

## 饲料中非蛋白能源物质对红螯光壳螯虾幼虾生长、 生理、生化指标的影响

朱欢喜, 蒋琦辰, 杨江华, 黄文婷, 王庆, 杨家新\*

(南京师范大学生命科学学院, 江苏省生物多样性与生物技术重点实验室,  
江苏省水产生物饵料重点实验室, 江苏 南京 210046)

**摘要:** 在等蛋白质、等能量基础上, 研究碳水化合物与脂类比例(CHO:L)为 10.75:1、4.81:1、2.66:1、1.52:1 和 0.87:1 的 5 组试验饲料对红螯光壳螯虾[初始体质量(1.72 ± 0.01) g] 相关生长、生理、生化指标的影响。8 周试验结果表明, CHO:L 比例为 2.66:1 时, 红螯光壳螯虾的增重率、特定生长率和饲料利用率达到最高。高比例的 CHO:L(10.75:1) 和低比例的 CHO:L(0.87:1) 都会显著地抑制( $P < 0.05$ ) 红螯光壳螯虾的生长和饲料的利用。饲料脂肪水平为 40 ~ 145 g/kg 时, 虾的脂肪酶和碱性磷酸酶活力显著升高( $P < 0.05$ ), 己糖激酶和丙酮酸激酶活力则呈显著降低趋势( $P < 0.05$ )。CHO:L 对虾胃蛋白酶活力影响显著( $P < 0.01$ ), CHO:L 为 2.66:1 和 1.52:1 表现出比较高的活力, 显著高于( $P < 0.05$ ) 其它试验组。碳水化合物为 156.3 ~ 360.4 g/kg 范围内, 虾淀粉酶活力随饲料中碳水化合物的升高而显著升高( $P < 0.01$ )。红螯光壳螯虾增重率分别与饲料中碳水化合物和脂肪水平进行二次回归分析得出, 红螯光壳螯虾对配合饲料中碳水化合物和脂肪的最适需求量分别为 268.28 和 120.22 g/kg, 相对应的 CHO:L 为 2.20:1, 且红螯光壳螯虾对碳水化合物的利用能力要高于对脂肪的利用。

**关键词:** 红螯光壳螯虾; 碳水化合物; 脂肪; 生长; 生理; 生化

**中图分类号:** S 963.1

**文献标志码:** A

红螯光壳螯虾 (*Cherax quadricarinatus*), 又称澳洲淡水小龙虾, 隶属于节肢动物门 (Arthropoda)、甲壳纲 (Crustacea)、十足目 (Decapoda)、拟河虾科 (Parastacidae)、光壳虾属 (*Cherax*), 原产于澳大利亚, 于 1992 年引进我国, 目前该虾的养殖已经在江苏、浙江、福建、广东等地具有一定的规模。有关红螯光壳螯虾的营养需求, 国内外的研究大都集中在蛋白质方面<sup>[1-5]</sup>。蛋白质是甲壳类生长不可缺少部分, 人工配合饲料生产中通常需要添加较高水平鱼粉来满足甲壳类对蛋白质和必需氨基酸的需要, 但随着鱼粉的资源短缺, 价格上涨等因素, 大大增加了饲料生产成本。已有的研究表明, 甲壳类具有利用一定水平的碳水化合物和脂类能力<sup>[6-9]</sup>, 适当

的脂类和碳水化合物比例可以使更多的蛋白质用于生长, 而不是被用于能量消耗, 从而起到节约蛋白质的作用<sup>[10-12]</sup>, 并减少氨氮的排放, 降低水体污染。

本研究旨在探讨饲料中不同的碳水化合物和脂肪比例对红螯光壳螯虾生长、消化和代谢酶的影响, 以寻求提高饲料利用率, 减少氨氮排泄的途径, 为红螯光壳螯虾高效环保型饲料的研制与生产提供科学依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验用虾及试验分组

试验用虾为当年同批孵化的虾苗 (购自浙江省淡水研究所)。试验前驯养 7 d, 期间投喂含有

收稿日期: 2011-09-07 修回日期: 2011-10-20

资助项目: 江苏省水产三项工程项目资助 (K2007-4); 国家基础科学人才培养基金 (J1103507)

通讯作者: 杨家新, E-mail: yangjx@njnu.edu.cn

32%粗蛋白的商品饲料。试验开始时挑选体格健壮、健康,平均体质量为 $(1.72 \pm 0.01)$  g的幼虾225尾,随机分为5个试验组,每组3个重复。5个试验组分投喂碳水化合物(CHO):脂肪(L)比例为10.75:1、4.81:1、2.66:1、1.52:1和0.87:1的人工饲料,试验持续8周。

