

文章编号:1000-0615(2009)04-0650-08

两种盐度下凡纳滨对虾饲料中的最适动植物蛋白比

李二超¹, 曾 嶂², 禹 娜¹, 熊泽泉¹,
陈雪芬², 刘立鹤⁴, 陈立侨^{1,3}

(1. 华东师范大学生命科学学院, 上海 200062;

2. 海南大学海洋学院水产系, 海南海口 570228;

3. 上海高校水产养殖学 E-研究院, 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306;

4. 武汉工业学院饲料科学系, 湖北武汉 430023)

摘要: 试验研究了不同盐度下(3 和 22), 以鱼粉和大豆浓缩蛋白为蛋白源, 配制 6 种不同动植物蛋白比的饲料对凡纳滨对虾生长、成活和肝胰腺可溶性蛋白质含量的影响, 饲养试验为期 40 d。结果显示:(1) 饲料动植物蛋白比可显著影响凡纳滨对虾增重率、成活率、肝体指数、饱满度和肝胰腺中可溶性蛋白质含量。增重率随饲料动植物蛋白比升高而升高, 但当饲料中动植物蛋白比升至 29:8 时, 增重率不再明显升高, 其它指标均先随饲料动植物蛋白比升高至一定程度, 而后则稍有下降;(2) 盐度 22 组对虾的增重率、成活率和饱满度显著高于盐度 3 组对虾, 肝体指数却显著低于盐度 3 组, 不同的盐度对凡纳滨对虾肝胰腺可溶性蛋白含量的影响不显著;(3) 双因素方差分析结果显示, 盐度和饲料动植物蛋白比对凡纳滨对虾增重率、成活率和肝体指数存在显著交互作用, 最大值分别出现在盐度 22 下全动物蛋白饲料组、盐度 22 下全动物蛋白和动植物蛋白为 29:8 的饲料组、盐度 3 下饲料动植物蛋白比为 14:23 的饲料组中;(4) Broken-Line 分析表明, 3‰盐度下凡纳滨对虾最适饲料蛋白比为 29.12:7.79~30.29:6.71, 盐度 22 时为 26.05:10.95~29.03:7.44。结果提示, 饲料中氨基酸的组成和含量会随配方中动植物蛋白配比而改变, 且不同盐度下凡纳滨对虾对饲料中动植物蛋白比的要求有所不同, 但配饵中适当的动植物蛋白比可以满足虾对各种氨基酸的适宜需求。因此, 在养殖过程中, 需结合实际的养殖环境和饲料蛋白源种类, 来设计适宜的实用饲料配方, 这样才能达到降低生产成本, 提高经济效益的目的。

关键词: 凡纳滨对虾; 盐度; 动植物蛋白比; 饲料

中图分类号: S 963

文献标识码: A

随着养殖技术的不断发展和完善, 海水养殖、淡水养殖及半咸水养殖均得到了飞速的发展。其中海水养殖品种淡化养殖成为了水产养殖发展方式之一, 该方式一方面缓和了海水养殖对沿岸海洋环境的污染, 另一方面也促进内陆水产养殖业的发展。凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的淡化养殖已经成为内陆养殖的一个亮点, 已在美国、

泰国及厄瓜多尔等国家得到了迅速的发展^[1-3]。

迄今, 大量文献报道海水养殖环境下凡纳滨对虾饲料蛋白质的最适需求量在 30%~40%^[4-6]。近年来, 随着内陆低盐度环境下凡纳滨对虾养殖业的迅速发展, 低盐度下凡纳滨对虾饲料最适蛋白质需求的研究也开始受到关注和重视, 但尚未得到一致性的结论^[7-8]。这可能与实

收稿日期:2008-12-11 修回日期:2009-02-09

资助项目: 国家“八六三”高技术研究发展计划(2008AA10Z227); 国家自然科学基金项目(30771670); 上海市曙光跟踪计划项目(06GG06); 高等学校博士点专项基金(200802690012); 上海市委基础重大专项(06dj14003); 上海市教育委员会 E-研究院建设项目(E03009); 武汉市晨光计划(200750731287)

通讯作者: 陈立侨, Tel:021-62233637; E-mail:lqchen@bio.ecnu.edu.cn

际的养殖环境条件和所使用的饲料原料配比有关,尤其是凡纳滨对虾饲料中动植物蛋白比和蛋白能量比等,但有关这方面的研究颇为缺乏。由于盐度是影响水产动物机体生理反应的重要因子之一,不同盐度下水产动物表现出不同的适应状态,且以往关于凡纳滨对虾的研究大部分以海水养殖环境为出发点,只有少量的研究涉及到盐度,尤其是低盐度对凡纳滨对虾生理生化方面的影响。因此,加强不同盐度下凡纳滨对虾的各营养素的精确需求,对于凡纳滨对虾的健康生态养殖有着十分重要的现实意义。

