

doi: 10.3969/j.issn.2095-0780.2014.01.004

饲料中不同糖对方格星虫稚虫日增重和消化酶的影响

张琴¹, 许明珠^{1,2}, 童潼¹, 董兰芳¹

(1. 广西壮族自治区海洋研究所, 广西海洋生物技术重点实验室, 广西北海 536000;

2. 广西大学动物科学技术学院, 广西南宁 530005)

摘要:以葡萄糖、蔗糖、糊精、木薯淀粉、土豆淀粉、玉米淀粉、糊化玉米淀粉为糖源制成7种等氮等脂饲料, 投喂方格星虫(*Sipunculus nudus*)稚虫8周, 研究不同糖源对稚虫日增重和消化酶的影响。结果表明, 不同糖源对稚虫的日增重有显著的影响($P < 0.05$)。糊化玉米淀粉组的日增重显著高于其他各糖源组($P < 0.05$); 葡萄糖组的日增重显著低于其他糖源组($P < 0.05$); 未经糊化的3种淀粉组的日增重显著高于蔗糖、糊精及葡萄糖组($P < 0.05$)。消化酶活性的分析结果表明, 不同糖源对稚虫消化酶活性影响显著($P < 0.05$)。其中蔗糖组稚虫的蛋白酶活性和淀粉酶活性最高, 显著高于其他糖源组($P < 0.05$); 脂肪酶活性以葡萄糖组最低, 显著低于除蔗糖组外的其他糖源组($P < 0.05$)。在该研究条件下, 大分子糖类(淀粉)的促生长效果优于双糖(蔗糖)和单糖(葡萄糖), 糊化淀粉促生长效果优于未糊化淀粉。

关键词:方格星虫; 糖源; 日增重; 消化酶

中图分类号: S 963.16

文献标志码: A

文章编号: 2095-0780-(2014)01-0021-06

Effect of different carbohydrate sources on daily weight growth and digestive enzyme activities of larval peanut worm (*Sipunculus nudus*)

ZHANG Qin¹, XU Mingzhu^{1,2}, TONG Tong¹, DONG Lanfang¹

(1. Key Lab. of Marine Biotechnology of Guangxi, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000, China;

2. Animal Science and Technology College of Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: We studied the effects of different carbohydrate (CBH) sources on the daily weight growth (DWG) and digestive enzymes activities of larval peanut worm (*Sipunculus nudus*) by feeding the larvae 7 isonitrogenous and isolipidic diets with glucose, sucrose, dextrin, tapioca starch, potato starch, corn starch or gelatinized corn starch as different CBH sources for 8 weeks. Results reveal that different CBH sources significantly affected the DWG of larval *S. nudus* ($P < 0.05$). Those fed with gelatinized corn starch and glucose had the highest and lowest DWG, respectively, significantly different from the other groups ($P < 0.05$). The DWG of those fed with 3 kinds of non-gelatinized starch were significantly higher than that of those fed with glucose, sucrose and dextrin ($P < 0.05$). The results of digestive enzymes analysis indicate that dietary CBH sources had significant effects on digestive enzymes activities ($P < 0.05$). Those fed with sucrose had the highest protease and amylase activities, significantly higher than the other CBH groups ($P < 0.05$). Those fed with glucose had the lowest lipase activity, significantly lower than the other CBH groups ($P < 0.05$). In conclusion, the effect of macromolecule carbohydrates (starch) on the growth of larval *S. nudus* is better than that of disaccharides (sucrose) and monosaccharides (glucose), and the growth effect of gelatinized corn starch is better than that of un-gelatinized corn starch.

