

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*

徐维娜¹ 刘文斌^{1①} 沈美芳² 王莹¹ 朱杰¹
徐刚¹ 程龙¹

(1. 南京农业大学动物科学技术学院 江苏省水产动物营养重点实验室 南京 210095;
2. 江苏省淡水水产研究所 南京 210017)

提要 采用 3×3 因子方法, 进行了饲料中不同蛋白质和脂肪水平对克氏螯虾[均重(7.03±0.05)g] 生长性能、体组成和消化酶活性的影响研究。试验设 3 个蛋白质水平(24%、27%和 30%)和 3 个脂肪水平(4%、7%和 10%), 共 9 组, 每组 4 个重复, 每个重复 10 尾虾, 为期 8 周。结果表明, 蛋白质和脂肪水平对成活率无显著影响($P>0.05$), 增重率和特定生长率显著受脂肪水平影响($P<0.05$)。10%脂肪组的增重率及特定生长率显著低于 4%和 7%脂肪组($P<0.05$)。饲料中蛋白质水平对全虾的干物质、蛋白和灰分含量, 肌肉蛋白和脂肪含量有显著影响($P<0.05$)。饲料中脂肪水平对全虾和肌肉脂肪含量有显著影响($P<0.05$)。饲料蛋白水平和脂肪水平分别显著影响肠道及肝胰脏中蛋白酶活性和脂肪酶活性($P<0.05$)。综上所述, 建议克氏螯虾成虾前期饲料的蛋白质水平以 27%左右, 脂肪水平以 4%—7%为宜。

关键词 饲料蛋白, 饲料脂肪, 生长性能, 体组成, 消化酶, 克氏螯虾
中图分类号 S966

克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)近年来天然资源锐减, 由自然生长转化为人工养殖(罗文等, 2005), 并且养殖规模越来越大, 对人工饲料要求也越迫切。目前主要以投喂天然饵料——小鱼虾、螺蚌肉、蚯蚓、蚕蛹等动物性饲料为主, 适当搭配玉米、小麦、豆饼、麸皮等单一饲料或加工成糊状饲料。而人工配合饲料使用很少, 即便使用也均是以其它虾蟹饲料替代, 从而造成克氏螯虾在养殖过程中营养素摄入不均衡, 导致虾体生长迟缓、抗病力低下和肉品质降低等, 这些问题严重影响和制约了我国克氏螯虾规模化和健康化养殖。

国内关于克氏螯虾营养需要量的研究报道较少,

并多集中在 2g 左右的幼虾阶段, 缺乏不同生长阶段克氏螯虾对各营养素需要量的基础数据, 没有统一的标准可循(周萌等, 2010)。此外, 国外相关研究由于养殖模式和饲料原料品种有所不同, 研究结果营养水平变化范围较大或结果相矛盾, 很难进行比较分析(Joaquin *et al*, 2001; Jover *et al*, 1999; Aclefors *et al*, 1992)。以上研究结果在实际养殖过程中可参考性较低, 无法适应我国目前的养殖现状。

本研究在已有的研究基础上, 通过考察虾生长性能、体组成和组织中消化酶活性等方面指标综合探讨成虾前期(7g)克氏螯虾人工配合饲料适宜蛋白质及脂肪水平, 旨在进一步完善和补充不同生长阶段克

* 江苏省水产三项工程——克氏螯虾主要营养素需求研究及在配合饲料中的应用, PJ2010-56 号; 公益性行业(农业)科研专项——克氏原螯虾产业技术研究与试验示范, 201003070 号。徐维娜, 博士后, E-mail: xuweina@njau.edu.cn

① 通讯作者: 刘文斌, 教授, 博士生导师, E-mail: wblu@njau.edu.cn

收稿日期: 2010-10-29, 收修改稿日期: 2010-12-30

氏螯虾对饲料中主要营养元素的需求量,更好地指导实际生产。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用克氏螯虾(*Procambarus clarkii*)购自江苏盱眙金康达养殖基地,平均体重 7g 左右,体质健康。试验在江苏省淡水水产研究所禄口养殖基地进行。

1.2 试验设计与试验饲料

试验设 3 个蛋白水平(24%、27%、30%), 3 个脂肪水平(4%、7%、10%), 共 9 组, 每组设 4 个重复, 每个重复 10 尾虾。试验饲料配方及营养成分含量见表 1。饲料原料经粉碎过 60 目筛, 逐级混匀后加水搅拌,

用小型绞肉机制成颗粒为 2mm 的颗粒, 自然晾干并在 4℃冰箱中保存。

1.3 试验管理

试验用克氏螯虾驯化一周后, 选取体格健康、无畸形、平均体重(7.03±0.05)g 的虾 432 尾, 随机投放于 36 个网箱(60×60×60cm, 长×宽×高), 每箱 10 尾(雌:雄=1:1)。试验用水为过滤室外池塘水, 网箱置于室外水泥池中, 水深 40cm, 水温为 27—33℃, pH 在 7.0—7.5 之间, 氨氮低于 5mg/L, 溶氧大于 3.8mg/L, 养殖期间微流水并不间断充氧。日投饵量为虾体重的 5.0%—3.5%, 投喂量根据气温及天气情况调整, 每天投喂 3 次, 投饵时间分别为 06:30、12:30 和 18:30, 发现死虾立即捞出并称重, 试验期为 8 周。

表 1 试验饲料配方及营养水平
Tab.1 Ingredients and proximate composition of experimental diets