### 1.2 试验饲料

以鱼粉、豆粕、糊精、鱼油等为主要原料,添加必要的矿物质、维生素和粘合剂,配成5组等氮和

等能的配合饲料。CHO:L比例通过添加不同的脂肪源和糖源调节。鱼粉和豆粕作为主要的蛋白源,糊精作为主要糖源,鱼油作为主要脂肪源。设计配方的原料、营养成分见表1。原料经粉碎,60目网筛过滤,添加适量水,将原料按先混大料逐级加入小料原则混合均匀,制成 $1.5 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$ 的颗粒,50℃下恒温烘干48 h,置于-20℃冰箱内密封保存。

表1 试验饲料配方及成分含量  
Tab.1 Formulation and proximate composition of experimental diets % , dry weight

	碳水化合物脂肪比 carbohydrate-to-lipid ratios				
	10.75:1	4.81:1	2.66:1	1.52:1	0.87:1
原料 ingredients					
鱼粉 fish meal	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
豆粕 soybean meal	16.57	16.58	16.57	16.58	16.59
糊精 dextrin	27.22	20.17	13.07	5.50	0.00
鱼油 fish oil	1.27	4.83	8.32	11.79	15.59
菜籽粕 rapeseed meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
棉籽粕 cottonseed meal	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
小麦麸 wheat bran	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
次粉 T2级 wheat middlings	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
磷酸二氢钙 calcium biphosphate	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
食盐 salt	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87
预混料 premix <sup>1</sup>	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
羧甲基纤维素钠 carboxymethyl	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\alpha$ -淀粉( $\alpha$ -starch)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
微晶纤维素 microcrystalline cellulose	0.14	3.62	7.24	11.33	13.03
营养成分/% proximate composition					
干物质 dry matter	90.33	90.70	89.72	91.49	91.32
粗蛋白 crude protein	31.12	31.13	31.12	31.13	31.13
粗脂肪 crude lipid	4.00	7.49	10.91	14.50	18.03
粗灰分 ash	7.95	7.84	7.63	7.23	7.28
粗纤维 crude fiber	4.24	8.20	11.04	16.65	19.25
无氮浸出物 nitrogen-free extract	43.02	36.04	29.01	21.98	15.63
总能/(MJ/kg) gross energy	17.06	17.23	17.43	17.67	18.07

注:1. 复合矿物质(g/kg),复合维生素(g/kg)和虾壳粉,CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O,2.0 g; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,25 g; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,22 g; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O,7 g; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>,0.04 g; KI,0.026 g; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O,0.1 g; 维生素A,900 000 IU; 维生素D,200 000 IU; 维生素E,4 500 mg; 维生素K<sub>3</sub>,220 mg; 维生素B<sub>1</sub>,320 mg; 维生素B<sub>2</sub>,1 090 mg; 维生素B<sub>5</sub>,2 000 mg; 维生素B<sub>6</sub>,500 mg; 维生素B<sub>12</sub>,1.6 mg; 维生素C,5 000 mg; 泛酸钙,1 000 mg; 叶酸,165 mg; 胆碱,60 000 mg。

Notes:1. Premix supplied the following minerals(g/kg of diet),vitamins(IU or mg/kg of diet) and shrimp shell meal,CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O,2.0 g; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,25 g; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O,22 g; MnSO<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O,7 g; Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>,0.04 g; KI,0.026 g; CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O,0.1 g; Vitamin A,900 000 IU; Vitamin D,200 000 IU; Vitamin E,4 500 mg; Vitamin K<sub>3</sub>,220 mg; Vitamin B<sub>1</sub>,320 mg; Vitamin B<sub>2</sub>,1 090 mg; Vitamin B<sub>5</sub>,2 000 mg; Vitamin B<sub>6</sub>,500 mg; Vitamin B<sub>12</sub>,1.6 mg; Vitamin C,5 000 mg; Pantothenate,1 000 mg; Folic acid,165 mg; Choline,60 000 mg.

### 1.3 饲养管理

试验期间每天投饲2次(8:00和17:30),日投饲总量为虾体质量的5%,其中上午投喂30%,下午投喂70%,每次投喂前清除箱底的残饵和排

泄物。每2周称重一次,并根据体质量变化及时调整饲料投喂量。试验用水为经过紫外灭菌的曝气自来水,日换水量为1/3,24 h连续充气。每周测定水质两次(YSI6600, USA),控制水温26~

