<0.05$)。家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾的血清一氧化氮(nitric oxide, NO)含量、AKP 活性和肝胰腺 PO 活性、NO 含量影响不显著($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾生长性能和饲料利用的影响

本试验中, 凡纳滨对虾的存活率变化范围为 83%~98%, 其中鱼粉组存活率最低。当蝇蛆粉的替代水平不超过 60%时, 凡纳滨对虾的增重率(WGR)与对照组相比差不显著。G20 组对虾的特定生长率(SGR)显著低于对照组, 可能与对照组的存活率较低有关。在低密度养殖条件下, 个体更容易获得食物, 活动空间增大, 种内竞争减弱, 更有利于个体的生长。已有研究表明, 低密度养殖条件下水生动物

表 3 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾体组成的影响 (干重)

Tab. 3 Effect of HMM replacement of fish meal on whole-body composition of *L. vannamei* (dry matter) %

指标 index	G0	G20	G40	G60	G80	G100
干物质 dry matter DM	24.90±0.37 ^{ab}	25.23±0.50 ^{ab}	25.42±0.43 ^a	25.16±0.30 ^{ab}	24.92±0.22 ^{ab}	24.78±0.40 ^b
粗蛋白 crude protein CP	70.72±1.40 ^b	71.10±0.94 ^{ab}	71.15±0.84 ^{ab}	71.72±0.60 ^{ab}	72.51±0.66 ^{ab}	72.70±1.17 ^a
粗脂肪 crude lipid	8.60±0.74 ^a	7.66±0.77 ^{ab}	6.80±1.21 ^{bc}	6.34±0.71 ^{bc}	6.58±0.65 ^{bc}	5.62±1.02 ^c
灰分 ash	11.91±0.37	11.98±0.30	12.08±0.28	12.37±0.15	12.70±0.58	13.03±0.63
钙 Ca	3.48±0.10 ^c	3.54±0.08 ^{bc}	3.60±0.14 ^{abc}	3.69±0.18 ^{abc}	3.77±0.13 ^{ab}	3.81±0.22 ^a
总磷 total P	0.99±0.05 ^b	1.05±0.05 ^b	1.06±0.07 ^{ab}	1.13±0.19 ^{ab}	1.14±0.07 ^{ab}	1.20±0.03 ^a

表 4 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾血清和肝胰腺 MDA 含量、SOD 活性的影响

Tab. 4 Effect of HMM replacement of fish meal on MDA content and SOD activity in serum and hepatopancreas of *L. vannamei*

组织 tissue	指标 index	G0	G20	G40	G60	G80	G100
血清 serum	SOD/(U/mL)	418.3±30.5	387.3±36.3	385.1±36.4	383.3±36.3	390.4±22.5	369.2±15.9
	MDA/(nmol/mL)	31.0±1.8 ^{ab}	33.6±3.1 ^a	34.0±2.8 ^a	31.0±2.7 ^{ab}	25.8±5.2 ^b	26.5±2.7 ^b
肝胰腺 hepatopancreas	SOD/(U/mg prot)	127.0±22.0	126.1±15.9	106.7±10.9	105.7±13.5	110.8±13.3	107.4±6.3
	MDA/(nmol/mg prot)	1.3±0.3 ^b	1.6±0.4 ^{ab}	1.5±0.3 ^{ab}	1.5±0.2 ^{ab}	1.9±0.2 ^a	1.9±0.4 ^a

表 5 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾非特异性免疫指标的影响

Tab. 5 Effect of HMM replacement of fish meal on non-specific immune indices of *L. vannamei*

组织 tissue	指标 index	G0	G20	G40	G60	G80	G100
血淋巴 haemolymph	THC/(×10 ⁶ /mL)	5.24±0.73	4.57±1.76	4.64±2.29	5.60±2.34	4.88±2.31	2.78±1.02
	血清 serum	PO/U	1.45±0.24 ^b	2.10±0.43 ^a	1.58±0.41 ^b	0.98±0.20 ^c	0.39±0.01 ^d
肝胰腺 hepatopancreas	NO/(μmol/L)	84.75±4.94	73.47±8.18	73.94±8.24	74.26±11.20	71.25±7.35	72.61±6.00
	AKP/(金氏单位/100 mL)	2.04±0.34	2.13±0.44	2.23±0.21	2.20±0.14	1.68±0.09	1.75±0.18
	PO/U	0.79±0.30	0.76±0.24	0.78±0.44	0.83±0.32	0.46±0.23	0.48±0.25
肝胰腺 hepatopancreas	NO/(μmol/g prot)	3.99±0.54	3.83±0.40	4.21±0.40	3.88±0.53	3.85±0.64	3.76±0.75