日粮	P24L4	P24L7	P24L10	P27L4	P27L7	P27L10	P30L4	P30L7	P30L10
饲料配方(%)									
鱼粉	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
豆粕	15.58	17.13	18.67	24.83	26.37	27.91	34.07	35.61	37.15
菜粕	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
棉粕	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
次粉	49.52	44.83	40.15	39.75	35.07	30.40	30.00	25.32	20.64
豆油	1.80	4.94	8.08	1.82	4.96	8.09	1.83	4.97	8.11
磷酸二氢钙	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
食盐	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
多维多矿预混料 ¹⁾	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
α-淀粉	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
虾糠粉	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
脱壳素预混料	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
羧甲基纤维素钠	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
营养成分(wt.%)									
干物质	90.85	89.13	91.47	89.80	91.08	91.86	89.75	91.11	91.73
粗蛋白	24.06	24.03	24.04	27.00	27.03	27.02	30.08	30.07	30.10
粗脂肪	4.04	7.17	10.04	4.06	7.16	10.05	4.07	7.14	10.07
粗纤维	6.48	6.31	6.15	6.45	6.28	6.12	6.42	6.25	6.09
灰分	7.31	7.11	7.21	7.61	7.50	7.64	7.88	7.94	7.92
无氮浸出物	48.96	44.51	44.03	44.68	43.11	41.03	41.3	39.71	37.55
总能 ²⁾	18.34	18.37	19.35	19.12	19.10	19.72	18.52	19.00	19.65
蛋/能比 ³⁾	13.12	13.08	12.42	14.12	14.15	13.70	16.24	15.83	15.32
可消化能 ⁴⁾	13.71	14.14	15.14	13.49	14.40	15.14	13.46	14.34	15.08
蛋白质/可消化能比 ⁵⁾	17.55	17.00	15.88	20.01	18.77	17.85	22.35	20.97	19.96

注: 1) 每千克预混料中含维生素: 维生素 A 900000IU, 维生素 D 200000IU, 维生素 E 4500mg, 维生素 K₃ 220mg, 维生素 B₁ 320mg, 维生素 B₂ 1090mg, 维生素 B₅ 2000mg, 维生素 B₆ 500mg, 维生素 B₁₂ 1.6mg, 维生素 C 5000mg, 泛酸 1000mg, 叶酸 165mg, 胆碱 60000mg。每千克预混料中含矿物质: 硫酸铜 2.0g, 硫酸铁 25g, 硫酸锌 22g, 硫酸锰 7g, 亚硒酸钠 0.04g, 碘化钾 0.026g, 氯化钴 0.1g。
2) 单位: kJ/g。3) 单位: g 蛋白/MJ。4) 可消化能计算公式: 16.7kJ/g 蛋白和碳水化合物 + 37.6kJ/g 粗脂肪(Jover *et al*, 1999)。5) 单位: g 蛋白/MJ

1.4 样品处理及指标测定

1.4.1 生长性能测定 试验在第 28 天和第 56 天, 分别对各个网箱中的虾计数, 称重, 并计算成活率、增重率、特定生长率。计算公式如下:

成活率($SR, \%$) = $100(N_f / N_i)$, 其中 N_f 为试验末期虾成活数, N_i 为试验初期虾成活数;

增重率($WG, \%$) = $100[(W_f - W_i) / W_i]$, 其中 W_f 为末期虾体重, W_i 为试验初期虾体重;

特定生长率(SGR)($\%/d$) = $100(\ln W_f - \ln W_i) / T$, 其中 W_f 试验末期虾体重, W_i 为试验初期虾体重, T 为试验周期。

1.4.2 组织营养成分测定 试验 8 周结束后, 另取肝胰腺、肌肉和肠道, 用生理盐水冲洗后用滤纸吸去组织样品表面的水分, 放入冻存管中置于液氮中保存, 用于营养成分和相关酶活性的测定分析。

将饲料和肌肉样品称重后置于培养皿中, 先在 65°C 烘箱中制成风干样, 再在 $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的烘箱中烘至恒重得到水分含量。粗蛋白($N \times 6.25$)含量采用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260, 瑞士)测定; 粗脂肪含量采用索氏抽提法测定; 将样品置于电炉上碳化后, 在马福炉中于 $(550 \pm 20)^\circ\text{C}$ 下灼烧 5h 后测得样品粗灰分含量; 粗纤维含量采用纤维分析仪(ANKOM A2000i, 美国)测定; 样品总能采用氧弹测热仪(Parr 1281, 美国)测定。

1.4.3 组织消化酶活性测定 取肝胰腺和肠道并称重, 分别加入 9 倍体积(W/V)的 4°C 的去离子水, 玻璃匀浆器(冰浴)匀浆, 制成匀浆液, 以 4000r/min 转速离心 10min(4°C), 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驷等(2007), 并作调整, 在试管中加入 0.5%干酪素 2ml, 0.04mol/L EDTA- Na_2 0.1ml, 0.2mol/L 柠檬酸缓冲液($\text{pH}=3.0$) 0.4ml, 酶液 0.4ml, 加入重蒸水 0.6ml, 使总体积为 3.5ml, 混匀, 置于 37°C 水浴中反应 15min, 然后加入 30%的三氯醋酸 1ml 终止反应, 3600r/min 离心 15min 取上清液 1ml 加 0.4mol/L 碳酸钠溶液 5ml, 并加入福林酚试剂乙 1ml 摇匀, 在 37°C 恒温水浴中显色 20min, 用 721 型分光光度计在波长 680nm 处比色, 与标准曲线对照测出酪氨酸生成量, 以每分钟水解干酪素所产生的 $1\mu\text{g}$ 酪氨酸作为一个活性单位。淀粉酶活性测定采用碘-淀粉比色法, 单位定义为 100ml 血清中的 AMS, 在 37°C 与底物作用 30min, 水解 10mg 淀粉为 1 个单位。脂肪酶活性单位(U)为在 27°C 条件下, 每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应

