

文章编号: 1000-0615(2019)10-2175-11

DOI: 10.11964/jfc.20190911973

饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能、肌肉成分、繁殖性能以及血淋巴生化指标的影响

彭迪^{1,2}, 陈效儒^{3*}, 文华^{2*}, 吴凡², 陆星², 田娟²,
刘伟², 蒋明², 喻丽娟², 张璐³, 李淑云³

(1. 华中农业大学水产学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中国水产科学研究院长江水产研究所, 湖北 武汉 430223;

3. 通威股份有限公司, 水产健康养殖四川省重点实验室, 四川 成都 610041)

摘要: 为研究克氏原螯虾亲虾对脂肪的需要量, 本实验采用初始体质量为(15.46±0.20)g的克氏原螯虾亲虾324尾, 分为6组(每组设置3个重复, 每个重复18尾, 雌雄比例为2:1), 投喂粗蛋白质水平为30%, 脂肪水平分别为1.98%(对照组)、4.12%、5.84%、7.89%、10.48%和11.89%的6组半精制饲料, 饲养8周后, 测定并分析亲虾的生长性能、肌肉成分、繁殖性能、肝胰腺消化酶活性以及血淋巴部分生化指标。结果发现: ①随着饲料脂肪水平的升高, 增重率和特定生长率先上升, 在饲料脂肪水平达到7.89%后呈下降趋势; 饲料系数和肝体比呈上升趋势, 11.89%组最高。②饲料脂肪水平对亲虾肌肉水分和灰分含量无显著影响; 随着饲料脂肪水平的升高, 肌肉粗脂肪含量呈现先升高后降低最后趋于稳定的趋势, 在饲料脂肪水平为5.84%时最高。③随着饲料脂肪水平的升高, 性腺指数、抱卵率、抱卵量均呈现先上升后降低的变化规律, 均在饲料脂肪水平为7.89%时达到最大。④血淋巴中总蛋白含量随饲料脂肪水平呈现先下降后上升趋势; 谷草转氨酶、谷丙转氨酶活性均随饲料脂肪水平升高而升高, 均在11.89%组最高; 血淋巴中葡萄糖含量各组间无显著性差异。⑤饲料脂肪水平对实验虾肝胰腺蛋白酶和脂肪酶活性有显著影响, 对淀粉酶活性无显著性影响。利用增重率与饲料脂肪水平进行折线回归分析, 克氏原螯虾亲虾获得最佳增重率时对饲料的脂肪需要量为7.60%。对实验虾生长性能、肌肉成分、繁殖性能、肝胰腺消化酶活性、血淋巴生化指标进行综合分析, 显示本实验条件下克氏原螯虾亲虾对脂肪需要量为7.60%~7.89%。

关键词: 克氏原螯虾亲虾; 脂肪; 生长性能; 繁殖性能; 血淋巴生化指标

中图分类号: S 963

文献标志码: A

脂类是水产配合饲料三大营养素之一, 为水产动物提供了生长发育所需的磷脂、胆固醇和必需脂肪酸(EFA), 促进脂溶性维生素A、D、E、K等的吸收和在体内的运输; 为机体提供和贮存能量; 作为组织器官的保护隔层, 维持细胞膜结构和完整性; 也是多种激素的合成原料, 在水产动物性腺发育和繁殖方面发挥着重

要作用^[1-2]。饲料中脂肪缺乏时, 会导致脂溶性维生素和必需脂肪酸缺乏症, 造成鱼类代谢紊乱, 同时也会降低饲料蛋白质利用率; 脂肪含量过高, 将不利于饲料加工和储藏, 也会造成鱼体脂肪沉积, 抗病力低等问题^[3]。因此饲料中适宜的脂肪水平对水产动物生长发育具有重要意义。水产动物脂肪需要量在不同生长发育阶

收稿日期: 2019-09-18 修回日期: 2019-09-25

资助项目: 中国水产科学研究院基本科研业务费专项(2018HY-ZD04); 四川省重点研发项目(2018NZ0152); 通威股份有限公司产学研合作项目(TW20181001)

通信作者: 陈效儒, E-mail: CHENXR@tongwei.com; 文华, E-mail: wenhua.hb@163.com

段各有差异^[4]。在水产动物繁殖期间,投喂适宜脂质水平的饲料将提升亲本的繁殖性能,目前对亲本脂肪需要量已经有报道的包括亚东鲑(*Salmotrutta fario*)亲鱼^[5]、中华绒螯蟹(*Eriocheir sinensis*)亲本^[6]、细角对虾(*Penreus srylirosiris*)亲虾^[7]、凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)亲虾^[8]、红螯螯虾(*Cherax quadricarinatus*)亲虾^[9]等动物,研究发现亲本营养需要与幼龄动物生长的营养需要存在很大差异,饲料中添加适量的脂肪将有利于性腺发育,提升繁殖力,以及子代质量。这充分说明获得精准的亲本脂肪需要量是配制其饲料的基础,有助于培育优质亲本以提高繁殖性能。

克氏原螯虾俗称小龙虾,隶属甲壳纲(Crustacea)、十足目(Decapoda)、爬行亚目(Reptantia)、螯虾科(Cambaridae)、原螯虾属(*Procambarus*),原产于北美洲,上个世纪三十年代传入我国。克氏原螯虾养殖业近年在国内发展迅猛,其总产量从2005年的8.0万t,发展到2018年的164.0万t,其中湖北省2018年总产量为81.2万t,位居全国第一位^[10]。因其色泽鲜艳、味美而深受消费者喜爱,形成了独特的小龙虾饮食文化。据2019年8月30日《农民日报》报道,2018年小龙虾产值已达3 690亿元,其中以餐饮为主的第三产业产值2 726亿元,而养殖业约为680亿元,约占总产值的18.4%。尽管小龙虾产业如火如荼,目前国内的小龙虾养殖产业却面临着诸多问题,如科学研究基础薄弱、优质养殖苗种供应困难、单位面积产量普遍较低、专用饲料有待开发等,目前总体呈现研发不够、成果有限、品质退化、饲料研究滞后的局面。因此,对相关理论进行攻关突破势在必行,特别是通过解决亲本饲料问题,提高小龙虾生长性能和繁殖力,从根本上促进小龙虾行业持续、健康、稳定的发展。本研究将探讨饲料中脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能、繁殖性能、血淋巴生化指标的影响,旨在为克氏原螯虾亲虾配合饲料研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料配制