28 ℃;pH 为 7.1~7.5;溶氧始终保持在 4 mg/L 以上。自然光强,昼长 L:D=12 h:12 h。

#### 1.4 样品的采集、分析与计算

**生长指标** 试验结束时,停饲 24 h,逐尾称重,计数。成活率、特定生长率(specific growth rate,SGR%/d)、增重率(weight gain rate,WG%) 和饲料效率(feed conversion ratio,FCR)计算公式如下:

$$(1) \text{成活率}(\%) = 100 \times N_t / N_0$$

式中, $N_t$  最终虾数, $N_0$  最初虾数。

$$(2) \text{特定生长率}(\text{SGR}) = (\ln W_f - \ln W_i) / t$$

式中, $W_f$ 、 $W_i$  分别表示平均终体质量(g)、平均初体质量(g), $t$  饲养时间

$$(3) \text{饲料系数}(\text{FCR}) = \text{体质量增加量}(\text{g}) / \text{总投入饲料量}(\text{g})$$

**消化酶和代谢酶活力的测定** 试验结束后,停饲 12 h,每组随机取五尾虾,在冰盘上解剖取虾胃、肝胰腺和肠道,样品立即放入冷冻管中,-70 ℃超低温冰箱冻存待测。

**消化酶活力测定:**胃蛋白酶(pepsin)、肠淀粉酶(AMS)和胰蛋白酶(trypsin)采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。

**代谢酶活力测定:**肝胰腺中脂肪酶(LPS)、碱性磷酸酶(AKP)、己糖激酶(HK)和丙酮酸激酶(PK)均采用南京建成生物工程研究所试剂盒测定。酶活力单位用 U/g prot 表示,LPS 用 U/mg

表示。

**生化分析** 测定饲料的水分、粗蛋白、粗脂肪、灰分和总能,采用文献[13]的方法分析。水分采用 105 ℃烘干至恒重测定;粗蛋白测定用凯氏定氮法( $N \times 6.25$ )测定;碳水化合物用蒽酮比色法测定;粗灰分用马福炉灰化法(550 ℃,12 h)测定;能量采用氧弹计测定。

#### 1.5 统计分析

试验数据采用平均值±标准差(mean±SD)表示,试验结果均采用 SPSS 16.0 统计软件进行单因素方差分析(One-Way ANOVA),Duncan 氏检验法进行多重比较,SigmaPlot 10.0 作为图形工具。

## 2 结果

### 2.1 饲料中不同脂肪和碳水化合物比例对红螯光壳螯虾生长及饲料利用的影响

研究表明,CHO:L 对红螯光壳螯虾存活率没有显著影响( $P > 0.05$ )。但对红螯光壳螯虾生长及饲料的利用具有显著的影响( $P < 0.05$ ),CHO:L 为 2.66 和 1.52 时,红螯光壳螯虾的平均终体质量、WG 和 SGR 显著高于 10.75、4.81 和 0.87 组( $P < 0.05$ ),且 CHO:L 为 2.66:1 时,FCR ( $2.10 \pm 0.22$ )显著低于( $P < 0.05$ )其它 4 个组( $2.10 \pm 0.22$ )(表 2)。

表 2 不同处理组红螯光壳螯虾的生长率和饲料的利用率

Tab.2 Growth performance of *C. quadricarinatus* of different treatments

碳水化合物脂肪比 CHO:L	最初体重/g IW	存活率/% SR	最终体重/g FW	增重率/% WG	特定生长率 SGR	饲料系数 FCR
10.75:1	1.71±0.01	71.11±3.85	5.37±0.32 <sup>a</sup>	223.13±15.52 <sup>a</sup>	2.06±0.09 <sup>a</sup>	3.12±0.38 <sup>b</sup>
4.81:1	1.71±0.01	68.89±3.85	5.83±0.38 <sup>a</sup>	238.68±20.46 <sup>a</sup>	2.15±0.13 <sup>a</sup>	2.91±0.26 <sup>b</sup>
2.66:1	1.72±0.01	73.33±6.67	7.66±0.93 <sup>b</sup>	371.15±71.33 <sup>b</sup>	2.73±0.29 <sup>b</sup>	2.10±0.22 <sup>a</sup>
1.52:1	1.72±0.00	68.89±3.85	7.67±0.32 <sup>b</sup>	354.79±18.99 <sup>b</sup>	2.68±0.07 <sup>b</sup>	2.31±0.16 <sup>a</sup>
0.87:1	1.72±0.02	60.00±6.66	5.99±1.03 <sup>a</sup>	257.91±59.62 <sup>a</sup>	2.23±0.31 <sup>a</sup>	2.83±0.27 <sup>b</sup>

注:表中同一列数据上标不同字母代表有显著差异( $P < 0.05$ ),后同。

Notes: The different superscripts of the same column values are significantly different( $P < 0.05$ ), the same as following.

