

不同糖源对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*) 日增重、饲料利用和消化酶活性的影响*

董兰芳¹ 张琴^{①1} 许明珠¹ 童潼¹

王珺² 熊向英¹ 彭银辉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. 农业部水产品加工重点实验室 中国水产科学研究院南海水产研究所 广州 510300)

摘要 以葡萄糖、蔗糖、糊精、玉米淀粉和糊化玉米淀粉为糖源制成 5 种等氮等脂饲料, 投喂卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*) 8 周, 研究不同糖源对其日增重、饲料利用和肝脏消化酶活性的影响。结果显示, 不同糖源对卵形鲳鲹日增重、饲料效率和蛋白效率均有显著影响($P < 0.05$)。糊化玉米淀粉组的日增重、饲料效率和蛋白效率均最高, 显著高于非淀粉糖源组($P < 0.05$), 而与玉米淀粉组无显著差异($P > 0.05$); 葡萄糖组的日增重、饲料效率和蛋白效率均最低, 显著低于其他糖源组($P < 0.05$)。消化酶活性结果显示, 饲料中的不同糖源对卵形鲳鲹的肝脏消化酶活性有显著影响($P < 0.05$)。两个淀粉组的蛋白酶活性显著低于分子量较低其他三组($P < 0.05$); 蔗糖组的淀粉酶活性最高, 显著高于除糊精组外的其他糖源组($P < 0.05$); 脂肪酶活性随着糖分子量的增大而增大。本研究中淀粉类大分子糖类对卵形鲳鲹的促生长效果优于葡萄糖、蔗糖和糊精, 糊化玉米淀粉组的促生长效果最好。

关键词 卵形鲳鲹; 糖源; 日增重; 饲料利用; 消化酶活性

中图分类号 S963.16 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)03-0042-07

与大多数哺乳动物不同, 鱼类对蛋白质的要求很高, 尤其是肉食性鱼类, 其蛋白质需要量一般为 40%–55% (钱雪桥等, 2002)。而饲料蛋白质数量有限, 价格也在市场压力下变得愈来愈昂贵。据“蛋白质节约效应”, 在饲料中添加一定量的脂肪或糖类, 部分代替用于能源的蛋白质, 从而提高水生动物对蛋白质的利用率, 可以起到节约蛋白质的作用(李孟均等, 2008)。糖类因来源广泛, 价格低廉, 受到广泛关注。充分利用糖类作为能量来源, 使蛋白质最大限度地合成体蛋白, 对于节约饲料成本, 减轻氨氮排放有重要意义。研究表明, 鱼类对糖的消化和代谢能力较差, 缺乏对血糖水平的调控能力(罗毅平等, 2010), 且其对糖的

利用受到鱼种、投饲频率、饲料组成、环境因子等因素的影响(蔡春芳等, 2006a)。

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*), 俗称金鲳、黄腊鲳, 是一种暖水性肉食性鱼类, 在中国主要分布于南海、东海和黄海(区又君等, 2005), 是近年来南方沿海经济鱼类规模化养殖最成功的种类之一。国内外学者对卵形鲳鲹的繁殖发育(Xie *et al.*, 2014; 区又君等, 2012)、养殖技术(Zheng *et al.*, 2016; 张邦杰等, 2001; 许晓娟等, 2008)、免疫与病害(蔡小辉等, 2012; Zhou *et al.*, 2014; Lin *et al.*, 2012)等方面研究较多, 对其营养生理的研究也有报道(Lin *et al.*, 2012; Niu *et al.*, 2013), 而在糖营养生理方面仅有零星报道(Wu *et al.*, 2015)。

* 广西自然科学基金(2012GXNSFDA053013)、广西科学院基本科研业务费资助项目(15YJ22HY14)、广西海洋生物技术重点实验室开发课题(GLMBT-201104)和广东省省级科技计划项目(2013B020503053)共同资助。董兰芳, E-mail: 0xiao0dong0@163.com

① 通讯作者: 张琴, 副研究员, E-mail: zhangqin821220@163.com

收稿日期: 2015-05-08, 收修改稿日期: 2015-06-08

本研究基于糖的蛋白质节约效应及其生理功能,研究了葡萄糖、蔗糖、糊精、玉米淀粉和糊化玉米淀粉对卵形鲳鲆日增重、饲料利用和消化酶活性的影响,以期为卵形鲳鲆人工配合饲料的研制开发提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 饲料配方与制作

实验饲料配方及基本营养成分分析见表1。从表1可以看出,以鱼粉、酪蛋白、豆粕、鱼油、卵磷脂等为饲料基础组分,按20%的添加量加入葡萄糖、蔗糖、糊精、玉米淀粉和糊化玉米淀粉5种不同糖源,配制成等氮(约44%)、等脂(约9%)饲料。饲料配方中各固体组分原料粉碎后,过80目筛,按照设定比例逐级放大混合拌匀,再加入称好的鱼油和大豆卵磷脂手工搓油,混合均匀后加水揉成面团,用制粒机(F-26 II, 华南理工大学)制成直径为2.5 mm的饲料。饲料用烘箱50℃恒温烘干,于-20℃冰箱保存备用。

