

文章编号:1000-0615(2007)03-0355-06

糖和蛋白质水平对饲养于咸淡水中的凡纳滨对虾 生长、体营养成分组成和消化率的影响

郭 冉¹, 梁桂英¹, 刘永坚¹, 田丽霞¹, 麦康森², 吴小易¹

(1. 中山大学水生经济动物研究所暨广东省水生经济动物良种繁育重点实验室, 广东 广州 510275;

2. 中国海洋大学水产学院, 山东 青岛 266003)

摘要: 试验制作了蛋白梯度为 35%, 40%, 45% 的 6 种饲料, 在每种蛋白水平下设计两种糖水平 (15% 和 20%), 饲养初始体重为 (1.10 ± 0.02) g 的凡纳滨对虾, 经过 56 d 的生长试验, 观察不同糖和蛋白质水平对于凡纳滨对虾的生长、成活率、机体营养组成和消化率的影响。实验结果表明, 凡纳滨对虾对不同水平的糖和蛋白质的利用表现出差异性。各组的成活率没有表现出显著差异, 糖水平为 20% 且蛋白水平为 35% 组的成活率要高于其它各组, 糖水平为 20% 且蛋白水平为 45% 组最低, 它们分别为 93.3% 和 61.1%。糖水平为 20% 且蛋白水平为 35% 组的凡纳滨对虾体增重在各组间最高 (269.4%), 而且明显高于糖水平为 20% 且蛋白水平为 45% 组 (117%) ($P < 0.05$)。糖和蛋白质水平对全虾脂肪含量影响较大, 在同一糖水平下, 体脂肪含量随饲料蛋白含量的升高而升高; 同样, 在同一蛋白水平下, 20% 糖组的体脂肪含量要高于 15% 糖组。糖和蛋白质的水平对凡纳滨对虾对干物质和蛋白质的消化率影响不显著; 糖的消化率在蛋白水平为 35% 且糖水平为 20% 组最高 ($P < 0.05$)。

关键词: 凡纳滨对虾; 糖水平; 蛋白质水平; 消化率

中图分类号: S 963

文献标识码: A

Effect of dietary carbohydrate and protein levels on growth performance and digestibility of *Litopenaeus vannamei* juvenile reared in brackish water

GUO Ran¹, LIANG Gui-ying¹, LIU Yong-jian¹,

TIAN Li-xia¹, MAI Kang-sen², WU Xiao-yi¹

(1. Institute of Aquatic Economic Animals and Key Lab of Guangzhou for Improved Variety Reproduction of Aquatic Economic Animals,

Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;

2. College of Fisheries, Ocean University of China, Qingdao 266003, China)

Abstract: The ability of *Litopenaeus vannamei* [initial mean weight: (1.10 ± 0.02) g] to utilize different levels of cornstarch and protein was examined in terms of growth indices, body composition and digestibility through a 56-day growth trial. Six isonitrogenous semipurified diets were fed to satiation to shrimp for 8 weeks in triplicate tanks (30 shrimps / tank) connected to a natural brackish water ($6 - 14 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$) recirculating system.

收稿日期: 2006-05-08

资助项目: 广东省“九五”科技攻关项目(粤科学[1996]058号)

作者简介: 郭冉(1980-), 女, 山东滕州人, 博士研究生, 主要从事海水养殖动物营养学研究。E-mail: toguoran@yahoo.com.cn

通讯作者: 刘永坚, Tel: 020-84110789, E-mail: ls59@zsu.edu.cn

Diets contained different levels of cornstarch (15% and 20%) and protein (35%, 40% and 45%). Weight gain (WG) and survival rate were considerably affected by cornstarch levels of diets. The highest WG(269.4%) was observed in shrimp fed the 20% cornstarch level and 35% protein diets, relatively higher compared to values observed in other groups in this study and significantly ($P < 0.05$) higher than those fed diets containing 20% cornstarch level and 45% protein level. However, the survival rate reached maximum in shrimp fed the 20% cornstarch and 35% protein diets(93.3%), and the lowest was found in 20% cornstarch 45% protein diet. Body lipid tended to be higher within shrimp fed diets with higher cornstarch and protein level. The overall conclusion was that 20% carbohydrate and 35% protein diet was found to induce superior growth in juvenile *P. vannamei* as comparing to 40% and 45% protein diets.