AKP/(U/g prot) 454.49±28.77^a 298.37±29.19^b 305.99±24.11^b 227.42±44.14^c 171.13±15.97^d 144.31±28.30^d

物的生长速度明显提高^[21-22]。

当替代水平不超过 60%时, 各组对虾的摄食量、饲料系数和蛋白质效率等指标差异不显著, 随替代水平的继续增加, 各指标显著降低($P<0.05$), 这与 Sogbesan 等^[11]对杂交鲶(♀*Heterobranchus longifilis* ×♂*Clarias gariepinus*)的研究类似, 然而其他学者研究表明, 家蝇蛆粉可以完全替代尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)饲料中的鱼粉^[13-16]。出现这些差异的原因可能与不同种类的鱼类对营养物质的需求不同、所使用的家蝇蛆粉的加工工艺以及营养组成^[12]有关。赖氨酸是家蝇蛆粉的第一限制性氨基酸, 其含量只有鱼粉含量的 41.90%, 蝇蛆粉中高不饱和脂肪酸(HUFA)的含量极低^[16,23], 饲料中 HUFA 含量的不足会对凡纳滨对虾的生长产生不利影响^[24]。因此, 高水平的家蝇蛆粉替代鱼粉可能会导致饲料中赖氨酸等必需氨基酸以及 HUFA 含量降低, 不能满足凡纳滨对虾的营养需求, 从而降低其生长速度, 使饲料系数升高, 蛋白质效率和蛋白质沉积率下降。此外, 本试验中所用的蝇蛆是在我国北方(河北唐山)冬季的自然条件下阴干的, 因蝇蛆含水量高, 干燥过程需要很长的时间, 容易导致脂肪氧化。有研究表明, 氧化脂肪会降低水生动物的增重率和饲料效率, 使肝脏中脂肪含量显著升高^[25-26]。本试验中, G80、G100 组凡纳滨对虾肝胰指数显著升高, 可能是由于饲料中脂肪含量的升高和蝇蛆粉的脂肪氧化而导致脂肪在肝胰腺中沉积引起的, 然而高含量的家蝇蛆粉对凡纳滨对虾的肝胰腺的损伤作用及其原因, 有待进一步研究。

3.2 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾体成分的影响

在本试验中, 随家蝇蛆粉替代鱼粉水平的增加, 凡纳滨对虾全虾粗蛋白含量显著升高, 粗脂肪含量显著降低($P<0.05$), 各替代组干物质和灰分含量与对照组相比差异不显著($P>0.05$)。这与 Ogunji 等^[16]用蝇蛆粉替代鱼粉对尼罗罗非鱼的研究结果不同。该作者研究认为, 饲料中添加蝇蛆粉对罗非鱼体粗蛋白含量无明显影响, 而粗脂肪含量则随替代水平的增加显著升高。关于鱼粉替代蛋白源对水产动物粗蛋白含量的影响, 不同的试验中得到

的结果也不一致, 如在豆粕替代鱼粉的试验中, 异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)^[27]和牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)^[28]全鱼粗蛋白含量变化趋势完全相反。本试验中家蝇蛆粉替代水平超过20%时, 全虾粗脂肪含量显著降低, 表明家蝇蛆粉会降低凡纳滨对虾的脂肪沉积率, 这可能是由于饲料中高不饱和脂肪酸含量的缺乏所导致的。Zhou等^[24]研究表明, HUPA含量充足的鱼油和鱼油、豆油混合组凡纳滨对虾全虾粗脂肪含量显著高于其他试验组。González-Félix等^[29-30]研究表明, 饲料中分别添加0.5%的HUFA和花生四烯酸(ARA)、EPA、DHA均可显著提高凡纳滨对虾肌肉中的粗脂肪含量($P<0.05$)。本试验中凡纳滨对虾全虾粗脂肪含量的降低是否由于家蝇蛆粉替代鱼粉后饲料中HUPA含量降低影响机体脂类代谢所引起的, 尚有待进一步研究。

