

文章编号:1000-0615(2003)05-0456-06

南美白对虾必需氨基酸的需要量

黄 凯^{1,2} 王 武², 李春华¹

(1. 广西大学动物科技学院, 广西南宁 530005; 2. 上海水产大学生命科学与技术学院, 上海 200090)

摘要:采用高生物价的酪蛋白、明胶为蛋白源的蛋白饲料(PD)和无蛋白饲料(FPD)饲养南美白对虾幼虾(0.2627~0.2715g),根据虾体必需氨基酸(EAA)生长及维持量代谢,研究南美白对虾必需氨基酸的需求量。结果表明,要满足幼虾正常生长,各种 EAA 需求量 $[g \cdot (100g \text{ 虾体重})^{-1} \cdot d^{-1}]$ 为苏氨酸(Thr)0.046,缬氨酸(Val)0.054,蛋氨酸(Met)0.029,异亮氨酸(Ile)0.069,亮氨酸(Leu)0.087,苯丙氨酸(Phe)0.051,赖氨酸(Lys)0.086,组氨酸(His)0.025,精氨酸(Arg)0.097。如饲料蛋白质水平为 40%,蛋白质利用率 50%,虾摄食率为 20%,推算得出饲料中 EAA 需求量 $(g \cdot kg^{-1})$:苏氨酸(Thr)11.5,缬氨酸(Val)13.5,蛋氨酸(Met)7.3,异亮氨酸(Ile)17.3,亮氨酸(Leu)21.8,苯丙氨酸(Phe)12.8,赖氨酸(Lys)21.5,组氨酸(His)6.3,精氨酸(Arg)24.3。

关键词:南美白对虾;必需氨基酸;营养;需求**中图分类号:**S963.73+1 **文献标识码:**ARequirement of essential amino acids for *Penaeus vannamei*HUANG Kai^{1,2}, WANG Wu², LI Chun-hua¹

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

2. College of Aqua-life Science and Technology, Shanghai Fisheries University, Shanghai 200090, China)

Abstract: Feeding experiments were conducted with protein diets (PD) and protein-free diets (FPD) for juvenile *Penaeus vannamei* (average body weights, 0.2627 – 0.2715g). The diets (PD) are prepared by casein and gelatin as protein source with high biological values. The requirements of juvenile *Penaeus vannamei* for essential amino acids (EAA) were determined based on the daily deposition and changes of each EAA in shrimp body. The minimum requirements of EAA needed to satisfy the requirements of juvenile *Penaeus vannamei* growth ($g^{-1} \cdot (100g \text{ body weight})^{-1} \cdot d^{-1}$) were Threonine 0.046, Valine 0.054, Methionine 0.029, Isoleucine 0.069; Leucine 0.087, Phenylalanine 0.051, Lysine 0.086, Histidine 0.025, Arginine 0.097. When dietary protein levels was 40%, net protein utilization ratio was 50% and the feeding rate was 20% of the body weight, the minimum contents of EAA in the dietary ($g \cdot kg^{-1}$ diet) were as follows, Threonine 11.5, Valine 13.5, Methionine 7.3, Isoleucine 17.3, Leucine 21.8; Phenylalanine 12.8, Lysine 21.5, Histidine 6.3 and Arginine 24.3.

Key words: *Penaeus vannamei*; essential amino acids; nutrition; requirement**收稿日期:**2002-12-30**资助项目:**广西大学青年科研基金资助**作者简介:**黄 凯(1963-),男,广西全州人,副教授,上海水产大学博士研究生。从事集约化水产养殖和水产动物营养学研究。**Tel:** 0771-3238409, **E-mail:** hkai110@163.com**通讯作者:**王 武(1941-),男,上海市人,教授,博士生导师,从事集约化水产养殖学研究。**Tel:** 021-65710522, **E-mail:** wwang@