Key words: *Litopenaeus vannamei*; carbohydrate level; protein level; digestibility

凡纳滨对虾由于其生长快,对盐度和温度的适应范围较宽,肉质鲜美,已成为我国沿海地区的一种重要养殖虾类^[1]。虽然一些学者对凡纳滨对虾的各种营养素做了初步研究,但是对于南美白对虾对糖的利用情况的研究并不深入^[2]。虾类对蛋白质的需求量较高,同时又往往不能很好的利用糖类物质,这使得在凡纳滨对虾配合饲料中的蛋白源用量很大,增加了配合饲料的成本。研究者希望通过适当增加饲料中糖的含量,以减少蛋白用于能量的消耗,从而达到满足虾类营养和能量需求并减少成本的要求。

虾类饲料中的糖类主要作为能源被利用,虽然糖类产生的热能比等量脂肪所产生的热能低,但是含糖丰富的饲料价格比较低。在鱼类中已有的研究表明,当饲料中糖的含量适宜时,可以减少蛋白质作为能量的消耗,同时可以增加 ATP 的形成,有利于氨基酸的活化,促进鱼体内蛋白质合成的增加。Alava^[3]的研究表明,糖可以节约对虾对蛋白质的利用,同时减少虾体向环境中排放的氮的量,达到保护环境的目的。

总的来说,虾对简单糖类的利用能力极差。Andrews 等^[4]在对褐对虾 (*Penaeus aztecus*), Doshinaru 和 Youe^[5]; Abel-Rahman 等^[6]对日本对虾 (*P. japonicus*) 的研究中均发现,饲料中葡萄糖的含量超过 10% 时将会抑制对虾的生长。Abel-Rahman 等^[6]还发现饵料中含量高的葡萄糖可导致血糖水平异常升高,并持续 24 h,使体内运输系统出现失衡和超负荷。因此,在对虾的营养研究中使用淀粉作为糖源。淀粉可以在虾的体内水解逐步释放葡萄糖,保持血浆中葡萄糖的浓度不至过高。同时饲料中含有一定量的淀粉还可以增加

饲料颗粒的黏着性,不容易溶失^[7-8]。

本研究拟在已有凡纳滨对虾营养组成研究的基础上^[9],观察不同的糖和蛋白质水平对南美白对虾生长和体营养成分及消化率的影响,以探求凡纳滨对虾适宜的糖和蛋白质水平,为研制高效合理的凡纳滨对虾配合饲料提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 实验对虾来源和驯养

试验用凡纳滨对虾取自当年人工孵化的同一批池塘养殖对虾,平均体重为 (1.10 ± 0.02) g。正式实验前,将实验用虾暂养在水族箱中,以商业饲料饱食投喂,经过 1 周的驯养后分组进行实验。

1.2 实验饲料和饲养管理

试验饲料配方和成分分析如表 1 所示。饲料按表 1 配方制成直径 1.5 mm 的颗粒,置于 60 °C 烘箱中,熟化 10 h,然后放 -20 °C 冰箱保存备用。饲养试验在室内循环流水过滤水族箱(350 L)中进行,试验用水为天然海水(珠海,盐度 6~14 g·L⁻¹)。6 种饲料,每种饲料设置 3 个平行箱,每箱放虾 30 尾。以饱食量投喂试验饲料。每天分别在 7:00、12:00、17:00、22:00 各投喂一次,投喂 2 h 后用虹吸的方法吸出剩余饲料,烘干称重。在实验的第 6 周开始以虹吸法于餐后 2 h 收集凡纳滨对虾的粪便,烘干后置 -20 °C 冰箱保存备测。每天清洁水族箱。每天记录水温,每两周分别测定海水的 pH、溶氧、氨态氮。水温平均为 (28.7 ± 1.0) °C,水中溶氧量为 (8.13 ± 0.6) mg·L⁻¹, pH 值为 8.0~8.5,氨氮含量为 (0.5 ± 0.1) mg·L⁻¹。试验于 2003 年 8 月 15 日开始饲养周期为 56 d。

表 1 试验饲料配方及营养组成 (%)

Tab.1 Formulation and composition of experimental diets

原料	diets	1	2	3	4	5	6
鱼粉	fish meal	39	39	46	46	53	53
玉米淀粉	cornstarch	15	20	15	20	15	20
纤维素	cellulose	29.19	24.19	22.69	17.69	16.19	11.19
其它 *	others	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8	16.8
Y ₂ O ₃		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
饲料营养成分测定(干物质%)		dry matter					
粗蛋白	crude protein	32.9	33.3	38.8	39.4	44.3	45.5
粗脂肪	crude fat	6.5	6.6	5.5	6.6	6.9	7.0
糖	carbohydrate	17.7	24.9	18.2	23.0	16.6	23.0
灰分	ash	8.8	8.8	10.0	10.0	11.1	11.2

