

不同糖对方格星虫稚虫生长、成活率及体组成的影响

张 琴¹ 许明珠^{1,2} 程光平^{2*} 董兰芳¹ 童 潼¹ 黄国强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, 北海 536000)

(² 广西大学动物科学技术学院, 南宁 530005)

摘 要 以初始体重为 15.49 ± 0.03 mg 的方格星虫稚虫为实验对象, 分别投喂以葡萄糖、蔗糖、糊精、木薯淀粉、土豆淀粉、玉米淀粉、糊化玉米淀粉作为饲料糖源的 7 种等氮(45% 蛋白)等脂(9% 脂肪)饲料 56 d, 研究饲料中的糖源对稚虫生长、成活率及体组成的影响。结果表明, 糊化玉米淀粉组增重率和特定生长率最高, 显著高于其他各糖源处理组 ($P < 0.05$), 而饲料中糖源对稚虫存活率没有显著影响 ($P > 0.05$)。体组成分析的结果显示, 不同糖源对稚虫的体水分和体粗蛋白含量均有显著的影响 ($P < 0.05$), 其中, 葡萄糖处理组方格星虫稚虫的体水分含量最高, 且显著高于土豆淀粉组 ($P < 0.05$), 其他各实验组差异不显著; 葡萄糖处理组方格星虫稚虫的体粗蛋白含量最低, 显著低于糊化及非糊化淀粉组 ($P < 0.05$)。不同糖源对稚虫的体粗脂肪含量及灰分含量没有显著影响 ($P > 0.05$)。在本实验条件下, 稚虫对大分子糖类(淀粉)的利用能力显著优于双糖(蔗糖)和单糖(葡萄糖)。另外, 玉米淀粉预糊化显著提高了方格星虫稚虫对玉米淀粉的利用。

关键词 方格星虫 糖源 生长 成活率 体组成

中图分类号 S963 **文献标识码** A **文章编号** 1000-7075(2013)05-0082-07

Effects of different carbohydrate sources on growth, survival and body composition of juvenile peanut worm, *Sipunculus nudus* Linnaeus

ZHANG Qin¹ XU Ming-zhu^{1,2} CHENG Guang-ping^{2*} DONG Lan-fang¹
TONG Tong¹ HUANG Guo-qiang¹

(¹ Key Laboratory of Marine Biotechnology of Guangxi, Guangxi Institute of Oceanology, Beihai 536000)

(² Animal Science and Technology College, Guangxi University, Nanning 530005)

ABSTRACT *Sipunculus nudus* juveniles at average body weight of 15.49 ± 0.03 mg were fed with seven isonitrogenous (45% crude protein) and isolipidic (9% crude lipid) diets containing different carbohydrate (glucose, sucrose, dextrin, tapioca starch, potato starch, corn starch, or gelatinized corn starch) for 8 weeks to investigate the effects of different dietary carbohydrate (CBH) sources on their growth, survival and body composition. The treatment fed with gelatinized corn starch showed the highest weight gain (WG) and specific growth rate (SGR), and were significantly higher than the other CBH diets ($P < 0.05$). However, the dietary CBH

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)、广西创新计划专项经费项目(2012cxjhA014)和北海市科学研究与技术开发计划项目(北科合 201153009)共同资助

* 通讯作者。E-mail: cgp5@163.com, Tel: 13878194615

收稿日期: 2012-10-27; 接受日期: 2013-01-07

作者简介: 张 琴(1982-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: celery996@yahoo.com.cn,

sources had no significant effects on survival rate of *S. nudus* ($P > 0.05$). The results of body composition analysis showed that different CBH sources had significant effects on body moisture and body protein ($P < 0.05$). The *S. nudus* fed with glucose had the highest body moisture and the lowest body protein, which were significantly different from the others ($P < 0.05$). No significant differences were observed in body lipid content and body ash content of *S. nudus* among dietary treatments with different CBH ($P > 0.05$). It could be concluded that the ability for *S. nudus* to utilize macromolecular carbohydrates was better than that to utilize small molecule carbohydrates, and pre-gelatinization of corn starch significantly improved corn starch utilization in *S. nudus* based on the experiment results.