1min, 每消耗 $1\mu\text{mol}$ 底物。酶样蛋白含量测定采用考马斯亮兰法。淀粉酶、脂肪酶活性采用南京建成生物工程研究所提供的试剂盒检测。

1.5 数据分析

试验数据用平均数 $\pm$ 标准误(Mean $\pm$ SE)表示, 用 SPSS16.0 统计软件包先进行方差齐性分析, 以日粮蛋白脂肪比水平为主要影响因子, 进行二元方差分析(two-way ANOVA), 采用 S2N2K 检验。数据差异显著时采用 Duncan 氏检验进行多重比较, 标注各组差异性。

2 结果与分析

2.1 饲料中不同蛋白和脂肪水平对克氏螯虾生长性能的影响

由表 2 结果可见, 饲料脂肪水平对克氏螯虾的生长性能有显著影响($P<0.05$), 饲料蛋白水平对克氏螯虾的生长性能无显著影响($P>0.05$), 且饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P>0.05$)。克氏螯虾中期(28d)生长性能和末期(56d)的变化趋势一致, 增重率与特定生长率随着各组饲料中蛋白含量的增加($P>0.05$), 但是随着饲料中脂肪含量的增加而降低($P<0.05$)。饲料 P24L4、P27L4 和 P30L4 组, 克氏螯虾第 56 天的增重率和特定生长率最高, 饲料 P24L10 组的增重率和特定生长率最低($P<0.05$)。各组克氏螯虾的成活率无显著差异($P>0.05$), 中期成活率在 95%以上, 末期的成活率在 90%以上。

2.2 不同蛋白和脂肪水平对克氏螯虾营养成分的影响

克氏螯虾全虾、肌肉和肝胰脏营养成分见表 3、表 4 和表 5。如表 3 所示, 饲料蛋白质水平对全虾中干物质(DM)、蛋白(CP)和灰分(Ash)含量有显著影响($P<0.05$), 饲料脂肪水平对全虾中脂肪(EF)含量有显著影响($P>0.05$), 但饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P>0.05$)。27%蛋白质组的干物质和灰分含量高于 24%和 30%蛋白组, 而 30%蛋白组的蛋白和脂肪含量高于其它两组。饲料脂肪水平为 7%时, 全虾脂肪含量最高。饲料 P27L7 组全虾的干物质和灰分含量较其它各组最高($P<0.05$), 蛋白含量最低($P<0.05$), 且脂肪含量也比较低。P30L7 组全虾干物质和灰分含量较其它各组最低($P<0.05$), 蛋白含量最($P<0.05$), 且蛋白含量也较高。

如表 4 所示, 饲料蛋白质水平对肌肉干物质含量无显著影响($P>0.05$), 对肌肉蛋白和脂肪含量有显著影响($P<0.05$); 饲料脂肪水平对肌肉干物质和蛋白含

表 2 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾的增重率、特定生长率和成活率($n=4$)Tab.2 Weight gain, specific growth rate and survival ratio of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels ($n=4$)

日粮(蛋白/可消化能)	增重率(28d, %)	增重率(56d, %)	特定生长率(28d, %)	特定生长率(56d, %)	成活率(28d, %)	成活率(56d, %)
P24L4(17.55)	84.22±5.75 ^{ab}	134.50±9.659 ^a	2.17±0.11 ^{ab}	1.52±0.07 ^a	95.00±5.00	85.00±2.89 ^a
P24L7(17.00)	73.82±5.87 ^b	124.00±9.159 ^{ab}	1.97±0.12 ^b	1.43±0.07 ^{ab}	100.00±0.00	92.50±4.79 ^{ab}
P24L10(15.88)	73.46±7.97 ^b	115.44±6.479 ^b	1.95±0.16 ^b	1.37±0.05 ^b	100.00±0.00	92.50±6.29 ^{ab}
P27L4(20.01)	83.18±3.43 ^{ab}	140.45±9.979 ^a	2.16±0.07 ^{ab}	1.56±0.07 ^a	100.00±0.00	95.00±5.00 ^{ab}
P27L7(18.77)	81.62±2.89 ^{ab}	130.48±11.711 ^{ab}	2.13±0.06 ^{ab}	1.48±0.09 ^{ab}	97.50±2.50	95.00±2.89 ^{ab}
P27L10(17.85)	75.52±0.85 ^{ab}	120.09±4.907 ^{ab}	2.18±0.17 ^{ab}	1.41±0.04 ^{ab}	97.50±2.50	90.00±5.77 ^{ab}
P30L4(22.35)	89.05±7.62 ^a	138.05±18.199 ^a	2.26±0.15 ^a	1.53±0.14 ^a	95.00±2.89	92.50±4.79 ^{ab}
P30L7(20.97)	84.21±1.86 ^{ab}	130.11±3.891 ^{ab}	2.18±0.04 ^{ab}	1.49±0.03 ^{ab}	100.00±0.00	95.00±2.89 ^{ab}
P30L10(19.96)	76.78±3.71 ^{ab}	126.49±3.616 ^{ab}	2.03±0.08 ^{ab}	1.46±0.02 ^{ab}	100.00±4.08	100.00±4.08 ^b
蛋白质水平(%)						
24	77.17±3.06	124.65±5.58	2.04±0.06	1.44±0.04	98.33±1.52	90.00±2.62
27	80.26±2.94	130.34±5.58	2.10±0.05	1.48±0.04	98.33±1.52	93.33±2.62
30	83.34±2.65	131.55±5.58	2.16±0.05	1.49±0.04	98.33±1.52	95.83±2.62
脂肪水平(%)						
4	85.48±2.98	137.66±5.58	2.20±0.06	1.54±0.04	96.67±1.52	90.83±2.62
7	79.88±2.80	128.20±5.58	2.09±0.05	1.47±0.04	99.17±1.52	94.17±2.62
10	75.25±2.94	120.67±5.58	2.00±0.06	1.41±0.04	99.17±1.52	94.17±2.62
One way ANOVA						
蛋白质	0.329	0.651	0.327	0.647	1.000	0.303
脂肪	0.048	0.036	0.072	0.032	0.418	0.589
交互作用	0.905	0.992	0.907	0.983	0.478	0.572