本实验采用单因素实验设计,以饲料中脂肪水平为实验因素。以鱼粉、酪蛋白、明胶、豆粕为蛋白源,鱼油和豆油为脂肪源,面粉和 α -

淀粉为糖源,配制脂肪添加水平为2%、4%、6%、8%、10%和12%的6组半精制饲料,实测脂肪水平分别为1.98%、4.12%、5.84%、7.89%、10.48%和11.89%。饲料干性原料经粉碎后过孔径为0.3 mm的筛网,按比例充分混匀(表1),少量的成分用逐级扩大法混合,然后加油与适量水后用小型双螺杆挤条机(F26型,华南理工大学科技实业总厂)加工成直径为2.0 mm条状,经履带式饲料干燥机(1215型,常州苏正干燥设备有限公司)60℃烘干3 h后,用粉碎机(280型,郑州惠诚机械设备有限公司)破碎成长度约3.0~4.0 mm的圆柱形颗粒,过1.7 mm筛网后,用塑料袋密封后放入-20℃冰柜中保存备用。

1.2 实验虾与养殖管理

实验用克氏原螯虾购于湖北省汉川市某小龙虾养殖场,养殖实验在中国水产科学研究院长江水产研究所室内养殖实验基地进行,实验开始前驯养两周,选取大小一致,附肢完好,个体饱满,背甲光泽度强,平均体质量为 (15.46 ± 0.20) g的雌虾216尾和雄虾108尾,分为6个组,每组18尾(雌雄比例为2:1),每组设置3个重复。实验虾饲养于18个长方形塑料箱中,箱面积1 m²,水深20 cm,每个养殖箱中放置PVC水管供其栖息躲避。每日8:30和18:00投喂两次,每日投喂量为虾体重的3%~5%(上午投喂每日投喂量的30%,傍晚为70%),根据天气与摄食情况及时调整投喂量。每次投喂2 h后,捞出残饵,记录残饵重,并捞出小龙虾脱去旧壳与粪便,记录小龙虾死亡数并称重,每隔一日换水三分之一。养殖期间水温22~28℃,pH 7.0~8.5,溶氧质量浓度大于5 mg/L,氨氮质量浓度小于0.05 mg/L。养殖实验进行8周。在实验进行第28天和56天时,将实验虾饥饿24 h后称每箱总质量,以调整投喂量。

1.3 样品采集

养殖实验结束后,将实验虾饥饿24 h后进行采样,测定每个养殖箱中实验虾总质量,记录虾尾数,测量所有实验虾个体体质量,用以计算增重率、特定生长率、成活率等指标参数。使用1 mL无菌注射器从虾的头胸甲后部刺入心脏,抽取0.5 mL血淋巴,放入1.5 mL装有等量抗凝剂(140 mmol/L NaCl, 100 mmol/L葡萄糖, 30 mmol/L柠檬酸三钠, 26 mmol/L柠檬酸, 10 mmol/L Na₂EDTA, pH 4.6)的离心管内,4℃静置

表 1 实验饲料配方及营养组成(风干基础)
Tab. 1 Formula and proximate chemical composition of the experimental diets (air-dry basis) %

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid levels					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
饲料配方 ingredient						
鱼粉 fish meal	5	5	5	5	5	5
酪蛋白 casein	20	20	20	20	20	20
明胶 gelatin	5	5	5	5	5	5
豆粕 soybean meal	10	10	10	10	10	10
面粉 flour	20	20	20	20	20	20
α -淀粉粉 alpha-starch	33.0	28.4	23.8	19.2	14.6	10.0
大豆卵磷脂 soybean lecithin oil	1	1	1	1	1	1
蚯蚓粉 earthworm meal	2	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	2	2	2	2	2	2
维生素预混料 ¹ vitamin premix	1	1	1	1	1	1
无机盐预混料 ² mineral premix	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
鱼油 fish oil	0	1	2	3	4	5
豆油 soybean oil	0	1	2	3	4	5
蜕壳素20-OH ecdysone	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
丙酸钠 sodium propionate	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
抗氧化剂 BHT	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
氯化胆碱 choline chloride	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
纤维素 microcrystalline	0.05	2.65	5.25	7.85	10.45	13.05
营养组成 proximate composition						
水分 moisture	9.97	9.19	8.92	8.63	7.98	7.82
粗蛋白 crude protein	29.45	30.62	30.58	30.23	30.81	30.12
粗脂肪 crude lipid	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
灰分 ash	4.59	4.50	4.32	4.14	4.53	4.13

注: ¹每千克维生素预混料包括: 维生素A 4 g, 维生素D 0.02 g, 维生素E 10 g, 维生素K₃ 10 g, 维生素B₁ 10 g, 维生素B₂ 10 g, 维生素B₆ 20 g, 烟酸 40 g, 生物素 0.2 g, 泛酸钙 20 g, 叶酸 0.5 g, 维生素B₁₂ 0.01 g, 维生素C 20 g, 肌醇 400 g, 再用微晶纤维素添加至1 kg。 ²每千克矿物质预混料包括: 碘酸钾 0.6 g, 亚硒酸钠 0.08 g, 磷酸二氢钾 320 g, 硫酸镁 200 g, 一水硫酸锰 20 g, 二水氯化铜 2 g, 七水硫酸锌 60 g, 七水硫酸亚铁 50 g, 氯化钠 100 g, 六水氯化钴 2 g, 再用微晶纤维素添加至1 kg

Notes: ¹ One kg of vitamin premix contained vitamin A 4 g, vitamin D 0.02 g, vitamin E 10 g, vitamin K₃ 10 g, vitamin B₁ 10 g, vitamin B₂ 10 g, vitamin B₆ 20 g, nicotinic acid 40 g, biotin 0.2 g, calcium pantothenate 20 g, folic acid 0.5 g, vitamin B₁₂ 0.01 g, vitamin C 20 g, inositol 400 g, all ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 kg. ² One kg of mineral premix contained KIO₃ 0.6 g, Na₂SeO₃·5H₂O 0.08 g, KH₂PO₄ 320 g, MgSO₄ 200 g, MnSO₄·H₂O 20 g, CuCL₂·2H₂O 2 g, ZnSO₄·7H₂O 60 g, FeSO₄·7H₂O 50 g, NaCl 100 g, CoCL₂·6H₂O 2 g, all ingredients were diluted with micro-cellulose to 1 kg

