

南美白对虾幼虾饲料蛋白质的需要量

黄凯¹, 王武², 卢洁¹

(1. 广西大学动物科技学院, 广西南宁 530005; 2. 上海水产大学渔业学院, 上海 200090)

摘要:以酪蛋白和明胶为主要蛋白源, 配制成蛋白质质量分数分别为28%、33%、38%、43%和48%的5种精饲料, 分别在盐度2和28的水体中, 对南美白对虾(*Penaeus vannamei*)幼虾进行49 d的饲养试验。虾苗平均体重为 (0.011 ± 0.001) g, 每天投喂4次。结果表明, 饲料系数、蛋白质效率均随饲料蛋白质含量的增加而减小, 饲料蛋白质水平对南美白对虾幼虾肌肉游离氨基酸和肝胰脏胰蛋白酶的活性有显著的影响。在盐度2的水体中, 26.7%饲料蛋白质水平最适宜; 在盐度28的水体中, 33.0%饲料蛋白质水平最适宜。说明在一定范围内, 低蛋白高能量饲料可以取得更高的蛋白质利用率以及更好的对虾养殖效果。

关键词:南美白对虾; 幼虾; 饲料; 蛋白质需要量

中图分类号: S963.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-8737-(2003)04-0318-07

南美白对虾(*Penaeus vannamei*)原产于中南美太平洋沿岸水域, 目前已成为我国对虾主要的咸淡水和淡水养殖品种。在其养殖过程中, 由于饲料蛋白质成本昂贵, 因此饲料中蛋白质含量的研究成为饲料生产企业和养殖生产者关注的焦点。有关研究表明, 南美白对虾对蛋白质的需求较其他对虾为低^[1]。Smith^[2]研究了南美白对虾幼体在海水中的蛋白质需求, 认为其饲料蛋白质含量应大于36.0%; Colvin等^[3]对南美白对虾成虾进行试验, 结果表明其饲料蛋白质水平应为30%。但迄今为止, 关于低盐度水体中南美白对虾饲料蛋白质最适需要量的研究未见报道, 本试验旨在探讨南美白对虾在低盐度环境条件下的营养需要, 并为饲料生产企业的配方设计提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

南美白对虾幼虾由南宁对虾育苗场提供。将虾分为2大组, 并分池暂养7 d, 期间分别将暂养水体

的盐度(12)淡化或升高到试验设计的盐度2和28, 虾苗平均体重 (0.011 ± 0.001) g, 分放于30只水槽, 每个水槽40尾。

1.2 试验饲料

试验饲料蛋白源以酪蛋白、明胶为主, 虾粉为辅, 同时添加鱼肝油、胆固醇、磷脂、无机盐、维生素, 以羧甲基纤维素(Carboxymethyl cellulose, CMC)为粘合剂, 以糊精为增减剂, 配制成蛋白质水平(质量分数)分别为28%、33%、38%、43%和48%的5种精饲料, 实测试验饲料蛋白质含量与设计含量略有偏差。配料用绞肉机制成条状饲料, 在60℃恒温箱中经4.5 h烘干, 饲料水分含量低于11%, 并制成粒径1 mm和2 mm的颗粒, 密封冷藏。试验饲料配方见表1, 营养成分见表2。

1.3 饲养方法

试验于2002年5月8日至6月26日在广西大学水产养殖试验基地进行, 共49 d。试验期间, 水温27.0~31.5℃, DO 4.5~5.6 mg/L, pH 7.8~8.3。试验用水槽规格为0.50 m×0.40 m×0.35 m。设计蛋白质水平为28%、33%、38%、43%、48%的5种试验饲料, 同时在盐度为2和28的水体中进行饲养试验。试验分10组, 盐度2为A系列组, 分别以28A、33A、38A、43A和48A表示; 盐度28为B系列组, 分别以28B、33B、38B、43B及48B表示, 每组3

收稿日期: 2002-01-30; 修订日期: 2003-04-06.

基金项目: 广西大学青年科研基金资助项目(X2000113).

作者简介: 黄凯(1963-), 男, 副教授, 上海水产大学博士生. 主要从事集约化水产养殖和水产动物营养学研究.