3.3 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾抗氧化能力的影响

超氧化物歧化酶(SOD)是超氧阴离子自由基的天然清除剂, 可以清除体内多余的自由基, 从而消除过多的自由基对机体生物分子造成损伤^[31]。丙二醛(MDA)是脂质过氧化作用的产物之一, 浓度的变化既可用于脂质过氧化程度的衡量指标, 也可间接反映机体内活性氧的累积^[32]。本试验结果表明, 家蝇蛆粉替代鱼粉组凡纳滨对虾血清和肝胰腺 SOD 活性出现不同程度的降低, 替代水平超过60%时肝胰腺 MDA 含量显著升高($P<0.05$), 从而使机体处于氧化应激状态, 这与 Ogunji 等^[33]的研究结果不一致, 其研究认为蝇蛆粉不会引起罗非鱼的氧化应激和生理应激。本试验中家蝇蛆粉处于适宜替代水平时不会对凡纳滨对虾的抗氧化能力产生显著影响, 但替代水平过高则会使其处于氧化应激状态, 可能原因是本试验中 G80、G100 组饲料粗脂肪含量过高。王朝明等^[34]研究表明, 饲料中过量的脂肪会减弱机体清除自由基的能力, 使机体 MDA 的含量增加。此外, 脂肪氧化会导致水生动物肝脏中 MDA 含量显著升高^[25-26], 蝇蛆粉的脂肪氧化也可能是导致肝胰腺 MDA 含量升高的原因之一。

3.4 家蝇蛆粉替代鱼粉对凡纳滨对虾非特异性免疫功能的影响

研究认为, 甲壳动物不具有抗原特异性的淋

巴细胞和免疫球蛋白, 不能产生特异性抗体, 机体主要依靠非特异性免疫消灭入侵的病原^[35-36]。其中, 血细胞构成了第一道防御屏障, 并且在甲壳动物的免疫防御中起着决定性作用^[37]。本试验中, 凡纳滨对虾的血细胞总数的组间差异不显著($P>0.05$), 表明用家蝇蛆粉部分或者完全替代鱼粉对凡纳滨对虾的细胞总数不会产生显著的不利影响。

甲壳动物的酚氧化物酶(PO)是酚氧化酶原(proPO)被激活后产生的一种酶类, 参与宿主的防御反应^[38], proPO被酚激活酶激活, 而该酶依赖于血浆中的钙^[39]。本试验结果表明, G20组血清PO活性显著高于对照组($P<0.05$), G60~G100组则显著降低($P<0.05$), 但这几组的存活率均不同程度的高于对照组, PO活性的降低可能是由于高水平替代组饲料中钙的含量过高而引起的。Yang等^[40]用肉骨粉对凡纳滨对虾的研究也得到了类似的结果。Sung等^[41]和Perazzolo等^[42]分别研究表明适宜浓度的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 可以增强斑节对虾(*Penaeus monodon*)和罗氏沼虾(*Macrobrachium rosenbergii*)、保罗对虾(*Penaeus paulensis*)的PO活性, 而高浓度的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 反而抑制了PO活性。在脊椎动物中, 一氧化氮作为一种自由基, 参与血管舒张、神经传递、细胞毒性、突触、调节血压和炎症反应等多种功能。在无脊椎动物中, 已证实机体可以产生一氧化氮, 并且编码这种酶的基因已经在一些昆虫中发现^[39]。本试验结果表明, 不同家蝇蛆粉替代水平未对凡纳滨对虾血清和肝胰腺一氧化氮含量产生显著影响。虽然一氧化氮是参与甲壳动物先天免疫系统的一个重要组成成分, 但一氧化氮和一氧化氮合成酶在甲壳动物免疫反应中的研究一直很少^[39]。碱性磷酸酶(AKP)直接参与磷代谢, 并与DNA、RNA、蛋白质、脂质等代谢有关, 它对钙质吸取、骨骼形成、甲壳素的分泌及形成都具有重要的作用。甲壳动物虾在生长过程都要经历蜕壳过程, 该酶对于虾的生存具有重要意义^[43]。已有研究表明, AKP的活性与虾蜕皮直接相关, 罗氏沼虾蜕皮间期壳中钙的沉积和吸收钙的速度与体内AKP的活性有关, 蜕皮后罗氏沼虾体内AKP活性显著高于蜕皮间期以增加机体对钙的吸收^[44]。本试验中家蝇蛆粉高水平替代组G80、G100凡纳滨对虾的生长性能显著低于对照组, 是否由于AKP活性的降低影响磷的代谢,