shfu.edu.cn

水产动物必需氨基酸(EAA)需求研究是水产动物营养学的一个重要课题,早期以 Halver^[1,2]为代表的美国学者以晶体的 L-氨基酸混合物为实验饲料,对大鳞大麻哈鱼的 EAA 进行了定性和定量的系统研究。Deshimaru 和 Shigueno^[3]认为,饲料蛋白的氨基酸组成应该与对虾组织相符合。李爱杰^[4]通过分析中国对虾体必需氨基酸组成,研究了我国对虾 EAA 的需求量。Ogino 和 Nanri^[5]、Ogino^[6]采用高生物价蛋白源饲料和无蛋白饲料进行鲤和虹鳟饲养试验,通过测定鱼体含氮量变化及初始 EAA 含量,换算 EAA 增加量和维持代谢量而求得 EAA 需求量。本试验方法与 Ogino^[6]方法相类似,同样采用高生物价的酪蛋白为蛋白源的饲料和无蛋白饲料对南美白对虾进行饲养试验,不同的是,本试验为排除生长阶段体内 EAA 代谢变化对试验结果的影响,故直接测定试验初始和结束时的南美白对虾体 EAA 值,以 EAA 增加量和维持代谢量的两者之和确定为满足虾类生长所需的各 EAA 需求量。本试验旨在以一种快捷、简便的方法来研究对虾必需氨基酸的需求。

1 材料与方 法

1.1 试验用 虾

试验用虾来自南宁市青山对虾育苗场,选择体重 0.2627~0.2715g 的健康幼虾作为试验虾,室内禁食暂养 24 h,使其消化道排空,每个水槽中随机放入中的虾苗数为 50 尾,然后再从每个水槽中随机抽取 20 尾,测量体重并进行生化分析。试验分蛋白饲料(PD)组和无蛋白饲料(FPD)组,每组设有 4 个重复。

1.2 饲料的 制备

蛋白饲料(PD)采用高生物价的酪蛋白、明胶为主要蛋白源,并添加鱼油、虾粉、糊精、胆固醇、磷脂、复合维生素及无机盐制作而成,无蛋白饲料(FPD)除酪蛋白、明胶、虾粉和糊精外其它组分和蛋白饲料(PD)组分相同,蛋白源原料空缺比例用糊精补足。各种饲料原料均匀混合后,加适量水搅拌,通过绞肉机挤成直径为 1.5mm 的长条,切成 1mm 或 2mm 长的颗粒,在 60℃ 的烘箱下,烘干 4h,冷却后密封冷藏备用。试验饲料配方及饲料营养成分见表 1 和表 2。

表 1 试验饲料营养成分组成

Tab.1 Nutrient composition of the tested diet

%

组 成 ingredients	含 量 content		组 成 ingredients	含 量 content	
	蛋白饲料 (PD)	无蛋白饲料 (FPD)		蛋白饲料 (PD)	无蛋白饲料 (FPD)
干酪素 casein	40	0	明 胶 gelatin	8	0
虾 粉 prawn meal	5	0	糊 精 dextrin	25.5	78.5
鱼 油 fish oil	4	4	胆 固醇 cholesterol	0.5	0.5
磷 脂 phospholipid	1	1	羧甲基纤维素 CMC	2	2
无机盐混合物 ¹⁾ mineral premix	10	10	维生素混合物 ²⁾ vitamin premix	4	4
粗蛋白 crude protein	43.8	0	粗脂肪 crude lipid	6.5	6.3
灰 分 ash	10.5	10.1	水 分 moisture	9.8	10.0

注:1)无机盐混合物(g·100g⁻¹):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。2)复合维生素(mg 或 IU/g):维生素 A 2500IU;维生素 D₃ 1200IU;维生素 K₃ 60IU;维生素 E 50IU;维生素 B₁ 10;维生素 B₂ 10;维生素 B₆ 20;维生素 B₁₂ 0.15;烟酸 40;叶酸 5;泛酸钙 20;肌醇 150;生物素 0.2;维生素 C 150

Notes:1) mineral premix (g·100g⁻¹):MgSO₄·7H₂O 3.0; KCl 0.7; KI 0.015; ZnSO₄·7H₂O 0.14; MnSO₄·4H₂O 0.03; CuCl₂ 0.05; CoCl₂·6H₂O 0.005; FeSO₄·7H₂O 0.15; KH₂PO₄ 45.0; CaCl₂ 28.0;(2) vitamin premix (mg or IU·g⁻¹):Vitamin A 2500IU; Vitamin D₃ 1200IU; Vitamin K₃ 60IU; Vitamin E 50IU; Thiamin 10; Riboflavin 10; Pyridoxine 20; Vitamin B₁₂ 0.15; Nicotinic acids 40; Folic acids 5; Ca-Pantothenate 20; Inositol 150; Biotin 0.2; Ascorbic acids 150