通讯作者: 王武(1941-). E-mail: wwang@shfu.edu.cn

个重复。试验用水由过滤净化后的浓缩海水与曝气自来水配制而成。整个试验期间采用微循环流水式养殖,水槽内放入网片、塑料管作隐蔽物。每天8:00、2:00、17:00和22:00进行投喂,投饲量根据摄食情况而定,以饱食为准。每天早上虹吸排污,并换水1/4。

表1 试验饲料配方

成分 Ingredients	饲料蛋白质水平 Protein level in diets %				
	28%	33%	38%	43%	48%
干酪素 Casein	22.5	27.5	32.1	37.0	41.8
明胶 Gelatin	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
虾糠 Shrimp meal	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
糊精 Dextrin	43.7	37.9	32.1	26.2	20.4
鱼肝油 Cod liver oil	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
胆固醇 Cholesterol	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
磷脂 Phospholipids	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
羧甲基纤维素 CMC	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
无机盐混合物* Mineral mixture*	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
复合维生素** Vitamin mixture**	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0

注: * 无机盐混合物(g/100 g): 硫酸镁, 3.0; 氯化钾, 0.7; 碘化钾, 0.015; 硫酸锌, 0.14; 硫酸锰, 0.03; 氯化铜, 0.05; 氯化钴, 0.005; 硫酸亚铁, 0.15; 磷酸二氢钾, 45.0; 氯化钙, 28.0。

* * 复合维生素/g: 维生素A, 2 500 IU/g; 维生素D3, 1 200 IU/g; 维生素K3, 60 IU/g; 维生素E, 50 IU/g; 维生素B1, 10 mg/g; 维生素B2, 10 mg/g; 维生素B6, 20 mg/g; 维生素B12, 0.15 mg/g; 烟酸, 40 mg/g; 叶酸, 5 mg/g; 泛酸钙, 20 mg/g; 肌醇, 150 mg/g; 生物素, 0.2 mg/g; 维生素C, 150 mg/g。

Note: * Mineral mixture (g/100 g): $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 3.0; KCl , 0.7; KI , 0.015; $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.14; $MnSO_4 \cdot 4H_2O$, 0.03; $CuCl_2$, 0.05; $CoCl_2 \cdot 6H_2O$, 0.005; $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, 0.15; KH_2PO_4 , 45.0; $CaCl_2$, 28.0。

* * Vitamin mixture: Vitamin A, 2 500 IU/g; Vitamin D3, 1 200 IU/g; Vitamin K3, 60 IU/g; Vitamin E, 50 IU/g; Thiamin, 10 mg/g; Riboflavin, 10 mg/g; Pyridoxine, 20 mg/g; Vitamin B12, 0.15 mg/g; Nicotinic acids, 40 mg/g; Folic acids, 5 mg/g; Ca-Pantothenate, 20 mg/g; Inositol, 150 mg/g; Biotin, 0.2 mg/g; Ascorbic acids, 150 mg/g。

1.4 样品的测定与数据处理

1.4.1 粗蛋白质、粗脂肪的测定 凯氏定氮法测定粗蛋白质。Folch法测定粗脂肪,即试验虾采集后,于新鲜状态剖解取其2~3 g肌肉(剥壳、剔去肌膜),用氯仿~甲醇法(体积比2:1)研磨浸泡抽提脂质,然后移入圆底烧瓶,于60℃水浴回流2 h,提取

脂质并测定。

1.4.2 水分、灰分含量的测定 大气压下将测试样品在 (105 ± 2) ℃恒温下烘干至恒重,其逸失的重量为水分含量。灰分采用马福炉500℃灰化失重法测定。

表2 试验饲料营养成分

Table 2 Nutrient composition of experimental diets %

营养成分 Nutrient composition	饲料组号 Diet no.				
	28A 28B	33A 33B	38A 38B	43A 43B	48A 48B
亮氨酸 Leu	2.36	2.86	3.32	3.81	4.29
缬氨酸 Val	1.69	2.05	2.37	2.73	3.07
苏氨酸 Thr	1.16	1.40	1.63	1.86	2.09
苯丙氨酸 Phe	1.39	1.68	1.95	2.23	2.52
赖氨酸 Lys	2.20	2.66	3.09	3.54	3.99
蛋氨酸 Met	0.79	0.95	1.09	1.25	1.40
异亮氨酸 Ile	1.28	1.55	1.81	2.19	2.35
精氨酸 Arg	1.39	1.67	1.93	2.20	2.47
组氨酸 His	0.78	0.94	1.09	1.26	1.42
粗蛋白质 Crude protein	26.7	33.0	38.1	42.6	48.1
粗脂肪 Crude lipid	7.11	7.11	7.09	7.11	7.12
水分 Moisture	10.1	9.8	9.8	9.9	10.1
灰分 Ash	12.3	12.3	12.3	12.4	12.3
能量 Energy (kJ/100g)	1558.8	1593.5	1602.4	1598.6	1616.9
蛋白/能量 P/E (mg protein/kJ)	1.71	2.07	2.38	2.66	2.97

注: ①28A、33A、38A、43A和48A指盐度2时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。②28B、33B、38B、43B和48B指盐度28时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。

Note: ① Nos. 28A, 33A, 38A, 43A and 48A refer to the diets used at salinity 2, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