本文研究了两种盐度下(3 和 22)饲料动植物蛋白比对凡纳滨对虾生长成活、体形态指标和肝胰腺可溶性蛋白含量的影响,分析了盐度和饲料蛋白质对凡纳滨对虾生长性能的交互作用,并确定了两盐度下凡纳滨对虾饲料中最适动植物蛋白比。

1 材料与方法

1.1 试验饲料

试验以鱼粉和大豆浓缩蛋白为蛋白源,鱼油、大豆油和卵磷脂为主要脂肪源,设计了动植物蛋

白比分别为 0:38、7:30、14:23、21:16、29:8 和 36:0 的 6 种等氮等能的饲料,饲料原料经粉碎后过 60 目筛,均匀混合后用制粒机制成颗粒饲料,饲料粗蛋白、粗脂肪和碳水化合物含量测定分别采用凯氏定氮法、索氏抽提法与 3',5'-二硝基水杨酸法,总能按蛋白质 23.617 kJ/g,脂肪 39.501 kJ/g,碳水化合物 17.138 kJ/g 进行计算,具体饲料成分见表 1,不同饲料的氨基酸组成见表 2。

1.2 试验动物驯化、分组和管理

试验用幼虾购自海南文昌市会文虾苗场,虾苗先在实验室暂养 7 d,盐度为 16,然后用经充分曝气的自来水调节盐度,进行驯化,盐度调节范围为 2/d,驯养和正式试验均为静水系统,24 h 充气。驯化期间投喂营养成分为蛋白质 40.02%、粗脂肪 8.5%、水分 10.2% 和灰分 12% 的商用饲料。待分别调至目标盐度 3 和 22 并稳定后,投用试验用饲料,开始正式试验,试验每一处理设 3 个平行,每个缸(60 cm × 50 cm × 50 cm)放虾 40 只[体重(0.014 4 ± 0.004 7) g,体长(1.424 ± 0.265) cm],共 12 个处理组,日投喂 2 次,分别在 8:00 和 20:00 进行,采用饱食投喂法,投食量根据对虾的摄食情况进行适当调整。试验为期 40 d。

表 1 试验用饲料成分与含量

Tab.1 Composition of the experimental diets

饲料成分 ingredients	饲料(g/100 g)diets					
	1	2	3	4	5	6
鱼粉 fish meal	0.00	13.00	25.00	36.00	48.00	60.00
大豆浓缩蛋白 soybean protein concentrated	56.00	44.00	33.00	22.00	11.00	0.00
小麦淀粉 wheat starch	32.50	31.50	30.50	30.50	29.50	28.50
鱼油 fish oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
大豆油 soybean oil	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
卵磷脂 lecithin	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
胆固醇 cholesterol	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
复合维生素 vitamin premix ⁽¹⁾	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
复合矿物质 mineral premix ⁽²⁾	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
粘合剂 binder ⁽³⁾	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
粗蛋白 crude protein	36.40	36.73	37.08	36.80	37.15	37.50
总能 gross energy kcal/100 g diet	17.07	17.08	17.07	17.00	17.10	16.69
动植物蛋白比 animal/plant protein ratio	0/38	7/30	14/23	21/16	29/8	36/0

注:(1)复合维生素(g/kg 预混料)维生素 B₁0.5,维生素 B₆1.0,核黄素 3.0,泛酸钙 5.0,烟碱酸 5.0,生物素 0.05,叶酸 0.18,维生素 B₁₂0.002,氯化胆碱 100.0,肌醇 5.0,维生素 K 2.0,维生素 A 5.0,维生素 D₃0.002,维生素 E 8.0,α-纤维素 865.266。(2)复合矿物质(g/100 g 预混料),CoCl₂0.001,CuSO₄·5H₂O 0.062 5,FeSO₄1.0,MgSO₄·7H₂O 7.099 5,MnSO₄·H₂O 0.162 5,KI 0.016 7,Na₂SeO₃0.002 5,ZnSO₄·7H₂O 3.298,载体 83.357 3。(3)粘合剂为璟宝牌 HJ-I 水产饲料粘合剂