4 h, 然后12000 r/min离心20 min, 取上清液, 用于部分生理生化指标测定^[11]。然后解剖, 分离其性腺、肝胰腺和肌肉并进行称重, 分别计算性腺指数、肝体指数与含肉率, 并留存肝胰腺和肌肉样品, 存于-40 °C冰箱中。再选取3尾抱卵雌虾, 小心刮掉腹部受精卵, 用于计算抱卵量。

1.4 测定方法

常规营养成分的测定 饲料和肌肉水分含量采用105 °C恒温干燥失重法(GB/T 5009.3-2016)测定, 粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(GB/T 5009.5-2016)测定, 粗脂肪含量采用索氏抽提法

(GB/T 5009.6-2016)测定,灰分含量采用灼烧称重法(GB/T 5009.4-2016)测定。

生长性能和繁殖性能等指标的测定 根据以下公式计算生长性能与繁殖性能相关指标。

$$\begin{aligned} \text{增重率}(\text{weight gain rate, } WGR, \%) &= 100 \times (W_t - W_0) / W_0; \\ \text{成活率}(\text{survival rate, } SR, \%) &= 100 \times N_t / N_0; \\ \text{特定生长率}(\text{specific growth rate, } SGR, \%/d) &= (\ln W_t - \ln W_0) / t \times 100; \\ \text{肝体比}(\text{hepatosomatic index, } HSI, \%) &= 100 \times W_h / W_t; \\ \text{含肉率}(\text{flesh content, } FC, \%) &= 100 \times W_m / W_t; \\ \text{性腺指数}(\text{gonad index, } GI, \%) &= 100 \times W_g / W_t; \\ \text{饲料系数}(\text{feed conversion ratio, } FCR) &= W_f / (W_t N_t - W_0 N_0 + W_d). \end{aligned}$$

式中, N_t 为终末尾数; N_0 为初始尾数; W_t 为终末体质量(g); W_0 为初始体质量(g); t 为实验天数(d); W_h 为虾体肝胰腺重(g); W_m 为虾体尾部肌肉重(g); W_g 为性腺重(g); W_f 为每个养殖箱中所投喂饲料总重(g); W_d 为终末每个养殖箱的总死亡质量(g)。

血淋巴生化指标的测定 葡萄糖(GLU)、总胆固醇(T-CHO)、总蛋白(TP)和白蛋白(ALB)含量,谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)活性均采用希森美康全自动生化分析仪(CHEMIX-800)进行测定,所用试剂均购自 Sysmex 公司。

肝胰腺消化酶活性的测定 每尾虾取肝胰腺组织0.3 g,加入9倍体积的4 °C生理盐水,

冰水浴匀浆(1 000 r/min, 10 s/次,连续4次),3 000 r/min离心10 min,取上清液用于组织蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性测定。蛋白酶活性测定方法参照谢国驹等^[12]。淀粉酶活性测定采用碘-淀粉比色法,单位定义为组织中每毫克蛋白在37 °C与底物作用30 min,水解10 mg淀粉定义为1个淀粉酶活力单位。脂肪酶活性单位(U)为在37 °C条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应1 min,每消耗1 μmol底物为一个酶活力单位。酶样蛋白含量测定采用考马斯亮兰法。蛋白定量、淀粉酶、脂肪酶活性均采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒检测。

1.5 数据处理

数据采用SPSS 18.0统计软件中one-way ANOVA程序进行方差分析,并采用Duncan氏多重比较法进行差异显著性检验,结果均以“平均值±标准差”表示,当 $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能的影响

初始体质量为(15.46±0.20) g的克氏原螯虾经过8周的室内养殖,各组虾的成活率均在83.33%以上,含肉率为11%~12%,且成活率和含肉率组间无显著差异($P > 0.05$)(表2)。实验虾的FBW、WGR及SGR随饲料脂肪水平升高呈现先上升后下降的趋势,5.84%、7.89%组显著高于其他各组

表2 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能的影响

Tab. 2 Effects of dietary lipid levels on growth performance of *P. clarkii* broodstock

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
初始体质量/g IBW	15.41±0.24	15.46±0.13	15.40±0.31	15.50±0.15	15.46±0.26	15.52±0.26
终末体质量/g FBW	25.88±0.55 ^a	26.36±1.79 ^a	29.37±0.50 ^b	30.44±1.17 ^b	26.40±1.17 ^a	25.73±0.29 ^a
增重率/% WGR	67.93±1.80 ^a	70.71±2.69 ^a	90.80±6.81 ^b	96.48±8.75 ^b	70.85±9.92 ^a	69.01±3.19 ^a
特定生长率/(%/d) SGR	0.93±0.02 ^a	0.95±0.12 ^a	1.15±0.06 ^b	1.20±0.08 ^b	0.95±0.10 ^a	0.94±0.03 ^a
肝体比/% HSI	4.87±0.33 ^a	5.18±0.23 ^a	6.05±0.57 ^b	6.86±0.18 ^c	7.53±0.42 ^d	8.21±0.28 ^c
含肉率/% FC	10.91±0.46	12.35±0.45	11.81±0.78	11.05±0.62	11.08±0.29	12.34±0.66
成活率/% SR	90.74±8.49	88.89±9.62	88.89±5.56	83.33±5.56	85.19±6.42	87.35±6.82
饲料系数 FCR	1.61±0.05 ^a	1.64±0.09 ^{ab}	1.70±0.07 ^{ab}	1.75±0.15 ^{ab}	1.66±0.10 ^{ab}	1.82±0.06 ^b

注:同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同

Notes: In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), while with different small letter superscripts mean significant difference ($P < 0.05$). The same as below

($P<0.05$)。1.98%、4.12%组HSI显著低于其他组($P<0.05$), HSI在饲料脂肪水平为11.89%组时最高, 显著高于其他组($P<0.05$)。FCR随饲料脂肪水平呈现上升趋势, 11.89%组显著高于对照组($P<0.05$), 其他各组无显著性差异($P>0.05$)。