Key words: *Sipunculus nudus*; carbohydrate sources; daily weight growth; digestive enzyme

收稿日期: 2013-05-16; 修回日期: 2013-06-25

资助项目: 广西科学基金项目(0832031); 广西自然科学基金项目(2011GXNSFB018057); 广西科学研究与技术开发计划(桂科攻 11107011-6, 桂科合 1346011-12); 北海市科学研究与技术开发计划项目(北科合 201153009)

作者简介: 张琴(1982-), 女, 博士, 副研究员, 从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: zhangqin821220@163.com

方格星虫(*Sipunculus nudus*)是星虫动物门中的一种,俗名“沙虫”,又叫沙肠子。它是温水性海产动物,除南、北极外在全世界海域均有分布,中国低纬度海域分布较多,尤其广西沿岸资源最为丰富。沙虫除蛋白质含量丰富、脂肪含量低外,还富含多种氨基酸、微量元素及其他活性物质,具有抗疲劳、提高抵抗力等药理作用,被誉为“海滩香肠”^[1],其鲜食肉质脆嫩,味道鲜美更甚海参鲍鱼,因此深受消费者喜爱。目前,有关方格星虫营养生理及饲料配制技术方面的研究报道主要集中在常规营养成分分析^[2]及3类大量营养素的适宜需求量等方面^[3-6]。

糖类作为是动物三大营养和能量物质,不仅是最廉价的能源物质,还可减少饲料蛋白质作为能源被消耗^[7]。蛋白源成本是水产饲料成本的重要组成部分,在饲料中最大限度地添加糖替代鱼粉,成为一种降低水产经济动物养殖成本的有效途径^[8]。利用糖的蛋白质节约效应,笔者从不同糖源方面入手,探讨了不同糖源对星稚虫日增重和消化酶的影响,筛选出适合方格星虫摄食的饲料糖,以期对方格星虫人工配合饲料研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验动物

试验用稚虫取自广西海洋研究所增殖试验基地,为同一批受精卵孵化的人工苗种。每条稚星虫的初始平均体质量为 (15.49 ± 0.03) mg。

1.2 试验饲料

试验饲料配方及营养成分分析见表1。以白鱼粉、酪蛋白、豆粕、鱼油、卵磷脂等为饲料基础组分,等比例加入葡萄糖、蔗糖、糊精、木薯淀粉、土豆淀粉、玉米淀粉、糊化玉米淀粉等7种不同糖源,配制成等氮(约45%蛋白)等脂(约9%脂肪)饲料。参照BLAIR等^[9]的方法进行微粘合饲料加工,制成150目粒状饲料,并用封口袋装好置于 -20 °C冰箱中保存备用。

1.3 饲养试验

2011年9~11月,饲养试验在广西海洋研究所海水增殖试验基地进行。共7个试验组,每组3个重复。试验动物为规格相近、健康无病的方格星虫稚虫,饲养容器为水族箱(65 cm × 55 cm × 45 cm)。箱底铺一薄层细沙(厚约3~4 cm)以供稚星虫栖息。试验为期8周,每天换水2次(9:00和17:00),每次换水量约为原池水的1/3,然后进行稍过

量投饲。此外,试验过程中采用自然光照周期,24 h不间断充气供氧,水温维持在 $26 \sim 30$ °C,盐度维持在 $18 \sim 22$,溶解氧质量浓度大于 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

1.4 样品采集与处理

养殖试验结束后需先将星稚虫转移至底部无沙的水槽,停食2~3 d,待其消化道内完全排净沙子后对每个水槽内的稚虫进行称质量,并记录稚虫条数。然后从每个水槽里随机取60条稚虫,称质量后于液氮中快速冷冻后转移至 -80 °C超低温冰箱中保存,用于消化酶指标的测定。

1.5 生长指标的测定

平均终末体质量(W_t , mg) = W/n

日增重(DWG, $\text{mg} \cdot \text{d}^{-1}$) = $(W_t - W_0)/t$

其中 W 和 n 分别为试验结束时每个水族箱中稚虫的总体质量(mg)和总数量(条); W_0 和 W_t 分别为星稚虫平均初始体质量(mg)和平均终末体质量(mg); t 为试验天数(d)。