Notes:(1) Vitamin premix (g/kg premix) thiamin HCL 0.5, pyridoxine HCL 1.0, riboflavin 3.0, DL Ca-pantothenate 5.0, nicotinic acid 5.0, biotin 0.05, folic acid 0.18, vitamin B₁₂0.002, choline chloride 100.0, inositol 5.0, menadione 2.0 vitamin A acetate (20 000 IU/g 5.0), vitamin D₃ (400 000 IU/g) 0.002, DL-alpha-tocopheryl acetate (250 IU/g) 8.0, alpha-cellulose 865.266. (2) Mineral premix (g/100 g premix), cobalt chloride 0.001, cupric sulfate pentahydrate 0.062 5, ferrous sulfate 1.0, magnesium sulfate heptahydrate 7.099 5, manganous sulfate monohydrate 0.162 5, potassium iodide 0.016 7, sodium selenite 0.002 5, zinc sulfate heptahydrate 3.298, filler 83.357 3. (3) Binder: Jingbao HJ-I.

表 2 试验用饲料的氨基酸组成和含量
Tab.2 Analyzed amino acid composition of the experimental diets

氨基酸 amino acids	饲料 diets					
	1	2	3	4	5	6
必需氨基酸 EAA						
精氨酸 arginine	2.57	2.57	2.21	2.31	2.26	2.25
苯丙氨酸 phenylalanine	1.83	1.8	1.73	1.73	1.76	1.68
组氨酸 histidine	0.69	0.73	0.73	0.74	0.77	0.83
赖氨酸 lysine	1.91	2.07	2.12	2.23	2.33	2.50
缬氨酸 valine	2.07	2.08	2.06	2.07	1.92	1.93
蛋氨酸 methionine	0.97	1.22	1.00	1.3	1.47	1.46
异亮氨酸 isoleucine	1.89	1.84	2.22	1.87	1.73	1.85
亮氨酸 leucine	2.94	3.00	2.91	3.04	2.99	3.00
苏氨酸 threonine	1.11	1.18	1.1	1.19	1.29	1.33
非必需氨基酸 NEAA						
天门氨酸 aspartic acid	3.94	3.90	3.61	3.54	3.34	3.26
丝氨酸 serine	1.43	1.49	1.33	1.35	1.56	1.50
谷氨酸 glutamic acid	6.4	6.29	5.98	5.67	5.20	5.09
甘氨酸 glycine	1.46	1.58	1.64	1.77	1.89	2.03
丙氨酸 alanine	1.72	1.8	2.03	2.14	2.21	2.44
胱氨酸 cystine	1.11	0.88	0.96	0.74	1.00	1.12
酪氨酸 tyrosine	1.34	1.16	0.88	1.14	1.18	1.14
脯氨酸 proline	1.49	2.06	1.72	1.69	1.57	1.66
总氨基酸 TAA	34.87	35.65	34.23	34.52	34.47	35.07

注:表中数据均为 3 个重复的平均值

Notes: Each value in this table is the mean of three replicates

试验期间每天用温度计测定每试验缸水温,水体盐度每天用折射计进行测定,并进行调节,每周不定期用溶氧仪和便携式 pH 测定仪测定水体溶解氧和 pH 2~3 次,氨氮采用试剂盒快速测定。整个养殖期间,水温为 27.4~29.3 ℃,溶解氧为 6.63~7.34 mg/L,总氨氮 < 0.01 mg/L, pH (8.3 ± 0.2)。

1.3 取样和样品测定

试验结束后,统计每缸虾存活个体数,测定体长、体重和肝胰腺重。肝胰腺称重并经液氮速冻后,保存于 -70 ℃ 冰箱,备用。评价指标计算公式为

$$\text{增重率 (weight gain, WR, \%)} = (\text{末重} - \text{初重}) / \text{初重} \times 100$$

$$\text{成活率 (survival rate, SR, \%)} = \text{实验结束后} \\ \text{虾体个数} / \text{实验开始时虾体个数} \times 100$$

$$\text{肝体指数 (hepatosomatic index, HSI, \%)} = \\ \text{肝胰腺重} / \text{体重} \times 100$$

$$\text{肥满度 (condition factor, CF, \%)} = 100 \times \\ \text{体重} / \text{体长}^3$$