表2 蛋白组饲料必需氨基酸组成

Tab.2 Contents of essential amino acids in protein diets

必需氨基酸 EAA	苏氨酸 Thr	缬氨酸 Val	蛋氨酸 Met	异亮氨酸 Ile	亮氨酸 Leu	苯丙氨酸 Phe	赖氨酸 Lys	组氨酸 His	精氨酸 Arg
含量 content	1.68	2.49	1.19	1.96	3.61	2.18	3.07	1.94	1.98

1.3 饲养管理

试验水体盐度为10,由盐度为80的浓缩海水与已曝气的自来水兑制而成。试验水槽规格为50cm × 40cm × 35cm,配备循环过滤、充气装置。饲料投喂时间为8:00、12:00、18:00、22:00,以饱食为准。试验期间水温27~30℃,溶解氧>5.65mg·L⁻¹,氨态氮<0.03mg·L⁻¹。试验时间为2001年6月18日至7月17日,共计30d。

1.4 分析测定方法

粗蛋白质采用凯氏定氮法测定。氨基酸的测定采用全虾样品经6mol·L⁻¹盐酸水解后,用日立835-50型氨基酸自动分析仪测定,色氨酸在水解中被破坏,未另测。脂肪的测定采用Folch法提取脂质并测定。水分测定采用常压干燥法。

1.5 计算方法

南美白对虾体组织EAA日增加量、维持量、需要量及饲料EAA最低需求量计算方法如下。

$$\text{EAA 日增加量} = \frac{\text{PD 组虾末重} \times \text{末 EAA 含量} - \text{PD 组虾初重} \times \text{初始 EAA 含量}}{(\text{PD 组虾初重} + \text{PD 组虾末重}) / 2} \div \text{天数}(d)$$

$$\text{EAA 日维持量} = \frac{\text{FPD 组虾初重} \times \text{初始 EAA 含量} - \text{FPD 组虾末重} \times \text{末 EAA 含量}}{(\text{FPD 组虾初重} + \text{FPD 组虾末重}) / 2} \div \text{天数}(d)$$

$$\text{EAA 日需要量} = \text{体组织 EAA 日增加量} + \text{体组织 EAA 日维持量}$$

$$\text{饲料 EAA 最低需求量} = \frac{\text{体组织 EAA 日需要量}}{\text{饲料粗蛋白含量} \times \text{蛋白质利用率} \times \text{日投喂率}}$$

2 结果

2.1 生长与存活

从饲养和测定结果(表3、表4)可以看出,蛋白饲料(PD)组的虾初始体重为0.2627 ± 0.0128g,经过30d的饲养,虾体重达1.740g,其相对增重率为562.5%,无蛋白饲料组(FPD)的虾初始体重为0.2715 ± 0.0324g,试验结束时体重为0.2757g,相对增重率为1.5%,几乎不增长,PD组的虾体氨基酸总量则为18.21%,增加了11.10%,脂肪含量分别为5.43%,增加了24.38%,水分由78.41%减少到75.95%,下降了3.17%;FPD组虾体氨基酸总量下降幅度较大,由初始的16.92%下降到结束的10.98%,下降了35.11%,平均每天下降了1.17%,而脂肪和水分含量有所升高,为4.54%和79.51%,分别上升了54.26%和3.91%。试验结束时PD组虾的成活率为89.17%,而FPD组的成活率只有68.33%,比投喂PD组的成活率低20.84%。PD组的饲料系数为1.37,由于FPD组缺少明胶,影响了饲料在水中稳定性,故未对FPD组投喂量作测定计算。

表3 饲养结果

Tab.3 Results of feeding experiment

组别 diet no.	初始体重(g) initial weight	末体重(g) final weight	试验天数(d) culture days	增重率(%) weight gain	日增重率(%) weight gain a day	成活率(%) survival rate	饲料系数 FCR
PD	0.263	1.740	30	562.25	18.74	89.17	1.23
FPD	0.272	0.276	30	1.50	0.05	68.33	—

表 4 南美白对虾机体生化组成

Tab.4 Biochemical composition of the tested *P. vannamei*

%

	初始值(a) initial			结束值(b) final			相对比值 100(b-a)/a		
	氨基酸 amino acid	粗脂肪 crude lipid	水分 moisture	氨基酸 amino acid	粗脂肪 crude lipid	水分 moisture	氨基酸 amino acid	粗脂肪 crude lipid	水分 moisture
PD	16.39	3.65	78.41	18.21	4.54	75.95	11.10	24.38	-3.14
FPD	16.92	3.52	78.50	10.98	5.43	81.57	-35.11	54.26	3.91