从而影响凡纳滨对虾体内营养物质的代谢还有待进一步的研究。

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] Samocha T M, Davis D A, Saoud I P, et al. Substitution of fish meal by co-extruded soybean poultry by-product meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2004, 231: 197-203.
- [3] Davis D A, Arnold C R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2000, 185: 291-298.
- [4] Amaya E A, Davis D A, Rouse D B. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) reared under pond conditions[J]. Aquaculture, 2007, 262: 393-401.
- [5] 贾生福. 蝇蛆蛋白质饲料在畜牧业中的应用效果初探[J]. 中国动物保健, 2004(10): 31.
- [6] 周永富, 饶军华, 阳建春, 等. 家蝇饲养技术研究及蝇蛆在鳖养殖中的应用[J]. 昆虫天敌, 1997, 19(4): 161-164.
- [7] 黄国庆, 王小兵. 蝇蛆代替鱼用饲料喂养罗非鱼效果试验[J]. 中国水产, 2008(10): 70-71.
- [8] 张洪玉, 张天时, 孔杰, 等. 蚯蚓与蝇蛆对中国对虾生长及抗白斑综合征病毒感染的研究[J]. 水产学报, 2009, 33(3): 503-510.
- [9] 郑伟, 董志国, 王兴强, 等. 投喂蝇蛆对中国明对虾生长及生化组成的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(4): 187-192.
- [10] 刘丽波, 李色东, 陈镜华, 等. 鲜活蝇蛆对凡纳滨对虾生长和免疫的影响[J]. 水产科学, 2010, 29(12): 721-724.
- [11] Sogbesan A O, Ajuonu N, Musa B O, et al. Harvesting techniques and evaluation of maggot meal as animal dietary protein source for "Heteoclarias" in outdoor concrete tanks[J]. World Journal of Agricultural Sciences, 2006, 2(4): 394-402.
- [12] 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]. Aquaculture Research, 2003, 34: 733-738.
- [13] Fashina-Bombata H A, Balogun O. The effect of partial or total replacement of fish meal with maggot meal in the diet of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry[J]. Journal of Prospects in Science, 1997, 1: 178-181.
- [14] Ajani E K, Nwanna L C, Musa B O. Replacement of fishmeal with maggot meal in the diets of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. World Aquaculture, 2004, 35(1): 52-54.
- [15] Ogunji J O, Nimptsch J, Wiegand C, et al. Evaluation of the influence of housefly maggot meal (maggot meal) diets on catalase, glutathione S-transferase and glycogen concentration in the liver of *Oreochromis niloticus* fin-