注: * 其它(%):啤酒酵母 3;乌贼粉 2;虾头粉 3.5;卵磷脂 1;鱼油 1.5;豆油 1.5;胆碱(50%) 0.5;磷酸二氢钙 1;复合维生素 0.2;复合矿物盐 0.5;Vc 磷酸酯 0.1;褐藻酸钠 2;复合维生素(%);参考文献[10];复合矿物盐(%);参考文献[11]

Notes: * beer yeast meal; cuttlefish meal; shrimp head meal; soybean lecithin; fish oil; soybean oil; choline chloride; Ca (H₂PO₄)₂ · H₂O; vitamin mixture; mineral mixture; ascorbic phosphate ester; sodium alginate; vitamin mixture; mineral mixture

1.3 样品的采集和分析

试验结束时,使虾空腹 24 h 后,从每箱中随机取虾 6 尾,用纱布吸干水分后,在 105 ℃ 烘至恒重制备全虾样品。另随机取虾 4 尾,取肝胰脏。分别采用 105 ℃ 常压干燥法、凯氏定氮法、甲醇-氯仿抽提法及 550 ℃ 灼烧法分别测定全虾的水分、粗蛋白、脂肪和灰分及粪便的粗蛋白及粗脂肪含

量;用甲醇-氯仿抽提法测定肝胰脏脂肪;用 3,5-二硝基水杨酸法测定饲料及粪便中总糖含量。凡纳滨对虾的粪便消化后定容,用等离子体原子发射光谱仪(ICP-AES)检测指标物含量^[11]。

1.4 试验结果的统计分析

实验结果采用平均数 ± 标准差表示,经单因子方差分析后,应用 Duncan 氏多重比较分析试验结果平均数的差异显著性及检验蛋白水平和糖水水平间是否存在相互作用 ($P < 0.05$),数据统计使用 SPSS 11.0 分析软件。

2 实验结果

2.1 不同糖和蛋白质水平对凡纳滨对虾的生长影响

由表 2 可以看出,饲料中添加相同糖含量的 1、3、5 组增重率没有显著性差异,高糖高蛋白的第六组增重率明显低于其它各组 ($P < 0.05$)。结果表明糖的含量对凡纳滨对虾的生长影响不大;在低糖(15%)水平下,随着饲料中蛋白质含量的升高,南美白对虾的生长差异不显著,但是在高糖(20%)水平下随饲料蛋白含量的增加,凡纳滨对虾的生长随之降低。6 组之间的成活率没有显著性差异,高糖低蛋白组和低糖高蛋白组的成活率比其它组略高。SGR 的变化与增重率相似。低糖低蛋白组和高糖高蛋白组的肝体比其它各组低。

表 2 凡纳滨对虾的生长及对饲料的利用

Tab.2 The growth performance and the dietary utilization in *Penaeus vannamei*

饲料	diets	增重率	weight gain	成活率	survival rate	SGR	肝体比	hapetopancreas ratio
15/35		245.9 ± 96.9 ^a		63.3 ± 15.3		2.16 ± 0.54 ^a	3.54 ± 0.70 ^{bc}	
20/35		269.4 ± 6.2 ^a		93.3 ± 3.3		2.33 ± 0.03 ^a	4.14 ± 0.40 ^{ab}	
15/40		214.1 ± 96.1 ^{ab}		71.1 ± 28.7		1.98 ± 0.60 ^{ab}	4.08 ± 0.75 ^{ab}	
20/40		226.8 ± 79.6 ^{ab}		61.1 ± 25.9		2.08 ± 0.47 ^{ab}	3.79 ± 0.86 ^{abc}	
15/45		262.1 ± 27.8 ^a		80.0 ± 11.5		2.29 ± 0.14 ^a	4.29 ± 0.97 ^a	
20/45		117.0 ± 11.8 ^b		61.1 ± 11.7		1.38 ± 0.10 ^b	3.23 ± 0.94 ^c	
		差异性分析		analysis of variance				
蛋白水平	protein level	ns		ns		ns		ns
糖水平	carbohydrate level	ns		ns		ns		ns
蛋白水平 × 糖水平		ns		ns		ns		0.010