1.6 消化酶活性测定

1.6.1 酶液制备 取保存于超低温冰箱内的待测样品,于 4 °C冰箱解冻后用去离子水清洗干净,滤纸吸干后称质量,后置于离心管中。按样品质量的10倍加入预冷的去离子水,再用玻璃匀浆器于冰浴中匀浆。匀浆液于 4 °C $4\,000 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心20 min,取上清液进行消化酶指标的测定。

1.6.2 消化酶指标的测定 蛋白酶活性的测定采用Folin-酚法;脂肪酶活性和淀粉酶活性的测定采用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒。酶液蛋白质量分数以牛血清蛋白作标准,用考马斯亮蓝法测定。酶活力用比活力($\text{U} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ prot}$)表示。

1.7 数据分析

采用SPSS 13.0对所得数据进行单因素方差分析,若差异达到显著水平($P < 0.05$),则进行Tukey多重比较。

2 结果

2.1 不同糖源对日增重的影响

不同糖源对方格星虫稚虫日增重有显著的影响($P < 0.05$),其中糊化玉米淀粉组的日增重最高 $[(0.78 \pm 0.01) \text{ mg} \cdot \text{d}^{-1}]$,显著高于其他各糖源组($P < 0.05$);葡萄糖组的日增重最低,显著低于其他糖源组($P < 0.05$);未经糊化的3种淀粉组的日增重无显著性差异,但显著高于蔗糖、糊精及葡萄糖组($P < 0.05$)(表2)。

表 1 试验饲料配方及营养组成(干物质)

Tab. 1 Formulation and proximate composition of experimental diets (dry matter)

%

原料 ingredient	糖源 carbohydrate source						
	葡萄糖 glucose	蔗糖 sucrose	糊精 dextrin	木薯淀粉 tapioca starch	土豆淀粉 potato starch	玉米淀粉 corn starch	糊化玉米淀粉 gelatinized corn starch
饲料基础组分 ¹ basic composition of diets	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00	78.00
复合维生素 ² vitamin premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
复合矿物质 ³ mineral premix	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
葡萄糖 glucose	20.00						
蔗糖 sucrose		20.00					
糊精 dextrin			20.00				
木薯淀粉 tapioca starch				20.00			
土豆淀粉 potato starch					20.00		
玉米淀粉 corn starch						20.00	
糊化玉米淀粉 gelatinized corn starch							20.00
营养水平/% nutrient level							
粗蛋白 crude protein	44.83	45.16	44.92	44.77	44.69	44.95	44.72
粗脂肪 crude lipid	8.92	9.14	9.03	9.13	8.96	9.17	9.21
灰分 ash	9.62	9.43	8.82	9.21	8.84	9.72	9.58
可消化糖 ⁴ dietary carbohydrate content	20.64	20.22	20.80	20.98	20.27	20.57	20.22

注: 1. 每千克饲料基础组分含鱼粉 455 g, 豆粕 200 g, 酪蛋白 60 g, 鱼油 50 g, 卵磷脂 15 g; 2. 每千克复合维生素含 V_D 480 000 IU, V_E 20.00 g, V_K 0.20 g, V_C 14.00 g, V_{B1} 0.10 g, V_{B2} 1.40 g, V_{B6} 1.20 g, V_{B12} 0.20 g, 泛酸钙 6.521 g, 烟酸 5.60 g, 生物素 0.20 g, 肌醇 88.00 g; 3. 每千克复合矿物质含硫酸亚铁(19.74% Fe) 152.00 g, 硫酸铜(25.22% Cu) 2.40 g, 硫酸锌(19.25% Zn) 31.20 g, 硫酸锰(31.89% Mn) 8.20 g, 亚硒酸钠(28.54%) 0.18 g, 碘化钾(75.73%) 0.16 g, 碳酸钙 805.86 g; 4. 饲料中可消化糖的质量分数由 3,5-二硝基水杨酸法测定