- gerling[J]. Comparative Biochemistry and Physiology - Part A: Molecular & Integrative Physiology, 2007, 147(4): 942-947.
- [16] Ogunji J O, Kloas W, Wirth M, *et al.* Housefly Maggot Meal (Magmeal) as a Protein Source for *Oreochromis niloticus*(Linn.)[J]. Asian Fisheries Science, 2008, 21(3): 319-331.
- [17] 黄永春, 艾华水, 殷志新, 等. 第四代凡纳滨对虾抗 WSSV 选育家系的抗病及免疫特性研究[J]. 水产学报, 2010, 34(10): 1549-1558.
- [18] Tacon A G J, Metian M. Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects[J]. Aquaculture, 2008, 285: 146-158.
- [19] 蒋琼, 王雷, 罗日祥. 中国对虾血淋巴抗凝剂的筛选[J]. 水产学报, 2001, 25(4): 359-363.
- [20] Ashida M. Purification and characterization of prephenoloxidase from hemolymph of the silkworm *Bombyx mori*[J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 1971, 144(2): 749-762.
- [21] 李大鹏, 庄平, 严安生, 等. 光照、水流和养殖密度对史氏鲷稚鱼摄食、行为和生长的影响[J]. 水产学报, 2004, 28(1): 54-61.
- [22] 兰国宝, 阎冰, 廖思明. 南美白对虾集约化养殖产量与密度关系研究[J]. 水产养殖, 2003, 24(4): 38-39.
- [23] 陈艳, 吴建伟, 李金富, 等. 家蝇幼虫营养价值及抗病毒活性的初步研究[J]. 贵阳医学院学报, 2002, 27(2): 100-103.
- [24] Zhou Q C, Li C C, Liu C W, *et al.* Effects of dietary lipid sources on growth and fatty acid composition of juvenile shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture Nutrition, 2007, 13: 222-229.
- [25] 彭士明, 陈立侨, 叶金云, 等. 饲料中添加氧化鱼油对黑鲷幼鱼生长的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(增刊): 109-115.
- [26] 高淳仁, 雷霖霖. 饲料中氧化鱼油对真鲷幼鱼生长、存活及脂肪酸组成的影响[J]. 上海水产大学学报, 1999, 8(2): 124-130.
- [27] 王崇, 雷武, 解绶启, 等. 饲料中豆粕替代鱼粉蛋白对异育银鲫生长、代谢及免疫功能的影响[J]. 水生生物学报, 2009, 33(4): 740-747.
- [28] 刘襄河, 叶继丹, 王子甲, 等. 饲料中豆粕替代鱼粉比例对牙鲆生长性能及生化指标的影响[J]. 水产学报, 2010, 34(3): 450-458.
- [29] González-Félix M L, Lawrence A L, Gatlin D M, *et al.* Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: I. Effect of dietary linoleic and linolenic acids at different concentrations and ratios on juvenile shrimp growth, survival and fatty acid composition[J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9: 105-113.
- [30] González-Félix M L, Gatlin III D M, Lawrence A L, *et al.* Nutritional evaluation of fatty acids for the open thelycum shrimp, *Litopenaeus vannamei*: II. Effect of dietary n-3 and n-6 polyunsaturated and highly unsaturated fatty acids on juvenile shrimp growth, survival, and fatty acid composition[J]. Aquaculture Nutrition, 2003, 9: 115-122.
- [31] 艾春香, 陈立侨, 高露姣, 等. VC 对河蟹血清和组织中超氧化物歧化酶及磷酸酶活性的影响[J]. 台湾海峡, 2002, 21(4): 431-438.
- [32] 李涌泉, 王兰, 刘娜, 等. 镉对长江华溪蟹酶活性及脂质过氧化的影响[J]. 水生生物学报, 2008, 32(3): 373-379.
- [33] Ogunji J O, Kloas W, Wirth M, *et al.* Effect of housefly maggot meal (magmeal) diets on the performance, concentration of plasma glucose, cortisol and blood characteristics of *Oreochromis niloticus* fingerlings[J]. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 2008, 92(4): 511-518.
- [34] 王朝明, 罗莉, 张桂众, 等. 饲料脂肪水平对胭脂鱼幼鱼生长、体组成和抗氧化能力的影响[J]. 淡水渔业, 2010, 40(5): 47-53.
- [35] Lee S Y, Söderhall K. Early events in crustacean innate immunity[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2002, 12(5): 421-437.
- [36] 王秀华, 黄捷, 宋晓玲. 免疫增强剂一肽聚糖在对虾养殖中的应用[J]. 海洋水产研究, 2003, 24(1): 69-74.
- [37] 樊廷俊. 对虾非特异性免疫与对虾疾病监控的研究进展[J]. 海洋科学, 2002, 26(4): 26-31.
- [38] 黄辉洋, 李少菁, 王桂忠, 等. 甲壳动物酚氧化酶活力及其在养殖中的应用[J]. 海洋通报, 2000, 19(3): 79-84.
- [39] Rodríguez-Ramos T, Espinosa G, Hernández-López J, *et al.* Effects of *Echerichia coli* lipopolysaccharides and dissolved ammonia on immune response in southern white shrimp *Litopenaeus schmitti*[J]. Aquaculture, 2008, 274: 118-125.
- [40] Yang Y, Xie S, Lei W, *et al.* Effect of replacement of fish meal by meat and bone meal and poultry by-product meal in diets on the growth and immune response of *Macrobrachium nipponense*[J]. Fish & Shellfish Immunology, 2004, 17: 105-114.
- [41] Sung H, Chang H, Her C, *et al.* Phenoloxidase Activity of Hemocytes Derived from *Penaeus monodon* and *Macrobrachium rosenbergii*[J]. Journal of Invertebrate Pathology, 1998, 71: 26-33.
- [42] Perazzolo L M, Barracco M A. The prophenoloxidase activating system of the shrimp *Penaeus paulensis* and associated factors[J]. Developmental & Comparative Immunology, 1997, 21(5): 385-395.
- [43] 陈清西, 陈素丽. 长毛对虾碱性磷酸酶性质[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 1996, 35(2): 257-261.
- [44] Latif M A, Brown J H, Wickins J F. Effects of environmental alkalinity on calcium-stimulated dephosphorylating enzyme activity in the gills of postmoult and intermoult giant freshwater prawns *Macrobrachium ro-*