KEY WORDS *Sipunculus nudus* Carbohydrate sources Growth Survival rate
Body composition

方格星虫 *Sipunculus nudus* Linnaeus 为星虫动物门、星虫科、方格星虫属(Rice 1982),又名光裸星虫,俗称“沙虫”,是一种食疗兼优的药膳海产品(张桂和等 2008),主要分布于我国的福建、广东、广西和台湾沿海等地(李凤鲁等 1990),尤其在广西近岸带资源最为丰富(吴 斌 1999),是北部湾海区特色品种之一。其肉质脆嫩,味道鲜美,富含蛋白质、多种氨基酸及微量元素,素有“海洋冬虫夏草”之称,深受消费者喜爱。自 20 世纪 80 年代末以来,由于市场价格的刺激,方格星虫遭到掠夺式采掘,资源量急速下降。随着自然资源的衰竭、消费市场对成品需求量的增加以及人工育苗技术突破,方格星虫养殖在我国南部沿海逐渐兴起;随着方格星虫养殖规模及需苗量的不断扩大,其营养生理学及人工配合饲料的研究已显得十分迫切。目前,方格星虫营养研究主要集中在常规营养成分分析(张桂和等 2008)以及饲料中蛋白质、脂肪等适宜需要量等方面(张 琴等 2011、2012a、b),其糖类营养研究尚属空白。

糖是动物三大营养和能量物质(蛋白质、脂肪和糖)中最廉价的能源物质,经消化吸收为动物机体的生理活动提供能量。在一些学者对鱼类的研究中发现,在饲料中添加适量的、可满足鱼类代谢需求且不引起鱼的不耐受情况的糖,可以促进鱼的生长(Hemre *et al.* 1995; Erfanullah *et al.* 1998、1999),同时可以减少饲料蛋白质作为能源被消耗(Catacutan *et al.* 1997; Peragón *et al.* 1999; Stone 2003),起到节约蛋白质的作用,从而降低饲料成本,同时能减少氨、氮的排泄对养殖环境的污染(Wilson 1994)。饲料成本是养殖成本的重要组成部分,所占比例为 40%~60%,而蛋白源成本是水产饲料成本的重要组成部分,如何利用糖的蛋白质节约效应、降低蛋白质在饲料中的使用量,是降低水产养殖成本的有效途径之一。在鱼粉、豆粕等蛋白源价格日益飙升从而导致饲料成本升高的严重前提下,基于糖类作为饲料中最廉价的能量来源及其广阔的市场开发前景,研究了不同糖对方格星虫稚虫生长、成活率和体组成的影响,以期方格星虫稚虫期高效、环保配合饲料的研究提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 实验动物

实验用稚星虫取自广西海洋研究所海水增养殖实验基地 2011 年 8 月中旬人工孵化的同一批苗种。

1.2 饲料组合

以白鱼粉、酪蛋白、豆粕、鱼油、卵磷脂等为饲料基础组份,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 7 种不同糖源,配制成等氮(蛋白约 45%)等脂(约 9%脂肪)饲料,具体的饲料配方及成分见表 1。参照 Blair 等(2003)介绍的方法进行微粘合饲料加工,饲料配方中各固体组份原料先粉碎,然后 400 目网过筛,按设定比例混合拌匀,最后与鱼油和水充分混匀,饲料制成 150 目粒状饲料,装袋标号备用。

表1 实验饲料配方及营养组成(%干物质)

Table 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (% dry matter)

原料 Ingredient	实验饲料 Diets						
	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
鱼粉 Fish meal	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5	45.5
酪蛋白 Casein	6	6	6	6	6	6	6
豆粕 Soybean meal	20	20	20	20	20	20	20
鱼油 Fish oil	5	5	5	5	5	5	5
卵磷脂 Lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
¹ 复合维生素 Vitamin premix	1	1	1	1	1	1	1
² 复合矿物盐 Mineral premix	1	1	1	1	1	1	1
葡萄糖 Glucose	20						
蔗糖 Sucrose		20					
糊精 Dextrin			20				
木薯淀粉 Tapioca starch				20			
土豆淀粉 Potato starch					20		
玉米淀粉 Corn starch						20	
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch							20
营养组成 Nutrient component(%)							
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
糖含量 Dietary CBH	20.64	20.22	20.80	20.98	20.27	20.57	20.22