② Nos. 28B, 33B, 38B, 43B and 48B refer to the diets used at salinity 28, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

1.4.3 氨基酸的测定 总氨基酸含量测定采用样品经6 mol/L盐酸水解后,用日立835-50型氨基酸自动分析仪测定。游离氨基酸测定即待虾摄食后2 h,称取0.4~0.5 g的对虾肌肉样品,加入4%的碘基水杨酸,在小型匀浆器中捣碎,然后在10 000 r/min、4℃下离心30 min。取上清液后,再用12滴4%的碘基水杨酸将管壁冲洗干净,倒入离心管与原沉淀搅开后再离心10 min,取上清液倒入第1次的

上清液中,再用4%的磺基水杨酸调至100 mL,取0.5 mL使用日立835-50型氨基酸自动分析仪测定。

1.4.4 胰蛋白酶的活性测定 待虾摄食后2 h,每个水槽捞12尾,取其肝胰腺,并称重,于蒸馏水中抽提20~28 h,冷冻离心(12 000 r/min)20 min得上清液,即酶粗提液。再以Na-对甲苯磺酰-精氨酸甲酯酸盐(TAME)作底物。以加入0.2 mL Tris-盐酸缓冲液作空白对照,试验组中加入0.20 mL粗酶提液,用Beckman分光光度计于247 nm测定吸光值(A),每隔30 s读数1次,共计2 min,根据时间-吸光值的关系曲线中的直线部分,通过吸光值的增量来计算胰蛋白酶的活性。胰蛋白酶的活性大小以用1 mg组织1 min内所产生的吸光值的变化量(增量)来表示 $[\Delta A_{247}/(\text{mg} \cdot \text{min})]$ 。

1.4.5 数据处理 试验数据的相关性分析、方差分析,最小极差显著法(Duncan法)多重比较运用STATISTICA软件处理。

2 结果与分析

2.1 不同蛋白质水平饲料对南美白对虾生长的影

响

南美白对虾幼虾的生长结果见表3,在盐度为2的A系列各组中,28A组相对增重率最高,为9 844.27%,除了与33A组无显著差异外($P > 0.05$),明显的高于其他各组($P < 0.05$);盐度28的B系列各组中,相对增重率以33B组最高(9 937.15%),且明显高于其他各组($P < 0.05$)。A系列组中,28A组成活率最高(87.50%),38A组最低(70.83%),两组间差异显著($P < 0.05$),与其他组比较均无显著差异($P > 0.05$)。B系列组中,43B组成活率最高(86.67%),38B组最低(77.50%),但各组间无显著差异($P > 0.05$)。

A、B系列各组,饲料系数(R_{FC})均随饲料蛋白质含量的增加而降低。饲料系数与饲料蛋白质含量(φ_P)呈明显的负相关: $R_{FC} = 1.9529 - 0.0165\varphi_P$ ($r = -0.85030, P < 0.05$)。盐度2的A系列组中,48A组饲料系数最低(1.21),明显的低于其他饲料组($P < 0.05$),28A最高(1.49),与33A组无显著差异外($P > 0.05$),明显的高于其他组($P < 0.05$);而盐度28的B系列组中,也是48B组饲料系数最低(1.09),28B组饲料系数为最高(1.52)。

表3 试验饲养结果
Table 3 Result of the feeding experiment

组号 Diet no.	初均重/g Initial BW	末均重/g Final BW	相对增重率/% Weight gain	饲料系数 R_{FC}	存活率/% Survival rate	蛋白质效率 R_{PE}
28A	0.0111	1.105	9 844.27 ± 372.35 ^{ab}	1.49 ± 0.04 ^c	87.50 ± 2.50 ^a	2.42 ± 0.06 ^a
33A	0.0101	0.908	8 883.48 ± 537.12 ^b	1.46 ± 0.05 ^{bc}	86.67 ± 2.88 ^{ab}	2.08 ± 0.07 ^b
38A	0.0105	0.857	7 656.63 ± 229.55 ^c	1.34 ± 0.06 ^b	70.83 ± 7.64 ^b	1.96 ± 0.10 ^{bc}
43A	0.0110	0.856	8 064.95 ± 296.92 ^c	1.33 ± 0.02 ^b	78.33 ± 3.82 ^{ab}	1.76 ± 0.03 ^c
48A	0.0109	0.923	8 396.12 ± 611.88 ^{bc}	1.21 ± 0.05 ^a	79.17 ± 7.64 ^{ab}	1.72 ± 0.07 ^c
28B	0.0101	0.864	8 463.78 ± 112.61 ^{bc}	1.52 ± 0.09 ^c	85.00 ± 5.00 ^{ab}	2.46 ± 0.15 ^a
33B	0.0109	1.083	9 937.15 ± 871.16 ^a	1.35 ± 0.01 ^b	80.83 ± 1.44 ^{ab}	2.26 ± 0.24 ^{ab}
38B	0.0102	0.914	8 832.82 ± 145.26 ^{bc}	1.32 ± 0.08 ^b	77.50 ± 5.20 ^b	1.99 ± 0.12 ^b
43B	0.0116	0.988	8 426.41 ± 250.25 ^{bc}	1.21 ± 0.05 ^{ab}	86.67 ± 3.82 ^{ab}	1.94 ± 0.08 ^{bc}
48B	0.0112	0.974	8 634.20 ± 196.25 ^{bc}	1.09 ± 0.07 ^a	84.17 ± 6.54 ^{ab}	1.92 ± 0.13 ^{bc}