PD 组虾经 30d 的饲养,增重率达到了 562.05%、日增重率为 18.8%,与江涛^[7]在池塘南美白对虾高产饲养试验,经 37d 的饲养增重率为 632.7%、日增重率为 17.1%相比相差不大(表 5)。

表 5 蛋白饲料组增重、存活与其他池塘养殖情况的比较

Tab.5 Comparison of weight gain, survival rate between PD and other cultured pond

	初重(g) initial weight	末重(g) final weight	饲养时间(d) culture days	相对增重率(%) weight gain	日相对增重率(%) weight gain·d ⁻¹	成活率(%) survival rate
蛋白饲料组 PD	0.26	1.74	30	562.5	18.8	89.17
养殖池塘* cultured pond	0.52	3.81	37	632.7	17.1	71.2

* 见参考文献[7]

* see reference [7]

2.2 必需氨基酸增加量和维持量

本试验蛋白(PD)组和无蛋白(FPD)组南美白对虾氨基酸含量的变化结果见表 6。通过对表 6 中的数据进行计算,可得 PD 组南美白对虾幼虾日体氨基酸的增加量和 FPD 组虾的日体氨基酸维持量(表 7)。

表 7 还可以看出,每日虾体必需氨基酸 EAA 的维持代谢量的比例与 EAA 增加量比例并不一致,总 EAA 代谢量占总 EAA 增加量的 21.38%,但比例较高的有亮氨酸(Leu)和赖氨酸(Lys)分别为 32.22% 和 25.85%,较低是蛋氨酸(Met),仅占 4.16%。

表 6 试验南美白对虾体必需氨基酸含量

Tab.6 Composition of essential amino acids for tested *P. vannamei*g·100g⁻¹fresh body

必需氨基酸 EAA	高蛋白组 PD		无蛋白组 FPD	
	初始 initial	结束 final	初始 initial	结束 final
苏氨酸 Thr	0.640 ± 0.071	0.775 ± 0.092	0.650 ± 0.057	0.440 ± 0.014
缬氨酸 Val	0.720 ± 0.071	0.890 ± 0.099	0.755 ± 0.092	0.485 ± 0.035
蛋氨酸 Met	0.360 ± 0.028	0.535 ± 0.064	0.365 ± 0.035	0.325 ± 0.021
异亮氨酸 Ile	0.870 ± 0.071	1.125 ± 0.021	0.965 ± 0.020	0.615 ± 0.035
亮氨酸 Leu	1.595 ± 0.177	1.380 ± 0.141	1.440 ± 0.125	0.785 ± 0.035
苯丙氨酸 Phe	0.680 ± 0.028	0.840 ± 0.071	0.725 ± 0.064	0.490 ± 0.042
赖氨酸 Lys	1.130 ± 0.042	1.350 ± 0.184	1.270 ± 0.144	0.725 ± 0.021
组氨酸 His	0.290 ± 0.000	0.405 ± 0.035	0.325 ± 0.035	0.210 ± 0.014
精氨酸 Arg	1.545 ± 0.205	1.620 ± 0.255	1.465 ± 0.233	0.930 ± 0.042
合计 total EAA	7.830 ± 0.693	8.920 ± 0.962	7.980 ± 0.805	5.005 ± 0.259

注:色氨酸因酸的破坏未能检出

Notes: Try was not tested because of its discomposition

2.3 必需氨基酸需求量

虾体所吸收的氨基酸主要功用是作为机体蛋白质的构成和提供生命活动所需的能量,构成机体蛋白质的氨基酸包括机体维持代谢和机体生长代谢两部分,机体维持所需的 EAA 量与内源性氮和代谢性氮的氨基酸总和相等,因此 EAA 维持量与生长增加量之和等于氨基酸需求量。南美白对虾幼虾必需氨基酸需求量见表 7。

表 7 南美白对虾幼虾必需氨基酸需求量

Tab.7 The requirements of EAA for juvenile *P. vannamei* $g \cdot 100g^{-1}$ body weight per day