肝胰腺可溶性蛋白的测定 将肝胰腺称重后,用玻璃匀浆器冰浴下充分匀浆,10 000 × g 下离心 15 min,取上清,稀释 50 倍后,采用福林酚法

进行测定,以小牛血清蛋白为标准蛋白做标准曲线^[9]。

饲料总氨基酸测定 取饲料 0.5 g,样品经真空液氮冷冻干燥后,用 6 mol/L 盐酸(含 0.1% 的苯酚)110 ℃ 水解 22 h,然后用日立 835-50 型氨基酸自动分析仪测定氨基酸含量。

1.4 统计分析

数据以平均值 ± 标准差表示,试验结果用 SPSS 14.0 软件包进行处理,在双因素方差分析的基础上,采用 Duncan 氏多重比较法检验组间差异 ($P=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同动植物蛋白比饲料对两种盐度下凡纳滨对虾各指标的影响

表 3 和表 4 分别显示了两种盐度 3 和 22 条件下投喂不同动植物蛋白比饲料对凡纳滨对虾生长、成活、体形态学参数及肝胰腺可溶性蛋白含量。统计分析表明,两种盐度下,饲料动植物蛋白比显著影响了凡纳滨对虾各测定指标。两盐度下,凡纳滨对虾增重率均随饲料动植物蛋白比含量升高呈升高的趋势,但至饲料中动植物蛋白比为 29:8 时,增重速度不再显著升高,且 22 盐度下

凡纳滨对虾增重率显著高于 3 盐度下凡纳滨对虾。凡纳滨对虾的肥满度、成活率和肝胰腺可溶性蛋白含量均呈现出先随饲料动植物蛋白比升高而升高,当动植物蛋白比为 29:8 时,达到最高值。盐度 22 下凡纳滨对虾成活率和肥满度显著高于盐度 3 组对对虾,但盐度对凡纳滨对虾肝胰腺可

溶性蛋白含量影响不显著。盐度 3 组对虾肝体指数先随饲料动植物蛋白比升高而升高,待饲料动植物蛋白比至 14:23 后呈下降趋势,而盐度 22 组凡纳滨对虾肝体指数与饲料动植物蛋白比的关系无明显的规律可寻,但盐度 22 下凡纳滨对虾肝体指数显著低于盐度 3 组。

表 3 盐度 3 下不同处理组凡纳滨对虾的生长成活、体形态学参数和肝胰腺可溶性蛋白含量

Tab. 3 Growth, survival, morphological index and HP soluble protein content of shrimps fed different diets at salinity of 3

饲料 diets	增重率(%) weight gain	肝体指数(%) HSI	肥满度(%) conditional factor	成活率(%) survival rate	可溶性蛋白含量(mg/g) HP soluble protein
1	810.95 ± 84.42 ^a	6.15 ± 0.6 ^a	0.39 ± 0.02 ^a	58.75 ± 2.17 ^a	102.4 ± 3.81 ^a
2	1287.71 ± 199.84 ^a	5.59 ± 0.31 ^a	0.42 ± 0.03 ^{a b}	57.50 ± 1.44 ^a	134.14 ± 26.27 ^{ab}
3	2909.54 ± 763.01 ^b	8.32 ± 0.74 ^b	0.44 ± 0.01 ^{abc}	61.25 ± 2.17 ^{ab}	158.85 ± 21.15 ^{bc}
4	3892.85 ± 285.86 ^b	8.12 ± 0.46 ^b	0.44 ± 0.01 ^{abc}	67.50 ± 2.89 ^c	183.26 ± 22.3 ^{bcd}
5	5610.88 ± 628.22 ^c	6.30 ± 0.29 ^a	0.47 ± 0.02 ^c	71.25 ± 0.72 ^c	219.95 ± 7.95 ^d
6	5743.69 ± 692.16 ^c	6.20 ± 0.38 ^a	0.46 ± 0.01 ^{bc}	66.25 ± 0.72 ^{bc}	190.39 ± 7.11 ^{cd}

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异($P < 0.05$)

Notes: Values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

表 4 盐度 22 下不同处理组凡纳滨对虾的生长成活、体形态学参数和肝胰腺可溶性蛋白含量

Tab. 4 Growth, survival, morphological index and HP soluble protein content of shrimps fed different diets at salinity of 22