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著($P>0.05$)表 3 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾全虾营养成分($n=4$)Tab.3 Whole-body proximate composition of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels ($n=4$)

日粮(蛋白/可消化能)	干物质(%)	蛋白(%)	脂肪(%)	灰分(%)
P24L4(17.55)	33.33±1.03 ^{ab}	40.27±1.07 ^a	10.35±0.59 ^{ac}	32.54±0.91 ^{abc}
P24L7(17.00)	30.95±0.57 ^{ab}	40.27±0.67 ^a	8.06±0.98 ^a	33.44±1.74 ^{ac}
P24L10(15.88)	30.19±1.96 ^a	40.52±1.99 ^a	9.23±1.12 ^{ac}	32.00±2.47 ^{abc}
P27L4(20.01)	33.27±1.49 ^{ab}	41.02±0.61 ^a	7.89±1.17 ^a	33.06±2.30 ^{ac}
P27L7(18.77)	34.66±0.95 ^b	36.79±1.13 ^a	7.52±2.42 ^a	35.14±1.64 ^a
P27L10(17.85)	33.27±0.83 ^{ab}	38.42±1.44 ^a	9.11±1.29 ^{ac}	34.85±1.41 ^a
P30L4(22.35)	32.13±0.97 ^{ab}	40.68±1.49 ^a	6.05±1.78 ^b	33.79±3.17 ^{ac}
P30L7(20.97)	29.92±2.81 ^a	45.31±2.98 ^b	10.30±2.05 ^{ac}	27.29±1.53 ^b
P30L10(19.96)	29.78±1.34 ^a	41.22±1.41 ^{ab}	13.02±0.96 ^c	29.15±1.36 ^{bc}
蛋白质水平(%)				
24	31.49±0.86	40.35±0.91	9.22±0.83	32.66±1.13
27	33.73±0.85	38.74±0.91	8.17±0.83	34.35±1.13
30	30.61±0.85	42.40±0.91	9.79±0.87	30.08±1.12
脂肪水平(%)				
4	32.91±0.86	40.65±0.91	8.10±0.83	33.13±1.12
7	31.84±0.86	40.79±0.91	8.63±0.87	31.96±1.12
10	31.08±0.85	40.05±0.91	10.46±0.83	32.00±1.13
One way ANOVA				
蛋白质	0.045	0.029	0.400	0.039
脂肪	0.329	0.834	0.027	0.708
交互作用	0.682	0.107	0.080	0.220

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著($P>0.05$)

量无显著影响($P>0.05$), 对肌肉脂肪含量有显著影响($P<0.05$), 且饲料中蛋白质和脂肪之间交互作用存在($P=0.035$)。肌肉蛋白含量随饲料中蛋白水平的增加而增加, 24%蛋白组的肌肉蛋白含量最低。27%蛋白组和4%脂肪组的肌肉脂肪含量分别高于其它两组。各组肌肉干物质含量无显著性差异($P>0.05$); 饲料 P27L7 和 P30L7 组的肌肉蛋白含量显著高于 P24L10 组($P<0.05$); P27L4 组和 P27L10 中肌肉脂肪显著高于 P27L7 和 P30L10 组。

如表 5 所示, 饲料脂肪水平对肝胰脏干物质含量有显著影响($P<0.05$), 饲料蛋白和脂肪水平对肝胰脏蛋白和脂肪含量均无显著影响($P>0.05$), 且饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P=0.035$)。饲料 27%蛋白组的肝胰脏干物质含量最低, 30%蛋白组的蛋白含量最低而脂肪含量最高, 且脂肪水平随着饲料中蛋白水平的增加而增加。肝胰脏干物质和脂肪含量随着饲料脂肪水平的增加而增加, 10%脂肪组的肝胰脏干物质、蛋白和脂肪含量均高于其它两组。饲料 P30L10 组中干物质含量显著高于 P24L4、P27L4、

P27L7、P30L4 和 P30L7 组($P<0.05$); P24L10 组中蛋白含量显著高于 P30L10 组($P<0.05$); P27L7、P30L7 和 P30L10 组中脂肪含量显著高于 P24L7 组($P<0.05$), 其它各组无显著差异($P>0.05$)。

2.3 不同蛋白和脂肪水平对克氏螯虾组织消化酶活性的影响

饲料中蛋白脂肪比对淀粉酶、脂肪酶、蛋白酶活性的影响如表 6 和表 7 所示。饲料蛋白和脂肪水平对肠道蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶活性均无均无显著影响($P>0.05$), 且饲料中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在($P>0.05$)。肠道蛋白酶和脂肪酶活性随着饲料中蛋白水平的增加而增加的趋势; 30%蛋白组中肠道蛋白酶、脂肪酶和淀粉酶活性最高。7%脂肪组的肠道三种酶的活性均较低。饲料 P30L4 和 P30L7 组中蛋白酶活性显著高于 P24L7 组($P<0.05$); P30L10 组脂肪酶活性显著高于 P24L7、P27L7 和 P30L4 组($P<0.05$)。各组淀粉酶活性无显著性差异($P>0.05$)。

如表 7 所示, 饲料蛋白和脂肪水平对肝胰脏蛋白酶和淀粉酶活性均无均无显著影响($P>0.05$), 且饲料

表 4 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾肌肉营养成分($n=4$)
Tab.4 Muscle proximate composition of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels ($n=4$)