注:①28A、33A、38A、43A和48A指盐度2时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。②28B、33B、38B、43B和48B指盐度28时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。③同一列中具不同上标字母的平均值数据之间差异显著($P < 0.05$)。

Notes: ① Nos. 28A, 33A, 38A, 43A and 48A refer to the diets used at salinity 2, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

② Nos. 28B, 33B, 38B, 43B and 48B refer to the diets used at salinity 28, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

③ The different superscripts in the same column mean significant difference ($P < 0.05$).

饲料蛋白质效率(R_{PE})随饲料蛋白质含量(φ_P)的增加呈降低的趋势,即饲料蛋白质效率与饲料蛋

白质含量呈明显的负相关关系:

$$R_{PE} = 3.25 - 0.0315\varphi_P \quad (r = -0.8620, P < 0.05)$$

0.05)。A系列组中 R_{PE} 以28A为最高(2.42),显著高于其他组($P < 0.05$)。B系列组中以28B为最高(2.46),除33B外,显著高于其他组($P < 0.05$)。

2.2 肌肉游离氨基酸含量的变化

各组虾体肌肉游离氨基酸(FAA)含量变化及其中的必需氨基酸(EAA)、非必需氨基酸(NEAA)含量见表4。盐度2的A系列组中,表观上看,28A组的FAA含量最高,统计分析表明,各组间无显著差异($P < 0.05$),盐度28的B系列组,33B的FAA含量最高,显著高于其他组($P < 0.05$),A系列各组FAA含量,除与28B组无显著差异($P > 0.05$)外,显

著低于B系列其他组($P < 0.05$)。A系列组与B系列组比较,前者FAA相对较低。

非必需氨基酸(NEAA)含量,A系列组中,28A组含量最高,与48A组无显著差异外($P > 0.05$),明显的高于其他组($P < 0.05$);B系列组中以33B含量最高,显著高于其他组($P < 0.05$)。必需氨基酸(EAA)含量,A系列组中,48A最高,其次是43A。28A居中,与其他组比较,均无显著差异($P < 0.05$);B系列组中以38B含量最高,显著高于其他组($P < 0.05$)。

表4 试验南美白对虾体肌肉游离氨基酸含量($n=3$)
Table 4 Free amino acids profile in muscle of experimental *P. vannamei* ($n=3$) %