必需氨基酸 EAA	EAA 增加量 (A) increase of EAA(A)	EAA 维持量 (B) retaine of EAA (B)	B/A (%) B/A	EAA 需求量 (A + B) requirements of EAA
苏氨酸 Thr	0.0393	0.0067	17.10	0.046
缬氨酸 Val	0.0453	0.0093	20.65	0.054
蛋氨酸 Met	0.0278	0.0011	4.16	0.029
异亮氨酸 Ile	0.0576	0.0113	19.57	0.069
亮氨酸 Leu	0.0660	0.0213	32.22	0.087
苯丙氨酸 Phe	0.0427	0.0075	17.61	0.051
赖氨酸 Lys	0.0683	0.0177	28.85	0.086
组氨酸 His	0.0209	0.0037	17.67	0.025
精氨酸 Arg	0.0803	0.0172	21.43	0.097
合计 total EAA	0.4482	0.0958	21.38	0.544

2.4 饲料中必需氨基酸最低需求量

Smith 等^[8]用半精制饲料研究了南美白对虾幼虾在海水中的蛋白质需求,得出其对蛋白质的需要量要求大于 36.0%,商业南美白对虾饲料其蛋白源一般采用鱼粉、豆粕、花生粕和虾粉等,其粗蛋白水平一般在 40%左右,蛋白质利用率一般在 50%~60%。本试验日投喂率在 35%~10%,日平均投喂率为 23.18%。由此假定南美白对虾饲料粗蛋白质为 40%,蛋白质利用率为 50%~60%,日平均投喂率为 20%或 25%,则满足南美白对虾幼虾正常生长,饲料中各 EAA 最低需要量结果如表 8 所示。

表 8 南美白对虾对饲料中必需氨基酸含量的需求

Tab.8 The requirement of the minimum contents of EAA in the dietary $g \cdot kg^{-1}$ diet

	粗蛋白含量为 40% content of crude protein			
	蛋白质利用率(50%) protein utilization rate		蛋白质利用率(60%) protein utilization rate	
	投喂率 20% feeding rate	投喂率 25% feeding rate	投喂率 20% feeding rate	投喂率 25% feeding rate
苏氨酸 Thr	11.5	9.2	9.6	7.7
缬氨酸 Val	13.5	10.8	11.3	9.0
蛋氨酸 Met	7.3	5.8	6.0	4.8
异亮氨酸 Ile	17.3	13.8	14.3	11.3
亮氨酸 Leu	21.8	17.4	18.1	14.5
苯丙氨酸 Phe	12.8	10.2	10.6	8.5
赖氨酸 Lys	21.5	17.2	17.9	14.3
组氨酸 His	6.3	5.0	5.2	4.2
精氨酸 Arg	24.3	19.4	20.0	16.0

3 讨论

试验中蛋白饲料(PD)主要采用高生物价的酪蛋白、明胶为蛋白源,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%^[9]。经 30d 的试验,PD 组南美白对虾的成活率较高为 89.17%,其日增重率为 18.8%,稍大于江涛^[7]报道的池塘南美白对虾高产饲养试验虾的日增重率(17.1%),就生长而言,达到了理想的生长状态。虽然无蛋白饲料(FPD)蛋白质含量为零,但含有丰富糊精和鱼油等能源物质,就试验观察来看,FPD 组虾尽管摄食欲不强,但能正常摄食,且活动正常,肉眼看不出其体型消瘦,说明提供的能量物质能充分满足其需要。至试验结束,体重未减少,相对增重率为 1.5%,几乎不增长,其增重主要是因为体内水分、脂肪含量等增加所致,脂肪和水分含量分别上升了 54.26%和 3.91%。虾体氨基酸总量下降幅度较大,由初始的 16.92%下降到结束的 10.98%,平均每天下降了 1.17%。这主要是因为 FPD 组虾体内蛋白质分解,氨基酸降解代谢所致。

本试验期较短,共 30d,对于试验虾的生长增重,依照 Ogino^[6]的研究方法,将其作为直线生长曲线

处理。关于维持代谢氮的测定,通常采用两种方法,一是通过投喂无蛋白质饲料,测定试验初始及结束时体氮。二是通过投喂无蛋白质饲料,测定试验期间水体中排泄的氮量。Ogino 和 Nanri^[5] 研究报道上述两种方法结果没有差异。本试验维持 EAA 代谢量的测定,采用的是类似第一种的方法,改测体氮为 EAA 的测定。