日粮(蛋白/可消化能)	干物质(%)	蛋白(%)	脂肪(%)
P24L4(17.55)	76.72±0.93	19.94±0.35 ^{ab}	1.72±0.25 ^{bc}
P24L7(17.00)	75.35±0.13	19.82±0.67 ^{ab}	1.75±0.19 ^{bc}
P24L10(15.88)	75.36±0.22	19.62±0.46 ^b	2.09±0.35 ^{abc}
P27L4(20.01)	75.29±0.44	19.97±0.41 ^{ab}	2.68±0.30 ^a
P27L7(18.77)	75.63±0.47	21.16±0.55 ^a	1.67±0.26 ^c
P27L10(17.85)	75.77±0.54	20.65±0.28 ^{ab}	2.85±0.28 ^a
P30L4(22.35)	74.97±0.31	20.47±0.29 ^{ab}	2.60±0.41 ^{ab}
P30L7(20.97)	75.36±0.29	21.10±0.19 ^a	1.73±0.12 ^{bc}
P30L10(19.96)	75.05±0.52	20.29±0.35 ^{ab}	1.50±0.61 ^c
蛋白质水平(%)			
24	75.81±0.27	19.79±0.24	1.85±0.16
27	75.60±0.27	20.59±0.24	2.40±0.16
30	75.13±0.27	20.62±0.24	1.94±0.16
脂肪水平(%)			
4	75.67±0.27	20.13±0.24	2.33±0.16
7	75.45±0.27	20.70±0.23	1.72±0.16
10	75.39±0.27	20.19±0.23	2.15±0.16
One way ANOVA			
蛋白质	0.203	0.037	0.050
脂肪	0.746	0.210	0.037
交互作用	0.208	0.553	0.035

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著($P>0.05$)

表 5 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾肝胰脏营养成分(n=4)
Tab.5 Hepatopancreas proximate composition of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels (n=4)

日粮(蛋白/可消化能)	干物质(%)	蛋白(%)	脂肪(%)
P24L4(17.55)	46.93±5.04 ^a	7.90±0.39 ^{ab}	26.49±2.21 ^{ab}
P24L7(17.00)	53.70±1.32 ^{ab}	7.79±0.31 ^{ab}	20.47±3.98 ^a
P24L10(15.88)	52.88±2.51 ^{ab}	9.55±1.44 ^a	25.99±2.06 ^{ab}
P27L4(20.01)	45.93±3.72 ^a	8.65±0.22 ^{ab}	25.21±5.15 ^{ab}
P27L7(18.77)	48.81±4.63 ^a	8.40±1.03 ^{ab}	28.72±5.70 ^b
P27L10(17.85)	53.20±1.65 ^{ab}	8.19±0.52 ^{ab}	25.29±2.37 ^{ab}
P30L4(22.35)	48.56±1.87 ^a	8.32±0.17 ^{ab}	25.01±2.52 ^{ab}
P30L7(20.97)	48.30±2.82 ^a	8.09±0.30 ^{ab}	29.32±1.77 ^b
P30L10(19.96)	59.27±2.52 ^b	7.27±0.24 ^b	30.58±4.73 ^b
蛋白质水平(%)			
24	51.17±3.06	8.42±0.359	24.32±2.11
27	49.31±2.94	8.41±0.379	26.41±2.11
30	52.04±2.65	7.90±0.359	28.31±2.12
脂肪水平(%)			
4	47.14±2.98	8.29±0.359	25.57±2.12
7	50.27±2.80	8.09±0.379	26.17±2.12
10	55.11±2.94	8.30±0.359	27.29±2.12
One way ANOVA			
蛋白质	0.563	0.517	0.424
脂肪	0.015	0.886	0.845
交互作用	0.479	0.195	0.538

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著(P>0.05)

中蛋白质和脂肪之间无交互作用存在(P>0.05)。饲料脂肪水平对肝胰脏脂肪酶活性有显著影响(P<0.05), 且饲料中蛋白质和脂肪之间有交互作用存在(P<0.05)。24%蛋白组的肝胰脏蛋白酶和脂肪酶活性较高; 10%脂肪组中的三种酶活性均较高。饲料 P30L10 组中蛋白酶活性显著高于 P27L7 组(P<0.05); P24L4 和 P30L10 组中脂肪酶活性显著高于 P24L7、P27L4 和 P30L7 组(P<0.05); 各组淀粉酶活性无显著性差异(P>0.05)。

3 讨论

3.1 饲料中蛋白脂肪水平对克氏螯虾生长性能的影响

目前, 在国内克氏螯虾的养殖中主要以投喂天然饵料等动物性饲料为主, 适当搭配玉米、小麦、豆粕、麸皮等单一饲料或加工成糊状饲料, 人工配合饲料使用很少, 或以其它虾蟹饲料替代, 从而造成克氏螯虾在养殖过程中营养素摄入不均衡。蛋白质是多细胞动物生长所需的关键和基础营养物质之一, 也是占饲料成本的比例最大的原料之一。早期的关于螯虾的研究主要集中在对蛋白质的需求量, 并认为蛋白

质是影响克氏螯虾生长的主要因素(Aclefors *et al*, 1992)。Rodríguez-González 等(2006)研究表明, 日粮蛋白水平为 32%是克氏螯虾雌虾的最佳蛋白需求量。Cortés-Jacinto 等(2003)认为红螯螯虾幼虾的适宜蛋白需求量为 31%。除了蛋白质营养, 饲料中的脂肪不但可以给鱼类提供生长所必需的脂肪酸、促进脂溶性维生素的吸收还是主要的能量供应物质。饲料中添加适宜的脂肪对虾的生长、体质及肉品质均有显著的影响。Akiyama(1991)研究报道草虾饲料中脂肪适宜水平为 6%—7.5%, 最高不超过 10%。