### 2.2 饲料中不同碳水化合物和脂肪比例对红螯光壳螯虾部分代谢酶活力的影响

不同比例的 CHO:L 配合饲料对红螯光壳螯虾 LPS、AKP、HK 和 PK 活性具有显著影响( $P < 0.05$ )。LPS 和 AKP 活力随 CHO:L 的降低显著升高( $P < 0.05$ ),CHO:L 为 0.87 时 LPS 活力最高,但 10.75 和 4.81 时,LPS 活力变化不明显。

CHO:L 为 0.87 时 AKP 活力显著高于其它试验组( $P < 0.05$ ),但 HK 和 PK 酶则表现出相反的变化趋势,随着 CHO:L 的降低,HK 和 PK 的活力明显降低( $P < 0.05$ )。HK 和 PK 活力均在 CHO:L 为 10.75 时最高[分别为( $34.58 \pm 2.72$ )、( $36.01 \pm 3.95$ )](表 3)。

表3 不同处理组红螯光壳螯虾代谢酶活力变化  
Tab.3 Hepatic enzymes activities of *C. quadricarinatus* at different treatments

碳水化合物脂肪比 CHO:L	脂肪酶/(U/mg prot) LPS	碱性磷酸酶/(U/g prot) AKP	己糖激酶/(U/g prot) HK	丙酮酸激酶/(U/g prot) PK
10.75:1	0.99 ± 0.11 <sup>a</sup>	31.39 ± 5.09 <sup>a</sup>	34.58 ± 2.72 <sup>b</sup>	36.01 ± 3.95 <sup>b</sup>
4.81:1	1.02 ± 0.12 <sup>a</sup>	45.91 ± 4.47 <sup>b</sup>	33.16 ± 3.23 <sup>b</sup>	33.58 ± 2.04 <sup>b</sup>
2.66:1	1.11 ± 0.12 <sup>b</sup>	58.62 ± 6.59 <sup>c</sup>	27.66 ± 4.53 <sup>a</sup>	31.94 ± 4.26 <sup>b</sup>
1.52:1	1.36 ± 0.07 <sup>c</sup>	67.45 ± 6.67 <sup>d</sup>	26.65 ± 1.47 <sup>a</sup>	25.86 ± 2.78 <sup>a</sup>
0.87:1	1.61 ± 0.14 <sup>d</sup>	84.20 ± 5.48 <sup>c</sup>	24.17 ± 4.89 <sup>a</sup>	25.00 ± 3.70 <sup>a</sup>

### 2.3 饲料中不同碳水化合物和脂肪比例对红螯光壳螯虾消化酶活力的影响

由表4可知,投喂不同 CHO:L 配合饲料对红螯光壳螯幼虾胃蛋白酶、肠淀粉酶活力具有显著影响( $P < 0.01$ ),但对胰蛋白酶的活力影响不显著(表4)。CHO:L 为 2.66 和 1.52 时,胃蛋白酶活力显著高于( $P < 0.01$ )其它 3 个试验组,其中 CHO:L 为 4.81 时,胃蛋白酶活力最低( $4.62 \pm 0.41$ )。肠淀粉酶活力在 CHO:L 为 4.81 时最高( $17.42 \pm 0.49$ ),10.75 组最低( $8.35 \pm 0.68$ )。

增重率是反映动物生长快慢的一项重要指标。利用红螯光壳螯虾虾体平均增重率分别与饲料中碳水化合物和脂肪作二次回归,曲线方程为  $y = -0.5598x^2 + 30.0369x - 57.7321$ ,  $R^2 = 0.6975$ (图 1-a)和  $y = -2.1819x^2 + 53.3233x +$

$20.3284$ ,  $R^2 = 0.7106$ (图 1-b)。按照抛物线回归方法计算:当饲料中碳水化合物含量在 268.28 g/kg,脂类在 120 g/kg 时,增重率最高,所对应的饲料中 CHO:L 为 2.20:1(图 1)。

表4 不同处理组红螯光壳螯虾消化酶活力变化  
Tab.4 Digestive enzymes activities of *C. quadricarinatus* at different treatments

碳水化合物脂肪比 CHO:L	胃蛋白酶/ (U/mg) pepsin	胰蛋白酶/ (U/mg) trypsin	肠淀粉酶/ (U/mg) AMS
10.75:1	5.12 ± 0.61 <sup>a</sup>	2870.25 ± 122.70	8.35 ± 0.68 <sup>a</sup>
4.81:1	4.62 ± 0.41 <sup>a</sup>	2525.18 ± 174.17	17.42 ± 0.49 <sup>d</sup>
2.66:1	7.23 ± 0.35 <sup>b</sup>	2974.48 ± 245.64	12.21 ± 0.79 <sup>b</sup>
1.52:1	7.67 ± 0.81 <sup>b</sup>	3341.72 ± 138.86	14.99 ± 0.99 <sup>c</sup>
0.87:1	4.64 ± 0.69 <sup>a</sup>	2950.08 ± 634.64	14.15 ± 0.93 <sup>c</sup>