* 同列数据上标字母 a、b、c 不同者之间表示存在显著差异 ($P < 0.05$)

* Within the same raw, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$) ns: non-significant (差异不显著);增重率 = $(W_t - W_0) / W_0$; WG (%) = $100 \times (\text{final mean weight} - \text{initial mean weight}) / \text{initial mean weight}$; 特定生长率(SGR) = $(\text{Ln}(W_t/\text{尾数}) - \text{Ln}(W_0/\text{尾数})) / t \times 100\%$; SGR ($\% \cdot \text{d}^{-1}$) = $100 \times (\text{Ln}(\text{final mean weight}) - \text{Ln}(\text{initial mean weight})) / \text{days}$; 成活率 = 终末虾尾数/初始虾尾数 $\times 100\%$; Survival (%) = $100 \times (\text{final fish number}) / (\text{initial fish number})$; 肝体比 = 肝重/体重 $\times 100\%$; Hepatosomatic index (HSI) = liver weight $\times 100/\text{body weight}$; W_0 为初始平均湿重, W_t 为终末平均湿重, t 为饲养天数

2.2 不同糖和蛋白质水平对凡纳滨对虾机体营养成分组成的影响 由表 3 可见,不同糖和蛋白质水平对于全虾水分、灰分、蛋白质和肝胰脏脂肪含量并没有影响,但是对全虾脂肪含量有影响。能量高的后三组比低能量组的全虾脂肪含量高,其中,第 2 组和第 3 组明显低于其它各组 ($P < 0.05$)。在糖水平一定的情况下,全虾脂肪含量有

随饲料中蛋白含量增加而增高的趋势。

2.3 不同糖和蛋白质水平对南美白对虾消化率的影响 由表 4 可见,各组的总消化率和蛋白质的表观消化率都没有显著性差异;高糖低蛋白组的糖的表观消化率明显高于高糖高蛋白组的 ($P < 0.05$),其余各组没有显著性差异。

表 3 不同糖和蛋白质水平对凡纳滨对虾机体营养成分组成的影响 (% 湿重)
Tab.3 Effects of different carbohydrate and protein on composition of body muscle

饲料 diets	蛋白质 crude protein	脂肪 crude fat	灰分 ash	水分 moisture	肝胰脏脂肪 hapetopancreas lipid
15/35	15.9 ± 1.3	2.8 ± 0.3 ^{ab}	3.1 ± 0.1	78.4 ± 1.4	17.8 ± 1.3
20/35	16.4 ± 0.4	2.7 ± 0.4 ^b	3.1 ± 0.1	78.2 ± 0.6	18.0 ± 3.7
15/40	15.2 ± 1.1	2.8 ± 0.7 ^b	3.0 ± 0.2	79.8 ± 1.2	15.8 ± 3.6
20/40	14.9 ± 1.1	3.6 ± 0.8 ^{ab}	2.9 ± 0.2	79.8 ± 1.6	16.1 ± 1.5
15/45	15.4 ± 1.6	3.7 ± 0.3 ^{ab}	3.2 ± 0.1	79.3 ± 1.7	18.0 ± 2.5
20/45	15.0 ± 0.9	3.9 ± 0.7 ^a	2.9 ± 0.2	79.4 ± 1.6	14.0 ± 3.0
差异性分析 analysis of variance					
蛋白水平 protein level	ns	0.023	ns	ns	ns
糖水平 carbohydrate level	ns	ns	ns	ns	ns
蛋白水平 × 糖水平	ns	ns	ns	ns	ns

注:同行数据上标字母 a、b、c 不同者之间表示存在显著差异 ($P < 0.05$); ns: 差异不显著

Notes: within the same raw, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$) ns: non-significant

表 4 不同糖和蛋白质水平对凡纳滨对虾消化率的影响

Tab.4 Effect of different carbohydrate and protein on apparent digestibility of *Penaeus vannamei*