在本试验中, 作者应用正交试验方法, 以鱼粉和豆粕作为饲料主要蛋白源, 探讨克氏螯虾成虾前期适宜蛋白和脂肪需求量。研究结果表明, 饲料蛋白水平在 27%—30%, 饲料脂肪水平为 4%, 克氏螯虾表现出良好的生长性能, 且成活率维持在 90%以上。吴东等(2007)试验表明饲料中蛋白含量为 27%和 33%克氏螯虾的生长性能和肉品质较好, 但是在其试验中各组虾的成活率较低, 仅在 65%左右, 说明其试验饲料营养不均衡, 导致虾的成活率较低。本试验虽然没有测定饲料中氨基酸的含量或测定螯虾对营养物质

表 6 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾肠道消化酶活性($n=4$)Tab.6 Intestinal tract digestive enzymes activities of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels ($n=4$)

日粮(蛋白/可消化能)	蛋白酶(U/ μ g)	脂肪酶(U/g port)	淀粉酶(U/g prot)
P24L4(17.55)	80.91 $\pm$ 5.64 ^{ab}	27.00 $\pm$ 5.67 ^{ab}	0.64 $\pm$ 0.04
P24L7(17.00)	71.23 $\pm$ 2.67 ^a	19.84 $\pm$ 5.93 ^a	0.53 $\pm$ 0.02
P24L10(15.88)	83.64 $\pm$ 5.52 ^{ab}	21.87 $\pm$ 4.24 ^{ab}	0.61 $\pm$ 0.04
P27L4(20.01)	78.81 $\pm$ 4.48 ^{ab}	25.91 $\pm$ 1.55 ^{ab}	0.56 $\pm$ 0.02
P27L7(18.77)	75.20 $\pm$ 4.05 ^{ab}	18.70 $\pm$ 4.91 ^a	0.59 $\pm$ 0.05
P27L10(17.85)	83.89 $\pm$ 3.97 ^{ab}	26.20 $\pm$ 7.90 ^{ab}	0.60 $\pm$ 0.03
P30L4(22.35)	97.83 $\pm$ 9.07 ^b	14.40 $\pm$ 5.42 ^a	0.73 $\pm$ 0.18
P30L7(20.97)	96.48 $\pm$ 1.54 ^b	22.38 $\pm$ 2.08 ^{ab}	0.70 $\pm$ 0.07
P30L10(19.96)	90.52 $\pm$ 5.59 ^{ab}	37.04 $\pm$ 2.15 ^b	0.63 $\pm$ 0.02
蛋白质水平(%)			
24	78.60 $\pm$ 6.70	22.90 $\pm$ 3.54	0.60 $\pm$ 0.041
27	79.30 $\pm$ 6.69	23.60 $\pm$ 4.68	0.58 $\pm$ 0.041
30	94.94 $\pm$ 7.72	24.61 $\pm$ 5.13	0.69 $\pm$ 0.041
脂肪水平(%)			
4	85.85 $\pm$ 6.68	22.43 $\pm$ 5.57	0.644 $\pm$ 0.041
7	80.97 $\pm$ 6.68	21.31 $\pm$ 4.19	0.607 $\pm$ 0.041
10	86.02 $\pm$ 7.72	28.37 $\pm$ 3.63	0.616 $\pm$ 0.041
One way ANOVA			
蛋白质	0.029	0.993	0.172
脂肪	0.841	0.039	0.798
交互作用	0.964	0.567	0.743

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著($P>0.05$)表 7 饲喂不同日粮蛋白和脂肪水平克氏螯虾肝胰脏消化酶活性($n=4$)Tab.7 Hepatopancreas digestive enzymes activities of crayfish fed with different dietary protein and lipid levels ($n=4$)

日粮(蛋白/可消化能)	蛋白酶(U/ μ g)	脂肪酶(U/g port)	淀粉酶(U/g prot)
P24L4(17.55)	63.66 $\pm$ 4.30 ^{ab}	32.78 $\pm$ 5.62 ^a	0.58 $\pm$ 0.03
P24L7(17.00)	61.84 $\pm$ 5.99 ^{ab}	18.34 $\pm$ 0.78 ^b	0.60 $\pm$ 0.03
P24L10(15.88)	61.82 $\pm$ 6.34 ^{ab}	27.51 $\pm$ 3.52 ^{ac}	0.55 $\pm$ 0.05
P27L4(20.01)	58.20 $\pm$ 6.13 ^{ab}	15.92 $\pm$ 0.36 ^b	0.53 $\pm$ 0.04
P27L7(18.77)	51.41 $\pm$ 2.43 ^b	29.67 $\pm$ 4.20 ^{ac}	0.47 $\pm$ 0.01
P27L10(17.85)	64.47 $\pm$ 2.22 ^{ab}	23.00 $\pm$ 2.14 ^{abc}	0.70 $\pm$ 0.04
P30L4(22.35)	51.65 $\pm$ 3.59 ^{ab}	23.22 $\pm$ 2.11 ^{acb}	0.44 $\pm$ 0.03
P30L7(20.97)	57.51 $\pm$ 3.58 ^{ab}	12.11 $\pm$ 1.26 ^b	0.51 $\pm$ 0.01
P30L10(19.96)	65.03 $\pm$ 5.36 ^a	35.74 $\pm$ 2.11 ^a	0.65 $\pm$ 0.03
蛋白质水平(%)			
24	62.44 $\pm$ 2.70	26.21 $\pm$ 1.78	0.576 $\pm$ 0.019
27	58.03 $\pm$ 2.70	22.86 $\pm$ 2.30	0.565 $\pm$ 0.019
30	58.06 $\pm$ 2.70	23.69 $\pm$ 1.78	0.533 $\pm$ 0.019
脂肪水平(%)			
4	57.84 $\pm$ 2.70	23.97 $\pm$ 2.06	0.514 $\pm$ 0.019
7	56.92 $\pm$ 2.80	20.04 $\pm$ 2.12	0.526 $\pm$ 0.019
10	63.77 $\pm$ 2.70	28.75 $\pm$ 1.78	0.633 $\pm$ 0.019
One way ANOVA			
蛋白质	0.426	0.521	0.424
脂肪	0.170	0.050	0.845
交互作用	0.388	0.005	0.538