氨基酸 Amino acids	组号 Diet no.									
	28A	33A	38A	43A	48A	28B	33B	38B	43B	48B
亮氨酸 Leu	0.066 ^b	0.055 ^c	0.068 ^b	0.059 ^c	0.049 ^d	0.046 ^d	0.074 ^a	0.060 ^c	0.044 ^d	0.051 ^d
缬氨酸 Val	0.073 ^d	0.060 ^f	0.068 ^a	0.070 ^d	0.063 ^f	0.049 ^b	0.096 ^a	0.096 ^a	0.053 ^e	0.078 ^c
苏氨酸 Thr	0.215 ^c	0.201 ^e	0.149 ^d	0.185 ^c	0.181 ^e	0.157 ^d	0.270 ^d	0.348 ^a	0.174 ^b	0.239 ^d
苯丙氨酸 Phe	0.045 ^b	0.037 ^d	0.040 ^d	0.042 ^e	0.043 ^e	0.037 ^d	0.050 ^a	0.043 ^c	0.037 ^e	0.035 ^d
赖氨酸 Lys	0.107 ^a	0.086 ^b	0.059 ^d	0.063 ^c	0.063 ^c	0.056 ^d	0.102 ^a	0.082 ^b	0.078 ^b	0.064 ^e
蛋氨酸 Met	0.047 ^a	0.034 ^c	0.043 ^c	0.045 ^b	0.037 ^e	0.034 ^c	0.050 ^a	0.048 ^a	0.034 ^c	0.038 ^c
异亮氨酸 Ile	0.039 ^b	0.031 ^c	0.037 ^b	0.038 ^b	0.032 ^{cd}	0.028 ^d	0.047 ^a	0.038 ^b	0.028 ^d	0.032 ^{cd}
精氨酸 Arg	0.472 ^f	0.502 ^a	0.570 ^d	0.586 ^{cd}	0.723 ^b	0.580 ^d	0.471 ^a	0.821 ^a	0.719 ^b	0.660 ^c
组氨酸 His	0.060 ^b	0.037 ^d	0.040 ^{cd}	0.049 ^{bc}	0.040 ^d	0.046 ^{cd}	0.068 ^a	0.062 ^b	0.044 ^{cd}	0.046 ^c
必需氨基酸 EAA	1.125 ^{bc}	1.043 ^c	1.075 ^c	1.138 ^b	1.230 ^b	1.033 ^c	1.228 ^b	1.598 ^a	1.211 ^b	1.242 ^b
甘氨酸 Gly	0.349 ^e	0.357 ^a	0.401 ^d	0.266 ^f	0.450 ^d	0.732 ^b	0.554 ^c	0.416 ^d	0.882 ^a	0.436 ^d
丙氨酸 Ala	0.361 ^{bc}	0.346 ^c	0.375 ^b	0.211 ^f	0.232 ^e	0.305 ^d	0.422 ^a	0.238 ^{de}	0.362 ^{bc}	0.302 ^d
谷氨酸 Glu	0.218 ^b	0.161 ^{cd}	0.143 ^d	0.166 ^{cd}	0.143 ^d	0.128 ^{ef}	0.339 ^a	0.114 ^f	0.152 ^d	0.170 ^c
天门冬氨酸 Asp	0.039 ^b	0.035 ^c	0.046 ^a	0.017 ^f	0.018 ^f	0.020 ^{ef}	0.044 ^a	0 ^a	0.028 ^d	0.029 ^d
脯氨酸 Pro	0.830 ^a	0.737 ^a	0.653 ^b	0.784 ^a	0.857 ^a	0.635 ^b	1.252 ^a	1.193 ^b	0.757 ^a	0.959 ^c
丝氨酸 Ser	0.068 ^b	0.055 ^c	0.055 ^c	0.068 ^b	0.059 ^{bc}	0.048 ^f	0.073 ^a	0.052 ^f	0.062 ^c	0.053 ^{ef}
胱氨酸 Cys	0.012 ^b	0.010 ^b	0.007 ^e	0.006 ^c	0.007 ^c	0.013 ^b	0.019 ^a	0.010 ^b	0.011 ^b	0.0124 ^b
酪氨酸 Tyr	0.047 ^{cd}	0.043 ^a	0.035 ^f	0.050 ^c	0.025 ^f	0.053 ^b	0.054 ^b	0.060 ^a	0.046 ^d	0.044 ^{de}
鸟氨酸 Orn	0.008 ^e	0.008 ^e	0.011 ^{cd}	0.012 ^c	0.015 ^b	0.014 ^{bc}	0.012 ^c	0.096 ^d	0.021 ^a	0.097 ^d
非必需氨基酸 NEAA	1.932 ^d	1.752 ^c	1.726 ^{cd}	1.580 ^f	1.806 ^d	1.948 ^{cd}	2.769 ^a	2.179 ^c	2.321 ^b	2.102 ^{cd}
氨基酸量 Total amino acids	3.057 ^c	2.795 ^c	2.801 ^c	2.718 ^c	3.036 ^c	2.981 ^c	3.997 ^a	3.777 ^{ab}	3.532 ^b	3.344 ^b

注:①28A、33A、38A、43A和48A指盐度2时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。②28B、33B、38B、43B和48B指盐度28时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。③同一列中具不同上标字母的平均值数据之间差异显著($P < 0.05$)。

Note: ① Nos. 28A, 33A, 38A, 43A and 48A refer to the diets used at salinity 2, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

② Nos. 28B, 33B, 38B, 43B and 48B refer to the diets used at salinity 28, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

③ The different superscripts at the same row mean significant difference ($P < 0.05$).