注:¹每千克复合维生素含:V_D 480 000 IU,V_E 20.00 g,V_K 0.20g,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 0.20g,肌醇 88.00g

²每千克复合矿物盐含: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%)0.16g,碳酸钙 805.86 g

Notes:¹Composition (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

² 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%) 0.16g, CaCO₃ 805.86 g

1.3 饲养管理

饲养实验在广西海洋研究所海水增殖实验基地相同规格(65 cm×55 cm×45 cm)的21个水槽中进行。水槽底部均匀铺设一薄层约3~4 cm厚的细沙,所用海水先经室外蓄水池沉淀,然后经二级砂滤池及滤袋过滤。正式养殖实验于2011年9月20日开始,为期56 d。实验按不同糖源饲料共设置7组(每组设有3个重复),每个重复放养体重相近、健康无病的初始平均体重为15.49±0.03 mg的方格星虫稚虫400条,分别喂以不同糖源微颗粒饲料。实验期56 d,期间每天09:00和17:00分别对各处理换水(每次换水量约为原池水的1/3),然后进行“过量投饲”(实验池底层沙表面保持少量未被沙虫完全食用的剩饵)。此外,实验过程中采用自然光照周期,水温维持在26~30℃,盐度维持在18~22,溶解氧大于5.0 mg/L。

1.4 样品收集

养殖实验结束后,将稚星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之后,收集各

水槽内的稚虫并称量,同时记录稚虫成活条数。分别从每个水槽随机取 60 条稚虫,称重后迅速转移至-20℃冰箱中保存,用于体组成指标的分析测定。

1.5 方格星虫体成分及饲料常规测定

实验稚星虫体成分和饲料常规成分分析均采用 AOAC(1995)的方法。其中,水分测定是将样品置于 105 ℃烘箱中烘干至恒重;粗蛋白测定采用凯氏定氮法(Kjeltec 8400,瑞典);粗脂肪测定采用索氏抽提法(Soxtec 2050,瑞士);粗灰分测定采用高温炉中(550 ℃)灰化法。饲料中可消化糖实际含量用 3,5-二硝基水杨酸法(程镇燕 2010)测定。

1.6 计算与统计分析

$$\text{成活率(Survival, \%)} = N_t \times 100 / N_0$$

$$\text{增重率(WGR, \%)} = [(W_t - W_0) / W_0] \times 100$$

$$\text{特定生长率(SGR, \% / d)} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_0) / t$$

式中, N_t 和 N_0 分别为终末和初始稚星虫的条数; W_0 和 W_t 分别为稚星虫初始体重和终末体重; t 为实验天数。

用 SPSS 13.0 for Windows 对统计数据进行方差分析,若差异达到显著,则进行 Tukey 多重比较,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 不同糖对方格星虫稚虫生长及成活率的影响

表 2 饲料中糖源对方格星虫稚虫生长性能的影响(平均值±标准误)¹

Table 2 Effects of dietary carbohydrate source on growth performance of *Sipunculus nudus* (Mean±S. E.)¹

糖源 CBH source	初始体重 IBW(mg)	终末体重 FBW(mg)	增重率 WG (%)	特定生长率 SGR (%/d)	成活率 Survival rate(%)
葡萄糖 Glucose	15.37±0.02	40.38±0.40 ^a	162.79±2.92 ^a	1.73±0.02 ^a	93.08±0.74
蔗糖 Sucrose	15.54±0.09	45.99±0.53 ^b	195.89±1.82 ^b	1.94±0.01 ^b	92.75±0.38
糊精 Dextrin	15.40±0.09	46.60±0.35 ^b	202.62±1.68 ^b	1.98±0.01 ^b	91.92±0.44
木薯淀粉 Tapioca starch	15.54±0.06	52.74±0.04 ^c	239.33±1.23 ^c	2.18±0.02 ^c	92.25±0.52
土豆淀粉 Potato starch	15.52±0.05	53.35±0.17 ^c	243.83±0.90 ^c	2.21±0.01 ^c	91.75±0.25
玉米淀粉 Corn starch	15.58±0.04	54.15±1.02 ^c	247.46±5.76 ^c	2.22±0.04 ^c	93.17±0.44
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch	15.40±0.09	58.93±0.18 ^d	282.68±2.91 ^d	2.40±0.01 ^d	93.33±0.36
ANOVA ²					
F 值 F Value	1.737	11.636	12.818	15.864	1.828
P 值 P Value	0.191	0.000	0.000	0.000	0.16

注:¹表中所给数据为 3 个重复的平均值±标准误。同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)。²AVOVA:单因素方差分析

Notes:¹Values are means of three replicates. Values in each column with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).