以克氏原螯虾亲虾WGR为因变量(Y), 以饲料脂肪水平为自变量(X), 通过折线模型回归分析得出 $Y=5.2866X+55.047$ ($R^2=0.7981$)与 $Y=-6.867X+147.45$ ($R^2=0.6339$)的交点为7.60%, 此时WGR最大, 获得克氏原螯虾最大生长时饲料中脂肪水平为7.60%(图1)。

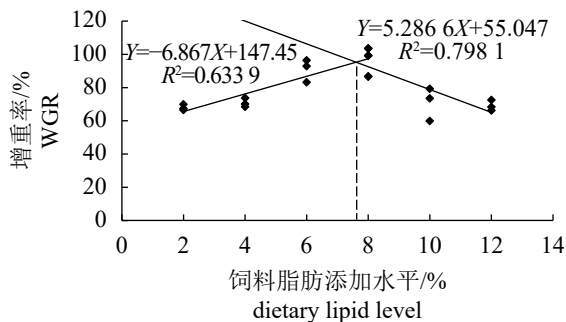


图1 克氏原螯虾亲虾增重率与饲料中脂肪水平的折线回归分析

Fig. 1 Broken-line analysis between the weight gain rate of *P. clarkii* broodstock and dietary lipid level

2.2 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾繁殖性能的影响

随着饲料脂肪水平的升高, 性腺指数、抱卵率、抱卵量的变化趋势均一致, 呈现先上升后降低的趋势(表3)。性腺指数在7.89%组达到最大, 7.89%与10.48%组性腺指数无显著差异($P>0.05$)。在饲料脂肪水平为7.89%时, 抱卵率和抱卵量均为最高, 分别为69.73%和447.41粒/尾, 显著高于其他组($P<0.05$)。

2.3 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肌肉成分的影响

投喂不同脂肪水平饲料, 对克氏原螯虾肌肉水分与灰分含量无显著影响($P>0.05$)(表4)。随饲料中脂肪水平的升高, 肌肉粗脂肪含量先升高后下降然后趋于稳定, 在饲料脂肪水平为5.84%时, 粗脂肪含量最高, 显著高于其他组($P<0.05$); 其他各组间无显著性差异($P>0.05$)。肌肉粗蛋白质含量随饲料脂肪水平升高, 呈现上升趋势, 显著高于对照组($P<0.05$); 当脂肪水平 $\geq 4.12\%$ 时, 肌肉粗蛋白含量显著高于对照组($P>0.05$)。

2.4 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾血淋巴生化指标的影响

4.12%与5.84%组血淋巴TP含量显著性低于

表3 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾繁殖性能的影响

Tab. 3 Effects of dietary lipid levels on reproductive performance of *P. clarkii* broodstock

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
性腺指数/% GSI	1.95±0.35 ^a	2.50±0.24 ^a	3.63±0.23 ^b	5.06±0.14 ^c	4.36±0.22 ^c	3.53±0.46 ^b
抱卵率/% egg carrying ratio	25.00±5.00 ^a	33.71±5.60 ^{ab}	36.01±5.84 ^{ab}	69.73±18.01 ^c	50.00±10.00 ^b	47.22±14.46 ^b
抱卵量/(粒/尾) egg carrying capacity	255.49±36.62 ^a	305.33±21.21 ^{ab}	325.48±6.36 ^b	447.41±38.89 ^c	297.46±17.68 ^{ab}	265.92±21.85 ^{ab}

表4 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肌肉成分的影响

Tab. 4 Effects of dietary lipid levels on the muscle composition of *P. clarkii* broodstock

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
水分 moisture	80.38±1.56	79.21±0.86	78.66±0.67	80.15±0.65	79.06±0.60	79.08±0.46
粗脂肪 crude lipid	2.46±0.08 ^a	2.49±0.12 ^a	3.73±0.37 ^b	2.72±0.17 ^a	2.50±0.05 ^a	2.46±0.10 ^a
粗蛋白质 crude protein	15.56±0.50 ^a	16.74±0.33 ^c	17.14±0.42 ^c	16.15±0.28 ^b	17.15±0.23 ^c	16.81±0.39 ^c
灰分 ash	1.32±0.13	1.37±0.07	1.25±0.14	1.44±0.09	1.53±0.07	1.51±0.09

对照组($P<0.05$)(表5)。饲料脂肪水平对血淋巴中ALB与GLU含量无显著性影响($P>0.05$)。血淋巴中T-CHO含量随饲料脂肪水平升高呈现上升趋势, 10.48%组显著高于对照组($P<0.05$)。随饲料脂肪水平的升高, 血淋巴中AST、ALT活性均呈

现上升趋势; 投喂高水平脂肪组饲料(10.48%、11.89%)时, AST活性显著高于其他组($P<0.05$), 在脂肪水平为11.89%时达到最大, 显著高于其他组($P<0.05$)。

表5 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾血淋巴生化指标的影响

Tab. 5 Effects of dietary lipid levels on hemolymph biochemical indices of *P. clarkia* broodstock

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
总蛋白/(g/L) TP	124.00±8.72 ^{bc}	98.00±6.93 ^a	104.67±11.37 ^a	112.00±6.00 ^{ab}	124.67±3.05 ^{bc}	133.33±7.02 ^c
白蛋白/(g/L) ALB	2.00±0.00	2.33±0.58	2.33±0.58	2.33±0.58	2.33±0.58	1.33±0.58
血糖/(mmol/L) GLU	5.16±0.73	4.67±0.45	6.02±0.52	4.76±1.33	4.89±0.25	5.33±0.64
总胆固醇/(mmol/L) T-CHO	0.10±0.01 ^a	0.12±0.04 ^{ab}	0.12±0.02 ^{ab}	0.10±0.02 ^a	0.15±0.03 ^b	0.13±0.03 ^{ab}
谷草转氨酶/(U/L) AST	10.67±1.15 ^a	15.33±2.31 ^b	18.00±2.00 ^{bc}	21.33±1.15 ^c	26.00±2.00 ^d	29.33±4.16 ^d
谷丙转氨酶/(U/L) ALT	18.00±2.00 ^a	28.67±1.15 ^b	34.67±3.06 ^c	45.33±2.31 ^d	43.33±3.06 ^d	56.67±5.03 ^e