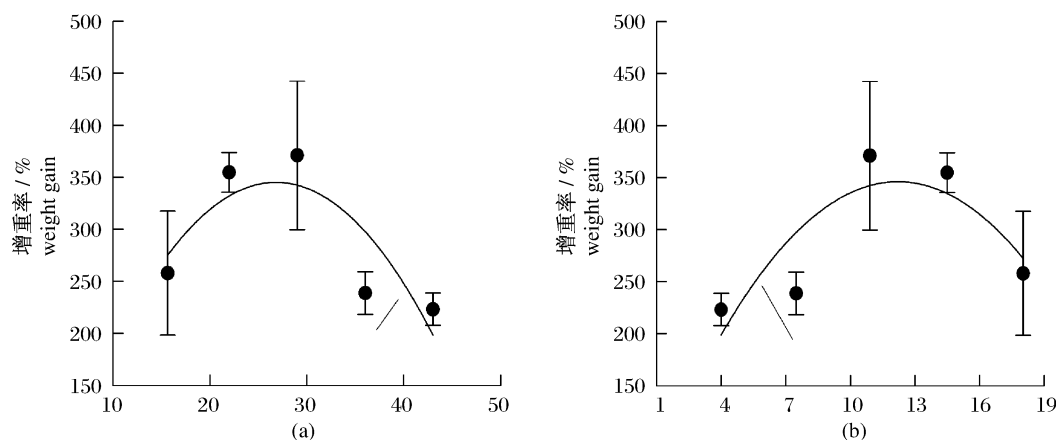


图1 饲料中碳水化合物(%)和脂类(%)比例与红螯光壳螯虾增重率的关系

(a) 碳水化合物(%)与增重率关系; (b) 脂类(%)与增重率关系。

Fig.1 The relationship between carbohydrate, lipid in diets and weight gain of *C. quadricarinatus*

(a) The relationship between carbohydrate(%) in diets and weight gain; (b) The relationship between lipid(%) in diets and weight gain.

## 3 讨论

### 3.1 饲料中不同碳水化合物和脂类比例对红螯光壳螯虾生长的影响

目前,对红螯光壳螯虾日粮的研究主要集中在

在蛋白质能量水平上<sup>[14]</sup>。已有研究表明:当饲料总能在 18.9kJ/g 左右,相对应的最适蛋白质含量为 240 ~ 350 g/kg 时对红螯光壳螯虾生长有利<sup>[1,3,5]</sup>。

本试验饲料日粮中蛋白质水平设置在 311.3

g/kg,总能水平为 17.49 kJ/g。8 周的试验实验结果显示:在等蛋白质条件下,CHO:L 过高(10.75:1)或过低(0.87:1)均会显著降低红螯光壳螯虾的增重率和饲料的利用率。增重率与饲料中碳水化合物水平和脂肪水平拟合成二次曲线回归模型,得出红螯光壳螯虾对碳水化合物和脂类的需要量分别为 268.28 和 120.22 g/kg,对应的 CHO:L 比例约为 2.20:1。该结果与澳洲红龙(*Jasus edwardsii*)的最适 CHO:L(2:1)较为接近<sup>[11]</sup>。已有研究则显示沼虾类的最适 CHO:L 高于本研究结果,如马氏沼虾(*Macrobrachium malcolmsonii*)和罗氏沼虾(*M. rosenbergii*)最适 CHO:L 为 3:1<sup>[15-16]</sup>,斑节对虾(*P. monodon*)和细角滨对虾(*Litopenaeus stylirostris*)配合饲料中最适 CHO:L 比例大于 3:1<sup>[17-18]</sup>,这可能是由于不同种类虾对碳水化合物和脂类的利用能力不同所导致的。

实验发现,红螯光壳螯虾对碳水化合物利用高于对脂肪的利用,类似的结果在北欧螯虾(*Astacus astacus*)、澳洲红龙、印度对虾(*Penaeus indicus*)、墨吉对虾(*Penaeus merguensis*)和凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的相关研究上也发现同样的现象<sup>[11,19-22]</sup>。高 CHO:L 比例导致红螯光壳螯虾增重率降低的原因可能是由于碳水化合物影响虾对饲料中必需不饱和脂肪酸和氨基酸的吸收;而饲料脂肪水平高导致增重率下降,则可能是脂类在虾体内的沉积,导致组织病变。该现象在一些鱼类营养研究上同样存在<sup>[23-24]</sup>。