²One-way analysis of variance

从表 2 可知,不同糖对方格星虫稚虫的增重率和特定生长率有显著影响($P < 0.05$)。其中糊化玉米淀粉增重率和特定生长率最高,分别为 282.68%和 2.40%/d,显著高于其他糖源组($P < 0.05$),葡萄糖组增重率和特定生长率显著低于其他糖源组($P < 0.05$);木薯淀粉、土豆淀粉与玉米淀粉组无显著性差异,但显著高于蔗糖、糊精及葡萄糖($P < 0.05$)。表明在 7 种实验糖源中,糊化玉米淀粉对方格星虫稚虫的促生长效果较优,其增重率比玉米淀粉、土豆淀粉、木薯淀粉、糊精、蔗糖和葡萄糖分别提高了 35.22%、38.85%、43.35%、80.06%、86.79%和 119.89%,特定生长率比玉米淀粉、土豆淀粉、木薯淀粉、糊精、蔗糖和葡萄糖分别提高了 0.18%/d、0.19%/d、0.22%/d、0.42%/d、0.46%/d 和 0.67%/d。

各处理组成活率均在 91.75%~93.33%之间,统计分析显示,不同糖对方格星虫稚虫养殖成活率影响不显著($P>0.05$)。

2.2 不同糖源对方格星虫稚虫体组成的影响

表3 饲料糖源对方格星虫体组成的影响(平均值±标准误)¹

Table 3 Effects of dietary carbohydrate source on body composition of *S. nudus* (Mean±S.E.)¹

糖源	CBH source	水分 Moisture (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	灰分 Ash (%)
葡萄糖	Glucose	79.05±0.10 ^b	14.11±0.04 ^a	0.51±0.02	3.64±0.04
蔗糖	Sucrose	78.16±0.13 ^{ab}	14.36±0.04 ^{abc}	0.58±0.02	3.63±0.06
糊精	Dextrin	78.34±0.15 ^{ab}	14.29±0.08 ^{ab}	0.55±0.01	3.67±0.06
木薯淀粉	Tapioca starch	78.51±0.38 ^{ab}	14.56±0.10 ^{bc}	0.55±0.02	3.65±0.03
土豆淀粉	Potato starch	77.51±0.14 ^a	14.47±0.09 ^{bc}	0.53±0.02	3.60±0.05
玉米淀粉	Corn starch	78.09±0.28 ^{ab}	14.64±0.05 ^c	0.54±0.02	3.49±0.03
糊化玉米淀粉	Gelatinized corn starch	77.98±0.37 ^{ab}	15.15±0.04 ^d	0.54±0.01	3.53±0.01
ANOVA ²					
F 值	F Value	3.764	5.844	1.782	1.075
P 值	P Value	0.019	0.004	0.181	0.415

注:¹表中所给数据为3个重复的平均值±标准误。同列数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)。²ANOVA:单因素方差分析
Notes:¹Values are means of three replicates. Values in each column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$).

²One-way analysis of variance

从表3可知,不同糖源对稚星虫的体水分和体粗蛋白含量均有显著的影响($P<0.05$),其中,葡萄糖处理组方格星虫稚虫的体水分含量最高,且显著高于土豆淀粉组($P<0.05$),其他各实验组差异不显著;葡萄糖处理组方格星虫稚虫的体粗蛋白含量最低,显著低于糊化及非糊化淀粉组($P<0.05$)。不同糖源对稚星虫的体粗脂肪含量及灰分含量没有显著的影响($P>0.05$)。