试验组虾体肌肉中各游离氨基酸含量也有一定的变化,其变化并不随饲料蛋白质含量的增加而增加。对几种重要的必需氨基酸如精氨酸(Arg)、赖氨酸(Lys)和蛋氨酸(Met)进行分析,盐度2的A系

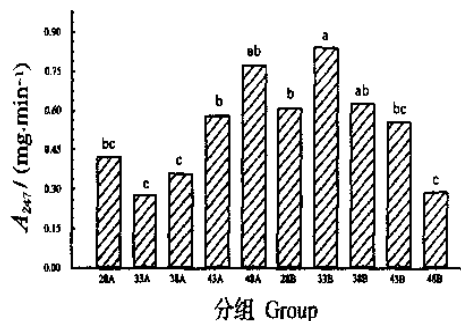
列组中,28A组Arg含量最低(0.472%),显著低于其他组($P < 0.05$),而Lys和Met含量最高,分别为0.107%和0.047%,显著高于其他组($P < 0.05$);盐度28的B系列组中,33B组Arg含量最低

(0.471%)显著低于其他组($P < 0.05$),而 Lys 和 Met 含量也最高,分别为 0.102% 和 0.050%,显著高于其他组($P < 0.05$)。

试验各组游离氨基酸含量变化幅度不完全一致,其中 A 系列组的必需氨基酸中变异系数(C.V)最大的是赖氨酸(0.27),最小的是苯丙氨酸(0.07),非必需氨基酸中变异系数最大的是天门冬氨酸(0.42),最小的是丝氨酸(0.11);而 B 系列组的必需氨基酸中变异系数最大的是苏氨酸(0.43),最小的是苯丙氨酸(0.16),非必需氨基酸中变异系数最大的是谷氨酸(0.58),最小的是酪氨酸(0.12)。

2.3 肝胰腺胰蛋白酶活性的变化

各组肝胰腺胰蛋白酶活性见图1,盐度2的A系列组中,胰蛋白酶活性以48A组最高,33A最低,除28A组外,其他组胰蛋白酶活性随饲料蛋白质含量的增加而增加;盐度28的B系列组中,胰蛋白酶活性以33B组最高,显著高于其他组($P < 0.05$);48B组最低,除28B组外,其他组胰蛋白酶活性随饲料蛋白质含量的增加而降低。



①28A、33A、38A、43A 和 48A 指盐度2时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。②28B、33B、38B、43B 和 48B 指盐度28时各组饲料蛋白质水平分别为28%、33%、38%、43%和48%。
Note: ① Nos. 28A, 33A, 38A, 43A and 48A refer to the diets used at salinity 2, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

② Nos. 28B, 33B, 38B, 43B and 48B refer to the diets used at salinity 28, whose protein levels were 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, respectively.

图1 2种不同蛋白质含量饲料对南美白对虾胰蛋白酶的影响

Fig.1 Effects of dietary protein level on trypsin activities of *P. vannamei*

3 讨论

49天的试验结果显示,盐度为2时,28A组相

对增重率最高(9 844.27%);盐度为28时,33B组最高(9 937.15%)。就成活率来看,饲料蛋白质含量的变化对成活率的影响没有规律性,而饲料系数则随饲料蛋白质含量的增加呈降低的趋势,这与 Colvin 等^[4]报道的印度对虾(*P. indicus*)蛋白质需求量研究结果一致。蛋白质含量较低的28A和33B组饲料系数相对较高,但分析显示,饲料蛋白质含量差距在5%以内饲料系数无显著差异($P < 0.05$)。试验结果还表明,饲料蛋白效率随饲料蛋白质含量的增加呈降低的趋势,Colvin 等^[4]和 Alava 等^[5]分别在印度对虾(*P. indicus*)和斑节对虾(*P. monodon*)饲料蛋白质需要量研究中也得出相似的结果。高蛋白对于对虾并不是必需的,其大部分被用作能量,只有小部分用于生长积累^[6]。饲料蛋白质含量越高,作为能量用途而被降解的蛋白越多,因此,饲料蛋白质含量降低,蛋白质利用率反而增加,且更为经济。A系列组中,28A的蛋白质效率为最高(2.42);B系列中,28B为最高(2.46),其次是33B(2.26)。综合增重率、蛋白质效率及成活率等结果看,盐度2时,26.7%饲料蛋白质含量最适宜;盐度28时,33.0%饲料蛋白质含量最适宜,2种饲料的蛋白能量比分别为1.71和2.07 mg protein/kJ。

不同种类的对虾蛋白质需求量有所不同,即使同一品种对虾,不同的研究者推荐的蛋白质需要量也有一定差异,这主要是因为研究者所采用的试验虾规格、饲料源、饲养环境以及试验方法等有所不同而造成的。本试验结果与印度对虾(*P. indicus*)的43%^[4]、斑节对虾(*P. monodon*)的40%^[5]、日本对虾(*P. japonicus*)的54%^[7]、中国对虾(*P. chinensis*)的44%^[8]蛋白质需要量结果相比较甚低,与 Colvin 等^[3]研究南美白对虾(*P. Vannamei*)成虾的30%蛋白质需要量结果较接近,比 Smith 等^[2]采用鱼粉、虾粉研究南美白对虾幼虾报道的36%以上蛋白质需要量的结果稍低,这可能与本试验的饲料源及方法有关,本试验采用干酪素和明胶为主要蛋白源。对于南美白对虾,酪蛋白、明胶的蛋白质表观消化率分别达99.1%和97.3%,而鱼粉和虾粉分别只有80.7%和74.6%^[9]。另外本试验每日投喂4次,而 Smith 等^[2]试验每日投喂2次。由于幼虾代谢较快,投喂量不足也会造成蛋白质需要量的结果偏高^[10]。Robertson 等^[11]在室外水槽中研究了海水盐度和饲料蛋白含量对南美白对虾生长影响的试验,发现在盐度46的海水中,饲料蛋白质含量为45%时,南美