Note: 1. basic composition of diets (per kg): fish meal 455 g, soybean meal 200 g, casein 60 g, fish oil 50 g, lecithin 15 g; 2. composition (IU or g per kg vitamin premix): cholecalciferol 480 000 IU, DL- α -tocopherol acetate 20.00 g, menadione 0.20 g, ascorbic acid 14.00 g, thiamin-HCl 0.10 g, riboflavin 1.40 g, pyridoxine-HCl 1.20 g, cyanocobalamin 0.20 g, D-calcium pantothenate 6.521 g, niacin 5.60 g, D-biotin 0.20 g, meso-inositol 88.0 g; 3. composition (g per kg mineral premix): FeSO₄·7H₂O (19.74% Fe) 152.00 g, CuSO₄·5H₂O (25.22% Cu) 2.40 g, ZnSO₄·7H₂O (19.25% Zn) 31.20 g, MnSO₄·H₂O (31.89% Mn) 8.20 g, NaSeO₃·5H₂O (28.54%) 0.18 g, KI (75.73%) 0.16 g, CaCO₃ 805.86 g; 4. digestible carbohydrate content in the diet, determined by 3,5-dinitrosalicylic acid colorimetric method

表 2 饲料糖种类对方格星虫星稚虫生长性能的影响($\bar{X} \pm SD$, n=3)Tab. 2 Effect of dietary carbohydrate sources on weight growth of *S. nudus*

项目 item	糖源 carbohydrate source						
	葡萄糖 glucose	蔗糖 sucrose	糊精 dextrin	木薯淀粉 tapioca starch	土豆淀粉 potato starch	玉米淀粉 corn starch	糊化玉米淀粉 gelatinized corn starch
初始体质量/mg initial weight	15.37 ± 0.02	15.54 ± 0.09	15.40 ± 0.09	15.54 ± 0.06	15.52 ± 0.05	15.58 ± 0.04	15.40 ± 0.09
终末体质量/mg final weight	40.38 ± 0.40 ^a	45.99 ± 0.53 ^b	46.60 ± 0.35 ^b	52.74 ± 0.04 ^c	53.35 ± 0.17 ^c	54.15 ± 1.02 ^c	58.93 ± 0.18 ^d
日增重/mg·d ⁻¹ daily weight growth	0.45 ± 0.02 ^a	0.54 ± 0.02 ^b	0.56 ± 0.02 ^b	0.66 ± 0.01 ^c	0.68 ± 0.01 ^c	0.69 ± 0.03 ^c	0.78 ± 0.01 ^d

注: 同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$), 后表同此

Note: Values with different small superscripts in the same row are significantly different ($P < 0.05$). The same case in the following table.

2.2 不同糖源对消化酶活性的影响

不同糖源对方格星虫稚虫消化酶活性的影响差异显著($P < 0.05$) (表3)。其中蛋白酶活性以蔗糖组最高,显著高于其他糖源组($P < 0.05$);葡萄糖组最低,显著低于除2个玉米淀粉组外的其他各糖源组($P < 0.05$)。淀粉酶活性最高的亦是蔗糖组,

显著高于其他糖源组($P < 0.05$)。脂肪酶活性以葡萄糖组最低,显著低于除蔗糖组外的其他糖源组($P < 0.05$)。笔者研究中淀粉的种类及糊化形式等对稚虫的蛋白酶和脂肪酶活性均无显著的影响($P > 0.05$)。

表3 饲料糖种类对方格星虫星稚虫消化酶活性的影响($\bar{X} \pm SD, n=3$)

Tab. 3 Effect of dietary carbohydrate sources on digestive enzyme activities of *S. nudus* U·mg⁻¹ prot