### 3.2 饲料中不同碳水化合物和脂类比例对红螯光壳螯虾代谢酶活力的影响

肝胰腺是甲壳动物的最大代谢器官,其生化指标的变化可以反映营养物质在机体代谢变化的作用<sup>[25]</sup>。近年的研究表明:高碳水化合物配合饲料能抑制某些甲壳动物的代谢能力,如,细角滨对虾<sup>[18]</sup>、锯额长臂虾(*Palaemon serratus*)<sup>[26]</sup>和凡纳滨对虾<sup>[27]</sup>在碳水化合物水平过高时,其代谢能力下降。肝胰腺中的 HK 和 PK 是糖酵解的两种重要代谢酶,对于糖类代谢起到重要的调节作用。本研究结果显示,这两种酶类活力受饲料中碳水化合物影响明显,其表现为较低水平时酶活力增加,高水平则显示抑制效应。因此红螯光壳螯虾配合饲料中碳水化合物含量不宜过高,以 220 ~ 290 g/kg 为宜。

肝胰腺中的 LPS 和 AKP 是脂类代谢的关键酶。其活力与配合饲料中脂肪水平呈现正相关。红螯光壳螯虾 LPS 活力较低,这可能与虾类本身脂类酶活力低有关<sup>[28]</sup>,从红螯光壳螯虾对碳水化合物的利用能力高于脂肪也反映出该特性。AKP 既是动物代谢过程调控酶,也是重要的解毒体系,对动物的生存具有重要的意义。据报道高水平的碳水化合物可引起水产动物尤其是鱼类肝糖过度蓄积,肝功能下降,影响 AKP 酶活力<sup>[29]</sup>,目前,甲壳类中 AKP 研究鲜有报道。本试验结果表明:在饲料中碳水化合物水平达到 430 g/kg 时,AKP 活力显著受到抑制,这表明高水平的碳水化合物对红螯光壳螯虾肝组织的代谢能力影响较大。

### 3.3 饲料中不同碳水化合物和脂类比例对红螯光壳螯虾消化酶活力的影响

饲料中的蛋白质、碳水化合物和脂类可显著影响甲壳动物消化酶的活力<sup>[30-31]</sup>。蛋白酶的活力受营养元素性质的影响,可以藉此评价甲壳动物对营养元素的利用率<sup>[31]</sup>。本研究结果显示:相同蛋白质水平下,不同 CHO:L,对胃蛋白酶活力具有显著的影响,并呈现出先升高后降低的趋势。该结果与 Alava 等<sup>[32]</sup>研究结果相符。淀粉酶随饲料中碳水化合物水平的升高而升高,这一结果与凡纳滨对虾的研究结果相同<sup>[30]</sup>。但当碳水化合物水平再进一步升高时,淀粉酶活力受到抑制,这是由于虾对糖类的消化能力达到饱和,碳水化合物水平进一步升高,将会引起糖代谢负担。

该结果表明饲料中适宜的碳水化合物和脂类比例为 2.20:1,可以提高红螯光壳螯虾对蛋白质的利用效率,减少饲料中蛋白质的使用量,具有节约饲料蛋白源的作用。不仅降低了生产成本,还可以减少虾代谢过量蛋白质时释放出的大量的氨、氮对环境的污染<sup>[33]</sup>。

### 参考文献:

- [1] Cortes-jacinto E, Villarreal-colmenares H, Civera-cerecedo R, et al. Effect of dietary protein level on growth and survival of juvenile freshwater crayfish *Cherax quadricarinatus* (Decapoda: Parastacidae) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2003, 9(4): 207-213.
- [2] Cortes-jacinto E, Villarreal-colmenares H, Cruz-suarez I E, et al. Effect of different dietary protein and lipid levels on growth and survival of juvenile Australian redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus*