饲料 diets	增重率(%) weight gain	肝体指数(%) HSI	肥满度(%) conditional factor	成活率(%) survival rate	可溶性蛋白含量(mg/g) HP soluble protein
1	901.19 ± 187.95 ^a	5.98 ± 0.55 ^a	0.42 ± 0.01 ^a	82.5 ± 1.44 ^a	93.02 ± 3.72 ^a
2	1919.84 ± 416.18 ^a	6.75 ± 0.40 ^a	0.46 ± 0.02 ^b	81.25 ± 0.72 ^a	131.44 ± 13.26 ^b
3	5861.6 ± 666.3 ^b	5.72 ± 0.51 ^a	0.49 ± 0.01 ^{bc}	83.42 ± 2.17 ^a	142.34 ± 13.48 ^{bc}
4	9322.36 ± 1193.58 ^c	6.55 ± 0.36 ^a	0.49 ± 0.01 ^{bc}	98.75 ± 0.72 ^b	173.24 ± 15.26 ^{cd}
5	10070.03 ± 943.17 ^c	5.84 ± 0.30 ^a	0.52 ± 0.01 ^c	100.00 ± 0.00 ^b	189.10 ± 15.29 ^d
6	10633.44 ± 932.97 ^c	5.87 ± 0.21 ^a	0.51 ± 0.02 ^c	100.00 ± 0.00 ^b	180.21 ± 7.29 ^d

注:表中同一列数据上不同上标字母代表有显著差异($P < 0.05$)

Notes: Values within the same row with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$)

2.2 盐度和饲料动植物蛋白对凡纳滨对虾的交互作用

表 5 为采用双因素方差分析对盐度、饲料及盐度和饲料对凡纳滨对虾各测定指标影响的分析结果。可以看出,除盐度对凡纳滨对虾肝胰腺可溶性蛋白含量影响不显著后,盐度和饲料动植物蛋白均对对虾各试验指标影响显著。盐度和饲料动植物蛋白比对凡纳滨对虾的交互影响主要体现在凡纳滨对虾的增重率、肝体指数和成活率,而对

对虾的肥满度和肝胰腺可溶性蛋白质含量影响不显著。盐度 22 下饲料动植物蛋白比含量越高,增重率越大。各试验组中,以盐度 22 组中投喂全动物蛋白饲料的对虾增重率最大,为 10 633.44%。而成活率也是以盐度 22 组中投喂全动物蛋白饲料和动植物蛋白为 29:8 的饲料组对虾最高,为 100.00%。最大的肝体指数出现在盐度 3 下投喂饲料动植物蛋白比为 14:23 的饲料的凡纳滨对虾中,为 8.32%。

表 5 双因素方差分析结果

Tab. 5 Two-way ANOVA values for each parameter

因素 factors	指标 index				
	增重率(%) weight gain	肝体指数(%) HSI	肥满度(%) conditional factor	成活率(%) survival rate	可溶性蛋白(mg/g) HP soluble protein
盐度 salinity	0.000	0.013	0.000	0.000	0.121
饲料 diet	0.000	0.004	0.000	0.002	0.000
盐度 × 饲料 salinity × diet	0.003	0.003	0.955	0.002	0.939

2.3 不同盐度下凡纳滨对虾的最适饲料动植物蛋白比

图1为采用 Broken-Line 模型分别针对不同盐度凡纳滨对虾增重率、肥满度、成活率和肝胰腺可溶性蛋白质含量对凡纳滨对虾最适饲料动植物蛋白比的分析结果。可以看出,盐度3组凡纳滨

对虾最适的动植物蛋白范围为 29.12:7.79~30.29:6.71,而盐度组3凡纳滨对虾最适的动植物蛋白比范围为 26.05:10.95~29.03:7.97。盐度3组凡纳滨对虾最适的饲料动植物蛋白比比盐度22组凡纳滨对虾稍微偏高。