项目 item	糖源 carbohydrate source						
	葡萄糖 glucose	蔗糖 sucrose	糊精 dextrin	木薯淀粉 tapioca starch	土豆淀粉 potato starch	玉米淀粉 corn starch	糊化玉米淀粉 gelatinized corn starch
蛋白酶 protease	0.61 ± 0.05 ^a	0.91 ± 0.02 ^d	0.74 ± 0.02 ^c	0.77 ± 0.04 ^c	0.72 ± 0.01 ^{bc}	0.71 ± 0.02 ^{abc}	0.71 ± 0.02 ^{abc}
淀粉酶 amylases	1.26 ± 0.07 ^a	1.92 ± 0.06 ^c	1.55 ± 0.05 ^b	1.57 ± 0.04 ^b	1.30 ± 0.04 ^{ab}	1.45 ± 0.06 ^{ab}	1.28 ± 0.07 ^a
脂肪酶 lipases	0.47 ± 0.02 ^a	0.51 ± 0.01 ^{ab}	0.59 ± 0.03 ^b	0.69 ± 0.05 ^c	0.68 ± 0.02 ^c	0.67 ± 0.03 ^c	0.72 ± 0.02 ^c

3 讨论

3.1 不同糖源对方格星虫稚虫日增重的影响

作为三大营养物质之一,饲料中糖源的种类和水平对水产动物的生长性能都有影响^[10]。在保证养殖条件和试验饲料基础组分相同的前提下,加入7种等水平的不同糖源,养殖结束后各组星稚虫的生长差异可认为主要来自饲料中不同糖源的影响。该试验结果显示,日增重最高的为糊化玉米淀粉组,其次是各淀粉组,最低的为葡萄糖组。日增重能在一定程度上反映出星稚虫对饲料的利用效率,从该研究结果来看,稚虫对糊化玉米淀粉的利用率最高,而对葡萄糖的利用率最低。

早前的研究中有学者发现鱼类对大分子糖的利用要优于小分子糖^[11-12]。CUZON等^[13]在对凡纳滨对虾(*Litopenaeus vannamei*)的研究中,不管是生的淀粉还是预处理过的糊化淀粉都拥有比小分子糖源高的消化率,类似的结果同样出现在杂交条纹鲈幼鱼(*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂)^[12]、斑节对虾(*Penaeus monodon*)^[14]和方斑东风螺(*Babylonia areolate*)^[15]等的研究中。饲料中单糖可在肠道内直接被机体吸收进入血液,血糖水平可在短时间内升高很多^[16], ABDEL-RAHMAN等^[17]在日本对虾(*P. japonicus*)的研究中发现饲料中葡萄糖含量较高可导致其血糖水平异常增高,由于很多动物具有高血糖应激反应,而这种应激反应会对生长造成一定的负面影响。另外,过高的血糖水平可能导致血液

中的糖在进入细胞被有效利用之前就直接排出体外了,从而使葡萄糖利用率较低。与之相对的大分子糖在消化过程中需先经 α -淀粉酶消化水解成糊精、麦芽糖等中间产物,然后再进一步水解成葡萄糖。这个水解过程比较缓慢,延缓了吸收速度进而血液里的葡萄糖浓度上升较慢^[18]。并且大分子糖能持续而温和地诱导机体产生淀粉酶,从而能更好地消化饲料中的糖促进生长^[19]。这些可能是造成星稚虫对大分子的糖类利用优于小分子糖类的原因。

笔者在设计饲料糖源时考虑到将玉米淀粉进行糊化处理,结果显示糊化玉米淀粉组稚虫的日增重最高。直链/支链淀粉在加热的过程中会改变其凝胶力,从而提高试验动物对该种糖的消化率。DAVIS和ARNOLD^[20]证实了糊化小麦纯淀粉比小麦、玉米和高粱淀粉拥有较高的消化率。其他学者在对南方鲇(*Silurus meridionalis*)^[21]、黄鳍鲷(*Sparus latus*)幼鱼^[22]以及凡纳滨对虾^[23]的研究中也发现预糊化玉米淀粉能提高其对玉米淀粉的利用。