饲料 diets	总消化率 gross digestibility	蛋白质 protein	糖 carbohydrate
15/35	46.5 ± 1.2	84.5 ± 4.9	82.5 ± 10.6 ^{ab}
20/35	47.8 ± 13.7	82.4 ± 3.8	92.5 ± 4.1 ^b
15/40	51.7 ± 5.5	85.3 ± 3.5	88.9 ± 0.2 ^{ab}
20/40	55.2 ± 7.7	79.8 ± 7.7	86.3 ± 8.8 ^{ab}
15/45	49.4 ± 2.8	81.3 ± 3.4	83.2 ± 7.2 ^{ab}
20/45	50.4 ± 9.7	77.5 ± 5.7	77.8 ± 4.1 ^a
差异性分析 analysis of variance			
蛋白水平 protein level	ns	ns	ns
糖水平 carbohydrate level	ns	ns	ns
蛋白水平 × 糖水平	ns	ns	ns

注:同行数据上标字母 a、b、c 不同者之间表示存在显著差异 ($P < 0.05$); ns: 差异不显著

Notes: within the same raw, values with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$); ns: non-significant

3 讨论

实验结束时,通过对特定增长率、成活率的分

析表明,当饲料中蛋白质含量为 35% (实际测定值约为 33%),糖含量为 20% 时,凡纳滨对虾的生长和成活率明显好于饲喂含其他组饲料的虾,并且与其他研究者报道的凡纳滨对虾的蛋白质的需求量的结论相似 (25% ~ 32%)^[13-15]。稍有不同的是由于盐度的影响,本实验采用的是天然咸淡水,盐度为 6 ~ 14 g·L⁻¹,盐度与上述试验的 35 g·L⁻¹ 比相对偏低。Claybrook^[16] 等的研究表明甲壳类在低盐度条件下利用蛋白质作为氨基酸来源以维持渗透压的平衡,从而使对虾蛋白质的需求量相对增加。而幼虾较之成虾需要更多的蛋白质来维持生长^[15]。

已有研究表明,淀粉对于对虾是一种比较适合的糖源^[4-8]。作者的前期试验结果表明,凡纳滨对虾比较适合的糖源为玉米淀粉^[17]。而且当饲料中玉米淀粉含量在 15% 时凡纳滨对虾的增长率最高 ($P < 0.05$),10% 和 20% 的玉米淀粉含量对凡纳滨对虾的增长率的影响次之,饲料中超过 25% 的玉米淀粉组增重率最低 ($P < 0.05$)^[18]。在本试验中,在等蛋白条件下,糖的水平对于凡纳滨对虾的生长没有显著性影响,但是在相同的糖水平条件虾,饲喂蛋白含量高的饲料的对虾生长明

显低于蛋白含量低组。Rosas 等^[19]通过研究不同盐度下凡纳滨对虾对蛋白的利用认为,对虾主要把蛋白质作为能源,在蛋白质含量相同的情况下,高糖含量的饲料比低糖含量的饲料释放的氮少。支持渗透压平衡的氨基酸和能量来源都依赖于胰腺的蛋白质和糖的代谢功能。一方面消耗、吸收和分解食物中蛋白质提高氨基酸和能量,另一方面通过胰腺合成和分解血蓝蛋白调节氨基酸的收支。由于凡纳滨对虾的己糖激酶活力不高,限制了葡萄糖作为能量利用。当对虾摄食低蛋白饲料时,维持生长和渗透压的氨基酸来源减少,吸收的过多的葡萄糖可能引起胰腺中糖原的积累并饱和,而糖原饱和后阻止了氨基酸进入胰腺 B 细胞^[20],从而使摄入的蛋白质含量减少。

蛋白质利用率的不同受到多种因素的影响,在鱼类中已经有大量试验证明糖的存在对蛋白质的利用有节约作用。Alava 等^[3]的研究表明,糖可以起到节约对虾对蛋白质的利用,同时减少虾体向环境中排放的氮的量。Cho 等^[21]报道,蛋白质作为消耗而不是作为体蛋白沉积的时候会因为氨基酸的代谢向环境中排泄出氨。因此添加一定量的糖作为对虾的能源,从而减少蛋白质作为能量的消耗,不仅可以减少蛋白质的使用量,降低生产成本,也可以减少对虾代谢过量蛋白质时释放出的大量的氮对环境的污染。

本实验的研究结果表明,当实验饵料蛋白质水平相同时,凡纳滨对虾对 15% 的糖利用较好;而当糖含量较低(15%)时,凡纳滨对虾对蛋白质含量高的饲料利用较好,但是在高糖水平(20%)时,凡纳滨对虾对低含量的蛋白质利用较好。