3 讨论

3.1 饲料中不同糖源对方格星虫稚虫生长的影响

水产动物的生长性能不但受饲料中的糖水平的影响,同时也受饲料中糖来源的影响(Rosas *et al.*, 2001)。本研究中所用的稚星虫实验饲料是在饲料基础组分中等比例加入7种不同糖源,保证各处理组糖水平一致,因此可认为饲料中不同的糖源是造成稚星虫生长差异的主要原因。此外,有学者提出大多数鱼类对大分子糖的利用要优于小分子糖(Shiau *et al.*, 1995; Hutchins *et al.*, 1998)。Hutchins等(1998)在对杂交条纹鲈幼鱼(*Morone chrysops* ♀×*M. saxatilis* ♂)的研究中发现,投喂糊精作为饲料糖源的实验组的增重率要比投喂葡萄糖作为糖源的实验组增重率高。Niu等(2012)在研究斑节对虾 *Penaeus monodon* 时也发现,对虾对小麦淀粉的利用率也要高于葡萄糖,类似的结果同样出现在鲤鱼 *Cyprinus carpio* (Furuichi *et al.*, 1982)和方斑东风螺 *Babylonia areolate* (张丽丽等 2009)的研究中。本研究中,糊化玉米淀粉组方格星虫稚虫的增重率和特定生长率最高,木薯淀粉组、土豆淀粉组与玉米淀粉组无显著性差异,但显著高于蔗糖组、糊精组及葡萄糖组,同样证实了稚星虫对大分子的糖类利用优于小分子糖类。常温下不溶于水的淀粉在高温下溶胀、分裂形成均匀糊状溶液的特性,称为淀粉的糊化。在一些学者对养殖鱼类上的研究发现,对玉米淀粉进行预糊化能显著提高南方鲇 *Silurus meridionalis* Chen(付世建等 2005)和黄鳍鲷 *Sparus latus* 幼鱼(吴小易等 2006)对玉米淀粉的利用,这与本研究的结果基本一致。

葡萄糖组生长率低可能在于两个方面,一是很多动物对葡萄糖的耐受性很低,由于饲料中葡萄糖吸收过快造成的高血糖应激反应会对生长造成一定的负面影响(Harmon *et al.*, 1991)。而大分子糖需要先诱导鱼体产生相关的酶,然后通过酶的水解之后才能被鱼体吸收,从而延缓了吸收速度(Deng *et al.*, 2001),并且大分

子糖的这种诱导作用持续而温和,可能促使鱼类生长更好(Tung *et al.* 1991)。同理,这些也可能是造成稚星虫对大分子的糖类利用优于小分子糖类的原因。二是单糖吸收快,这可能会造成血液中的糖在进入细胞被有效利用之前就直接被排出体外了。很多水产动物表现出葡萄糖低耐受性,是由于其胰岛素分泌不足。目前并没有稚星虫体内血糖去向的相关报道,不能确定稚星虫会不会出现这种现象。此外,本研究中糊化玉米淀粉组增重率和特定生长率最高的原因可能在于淀粉糊化过程能使淀粉粒结构破坏从而提高淀粉的利用率,具体为破坏掉了其中的淀粉酶抑制因子,并缩短了淀粉结构链商(Hofer *et al.* 1985)。

然而,不同生物利用饲料中不同糖源的机制有所差异,并不是所有动物对大分子糖的利用率都高于小分子的糖。其中大鳞大麻哈鱼 *Chinook salmon* 对饲料中的小分子糖利用率比大分子糖更好(Buhler *et al.* 1961);斑节对虾对小麦淀粉和蔗糖的利用率无显著差异(Niu *et al.* 2012);而彭泽鲫 *Carassius auratus* var. Pengze 的生长并未受饲料糖源的种类改变的影响(蔡春芳等 2010)。本研究对不同糖源对方格星虫稚虫生长性能的影响机制还有待进一步研究。