2.5 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肝胰腺消化酶活性的影响

肝胰腺蛋白酶活性在饲料脂肪水平为1.98%、10.48%时显著高于其他组($P<0.05$), 4.12%、5.84%、7.89%组的蛋白酶活性显著低于对照组($P<0.05$)(表6)。饲料中脂肪水平对肝胰腺淀粉酶活性无显著性影响($P>0.05$)。肝胰腺脂肪酶活性随饲料脂肪水平升高呈现上升趋势, 显著高于其他组($P<0.05$), 在脂肪水平为11.89%时达到最大, 显著高于其他组($P<0.05$), 当饲料脂肪水平在5.84%~10.48%时, 脂肪酶活性无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾生长性能的影响

目前国内外对克氏原螯虾脂肪需要量研究不多, 且主要集中在10 g以下幼虾阶段, 克氏原

螯虾亲虾脂肪需要量鲜有报道, 本实验填补了这一空白。本实验研究结果表明, 投喂不同脂肪水平饲料对克氏原螯虾亲虾的成活率和含肉率均无显著影响, 且成活率均在83.33%以上, 说明实验虾可以较好地适应养殖环境和不同脂肪水平的饲料。随着饲料脂肪水平的增加, 实验虾的WGR和SGR呈现先升高后降低的趋势, 通过折线回归分析获得克氏原螯虾亲虾脂肪需要量为7.60%。在对克氏原螯虾脂肪需要量的研究中, 张家宏等^[13]用正交实验测得克氏原螯虾(1.5 g左右, 饲养90 d)脂肪需要量为6%, 徐维娜等^[14]饲养[(7.03±0.05) g]克氏原螯虾8周获得脂肪适宜添加量为4%~7%, Jover等^[15]发现脂肪含量为6%时, 克氏原螯虾(2.1 g)有更高的增重率和成活率。一般认为处于快速生长阶段的仔稚鱼及幼鱼, 由于生长速度较快所需的营养素较成鱼多^[16]。经比较, 本次实验获得克氏原螯虾亲虾脂肪需要量较幼虾略高一些, 这可能与亲虾需要更多

表6 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肝胰腺消化酶活性的影响

Tab. 6 Effects of dietary lipid levels on hepatopancreas digestive enzymes activities of *P. clarkii* broodstock

项目 items	饲料脂肪水平/% dietary lipid level					
	1.98	4.12	5.84	7.89	10.48	11.89
蛋白酶/(U/g) protease	61.16±2.66 ^c	52.69±3.99 ^b	45.32±2.76 ^a	43.52±0.33 ^a	65.87±0.67 ^c	42.34±0.67 ^a
淀粉酶/(U/mg prot) amylase	0.58±0.02	0.58±0.02	0.55±0.03	0.57±0.01	0.57±0.03	0.57±0.02
脂肪酶/(U/g prot) lipase	18.14±1.37 ^a	21.59±0.52 ^b	26.04±1.12 ^c	26.92±0.75 ^c	27.82±0.33 ^c	32.58±1.35 ^d

脂肪来维持性腺发育有关。在对两种规格凡纳滨对虾脂肪需要量研究中发现大规格组(7.93 g)脂肪需要量较幼虾组(0.58 g)高^[17],与本研究结果相同。实验虾肝体比随饲料脂肪水平的增加而增加,结果与孟晶等^[18]、何亚丁等^[19]对克氏原螯虾幼虾报道相同,肝脏是脂肪代谢的主要器官,摄入超出机体代谢范围的脂肪容易沉积在肝脏,可能会使肝脏质量增加。

3.2 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾繁殖性能的影响

甲壳类动物亲本的营养状况与其卵子及胚胎发育,子代成活率息息相关^[20-21],如饲料中添加适量水平维生素E能提高克氏原螯虾产卵量与孵化率^[22];亲虾饲料中类胡萝卜素含量较低时,凡纳滨对虾胚胎及幼体质量较差^[23]。脂肪不仅为亲虾的性腺发育和幼虾的胚胎发育提供能量,而且还提供其生长所必需的脂肪酸。高度不饱和脂肪酸是影响亲虾性成熟和幼体质量的关键因素^[24],Teshima等^[25]研究表明亲虾性腺发育需要积累大量中性脂肪,对虾通过血淋巴将肝胰腺中性脂肪转移到卵巢中。王友慧等^[9]研究发现饲料蛋白含量大于26%,饲料脂肪高于6.5%时亲虾卵中营养物质积累最多。这些研究结果充分说明了脂类营养对亲虾繁殖的重要意义。本实验中饲料脂肪水平为7.89%时,抱卵率与平均抱卵量均最高,但投喂更高脂肪水平组饲料(10.48%、11.89%)反而会抑制其繁殖性能,可能是由于脂肪水平过高会降低亲虾摄食率,导致其他营养素摄入量不足,也会增加肝胰腺负担。在对细角对虾亲虾^[7]与凡纳滨对虾亲虾^[8]的脂肪需要量研究中也类似的实验结果,投喂适宜脂肪水平饲料将有利于性腺发育,而脂肪水平过高则会抑制亲虾繁殖性能。性腺指数随饲料脂肪水平先升高后减少,在7.89%处达到最大。说明饲料中适宜的脂肪水平能有效提高克氏原螯虾亲虾的繁殖性能。综合性腺指数、抱卵率以及抱卵量来看,饲料脂肪水平在7.89%时,可满足克氏原螯虾亲虾性腺发育最佳需要。

3.3 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肌肉成分与血淋巴生化指标的影响

本实验表明,随饲料脂肪水平升高,克氏原螯虾亲虾肌肉粗脂肪含量呈现先升高后降低最后趋于稳定的趋势。这与孟晶^[18]等对克氏原螯

虾研究成果相似,在中华鳖(*Pelodiscus sinensis*)^[26]中也有类似结果。饲料中的脂肪主要通过两种途径发挥生理功能,一是经消化系统脂肪酶分解为脂肪酸,其经过门脉系统进入肝脏,肝脏将其合成新的脂类物质输送到其他组织器官中,如肌肉等;二是脂肪酸直接通过血液进入各个组织中发挥其生理功能^[27]。当饲料脂肪过多时,肝脏负担过重会导致脂肪在肌肉和肝脏中沉积,当肝脏中脂肪积累到一定程度时还会诱发脂肪肝,进而影响其生长,导致饲料营养素利用率降低。本实验肌肉粗脂肪含量随饲料脂肪水平先升高,后降低趋于平台期,可能与肝胰腺负担过重,饲料脂肪利用率过低有关,也可能是有部分脂肪被用于维持卵巢发育。