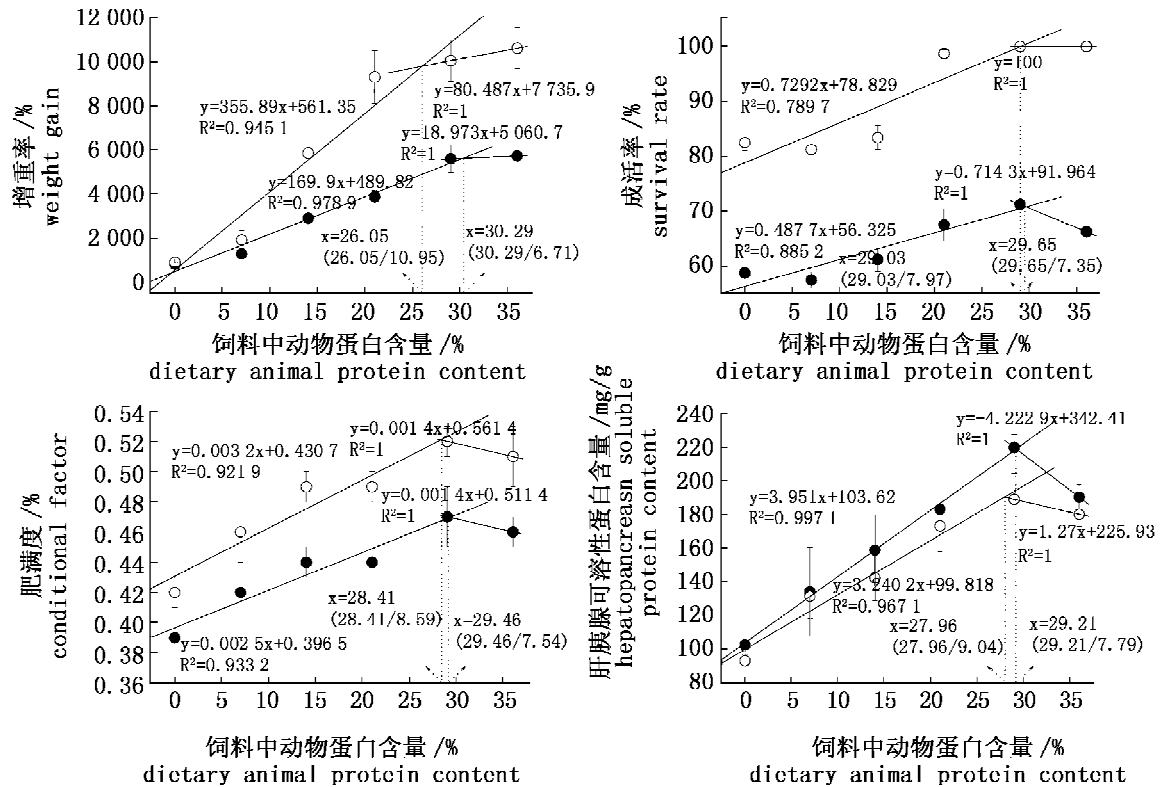


图1 凡纳滨对虾最适的饲料动植物蛋白比(盐度3:●,盐度22:○)

Fig. 1. The results of Broken-line model analysis for the optimal dietary animal to plant protein for the juveniles *L. vannamei* at the salinity of 3 (●) and 22 (○) respectively

3 讨论

3.1 饲料中动植物蛋白比对凡纳滨对虾生长的影响

本研究发现,饲料中动植物蛋白比可显著影响凡纳滨对虾的生长和成活率,随动物蛋白含量升高,均先升高到一定水平,之后变化不显著,完全体现了“氨基酸互补”的效果,提示单一的强调动物性蛋白或者鱼粉的使用,并不能获得最佳的生长性能,因而也不可能取得最佳的养殖效益。一定比例动植物蛋白的搭配使用,可以使饲料氨基酸组成更趋于合理化,营养成分的比例更适合水产动物的营养需要,进而使水产动物获得最大

的生长速度^[12-13]。动植物蛋白源除了蛋白含量有所不同外,两者在氨基酸组成和比例上也存在很大差异。分析发现,随着饲料中动物蛋白含量的升高,饲料中组氨酸、赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、甘氨酸和丙氨酸的含量均呈现升高的趋势。所以,可以初步推断这些氨基酸在凡纳滨对虾正常的发育、生长过程中可能起着重要的作用。虽然目前有关凡纳滨对虾对这些氨基酸的最适需求,以及这些氨基酸对凡纳滨对虾生理影响的研究尚十分缺乏^[10-11],对斑节对虾(*Penaeus monodon*)及日本沼虾(*Marsupenaeus japonicus*)的研究业已证明,赖氨酸、蛋氨酸和苏氨酸等对对虾正常生长和生理活动具有十分重要的作用^[14-16]。在实际操作