3.2 不同糖源对方格星虫稚虫消化酶的影响

消化酶是参与消化作用的酶的总称,饲料的营养成分被机体吸收都需要消化酶的参与。影响消化酶分泌的因素有很多,在对鱼类的研究中发现,饲料某种成分的增加往往能促使该鱼主动分泌消化该成分的酶活性物质,即适应性分泌,而这种变化还会引起使其他种类的消化酶活性产生相应的变化^[24]。张丽丽等^[15]在不同糖源喂养方斑东风螺的

研究中发现, 蔗糖组和小麦淀粉组淀粉酶活性最高; NIU 等^[14]的研究表明不同糖源对斑节对虾肝脏淀粉酶的影响表现为小麦淀粉组和蔗糖组的活性较高。笔者研究中淀粉酶活性蔗糖组最高, 显著高于其他糖源组, 与上述学者的研究结果类似。蛋白酶活性亦以蔗糖组最高, 且各糖源组之间蛋白酶活性与淀粉酶活性有同步升高或降低的趋势, 这与张丽丽等^[15]在对方斑东风螺的研究中得到的结果一致。这种趋势说明稚虫的蛋白酶和淀粉酶之间可能存在一定的协同作用, 但这种协同作用的实现方式与机制还有待进一步的研究。脂肪酶活性以葡萄糖组最低, 随着饲料中的糖源由单糖到双糖再到多糖的转变, 各组脂肪酶活性呈现逐渐升高的趋势。这表明饲料中不同的糖源对方格星虫稚虫的脂肪酶活性产生一定的影响。

研究发现, 消化酶的活性会随着不同的营养条件发生改变^[25]。笔者研究中由于饲养环境相同, 饲料里除糖源外的其他饲料原料也相同, 因此消化酶活性的变化可视为星稚虫对不同糖源的生理反应。据报道, 几种消化酶中与糖类消化吸收关系最为密切的是淀粉酶^[15], 从该试验消化酶活性测定结果来看, 不同糖源对方格星虫稚虫体内淀粉酶活性存在显著影响。糊化玉米淀粉松散度高, 吸水膨胀力较大^[26], 有利于动物消化, 可能会导致糊化玉米淀粉组淀粉酶活性较低。而淀粉酶的作用是将底物水解成葡萄糖供机体吸收, 因此葡萄糖组淀粉酶活性最低可能是由于底物不需要被水解, 机体适应性分泌减少。另外, 酶活性的变化可能与机体酶浓度有关。己糖激酶的活性受饲料糖来源即营养条件的影响, 它能影响合成消化酶的 mRNA 浓度进而影响机体消化酶的合成分泌, 从而影响酶活性^[14]。影响方格星虫的消化酶活性变化的因素有很多, 尚不能提出不同糖源对其影响的具体机制。

参考文献:

- [1] 张桂和, 李理, 赵谋明, 等. 方格星虫营养成分分析及抗疲劳作用研究[J]. 营养学报, 2008, 30(3): 318-320.
- [2] 董兰芳, 张琴, 童童, 等. 不同生长发育阶段方格星虫氨基酸组成的研究[J]. 南方水产科学, 2012, 8(5): 60-65.
- [3] 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料中脂肪水平对方格星虫稚虫生长性能、体组成及消化酶活性的影响[J]. 渔业科学进展, 2011, 32(6): 99-106.
- [4] 张琴, 童万平, 董兰芳, 等. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响[J]. 渔业科学进展, 2012, 33(1): 86-92.
- [5] 张琴, 童童, 童万平, 等. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫日增重和消化酶活性的影响[J]. 渔业现代化, 2012, 39(2): 41-46.
- [6] 许明珠, 张琴, 童万平, 等. 饲料糖水平对方格星虫稚虫生长、体成分和消化酶活性的影响[J]. 动物营养学报, 2013, 25(3): 534-542.
- [7] STONE D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish[J]. Rev Fish Sci, 2003, 11(4): 337-369.
- [8] KANAZAWA A. Penaeid nutrition[C]//PRUDER G D, LANGDON C J, CONKLIN D E. Proceedings, second international conference on aquaculture nutrition. Los Angeles: Louisiana State University Press, 1981: 87-105.
- [9] BLAIR T, CASTELL J, NELL S, et al. Evaluation of microdiets versus live feeds on growth, survival and fatty acid composition of larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*) [J]. Aquaculture, 2003, 225(1/2/3/4): 451-461.
- [10] ROSAS C, CUZON G, GAXIOLA G. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels[J]. Aquaculture, 2001, 259(1): 1-22.
- [11] SHIAU S Y, LIANG H S. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the diet[J]. J Nutr, 1995, 125(4): 976-982.
- [12] HUTCHINS C G, RAWLES S D, GATLIN D M. Effect of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. Aquaculture, 1998, 161(1/2/3/4): 187-199.
- [13] CUZON G, LAWRENCE A, GAXIOLA G, et al. Nutrition of *Litopenaeus vannamei* reared in tanks or in ponds[J]. Aquaculture, 2004, 235(1/2/3/4): 513-551.
- [14] NIU J, LIN H Z, JIANG S G, et al. Effect of seven carbohydrate sources on juvenile *Penaeus monodon* growth performance, nutrient utilization efficiency and hepatopancreas enzyme activities of 6-phosphogluconate dehydrogenase, hexokinase and amylase [J]. Anim Feed Sci Technol, 2012, 174(1/2): 86-95.
- [15] 张丽丽, 周歧存, 程怡秋, 等. 不同糖源对方斑东风螺生长、饲料利用和消化酶活性的影响[J]. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 14-18.
- [16] CUI X J, ZHOU Q C, LIANG H O, et al. Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus) [J]. Aquac Res, 2010, 42(1): 99-107.
- [17] ABDEL-RAHMAN S H, KANAZAWA A, TESHIMA S. Effects of dietary carbohydrate on the growth and the levels of the hepatopancreatic glycogen and serum glucose of prawn[J]. Bull Jpn Soc Sci Fish, 1979, 45(12): 1491-1494.
- [18] DENG D F, REFSITIE S, HUNG S S O. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral

- administration of simple and complex carbohydrates[J]. *Aquaculture*, 2001, 199(1/2): 107–117.
- [19] TUNG P H, SHIAU S Y. Effects of meal frequency on growth performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, fed different carbohydrate diets[J]. *Aquaculture*, 1991, 92: 343–350.
- [20] DAVIS D A, ARNOLD C R. Evaluation of five carbohydrate sources for *Penaeus vannamei*[J]. *Aquaculture*, 1993, 114(3/4): 285–292.
- [21] 付世建, 谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲇生长的影响[J]. *水生生物学报*, 2005, 29(4): 393–398.
- [22] 吴小易, 刘永坚, 田丽霞, 等. 黄鳍鲷幼鱼对几种不同糖源的利用[J]. *水产学报*, 2007, 31(4): 463–471.
- [23] CRUZ-SUABEZ L E, RICQUE-MARIE D, PINAL-MANSILLA J D, et al. Effect of different carbohydrate sources on the growth of *Penaeus vannamei*: economical impact[J]. *Aquaculture*, 1994, 123(3/4): 349–360.
- [24] GANGADHARA B N, EESHA M C, VARGHESE T J. Effect of varying protein and lipid levels on the growth of rohu, *Labeo rohita* [J]. *Asian Fish Sci*, 1997, 10(2): 139–147.
- [25] LE MOULLAC G, KLEIN B, SELLOS D, et al. Adaptation of trypsin, chymotrypsin and amylase to casein level and protein source in *Penaeus vannamei* (Crustacea Decapoda) [J]. *J Exp Mar Bio Ecol*, 1997, 208(1/2): 107–125.
- [26] 叶为标. 淀粉糊化及其检测方法[J]. *粮食与油脂*, 2009(1): 7–10.