白对虾生长比 35% 和 25% 蛋白组快,而在盐度 12 的半咸水中,45% 蛋白质组的虾生长都不比 35% 和 25% 蛋白组快。本试验结果,盐度 2 时的 26.7% 最适宜蛋白质含量较盐度 28 时的蛋白质最适宜量 (33.0%) 低,与 Robertson 等^[11] 研究结果存在一致性。至于低盐度水体中最适宜饲料蛋白质水平较低的原因,可能与虾体在不同盐度水体中的生理代谢变化有关,Dalla^[12] 和臧维玲等^[13] 研究表明,生活在低盐度水域的对虾耗氧率大,且消耗能量也高。而本试验 28A 组饲料相对其他组来说,是低蛋白高能量饲料,这是否意味着一定范围内的低蛋白高能量饲料更适合低盐度水体的对虾生长需求,还有待于进一步研究。

本试验结果显示,不同蛋白质含量的饲料组,虾体胰蛋白酶活性变化也不一致,这是因为细胞内酶的诱导及合成与底物性质和浓度有关^[14]。田丽霞等^[15] 研究报道,饵料蛋白质的性质和含量对草鱼胰蛋白酶的活性有一定影响。胰蛋白酶活性的变化,在一定程度上能反映饲料氨基酸的消化利用情况。本试验不同蛋白质含量饲料对虾体肌肉游离氨基酸 (FAA) 总含量有显著影响 ($P < 0.05$),但游离氨基酸含量与饲料蛋白质含量之间并没有明显的相关性。由于蛋白质含量对胰蛋白酶、精氨酸酶等活性有显著影响,胰蛋白酶特异性地水解碱性氨基酸 (Arg 和 Lys) 的羧基肽键^[14]。因此,胰蛋白酶活性的变化,会直接影响到饲料结合态蛋白质中精氨酸和赖氨酸等的分解,盐度 2 的 A 系列组中,28A 组 Arg 含量最低,显著低于其他组 ($P < 0.05$),而 Lys 和 Met 含量最高;盐度 28 的 B 系列组中,33B 组 Arg 含量最低,而 Lys 和 Met 含量也最高。这种 Lys 高而 Arg 低的现象可能是 Lys 与 Arg 相互拮抗所致。Arg 在对虾体 FAA 中占有很大的比例 (约 16%),远大于其在机体蛋白中的比例 (约 9%),可以推测,机体蛋白合成代谢过程中,Arg 不容易缺乏,过高的 Arg 反而限制其他氨基酸含量,并影响到氨基酸平衡。Fox 等^[16] 报道了南美白对虾饲料的 3 种限制性氨基酸的重要程度, $Lys > Met > Arg$, 即第 1 限制性氨基酸是 Lys,第 2 为 Met,第 3 是 Arg。许多研究成果也表明, Lys 和 Met 在机体蛋白合成过程中的起着非常重要的作用^[17]。本试验 28A 和 33B 组之所以有最大的生长率,可能与其体内游离氨基酸的平衡性和高含量的 Lys、Met 有密切的关系。

致谢:实验工作得到了广东海大畜牧水产研究中心的支持,特此谨表感谢。

参考文献:

- [1] Shiau S Y. Nutrient requirement of penaeid shrimps [J]. Aqu, 1998, 164: 77-93.
- [2] Smith L L, Lee P G, Lawrence A L, et al. Growth and digestibility by three sizes of *Penaeus vannamei* Boone: effects of dietary protein level and protein source [J]. Aqu, 1985, 46: 85-96.
- [3] Colvin P M, Brand C W. The protein requirement of penaeid shrimp at various life-cycle stages in controlled environment systems [J]. Proc World Maricult Soc, 1977, 8: 369-377.
- [4] Colvin P M. Nutritional studies on penaeid prawns: Protein requirements in compounded diets for juvenile *Penaeus indicus* (Milne Edwards) [J]. Aqu, 1976, 7: 315-326.
- [5] Alava V R, Lim C. The quantitative dietary protein requirements of *Penaeus monodon* juveniles in a controlled environment [J]. Aqu, 1983, 30: 53-61.
- [6] Alava V R, Pascual F P. Carbohydrate requirements of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles [J]. Aqu, 1987, 61: 211-217.
- [7] Deshimaru O, Katsunobu K. Studies on a purified diet for prawn - IV evaluation of protein, free amino acids and their mixture as nitrogen source [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1975, 41(1): 101-103.
- [8] 徐新章, 李爱杰. 中国对虾饲料中蛋白质、糖、纤维素、脂肪的适宜含量及日需量研究 [J]. 海洋科学, 1988(6): 1-6.
- [9] Akiyama D M, Coelho S R, Lawrence A L, et al. Apparent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vannamei* Boone [J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1989, 55(1): 91-98.
- [10] Dall W. 对虾生物学 [M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992.
- [11] Robertson L, Lawrence A L, Castile F. Interaction of salinity and feed protein level on of *Penaeus vannamei* [J]. J App Aqu, 1993, 2(1): 43-54.
- [12] Dalla Via G J. Salinity responses of the juvenile *P. Shrimp P. japonicus* [J]. Aqu, 1986, 55: 297-306.
- [13] 臧维玲, 戴习林, 江敏, 等. 盐度对日本对虾生长与瞬时耗氧率的影响 [J]. 上海水产大学学报, 2002, 11(2): 114-117.
- [14] 梁之彦. 生理化学 [M]. 上海: 上海科技出版社, 1984.
- [15] 田丽霞, 林鼎. 草鱼摄食两种蛋白质饲料后消化酶活性变动比较 [J]. 水生生物学报, 1993, 17(1): 58-65.
- [16] Fox J M, Lawrence A L, Li-Chan E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources [J]. Aqu, 1995, 131: 279-290.
- [17] 周小秋, 杨凤, 周安国. 赖氨酸和蛋氨酸对水产动物蛋白质合成能力的影响 [J]. 国外畜牧科技, 2001, 28(3): 2-5.

Protein requirements in compounded diets for *Penaeus vannamei* juveniles

HUANG Kai¹, WANG Wu², LU Jie¹

(1. College of Animal Science and Technology, Guangxi University, Nanning 530005 China;

2. Fisheries College, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090 China)

Abstract: The average body weight of the juvenile *Penaeus vannamei* was (0.011 ± 0.001) g. The main protein source of the experimental diets was supplied by casein and gelatin and the diets protein levels were designed at 28%, 33%, 38%, 43% and 48%, and two experiment salinity levels were 2 and 28. The experiment period was 49 d, during which the water temperature was 27.0–31.5 °C, DO 4.5–5.6 mg/L and pH 7.8–8.3. The final results show that the feed conversion ratios and protein efficiency ratios both decrease with the increasing levels of dietary protein. The effects of dietary protein level on trypsin activities and essential amino acids compositions in shrimp muscle were significant ($P < 0.05$). The optimum level of dietary protein for *P. vannamei* juveniles is about 26.7% at salinity 2 with the weight gain of 9 844.27%, and at salinity 28 the optimum level of dietary protein is 33% at salinity 28 with the weight gain of 9 937.15%. The conclusion is that within certain range of dietary protein level, the diets with low protein level and high energy may get much high protein efficiency rate and good culture effects compared with high protein level diets.

Key words: *Penaeus vannamei*; juvenile; dietary; protein requirement

Corresponding author: WANG Wu. E-mail: wwang@shfu.edu.cn

《海洋水产研究》学报征订启事

《海洋水产研究》学报是1978年经国家科委批准,由中国水产学会和中国水产科学研究院黄海水产研究所共同主办、科学出版社出版的水产学术性期刊。本刊为中国科技核心期刊,国内外公开发行。

《海洋水产研究》学报主编由中国工程院院士、黄海水产研究所所长唐启升研究员担任,副主编及编委由中国科学院海洋研究所、中国海洋大学、南京大学、上海水产大学、大连水产学院、南海水产研究所、东海水产研究所等国内外著名专家教授担任。稿件来自全国各地,主要刊载与海水养殖生态、病害、育种、营养、海洋生物资源、环境保护、增养殖工程、食品工程、水产品质量检测和渔业捕捞技术等有关的水产基础与应用研究方面的论文和研究简报等。

《海洋水产研究》学报为季刊,大16开,每期定价15元,全年60元(含邮费),国内外公开发行,邮发代号:24-153,欢迎投稿和订阅。编辑部地址:山东省青岛市南京路106号,邮编:266071。电话:0532-5833580, E-mail: liusl@ysfri.ac.cn 或 chenyan@ysfri.ac.cn <http://www.ysfri.ac.cn>