注: 同列数据肩标含相同字母的两组平均值之间差异不显著($P>0.05$)

的代谢率,但是通过增重率,特定生长率及成活率均能体现出饲料中营养素或氨基酸的需求量是在一个平衡的水平。此外,本试验还发现,脂肪对生长性能有显著的影响作用。当饲料中的脂肪水平为 4%,蛋白质水平为 24%、27%或 30%时,3 组中的螯虾均表现出良好的生长性能,这一结果也与 Castell 等(1989)的研究结果一致,饲料中脂肪水平过高会影响到甲壳动物的生长速度。分析原因蛋白质和脂肪之间可以通过乙酰辅酶 A 互相转化。一方面,饲料中蛋白质含量较低是,饲料中脂肪经代谢生成丙酮酸或乙酰辅酶 A 通过三羧酸循环生成各种氨基酸,以共机体需要,从而并提高饲料脂肪的利用率,节约了蛋白质。另一方面,当饲料中脂肪水平过高时,过多的脂肪在虾体重蓄积,特别是在肝胰脏的积累,影响到器官正常功能,从而使虾体质下降,影响到生长。

3.2 饲料中蛋白脂肪水平对克氏螯虾体组成的影响

本试验中,通过测定全虾、肌肉和肝胰脏中脂肪含量也证明,当饲料中脂肪含量为 10%,克氏螯虾全虾、肌肉和肝胰脏中脂肪含量增高,全虾和肌肉中的蛋白质含量较低,而肝胰脏中蛋白质含量增加。饲料中的脂肪经在肠道经脂肪酶等作用被分解为脂肪酸,一部分直接经血液进入个组织发挥生理功能,另一部分脂肪酸经门脉系统进入肝胰脏,在肝胰脏中重新合成脂类物质后被运送到肌肉等其它组织中积累下来。当饲料中的脂肪过多,血液中脂肪酸的浓度增加,肝脏中合成脂类物质的原料增多,合成量增加,运送到各组织中的脂肪量也随之增加。而肝胰脏运送能力有限,不断新合成的脂肪无法及时运送出脂肪,则在肝胰脏中积累,对肝胰脏长生副作用,导致了饲料中营养元素利用率的下降,影响了肌肉和其它组织中蛋白的吸收和沉积,饲料中有限的蛋白质或氨基酸未被有效用于改善肌肉品质和促进生长,而是用于维持生长,浪费了饲料中营养物质。

试验中饲料蛋白水平对全虾、肌肉和肝胰脏中蛋白质的积累有一定的影响作用,随着饲料中蛋白质的增加,全虾和肌肉中蛋白质含量增加,但是肝胰脏中蛋白质含量有降低的趋势。这是因为,随着蛋白质摄入量地增加,肠道分解蛋白质的能力增强,大量蛋白质被分解为各种氨基酸,经血液进入肌肉等组织当中的氨基酸含量也随着增多,蛋白质合成量增加,所以全虾和肌肉中蛋白质也增加。而肝胰脏是合成各种蛋白酶原的主要场所,随着肠道中分解量地加大,对各种酶的需求量增加,对蛋白质的消耗量也许也

会随之增多,导致肝胰脏中蛋白含量的减少。本试验中,当饲料中蛋白水平为 30%时,肌肉中的脂肪含量较低。这也许是因为肌肉中蛋白含量较高造成的。

3.3 饲料中蛋白脂肪水平对克氏螯虾组织酶活性的影响

饲料中蛋白质水平对肠道蛋白酶活性有显著的影响,随着饲料中蛋白质水平的增加而增强。当饲料蛋白质含量为 30%时,肠道蛋白酶活性打到 94.94U/ μ g,说明肠道分解饲料中蛋白质的能力大大提高,增强了机体对氨基酸的消化吸收率,保证了全虾和肌肉中蛋白质的沉积,这一结果也与肌肉中蛋白质含量的测定结果相一致。Lee 等(1984)在对南美白对虾消化蛋白酶的研究中也指出饲料蛋白质的质量分数为 30%时,试验虾的蛋白酶活性最高,在另外一些鱼类也有相似的结果(邵庆均等, 2004; Kawai *et al*, 1972)。说明随饲料蛋白水平的增加,克氏螯虾可通过提高体内蛋白酶的活性来适应,以提高对饲料蛋白的消化与吸收,促进生长。饲料中脂肪水平对肠道和肝胰脏中脂肪酶活性均有显著作用。当脂肪水平为 10%时,两种组织中脂肪酶活性显著提高,这也是因为机体摄入的营养素含量不同,机体要适应饲料性质,而加强营养物质的吸收和物质之间的转化,提高营养素的吸收。本研究还发现,肠道和肝胰脏中淀粉酶活性基本无变化,并且活性都较低,这也说明虾利用糖类的能力很低,其生长、繁殖和维持基础代谢所需的能量主要来自脂肪和蛋白质。