- ( von Martens ) [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11 ( 4 ): 283 - 291.
- [ 3 ] Pavasovic A, Anderson A J, Mather P B, *et al.* Influence of dietary protein on digestive enzyme activity, growth and tail muscle composition in redclaw crayfish, *Cherax quadricarinatus* ( von Martens ) [ J ]. Aquaculture Research, 2007, 38 ( 6 ): 644 - 652.
- [ 4 ] Thompson K R, Metts L S, Muzinic L A, *et al.* Effects of feeding practical diets containing different protein levels, with or without fish meal, on growth, survival, body composition and processing traits of male and female Australian red claw crayfish ( *Cherax quadricarinatus* ) grown in ponds [ J ]. Aquaculture Nutrition, 2006, 12 ( 3 ): 227 - 238.
- [ 5 ] Thompson K R, Muzinic L A, Engler L S, *et al.* Effects of feeding practical diets containing various protein levels on growth, survival, body composition, and processing traits of Australian redclaw crayfish ( *Cherax quadricarinatus* ) and on pond water quality [ J ]. Aquaculture Research, 2004, 35 ( 7 ): 659 - 668.
- [ 6 ] 常国亮, 吴旭干, 成永旭, 等. 不同脂类营养对中华绒螯蟹 ( *Eriocheir sinensis* ) 幼蟹生长、成活、肝胰腺指数和生化成分的影响 [ J ]. 海洋与湖沼, 2008, 39 ( 3 ): 276 - 282.
- [ 7 ] 成永旭, 王武, 吴嘉敏, 等. 虾蟹类幼体的脂类需求及脂类与发育的关系 [ J ]. 中国水产科学, 2001, 7 ( 4 ): 104 - 107.
- [ 8 ] 郭冉, 刘永坚, 田丽霞, 等. 不同糊化淀粉度对凡纳滨对虾生长和体营养成分的影响 [ J ]. 大连海洋大学学报, 2010, 25 ( 5 ): 402 - 406.
- [ 9 ] 虞冰如, 沈竑. 日本沼虾饲料最适蛋白质、脂肪含量及能量蛋白比的研究 [ J ]. 水产学报, 1990, 14 ( 4 ): 321 - 327.
- [ 10 ] Chuntapa B, Piyatiratitivorakul S, Nitithamyong C, *et al.* Optimal lipid: carbohydrate and protein: energy ratios in semi-purified diets for juvenile black tiger shrimp *Penaeus monodon* Fabricius [ J ]. Aquaculture Research, 1999, 30 ( 11 - 12 ): 825 - 830.
- [ 11 ] Johnston D J, Calvert K A, Crear B J, *et al.* Dietary carbohydrate/lipid ratios and nutritional condition in juvenile southern rock lobster, *Jasus edwardsii* [ J ]. Aquaculture, 2003, 220 ( 1 - 4 ): 667 - 682.
- [ 12 ] Moro G V, Camilo R, Moraes G, *et al.* Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundia, *Rhamdia quelen* [ J ]. Aquaculture Research, 2010, 41 ( 3 ): 394 - 400.
- [ 13 ] Arlington V A. Official methods of analysis of official analytical chemists international [ M ]. 16th edn. Gaithersburg Maryland, USA: Association of official analytical chemists, 1995.
- [ 14 ] Cortes-jacinto E, Campa-cordova A I, Ascencio F, *et al.* The effect of protein and energy levels in diet on the antioxidant activity of juvenile redclaw *Cherax quadricarinatus* ( von Martens, 1868 ) [ J ]. Hidrobiologica, 2009, 19 ( 2 ): 77 - 83.
- [ 15 ] Das K, Mukhopadhyay P, Nanda S. Evaluation of four formulated diets in *Macrobrachium malcolmsonii* juveniles [ J ]. Journal of Aquaculture in the Tropics, 1995, 10: 129 - 138.
- [ 16 ] Henry I C C, Brick R W. A physiological approach to the study of growth and bioenergetics in the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* [ J ]. Journal of the World Aquaculture Society, 1979, 10 ( 1 - 4 ): 701 - 719.
- [ 17 ] Catacutan M R. Apparent digestibility of diets with various carbohydrate levels and the growth response of *Penaeus monodon* [ J ]. Aquaculture, 1991, 95 ( 1 - 2 ): 89 - 96.
- [ 18 ] Rosas C, Cuzon G, Gaxiola G, *et al.* Influence of dietary carbohydrate on the metabolism of juvenile *Litopenaeus stylirostris* [ J ]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2000, 249 ( 2 ): 181 - 198.
- [ 19 ] Ackefors H, Castell J D, Boston L D, *et al.* Standard experimental diets for Crustacean nutrition research. Ii. Growth and survival of juvenile crayfish *astacus astacus* ( linné ) fed diets Containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid [ J ]. Aquaculture, 1992, 104 ( 3 - 4 ): 341 - 356.
- [ 20 ] Ali S. Carbohydrate nutrition under different dietary conditions in prawn *Penaeus indicus* [ J ]. Journal of Aquaculture in the Tropics, 1996, 11: 13 - 25.
- [ 21 ] Boonyaratpalin M. Nutrition of *Penaeus merguensis* and *Penaeus idicus* [ J ]. Reviews in Fisheries Science, 1998, 6 ( 1 ): 69 - 78.
- [ 22 ] Cruz-suarez L, Ricque-marie D, Pinal-mansilla J, *et al.* Effect of different carbohydrate sources on the growth of *Penaeus vannamei*: economical impact [ J ]. Aquaculture, 1994, 123 ( 3 - 4 ): 349 - 360.
- [ 23 ] El-Sayed A F M, Garling D L. Carbohydrate-to-lipid ratios in diets for *Tilapia zillii* fingerlings [ J ]. Aquaculture, 1988, 73 ( 1 - 4 ): 157 - 163.
- [ 24 ] Gao W, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance,