Effects of replacement of fish meal with housefly maggot meal on growth performance, antioxidant and non-specific immune indexes of juvenile *Litopenaeus vannamei*

CAO Jun-ming^{1,2,3*}, YAN Jing^{1,2,3,4}, HUANG Yan-hua^{1,2,3}, WANG Guo-xia^{1,2,3},
ZHANG Rong-bin^{1,2,3,4}, CHEN Xiao-ying^{1,2,3}, WEN Yuan-hong^{1,2,3}, ZHOU Ting-ting^{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 Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)*

Abstract: This study was conducted to evaluate the effects of replacement of fish meal by housefly maggot meal (HMM) on growth performance, antioxidant and non-specific immune indexes of juvenile white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). Six isonitrogenous and isoenergetic diets were formulated with 0, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% replacement of fish meal with HMM on a protein basis. 960 juvenile shrimp with an average body weight of (0.56±0.03) g were randomly assigned to 6 groups. The shrimp were fed six diets respectively, named G0, G20, G40, G60, G80 and G100. After 45 d feeding, there was no significant difference in WGR (weight gain rate) from G20 to G60, while it was significantly decreased in G80 and G100. SGR (specific growth rate) of shrimp were significantly lower than that of the control group except for G40 ($P<0.05$). FI (feed intake) in G100 was significantly lower than other groups ($P<0.05$). Compared with the control group, there was no significant difference in FCR (feed conversion ratio), PER (protein efficiency ratio), PPV (productive protein value), HSI (hepatosomatic index) when the replacement levels were no more than 60%, while FCR, HSI were significantly increased and PER, PPV were significantly decreased with increasing HMM replacement ration. CF (condition factor) and SR (survival rate) in HMM groups were higher than those in the control group to some extent. With HMM increasing, crude protein, calcium and total phosphorus content increased significantly and crude lipid content decreased ($P<0.05$), while dry matter and ash content were not significantly different ($P>0.05$). No significant difference was found among all the treatments in serum and hepatopancreas SOD (superoxide dismutase) activity, and serum MDA (malondialdehyde) content ($P>0.05$), and MDA content in G80 and G100 was significantly higher than that of the control group ($P<0.05$). Serum PO (phenoloxidase) activity tended to increase first and then decrease, the highest value was observed in G20 ($P<0.05$). Hepatopancreas AKP (alkaline phosphatase) activity decreased significantly with HMM increasing ($P<0.05$). In all the treatments, no significant difference was observed in serum THC (total haemocyte count), NO (nitric oxide) content, AKP activity and hepatopancreas PO activity and NO content ($P>0.05$).

Key words: *Litopenaeus vannamei*; housefly maggot meal; fish meal; growth performance; antioxidant capacity; non-specific immunity

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