4 结语

综上所述,本试验认为 7g 克氏螯虾的饲料蛋白质和脂肪水平分别以 27%和 4%—7%为宜。从生产性能考虑, P27L4 组增重最大,但与 P30L4 和 P24L4L 两组相比差异不显著。在肌肉的营养价值方面, P27L7 和 P30L7 组的肌肉营养价值较高;而肝胰脏的健康方面, P30L7 和 P30L10 组的肝胰脏脂肪含量最高, P24L7 组肝胰脏脂肪含量最低,其它各组均在 25%左右。P24L4 和 P30L10 组的组织脂肪酶消化酶活性高于其它各组。考虑到实际生产成本及饲料的有效利用,建议克氏螯虾成虾前期饲料的蛋白质水平以 27%左右,脂肪水平以 4%—7%为宜。

参 考 文 献

- 吴 东,夏伦志,侯冠军等, 2007. 3 种蛋白水平饲料对克氏螯虾生长和虾肉品质的影响. 淡水渔业, 37(5): 36—41
罗 文,王 群,赵云龙等, 2005. 维生素 E 对红螯螯虾

- (*Cherax quadricarinatus*)繁殖性能的影响. 海洋与湖沼, 36(4): 335—343
- 周 萌, 王安利, 曹俊明, 2010. 饲料中不同形式的铜及添加量对凡纳滨对虾(*Penaeus vannamei*)生长性能、血清铜蓝蛋白和生长激素水平的影响. 海洋与湖沼, 41(4): 577—583
- 谢国驷, 蔡永祥, 徐维娜等, 2007. 饲料蛋白水平对日本沼虾生长、消化酶和免疫酶的影响. 江苏农业学报, 23(6): 612—617
- Aclefors H, Castell J D, Boston L D *et al*, 1992. Standard experimental diets for crustacean nutrition research II growth and survival of juvenile crayfish *Astacus* fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, 104 (3—4): 341—356
- Akiyama D M, 1991. Soybean meal utilisation by marine shrimp. In: Akiyama D M, Tan R K H ed. *Proceedings of the Aquaculture Feed Processing and Nutrition Workshop, Thailand and Indonesia, September 19—25. American Soybean Association, Singapore*, 207—225
- Castell J D, Kean J C, Dabramo L R *et al*, 1989. A standard reference diet for crustacean nutrition research. I. evaluation of two formulations. *Journal of the World Aquaculture Society*, 20(3): 93—99
- Cortés-Jacinto E, Villarreal-Colmenares H, Civera-Cerecedo R *et al*, 2003. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae). *Aquaculture Nutrition*, 9(4): 207—213
- Joaquin P, Gutierrez Y U, Motes C, 2001. Bioenergetics of juveniles of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A*, 130: 29—38
- Jover M, Fernández-Carmona J, Del Río M C *et al*, 1999. Effect of feeding cooked-extruded diets, containing different levels of protein, lipid and carbohydrate on growth of red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture*, 178: 127—137
- Kawai S, Ikeda S, 1972. Studies on digestive enzymes of fish II. Effect of dietary change on the activities of digestive enzymes in carp intestine. *Bulletin of Japanese Society of Scientific Fisheries*, 38(3): 265—270
- Lee P G, Smith L L, 1984. Digestive protease of *Penaeus vannamei* Boone: relationship between enzyme activity, size and diet. *Aquaculture*, 42: 225—239
- Rodríguez-González H, García-Ulloa M, Hernández-Llamasa A *et al*, 2006. Effect of dietary protein level on spawning and egg quality of redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture*, 257(1—4): 412—419

EFFECT OF DIFFERENT DIETARY PROTEIN AND LIPID LEVEL ON GROWTH PERFORMANCE, BODY COMPOSITION AND DIGESTIVE ENZYMES ACTIVITIES OF RED SWAMP CRAYFISH *PROCAMBARUS CLARKII*

XU Wei-Na¹, LIU Wen-Bin¹, SHEN Mei-Fang², WANG Ying¹, ZHU Jie¹,
XU Gang¹, CHENG Long¹

(1. Key Laboratory of Aquatic Animal Nutrition and Feed Science of Jiangsu Province, College of Animal Science and Technology, Nanjing Agricultural University, Nanjing, 210095; 2. Freshwater Fisheries Research Institute of Jiangsu Province, Nanjing, 210017)

Abstract A bifactorial model (3×3) was used to investigate the effect of dietary protein and lipid on growth performance, body composition and digestive enzymes activities of juvenile red swamp crayfish *Procambarus clarkii*. Nine groups of crayfish with four replicates and 10 crayfish [average weight (7.03±0.05)g] per replicate were fed nine experimental diets containing three protein levels (24%, 27% and 30%) and three lipid levels (4%, 7% and 10%) for 8 weeks. The result showed that survival rate (SR) of crayfish were not affected significantly ($P>0.05$) by dietary protein and lipid. Weight gain (WG) and specific growth rate (SGR) of crayfish were affected significantly ($P<0.05$) by dietary lipid. When grouped by lipid levels, the WG and SGR of crayfish fed the diets containing 10% lipid were lower than that of fish fed the diets containing 4% or 7% lipid ($P<0.05$). Proximate analysis indicated that whole-body dry matter (DM), crude protein (CP) and ash contents or muscle CP and crude lipid (EF) contents were affected significantly ($P<0.05$) by dietary protein. Whole-body and muscle crude lipid (EF) were affected significantly ($P<0.05$) by dietary lipid. Intestinal tract and hepatopancreas protease and lipase activities were affected significantly ($P<0.05$) by dietary protein and lipid, respectively. In conclusion, positive impacts of optimizing protein and lipid component in terms of economic and environmental concerns, diet containing lipid 4%—7% and protein 27% with protein was beneficial consequences of further refinement of commercial juvenile crayfish production feed.

Key words Dietary protein, Dietary lipid, Growth performance, Body composition, Digestive enzymes, *Procambarus clarkii*