过程中要兼顾蛋白源的蛋白质含量和氨基酸组成,以达到降低饲料成本和提高养殖效益的目的。

3.2 盐度和饲料中植物蛋白质对凡纳滨对虾生长的交互作用

盐度是影响水生动物生理状态的主要环境因子之一,包括机体新陈代谢、生长、成活和营养需求等^[17-18]。本研究发现盐度和饲料动植物蛋白比两者在凡纳滨对虾增重率、肝体指数和成活率 3 个指标上存在显著的交互作用。对虾增重率和成活率的最高值均出现在盐度 22 下投喂相对高动植物蛋白比饲料的试验组,而最低值则出现在 3 盐度下投喂低动植物蛋白比试验组,提示在凡纳滨对虾的低盐度养殖过程中,可通过适当提高饲料中的动植物蛋白比,来提高凡纳滨对虾的生长速度和成活率。而在盐度 22 凡纳滨对虾的养殖过程中,则可适当减少饲料中动物性蛋白源的使用量来降低养殖成本。与增重和成活率不同,盐度 3 组凡纳滨对虾的肝体指数显著高于盐度 22 组对虾。由于甲壳动物的肝胰腺被认为是哺乳动物肝和胰腺的同源器官,是代谢反应进行的主要场所,主要功能包括分泌酶、吸收和存储营养物质,以及为卵黄发生提供营养物质等,而且肝胰腺对营养物质的蓄积可反映机体的营养需求^[19],因此低盐度下凡纳滨对虾肝体指数增大,可能与其它特殊的营养需求有关,但详细过程和相关机理尚需进一步研究。

3.3 两盐度下凡纳滨对虾饲料中最适的动植物蛋白比

本研究发现盐度 3 下凡纳滨对虾最适饲料动植物蛋白比为 29.12:7.79~30.29:6.71,稍高于盐度为 22 下对虾最适饲料动植物蛋白比,为 26.05:10.95~29.03:7.97。分析其原因,低盐度的饲养环境里,对虾不但需从饲料中获得必要的营养物质来提高生长速度,还需利用一部分能量用于抵抗低盐度所引起的低渗胁迫。大量的文献已经证实氨基酸在甲壳动物的渗透调节过程中起着关键的作用,尤其是其中的谷氨酸、丙氨酸、甘氨酸、脯氨酸和牛磺酸这 5 种氨基酸^[20-21]。通过分析这几种氨基酸在本研究所采用的饲料中含量(因牛磺酸非结构氨基酸,所以排除在外),可以发现脯氨酸和谷氨酸随动物性蛋白含量升高而高,而丙氨酸和甘氨酸却随植物性蛋白含量升高而升高。因此,可以初步推断,不是单一的某种氨

基酸在凡纳滨对虾的渗透调节中起主导作用,而是几个起渗透调节作用氨基酸共同作用的结果。只有达到一定比例时,凡纳滨对虾才能最大程度地克服低渗胁迫,保持正常的生理状态,从而获得最佳的生长速度。

参考文献:

- [1] McGraw W J, Davis D A, Teichert-Coddington D. Acclimation of *Litopenaeus vannamei* postlarvae to low salinity: influence of age, salinity, endpoint and rate of salinity reduction [J]. J World Aqua Soc, 2002, 33: 78-84.
- [2] Saoud I P, Davis D A, Rouse D B. Suitability studies of inland well waters for *Litopenaeus vannamei* culture[J]. Aquaculture, 2003, 217: 373-383.
- [3] Li E C, Chen L Q, Zeng C, et al. Growth, body composition, respiration and ambient ammonia nitrogen tolerance of the juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei*, at different salinities [J]. Aquaculture, 2007, 265:385-390.
- [4] Smith L L, Lee P G, Lawrence A L, et al. Growth and digestibility of three sizes of *Penaeus vannamei* Boone: effects of dietary protein level and protein source[J]. Aquaculture, 1985, 46: 85-96.
- [5] Kureshy N, Davis D A. Protein requirement for maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2002, 204 :125-143.
- [6] Davis D A, Arnold C R. Replacement of fish meal in practical diets for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei*[J]. Aquaculture, 2000, 185: 291-198.
- [7] 黄凯,王武,卢洁,等.盐度对凡纳滨对虾的生长及生化成分的影响[J].海洋科学,2004,28(9):20-25.
- [8] 刘栋辉,何建国,刘永坚,等.3‰盐度下饲料蛋白质量分数对凡纳对虾生长表现和免疫状况的影响[J].中山大学学报(自然科学版),2005,44(增刊2):217-223.
- [9] Lowry O H, Rosenbrough N J, Farr A L, et al. Protein measurement with a Folin reagent[J]. J Bio Chem, 1951, 193: 265-275.
- [10] Fox J M, Lawrence A L, Li-Chan E. Dietary requirement from lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acids sources [J]. Aquaculture, 1995, 131:279-290.