血液生化指标能反映动物体内生理代谢状况,血液指标与动物营养状态、健康状态和环境条件密切相关,通常用其来解释营养素在机体代谢变化的作用机制。血液中总蛋白包含白蛋白与球蛋白,白蛋白主要功能是维持血浆胶体渗透压,而球蛋白主要参与物质运输主要是脂类与脂溶性物质运输与机体相关免疫反应^[28]。在本实验中,当饲料脂肪水平在4.12%~11.89%时,血淋巴中总蛋白含量随饲料脂肪水平升高而呈现上升趋势,各组间白蛋白含量无显著差异,说明摄入脂肪能显著提高克氏原螯虾血淋巴总蛋白含量,主要是球蛋白含量,从而增强机体脂类运输功能,改善克氏原螯虾免疫能力。血液中胆固醇用于合成新的细胞膜或细胞内细胞器膜,是机体脂肪堆积情况的反映指标,通常用其来反映动物体内脂类代谢的状况。本次实验中,血淋巴中总胆固醇含量呈现升高趋势,说明饲料脂肪水平能够调节克氏原螯虾脂肪代谢反应,加速肝胰腺中脂肪代谢分解,使饱和脂肪酸含量相对增多,提高机体总胆固醇含量。血液中ALT与AST是重要的转氨酶,通常用来反映心脏、肾、肝脏等组织健康状况,病变时组织细胞肿胀、坏死导致大量的酶释放至血液中,导致ALT与AST活性激增。本实验中,血淋巴中ALT与AST活性随饲料脂肪水平的升高而呈现上升趋势,说明高脂饲料增加了克氏原螯虾肝胰腺与心脏负担。投喂不同脂肪水平饲料各组间血淋巴GLU含量无显著性差异,鱼类中有类似结果^[29],在虾类中还鲜有报道。这可能是由于体内糖原储备充足,糖代谢

没有受到饲料脂肪水平影响, 未出现供能不足而导致的血糖水平过低等现象^[30]。

3.4 饲料脂肪水平对克氏原螯虾亲虾肝胰腺消化酶活性的影响

肝胰腺是甲壳类动物主要的营养素吸收与消化腺分泌器官, 在脂类代谢中发挥着重要作用, 在虾类摄食时, 消化酶从肝胰腺中完全排出^[31-32]。消化酶在维持机体正常代谢, 调节机体对营养元素吸收起着至关重要的作用, 进而影响生物体的生长发育。脂肪酶是一种受饲料脂肪水平影响的消化酶^[32], 动物能够通过提高自身脂肪酶的活性来适应饲料中不断增加的脂肪并提高其对脂肪的消化与吸收能力^[33]。本实验中, 脂肪酶活性随饲料脂肪水平的上升而上升, 在饲料脂肪水平达到11.89%时, 脂肪酶达到最大为32.58 U/g prot, 表明高脂饲料提高了体内分解脂肪的能力, 机体对脂肪酸的消化吸收能力有所加强。这与日本沼虾(*Macrobrachium nipponense*)^[27]结果相同。而肝胰腺中淀粉酶活性较低, 且基本无变化, 说明克氏原螯虾对糖类利用能力很差, 主要依靠饲料中提供的蛋白质与脂肪来维持生长发育、繁殖以及基础代谢所需的能量, 这与徐维娜等^[14]、斯烈钢等^[27]研究结果相同。

4 结论

克氏原螯虾的生长性能随饲料脂肪水平的增加, 呈现先升高后降低的趋势, 通过对饲料脂肪水平和增重率进行折线回归分析获得饲料脂肪需要量为7.60%; 饲料脂肪水平为7.89%时, 亲虾的繁殖性能显著提高; 随饲料脂肪水平的升高, 肝体比、血清ALT和AST活性随之升高, 表明过高脂肪水平可能影响亲虾肝胰腺健康; 综合考虑, 建议克氏原螯虾亲虾饲料适宜脂肪水平为7.60%~7.89%。

参考文献:

- [1] 李爱杰. 水产动物营养与饲料学[M]. 北京: 农业出版社, 1996: 38, 102-105.
Li A J. Aquatic Animal Nutrition and Feed Science[M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1996: 38, 102-105(in Chinese).
- [2] Izquierdo M S, Fernandez-Palacios H, Tacon A G J. Effect of broodstock nutrition on reproductive performance of fish[J]. *Aquaculture*, 2001, 197(1-4): 25-42.
- [3] 王爱民, 韩光明, 封功能, 等. 饲料脂肪水平对吉富罗非鱼生产性能、营养物质消化及血液生化指标的影响[J]. *水生生物学报*, 2011, 35(1): 80-87.
Wang A M, Han G M, Feng G N, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth performance, nutrient digestibility and blood biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2011, 35(1): 80-87(in Chinese).
- [4] 韩光明, 王爱民, 徐跑, 等. 饲料中脂肪水平对吉富罗非鱼幼鱼成活率、肌肉成分及消化酶活性的影响[J]. *上海海洋大学学报*, 2010, 19(4): 469-474.
Han G M, Wang A M, Xu P, *et al.* Effects of dietary lipid levels on growth, muscle composition and digestive enzyme activities of juvenile GIFT strain Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2010, 19(4): 469-474(in Chinese).
- [5] 王常安, 户国, 孙鹏, 等. 饲料蛋白质和脂肪水平对亚东鲑亲鱼生长性能、消化酶活性和血清指标的影响[J]. *动物营养学报*, 2017, 29(2): 571-582.
Wang C A, Hu G, Sun P, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth performance, digestive enzyme activities and serum indices of *Salmo trutta fario* broodstock[J]. *Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2017, 29(2): 571-582(in Chinese).
- [6] 刘立鹤, 陈立侨, 李康, 等. 不同脂肪源饲料对中华绒螯蟹卵巢发育与繁殖性能的影响[J]. *中国水产科学*, 2007, 14(5): 786-793.
Liu L H, Chen L Q, Li K, *et al.* Effects of dietary lipid sources on ovary development and reproduction performance of female *Eriocheir sinensis*[J]. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2007, 14(5): 786-793.
- [7] Bray W A, Lawrence A L, Lester L J. Reproduction of eyestalk-ablated *Penaeus stylirostris* fed various levels of total dietary lipid[J]. *Journal of the World Aquaculture Society*, 1990, 21(1): 41-52.
- [8] Wouters R, Piguave X, Bastidas L, *et al.* Ovarian maturation and haemolymphatic vitellogenin concentration of Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone) fed increasing levels of total dietary lipids and HUFA[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32(7): 573-582.
- [9] 王友慧, 叶金云, 陈建明, 等. 饲料蛋白和脂肪水平对