从消化率来看,高糖低蛋白组的蛋白质表观消化率高于高糖高蛋白组蛋白质表观消化率。然而,不论糖的摄入量如何,摄取高蛋白饲料的各组凡纳滨对虾的虾体脂肪含量明显高于摄取低蛋白饲料的组。且高糖低蛋白组全虾的蛋白含量均高于其它各组。因此超过 40% 的蛋白质含量对凡纳滨对虾的幼虾来说是过剩的。

杜震宇、罗智、王骥腾、王勇和王胜同学对本实验提出了宝贵的意见,一并致谢。

参考文献:

- [1] 潘 英,王如才,罗永巨,等.海水和淡水养殖南美白对虾肌肉营养成分的分析比较[J].青岛海洋大学学报,2001,31(6):828-834.
- [2] Shiau S Y. Nutrient requirements of penaeid shrimps[J]. Aquaculture,1998,164:77-93.
- [3] Alava V R, Pascual F P. Carbohydrate requirements of *Penaeus monodon* (Fabricius) juveniles[J]. Aquaculture, 1987,61:211-217.
- [4] Andrews J W, Sick L V, Baptist G J. The influence of dietary protein and energy level on growth and survival of penaeid shrimp[J]. Aquaculture,1972,1:341-347.
- [5] Deshimaru O, Yone Y. Effect of dietary carbohydrate source on the growth and feed efficiency of prawn[J]. Nippon Suisan Gakkaish,1978,44:1161-1163.
- [6] Abel-Rahman S H, Kanazawa A, Thshima S I. Effects of dietary carbohydrate on the growth and the levels of the hepatopancreatic glycogen and serum glucose of prawn [J]. Nippon Suisan Gakkaish,1979,45:1491-1494.
- [7] Pascual F P, Coloso R M, Tarnse C T. Survival and some histological changes in *Penaeus monodon* Fabricius juveniles fed various carbohydrates [J]. Aquaculture, 1983,31:169-180.
- [8] Shiau X Y, Peng C Y. Utilization of different carbohydrates at different dietary protein level in grass prawn, *Penaeus monodon*, reared in seawater [J]. Aquaculture,1992,101:241-250.
- [9] 陈晓汉,陈 琴,谢达祥.南美白对虾含肉率及肌肉营养价值的评定[J].水产科技情报,2001,28(4):165-168.
- [10] Ogino C, Yang G Y. Requirement of rainbow trout for dietary zinc[J]. Bull Japan Soc Sci Fish,1978,44(9):1015-1018.
- [11] 黄耀桐,刘永坚.草鱼鱼种无机盐需要量研究[J].水生生物学报,1989,13(2):135-151.
- [12] Horwitz W. AOAC, official methods of analysis, 13th edn[M]. AOAC, Washington DC. 1980
- [13] Aranyakananda P, Lawrence A L. Dietary protein and energy requirements of the white-legged shrimp, *Penaeus qannamei*, and the optimal protein to energy ratio from discovery to commercialization[J]. European Aquaculture Soc, 1993.21.
- [14] Cousin M, Cuzon G, Guillaume J. Digestibility of starch in *Penaeus vannamei*: *in vivo* and *in vitro* study on eight samples of various origin[J]. Aquaculture,1996,140:361-372.
- [15] Kureshy N, Davis D A. Protein requirement for

- maintenance and maximum weight gain for the Pacific white shrimp, *Litopenaeus vannamei* [J]. Aquaculture, 2002, 204(1-2): 125-143.
- [16] Claybrook D L. Nitrogen metabolism[M]//Mantel L H, (Ed.), The biology of Crustacea, internal anatomy and physiological regulation. New York: Academic Press, 1983, 163-213.
- [17] 郭冉, 刘永坚, 田丽霞, 等. 不同糖源对南美白对虾 (*Penaeus vannamei*) 生长、成活率和虾体组成的影响 [J]. 中山大学学报, 2005, 44(3): 90-92.
- [18] Guo R, Liu Y J, Tian L X. 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: 83-88.
- [19] Rosas C, Cuzon G. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels [J]. Aquaculture, 2001, 259: 1-22.
- [20] Rosas C, Cuzon G, Gaxiola, et al. An energetic and conceptual model of the physiological role of dietary carbohydrates and salinity on *Litopenaeus vannamei* juveniles [J]. Aquaculture, 2002, 268: 47-67.
- [21] Cho C Y, Hynes J D, Wood K R. Development of high-nutrient-dense, low-pollution diets and prediction of aquaculture wastes using biological approaches [J]. Aquaculture, 1994, 124: 293-305.