3.2 饲料中不同糖源对方格星虫稚虫体组成的影响

早在1994年,Brauge等(1994)的研究就发现,虹鳟 *Oncorhynchus mykiss* 在消化吸收饲料中的糖之后,会有一部分转化为脂肪和糖源贮存在肝脏中,而肝脏中糖源含量升高则会降低肝脏中脂肪、蛋白、水分的含量(Hutchins *et al.* 1998)。随后大量学者研究发现,含不同糖源的饲料对饲养动物的体组成的影响比较复杂,实验对象不同,实验结果有一定的差异。从本实验结果看,以葡萄糖作糖源的饲料投喂方格星虫稚虫,其水分含量最高,显著高于土豆淀粉组,其余各处理组之间差异不显著,其他学者在研究不同糖源对杂交条纹鲈幼鱼(Hutchins *et al.* 1998)和星斑川鲈 *Platichthys stellatus*(Lee *et al.* 2004)全鱼水分组成的实验中也得到相似的结果。本研究中,不同糖源对稚星虫粗蛋白含量影响显著,以葡萄组最低,略低于糊精组和蔗糖组,显著低于糊化及非糊化淀粉组,亦即稚星虫的体蛋白含量随着糖分子量的增大而增加。在对杂交条纹鲈开展的研究中,葡萄糖组、糊精组肝脏蛋白质要显著低于麦芽糖组和其他淀粉糖源组(Hutchins *et al.* 1998);斑节对虾全虾和肌肉蛋白都以小麦淀粉组含量最高,而糊精组显著低于其他各处理组(Niu *et al.* 2012),同样证实了大分子糖实验组的体组成中蛋白质的含量高于小分子糖组。此外,不同糖源对方格星虫稚虫的体粗脂肪含量及灰分含量的影响无显著差异,这种现象同样在其他学者对南美白对虾 *Penaeus vannamei*(郭 冉等 2005)、中华鲟 *Acipenser sinensis* 幼鱼(周 俊 2006)的实验中得到印证。

蛋白酶活力能间接反应饲料中蛋白消化的能力,在糖源足够的情况下,饲料蛋白消化后能有效地转化为体蛋白储存起来。本课题组科研人员测量了各实验组的消化酶活性,研究发现葡萄糖组蛋白酶显著低于其他各组,这可能是本研究中葡萄糖组体蛋白较低的可能原因。虽然饲料糖源对方格星虫稚虫体水分含量和蛋白含量有显著影响,但是体蛋白质、脂肪、灰分、水分百分含量能彼此牵制,例如,体内源物质可以相互转化(Hemre *et al.* 1995),因此,尚不能从本研究中得出关于饲料糖源在沙虫体内代谢去向的明确结论。

4 小结

在本研究条件下,糊化玉米淀粉对方格星虫稚虫的促生长作用最显著;稚星虫对大分子糖类(淀粉)的利用能力显著优于双糖(蔗糖)和单糖(葡萄糖)。

参 考 文 献

- 付世建,谢小军. 2005. 饲料碳水化合物水平对南方鲈生长的影响. 水生生物学报, 29(4): 393-398
- 李凤鲁,孔庆兰,史贵田,王 玮,周 红,金善福. 1990. 中国沿海方格星虫属(星虫动物门)的研究. 青岛海洋大学学报, 20(1): 93-99
- 吴 斌. 1999. 光裸方格星虫生殖细胞及胚胎发育. 广西科学, 6(3): 222-226
- 吴小易,刘永坚,田丽霞,麦康森,阳会军. 2007. 黄鳍鲷幼鱼对几种不同糖源的利用. 水产学报, 31(4): 463-471
- 张桂和,李 理,赵谋明,巫光宏. 2008. 方格星虫营养成分分析及抗疲劳作用研究. 营养学报, 30(3): 318-320
- 张 琴,童万平,董兰芳,蒋 艳,童 童. 2011. 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. 渔业科学进展,