- 红螯螯亲虾生长和繁殖性能的影响[C]//第六届世界华人鱼虾营养学术研讨会论文集. 青岛: 中国水产学会, 2006: 243-248.
- Wang Y H, Ye J Y, Chen J M, *et al.* The effects of dietary protein and lipid content on growth, reproductive performance muscle and eggs composition of brood red-claw crayfish *Cherax quadricarinatus*[C]//6th Symposium of World's Chinese Scientists on Nutrition and Feeding of Finfish and Shellfish. Qingdao: Chinese Society of Fisheries, 2006: 243-248(in Chinese).
- [10] 农业农村部渔业渔政管理局. 中国渔业年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2019.
- Fisheries and Fisheries Administration Bureau of Ministry of Agriculture and Industry. China Fisheries Yearbook[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2019(in Chinese).
- [11] 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.
- Jiang Q, Wang L, Luo R X. Selection of anticoagulant to the hemolymph of *Penaeus chinensis*[J]. Journal of Fisheries of China, 2001, 25(4): 359-363(in Chinese).
- [12] 谢国驹, 蔡永祥, 徐维娜, 等. 饲料蛋白水平对日本沼虾生长、消化酶和免疫酶的影响[J]. 江苏农业学报, 2007, 23(6): 612-617.
- Xie G S, Cai Y X, Xu W N, *et al.* Effects of dietary protein levels on growth, digestive enzyme activities and immune enzyme activities of *Macrobrachium nipponense*[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2007, 23(6): 612-617(in Chinese).
- [13] 张家宏, 王守红, 寇祥明, 等. 饲料中蛋白质和脂肪水平对克氏原螯虾生长的影响研究[J]. 江西农业学报, 2012, 24(8): 88-93.
- Zhang J H, Wang S H, Kou X M, *et al.* Study on effect of dietary protein and lipid levels on growth of *Procambarus clarkii*[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2012, 24(8): 88-93(in Chinese).
- [14] 徐维娜, 刘文斌, 沈美芳, 等. 饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)生长性能、体组成和消化酶活性的影响[J]. 海洋与湖沼, 2011, 42(4): 521-529.
- Xu W N, Liu W B, Shen M F, *et al.* Effect of different dietary protein and lipid level on growth performance, body composition and digestive enzymes activities of red swamp crayfish *Procambarus clarkii*[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2011, 42(4): 521-529(in Chinese).
- [15] Jover M, Fernández-Carmona J, Del Río M C, *et al.* Effect of feeding cooked-extruded diets, containing different levels of protein, lipid and carbohydrate on growth of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*)[J]. Aquaculture, 1999, 178(1-2): 127-137.
- [16] 田娟, 文华, 郜卫华, 等. 肌醇对大规模吉富罗非鱼生长、体组成和血清指标的影响[J]. 南方水产科学, 2018, 14(2): 83-89.
- Tian J, Wen H, Gao W H, *et al.* Effect of myo-inositol on growth performance, body composition and serum biochemical indices of large size GIFT Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J]. South China Fisheries Science, 2018, 14(2): 83-89(in Chinese).
- [17] 王猛强, 郑昌区, 金敏, 等. 粗脂肪水平对2种规格凡纳滨对虾生长性能、饲料利用和非特异性免疫的影响[J]. 动物营养学报, 2014, 26(9): 2687-2697.
- Wang M Q, Zheng C Q, Jin M, *et al.* Effects of dietary crude lipid level on growth performance, feed utilization and non-specific immunity of Pacific white shrimp at two growth stages[J]. Acta Zoonutrimenta Sinica, 2014, 26(9): 2687-2697(in Chinese).
- [18] 孟晶, 王中霞, 汪海卫. 日粮脂肪水平对克氏原螯虾的生长、体组成及脂肪酸组成的影响[J]. 水产养殖, 2016, 37(7): 19-26.
- Meng J, Wang Z X, Wang H W. The effects of dietary lipid levels on the growth, body composition and fatty acid composition of *Procambarus clarkia*[J]. Journal of Aquaculture, 2016, 37(7): 19-26(in Chinese).
- [19] 何亚丁, 华雪铭, 赵朝阳, 等. 克氏原螯虾的脂肪需求量及饲料中脂肪与糖类适宜比例的研究[J]. 动物营养学报, 2013, 25(5): 1017-1024.
- He Y D, Hua X M, Zhao Z Y, *et al.* Fat requirement and optimal dietary fat to carbohydrate ratio for red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*)[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2013, 25(5): 1017-1024(in Chinese).
- [20] Lavens P, Sorgeloos P. Experiences on importance of diet for shrimp postlarval quality[J]. Aquaculture, 2000, 191(1-3): 169-176.
- [21] García-Guerrero M, Racotta I S, Villarreal H. Variation in lipid, protein, and carbohydrate content during the embryonic development of the crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae)[J]. Journal of Crustacean Biology, 2003, 23(1): 1-6.