- [11] Cuzon G, Lawrence A, Gaxiola G, *et al.* Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds [J]. *Aquaculture*, 2004, 234:513 - 551.
- [12] Craig S R, McLean E. The organic movement: a role for NuPro® as an alternative protein source [M]// Jacques K, Lyons P. Nutritional biotechnology in the food and feed industry. Nottingham: Nottingham University Press, 2005.
- [13] 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.
- [14] Biswas P, Pal A K, Sahu N P, *et al.* Lysine and/or phytase supplementation in the diet of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles: Effect on growth body composition and lipid profile [J]. *Aquaculture*, 2007, 265:253 - 260.
- [15] Millamena O M, Teruel M B, Kanazawa A, *et al.* Quantitative dietary requirements of postlarval tiger shrimp, *Penaeus monodon*, for histidine, isoleucine, leucine, phenylalanine and tryptophan [J]. *Aquaculture*, 1999, 179: 169 - 179.
- [16] Alam M S, Teshima S, Koshio S, *et al.* Supplemental effects of coated methionine and/or lysine to soy protein isolate diet for juvenile kuruma shrimp, *Marsupenaeus japonicus* [J]. *Aquaculture*, 2005, 248:13 - 19.
- [17] Kinne O. Salinity: animal invertebrates [M]// Kinne O. *Marine Ecology Vol I. Environmental Factors*, London: Wiley Interscience, 1971:821 - 995.
- [18] Fry F E J. The effect of environmental factors on the physiology of fish[M]//Hoar W S, Randall D J. *Fish physiology Vol VII: environmental relations and behaviour*, New York: Academic Press, 1971: 1 - 98.
- [19] Gibson R, Barker P L. The decapod hepatopancreas [J]. *Oceanogr Mar Biol*, 1979, 17:285 - 346.
- [20] Somero G N, Bowlus R D. Osmolytes and metabolic end products of molluscs: the design of compatible solute systems [M]//Hochachka P W. *Environmental biochemistry and physiology, the Mollusca*, London: Academic Press, 1983: 77 - 100.
- [21] Lockwood A P M. Aspects of the physiology of Crustacea [M]. Aberdeen: Aberdeen University Press, 1968.

Optimal dietary animal to plant protein ratio for the pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* at two salinities

LI Er-chao¹, ZENG Ceng², YU Na¹, XIONG Ze-quan¹,
CHEN Xue-fen², LIU Li-he⁴, CHEN Li-qiao^{1,3}

(1. School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China;

2. Aquaculture Department, School of Marine Science, Hainan University, Haikou 570228, China;

3. Aquaculture Division, E-Institute of Shanghai Municipal Education Commission,
College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China;

4. Department of Feed Science, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China)

Abstract: Protein is one of the most important components in crustacean diets, which should be optimally utilized to achieve faster growth rate of the cultured animals. To enable the preparation of a cost-effective feed at the farm level, the ratios of protein derived from the various animal and plant sources in the feed need to be optimized. In this study, the factorial effects of ambient salinity and animal to plant protein ratio on growth and survival of juvenile white shrimp, *Litopenaeus vannamei* were investigated. Six diets were formulated using soy protein concentrated and fish meal as plant and animal protein sources respectively, of which the dietary animal to plant protein ratios were 0:38, 7:30, 14:23, 21:16, 29:8 and 36:0 approximately. Each diet was fed to three replicate groups of shrimp for 40 d. The results showed that dietary animal to plant protein had significant effects on the shrimp weight gain, hepatosomatic index (HSI), conditional factor, survival rate and the hepatopancreas soluble protein. Weight gain increased when the dietary animal to plant protein ratio increased, while for other indexes measured, they exhibited the tendency of increased first with the dietary animal to plant protein ratio increasing, and then decreased slightly. Increasing salinity significantly increased the weight gain, survival and the conditional factor, and significantly decreased shrimp HSI, while no significant differences of salinity were observed in shrimp HSI. Shrimp weight gain, survival and HSI were significantly affected by the interaction between ambient salinity and dietary animal to plant protein ratio, while shrimp conditional factor and the hepatopancreas were not significantly affected by the interaction between ambient salinity and dietary animal to plant protein ratio. Combined, the results in this study indicate that dietary amino acids content and profile would change with the change of dietary animal to plant protein ratio, and though *L. vannamei* has different demand for protein, it could be met by regulating dietary animal to plant protein ratio in the practical diets. The Broken-line model analysis showed that the optimal dietary animal to plant protein content in the diets for the white shrimps at the salinity of 3.0 and 22.0 ranged from 29.12:7.79 to 30.29:6.71 and from 26.05:10.95 to 29.03:7.437 approximately.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; salinity; animal to plant protein ratio; dietary