- body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(3): 327-333.
- [25] Gimenez A V F, Fenucci J L, Petriella A M. The effect of vitamin E on growth, survival and hepatopancreas structure of the Argentine red shrimp *Pleoticus muelleri* Bate (Crustacea, Penaeidea) [J]. *Aquaculture Research*, 2004, 35(12): 1172-1178.
- [26] Wormhoudt A, Ceccaldi H, Martin B. Adaptation of the level of hepatopancreatic digestive enzymes in *Palaemon serratus* (Crustacea, Decapoda) to the composition of experimental diets [J]. *Aquaculture*, 1980, 21(1): 63-78.
- [27] Guo R, Liu Y J, Tian L X, et al. Effect of dietary cornstarch levels on growth performance, digestibility and microscopic structure in the white shrimp, *Litopenaeus vannamei* reared in brackish water [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2006, 12(1): 83-88.
- [28] 沈文英, 胡洪国, 潘雅娟. 温度和 pH 值对南美白对虾消化酶性的影响 [J]. *海洋与湖沼*, 2004, 35(6): 543-548.
- [29] 缪凌鸿, 刘波, 戈贤平, 等. 高碳水化合物水平日粮对异育银鲫生长、生理、免疫和肝脏超微结构的影响 [J]. *水产学报*, 2011, 35(2): 221-230.
- [30] 胡毅, 谭北平, 麦康森, 等. 不同碳水化合物水平饲料对凡纳滨对虾生长及部分生理生化指标的影响 [J]. *水生生物学报*, 2009, 33(2): 289-295.
- [31] 郭冉, 梁桂英, 刘永坚, 等. 糖和蛋白质水平对饲养于咸水中凡纳滨对虾生长、体营养成分组成和消化率的影响 [J]. *水产学报*, 2007, 31(3): 355-360.
- [32] Alava V R, Pascual F P. Carbohydrate requirements of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles [J]. *Aquaculture*, 1987, 61(3-4): 211-217.
- [33] Cho C, Hynes J, Wood K, et al. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches [J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1-4): 293-305.

**Dietary non-protein energy sources: growth, physiology and  
biochemistry by the juvenile Australian redclaw crayfish,  
*Cherax quadricarinatus* (Von Martens)**

ZHU Huan-xi, JIANG Qi-chen, YANG Jiang-hua, HUANG Wen-ting, WANG Qing, YANG Jia-xin\*

(Jiangsu Key Laboratory for Biodiversity & Biotechnology and Jiangsu Key Laboratory for Fisheries Live Food,

School of Life Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

**Abstract:** A growth experiment was conducted to determine the optimal carbohydrate-to-lipid (CHO:L) ratio for juvenile Australian redclaw crayfish [initial weight ( $1.72 \pm 0.01$ ) g (mean  $\pm$  SD)] cultured in indoor recirculating aquaculture system. Five isonitrogenous [ $(31.130 \pm 0.004)$  g/kg] and around isoenergetic [ $(17.490 \pm 0.396)$  MJ/kg] diets with dietary CHO:L ratios are 10.75:1, 4.81:1, 2.66:1, 1.52:1 and 0.87:1, were fed twice a day to apparent satiation. Over 8-week growth trial, the best final weight, weight gain, specific growth rate and feed conversion ratio value ( $P < 0.05$ ) were observed in redclaw crayfish fed diets with a CHO:L ratio of 2.66:1. Redclaw crayfish fed either the lowest (0.87:1) or highest (10.75:1) CHO:L ratio tended to produce lower growth and poorer feed conversion ratio. Dietary lipid levels was 40 – 145 g/kg, the lipase and alkaline phosphatase activities were stimulated by elevated levels of dietary lipid. However, the activities of hexokinase and pyruvate kinase showed opposite trend. The pepsin and intestine amylase activities were significantly ( $P < 0.01$ ) affected by CHO:L ratios. The higher activity of pepsin were observed when the CHO:L were 2.66:1 and 1.52:1 ( $P < 0.05$ ). The intestine amylase activity was significantly increased ( $P < 0.01$ ) as dietary CHO levels (156.3 – 360.4 g/kg) increased. Based on a second-order polynomial regression analysis of WG against dietary carbohydrate and lipid levels, growth maximum was observed when the dietary carbohydrate and lipid levels were 268.82 g/kg and 122.20 g/kg, corresponding to a CHO:L ratio of 2.20:1. These results indicated that the utilization of dietary lipid and carbohydrate was moderate in redclaw crayfish and the preferential utilization of carbohydrate was higher than that of lipid.

**Key words:** *Cherax quadricarinatus*; carbohydrate; lipid; growth; physiology; biochemistry

**Corresponding author:** YANG Jia-xin. E-mail: yangjx@njnu.edu.cn