32(6): 99-106

- 张琴, 童万平, 董兰芳, 蒋艳, 童潼. 2012a. 饲料蛋白水平对方格星虫稚虫生长和体组成的影响. 渔业科学进展, 33(1): 86-92
- 张琴, 童潼, 童万平, 董兰芳, 蒋艳. 2012b. 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. 渔业现代化, 39(2): 41-46
- 张丽丽, 周歧存, 程怡秋, 韦晓丽, 张少平. 2009. 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. 广东海洋大学学报, 29(4): 14-18
- 周俊. 2006. 糖种类和水平对中华鲟幼鱼生长影响的研究. 见: 华中农业大学博士研究生学位论文
- 郭冉, 刘永坚, 田丽霞, 阳会军, 梁桂英, 黄俊娃. 2005. 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. 中山大学学报(自然科学版), 44(3): 90-92
- 程镇燕. 2010. 大黄鱼和鲈鱼对几种水溶性维生素营养需求及糖类营养生理的研究. 见: 中国海洋大学博士研究生学位论文
- 蔡春芳, 陈立侨, 叶元土, 宋学宏, 杨彩根, 陈权文. 2010. 饲料糖对彭泽鲫生长和生理机能的影响. 水生生物学报, 34(1): 170-176
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official Methods of Analysis of Official Analytical Chemists International, 16th Edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, USA
- Blair T, Castell J, Nell S and 4 others. 2003. Evaluation of microdiets versus live feeds on growth, survival and fatty acid composition of larval haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). Aquaculture 225(1-4): 451-461
- Brauge C, Medale F, Corraze G. 1994. Effect of dietary carbohydrate levels on growth, body composition and glycaemia in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, reared in seawater. Aquaculture 123(1-2): 109-120
- Buhler DR, Halver JE. 1961. Nutrition of salmonid fishes; IX, Carbohydrate requirements of chinook salmon. Nutrition 74: 307-318
- Catacutan MR, Coloso RM. 1997. Growth of juvenile Asian seabass, *Lates calcarifer*, fed varying carbohydrates and lipid levels. Aquaculture 149(1-2): 137-144
- Deng DF, Refstie S, Hung SSO. 2001. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates. Aquaculture 199(1-2): 107-117
- Erfanullah, Jafri AK. 1998. Growth rate, feed conversion, and body composition of *Catla catla*, *Labeo rohita*, and *Cirrhinus mrigala* fry fed diets of various carbohydrate-to-lipid ratios. J World Aquacul Soc 29: 84-91
- Erfanullah, Jafri AK. 1999. Growth, feed conversion, body composition and nutrient retention efficiencies in fingerling catfish, *Heteropneustes fossilis* (Bloch), fed different sources of dietary carbohydrate. Aquacul Res 30: 43-49
- Furuichi M, Yone Y. 1982. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream. Bull Jpn Soc Sci Fish 48: 945-948
- Harmon JS, Eilertson CD, Sheridan MA, Plisetskaya EM. 1991. Insulin suppression is associated with hypersomatostatinemia and hyperglucagonemia in glucose-injected rainbow trout. Am J Physiol 261: 609-613
- Hemre GI, Sandnes K, Lie ϕ and 2 others. 1995. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: growth and feed utilization. Aquacul Res 26(3): 149-154
- Hofer R, Sturmbauer C. 1985. Inhibition of trout and carp α -amylase by wheat. Aquaculture 48(3-4): 277-283
- Hutchins CG, Rawles SD, Gatlin DM. 1998. Effect of dietary carbohydrate kind and level on growth, body composition and glycemic response of juvenile sunshine bass (*Morone chrysops* ♀ \times *M. saxatilis* ♂). Aquaculture 161(1-4): 187-199
- Lee SM, Lee JH. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Fish Sci 70: 53-58
- Niu J, Lin HZ, Jiang SG and 4 others. 2012. 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. Anim Feed Sci Tech 174: 86-95
- Peragón J, Barroso JB, García-Salguero L and 2 others. 1999. Carbohydrates affect protein-turnover rates, growth and nucleic acid content in the white muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Aquaculture 179(1-4): 425-437
- Rice ME. 1982. Synopsis and Classification of Living Organism. New York: McGraw-Hill Book Company 67-69
- Rosas C, Cuzon G, Gaxiola G and 6 others. 2001. Metabolism and growth of juveniles of *Litopenaeus vannamei*: effect of salinity and dietary carbohydrate levels. J Exp Mar Biol Ecol 259(1): 1-22
- Stone DAJ. 2003. Dietary carbohydrate utilization by fish. Rev Fish Sci 11: 337-369
- Shiau SY, Liang HS. 1995. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus* \times *Oreochromis aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the diet. J Nutri 125(4): 976-982
- Tung PH, Shiau SY. 1991. Effects of meal frequency on growth-performance of hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* \times *O. aureus*, fed different carbohydrate diets. Aquaculture 92: 343-350
- Wilson RP. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture 124(1-4): 67-80