本试验所要求的饲料 EAA 比率结果与李爱杰等^[4] 推荐的对虾饲料 EAA 比率相比,苏氨酸(Thr)、赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)比值稍低,而蛋氨酸(Met)比值则明显偏低,这可能因南美白对虾幼虾嗜好摄食植物性饵料经长期进化所形成,因为植物性饵料的特点是赖氨酸(Lys)、精氨酸(Arg)、蛋氨酸(Met)的含量相对偏低,Fox 等^[10] 研究了南美白对虾对赖氨酸的需要量,45%粗蛋白质饲料需赖氨酸量为蛋白质的 4.67%,经换算赖氨酸的需要量占饲料的 2.10%,与本试验要求的饲料中赖氨酸需要量 2.15%的结果十分接近。

麦康森等^[11] 研究发现对虾消化道内氨基酸混合物中的游离氨基酸与来自饲料蛋白质中的结合态氨基酸在吸收速度上有很大差异,而且还影响到其他必需氨基酸的吸收利用。Deshimaru 和 Katsunobu^[12] 研究报道,在饲料中添加结晶氨基酸,于对虾生长没有促进效果。因此,以添加结晶氨基酸来定量对虾氨基酸需要量的方法陷入僵局。科研人员便通过分析对虾肌肉必需氨基酸的组成,来推算对虾 EAA 的需求量,但只考虑到对虾机体蛋白质的合成,而未考虑虾体氨基酸的维持需要量。Ogino^[6] 采用高生物价蛋白源饲料和无蛋白饲料进行鲤和虹鳟饲养试验,通过测定鱼体含氮量变化及初始 EAA 含量,换算成 EAA 增加量和维持代谢量而求得 EAA 需求量。本试验方法与 Ogino^[6] 方法相类似,同样采用高生物价的酪蛋白为蛋白源的饲料和无蛋白饲料进行饲养试验,不同的是,本试验直接测定试验初始和结束时的南美白对虾体 EAA 值,排除了因生长阶段体内 EAA 代谢变化对试验结论的影响,同时也将氨基酸的维持需要量纳入了研究范畴。

参考文献:

- [1] Halver J E. Nutrition of fishes IV. an amino acid test diet for chinook salmon[J]. J Nutr, 1957, 62:245.
- [2] Halver J E. Fish nutrition (Second edition)[M]. Academic Press Inc, New York, 1989.
- [3] Deshimaru O, Shigueno K. Introduction to the artificial diet for prawn, *Penaeus japonicus* [J]. Aquac, 1994, 1: 116 - 133.
- [4] Li A J. Advances in the nutrition research of *Penaeus chlnensis* [J]. J Shanghai Fish Univ, 1998, 7 (suppl.): 16 - 23. [李爱杰. 中国对虾营养研究进展[J]. 上海水产大学学报, 1998, 7 (增刊): 16 - 23.]
- [5] Ogino C, Nanri H. Relationship between the nutrition value of dietary proteins for rainbow trout and the essential amino acid compositions[J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1980, 46: 109 - 112.
- [6] Ogino C. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids[J]. Bull Jan Soc Sci Fish, 1980, 46:171 - 174.
- [7] Jiang T. High-yield rearing experiment on *Penaeus vannamei* [J]. Fisheries Scienc & Technology Information, 1998, 25 (6): 270 - 272. [江涛. 南美白对虾的高产试验[J]. 水产科技情报, 1998, 25 (6): 270 - 272.]
- [8] 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]. Aquac, 1985, 46: 85 - 96.
- [9] Akiyama D M, Coelho S R, Lawrence A L, et al. Apparent digestibility of feedstuffs by the marine shrimp *Penaeus vanamei* Boone [J]. Bull Jap Soc Sci Fish, 1989, 55(1): 91 - 98.
- [10] Fox J M, Lawrence A L, Li C E. Dietary requirement for lysine by juvenile *Penaeus vannamei* using intact and free amino acid sources[J]. Aquac, 1995, 131: 279 - 290.
- [11] Mai K S, Li A J, Yun Z F. Studies on the absorption and utilization of protein amino acids in test diets by the prawn *Penaeus orientatis* [J]. Acta Oceanol Sin, 1987, 9(4): 485 - 495. [麦康森, 李爱杰, 尹左芬. 对虾对饵料蛋白质及氨基酸吸收利用的研究[J]. 海洋学报, 1987, 9(4): 485 - 495.]
- [12] 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.