- [22] 李铭, 董卫军, 徐加元, 等. 维生素E对克氏原螯虾生殖的影响[J]. 水产学报, 2007, 31(S1): 65-68.
Li M, Dong W J, Xu J Y, *et al.* The effect of vitamin E in diet on spawning of red swamp crayfish *Procambarus clarkii* Girard[J]. Journal of Fisheries of China, 2007, 31(S1): 65-68(in Chinese).
- [23] Wyban J, Martinez G, Sweeney J. Adding paprika to *Penaeus vannamei* maturation diet improves nauplii quality[J]. World Aquaculture, 1997, 28(2): 59-62.
- [24] 姚卫军, 黄翔鹤, 李活. 不同天然饵料对凡纳滨对虾亲虾性腺发育的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 84-88.
Yao W J, Huang X H, Li H. Effect of various natural diets on broodstock's gonad development of *Litopenaeus vannamei*[J]. Journal of Guangdong Ocean University, 2009, 29(4): 84-88(in Chinese).
- [25] Teshima S I, Kanazawa A, Horinouchi K, *et al.* Lipid metabolism in destalked prawn *Penaeus japonicus*: Induced maturation and transfer of lipid reserves to the ovaries[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1988, 54(7): 1123-1129.
- [26] 吴凡, 陆星, 文华, 等. 饲料蛋白质和脂肪水平对中华鳖生长性能、肌肉质构指标及肝脏相关基因表达的影响[J]. 淡水渔业, 2018, 48(1): 47-54.
Wu F, Lu X, Wen H, *et al.* Effects of different protein and lipid levels on the growth performance, muscle textural parameters, and genes expression in liver of *Pelodiscus sinensis*[J]. Freshwater Fisheries, 2018, 48(1): 47-54(in Chinese).
- [27] 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.
Wang C M, Luo L, Zhang G Z, *et al.* Effect of dietary lipid level on growth performance, body composition and antioxidant capacity of juvenile Chinese sucker (*Myxocyprinus asiaticus*)[J]. Freshwater Fisheries, 2010, 40(5): 47-53(in Chinese).
- [28] Lermen C L, Lappe R, Crestani M, *et al.* Effect of different temperature regimes on metabolic and blood parameters of silver catfish *Rhamdia quelen*[J]. Aquaculture, 2004, 239(1-4): 497-507.
- [29] Chatzifotis S, Panagiotidou M, Papaioannou N, *et al.* Effect of dietary lipid levels on growth, feed utilization, body composition and serum metabolites of meagre (*Argyrosomus regius*) juveniles[J]. Aquaculture, 2010, 307(1-2): 65-70.
- [30] Zhou M, Wang A L, Xian J A. Variation of free amino acid and carbohydrate concentrations in white shrimp, *Litopenaeus vannamei*: Effects of continuous cold stress[J]. Aquaculture, 2011, 317(1-4): 182-186.
- [31] Ong B L, Johnston D. Influence of feeding on hepatopancreas structure and digestive enzyme activities in *Penaeus monodon*[J]. Journal of Shellfish Research, 2006, 25(1): 113-121.
- [32] Aliyu-Paiko M, Hashim R, Shu-Chien A C. Influence of dietary lipid/protein ratio on survival, growth, body indices and digestive lipase activity in Snakehead (*Channa striatus*, Bloch 1793) fry reared in recirculating water system[J]. Aquaculture Nutrition, 2010, 16(5): 466-474.
- [33] 曾本和, 廖增艳, 吴双, 等. 饲料脂肪水平对大鳞副泥鳅幼鱼生长性能、消化酶活性及抗氧化能力的影响[J]. 动物营养学报, 2016, 28(4): 1105-1113.
Zeng B H, Liao Z Y, Wu S, *et al.* Effects of dietary lipid level on growth performance, digestive enzyme activities and antioxidant ability of juvenile *paramisgurnus dabryanus*[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2016, 28(4): 1105-1113(in Chinese).

Effects of dietary lipid levels on growth performance, muscle composition, reproductive performance and hemolymph biochemical indices of *Procambarus clarkii* broodstock

PENG Di^{1,2}, CHEN Xiaoru^{3*}, WEN Hua^{2*}, WU Fan², LU Xing², TIAN Juan²,
LIU Wei², JIANG Ming², YU Lijuan², ZHANG Lu³, LI Shuyun³

(1. College of Fisheries, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Yangtze River Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

3. Tongwei Co., Ltd., Healthy Aquaculture Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract: The objective of this study was to assess the optimal dietary lipid requirement of red swamp crayfish broodstock (*Procambarus clarkia*). In present study, 324 crayfish with average initial body weight of (15.46±0.20) g were randomly divided into 6 groups with 3 replicates of 18 crayfish in each replicate. Crayfish in each group were hand-fed a semi-purified diets containing different lipid levels [1.98% (control group), 4.12%, 4.98%, 7.89%, 10.48% and 11.89%] for 8 weeks. At the end of feeding trial, growth performance, muscle composition, reproductive performance, activities of digestive enzyme in hepatopancreas, and hemolymph biochemical indexes were measured. The results showed as follow, 1) as dietary lipid level increasing, the weight gain rate (WGR) and specific growth rate (SGR) of crayfish broodstock increased at first and then decreased. The feed conversion ratio (FCR) and hepatosomatic index (HSI) showed a increase trend, and were highest in 11.89% group. 2) The dietary lipid levels did not significantly affect the muscle moisture and ash contents. The lipid content of the muscle gradually increased as dietary lipid level increasing, and then tended to decrease, and was highest in 5.84% group. 3) With the increase of lipid levels, gonad index, egg-carrying rate and egg carrying capacity of crayfish broodstock were increased at first and then decreased; all of them in 7.89% group were highest. 4) The total protein (TP) content of haemolymph trended to decrease as dietary lipid level increasing. Alanine aminotransferase (ALT) activity and aspartate aminotransferase (AST) activity in haemolymph significantly increased as dietary lipid level increasing, both of them in 11.89% group was highest. The dietary lipid level did not significantly affect the glucose content of haemolymph. 5) The dietary lipid level significantly affected the activities of hepatopancreas protease and lipase, but not amylase activities. Broken-line regression analysis using WGR as response criteria shows that the optimal requirement of dietary lipid for red swamp crayfish broodstock is 7.60%. The comprehensive analysis of growth performance, muscle composition, reproductive performance, activities of digestive enzyme in liver, and hemolymph biochemical indexes showed that appropriate lipid level for red swamp crayfish broodstock was 7.60%~7.89% under this trial condition.

Key words: *Procambarus clarkia* broodstock; lipid; growth performance; reproductive performance; hemolymph biochemical indices

Corresponding author: CHEN Xiaoru. E-mail: CHENXR@tongwei.com; WEN Hua. E-mail: wenhua.hb@163.com

Funding projects: Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund CAFS (2018HY-ZD04); Key Research and Development Project of Sichuan Province (2018NZ0152); Industry-university-research cooperation of Tongwei Co. Project (TW2018I001)