1.2 饲养管理

饲养实验于2014年7月18日正式开始,在广西海洋研究所海水增殖实验基地15个规格相同(4 m×3 m×2 m)、挂在大塘里的网箱中进行。实验用卵形鲳鲆为北海市铁山港区养殖厂培育的同一批苗种,实验前先在桶里用商品化饲料饱食驯养14 d。饥饿24 h后,对鱼体进行称重、分组,平均初始体重为(31.24±0.58) g,每个网箱放养30尾卵形鲳鲆,每个饲料设置3个平行处理。养殖实验持续8周,每天分别在8:00和18:00进行1次饱食投喂,并记录每组鱼摄食饲料的重量,实验期间水温为27~33℃,pH为7.6~8.0,盐度为20.9~25.2,溶解氧大于6.0 mg/L。

1.3 样品收集与分析

养殖实验结束后,卵形鲳鲆饥饿处理24 h,将各个网箱的卵形鲳鲆捞出,用MS-222(1:10000)麻醉后,称量总重并记录尾数。每组随机挑选5尾,解剖分离取出肝脏,液氮速冻后保存于-80℃冰箱用于消化酶活性的分析。

饲料常规成分测定:水分采用恒温干燥法(105℃);粗蛋白采用凯氏定氮法(Kjeltec 8400, 瑞典);粗脂肪采用索氏抽提法(Soxtec 2050, 瑞士);粗灰分用马弗炉灰化法(550℃);可消化糖的实际含量用3,5-二硝基水杨酸法测定。

消化酶活性测定:取保存的卵形鲳鲆肝脏,按照质量体积比1:4加入pH=7的磷酸缓冲液,低温下用玻璃匀浆器将其捣碎,4℃ 3 000 r/min离心10 min,用移液枪取上清液用于消化酶指标的测定。蛋白酶活

性采用Folin-酚法测定;脂肪酶活性、淀粉酶活性和酶液蛋白质质量分数均采用专业试剂盒测定。酶活力用比活力(U/mg prot)表示。

1.4 计算公式和统计分析

平均终末体质量(W_t, g)= W/n

日增重(Daily weight growth, DWG, g/d)=($W_t - W_0$)/ t

饲料效率(Feed efficiency, FE)=($W_t - W_0$)/ M

蛋白效率(Protein efficiency ratio, PER)=($W_t - W_0$)/ m

式中: W 和 n 分别为实验结束时每个网箱中鱼体的总质量(g)和总尾数; W_t 和 W_0 分别表示鱼体的终末平均体质量(g)和初始平均体质量(g); t 为实验天数; M 为摄食量(g); m 为饲料蛋白(g)。

采用SPSS19.0软件对所得数据进行一维方差分析(One-way ANOVA),所得结果用平均值±标准误(Mean±SE)表示,若显著性水平 $P<0.05$,则进行Tukey多重比较。

2 结果

2.1 不同糖源对卵形鲳鲆日增重、饲料效率和蛋白效率的影响

由表2可知,不同糖源对卵形鲳鲆日增重有显著影响($P<0.05$),糊化玉米淀粉组鱼体的日增重最高,为(2.19±0.11) g/d,玉米淀粉组次之,二者无显著差异($P>0.05$);葡萄糖组鱼体的日增重最低,显著低于其他各糖源组($P<0.05$);蔗糖组和糊精组鱼体的日增重相近,且显著低于糊化玉米淀粉组($P<0.05$),而显著高于葡萄糖组($P<0.05$)。卵形鲳鲆的饲料效率和蛋白效率随糖分子量增大呈显著增大的趋势($P<0.05$),葡萄糖组最小,糊化玉米淀粉组最大,玉米淀粉组与糊精组、糊化玉米淀粉组无显著差异($P>0.05$)。日增重、饲料效率和蛋白效率的数据结果均显示卵形鲳鲆对添加糊化玉米淀粉饲料的利用效果最好。

2.2 不同糖源对卵形鲳鲆肝脏消化酶活性的影响

从表3可以看出,不同糖源组卵形鲳鲆肝脏的3种消化酶活性均有显著差异($P<0.05$)。淀粉组的蛋白酶活性最低,显著低于葡萄糖组、蔗糖组和糊精组($P<0.05$),但分子量较低的三组间无显著差异($P>0.05$);蔗糖组鱼体肝脏的淀粉酶活性最高,显著高于除糊精组外的其他糖源组($P<0.05$);脂肪酶活性随糖分子的增大而增大,葡萄糖组最低,淀粉组最高,两淀粉组均显著高于其他三组($P<0.05$)。该研究结果显示,糖分子的大小显著影响卵形鲳鲆肝脏消化酶的活性($P<0.05$),而淀粉的糊化加工对其消化酶活性没有显著影响($P>0.05$)。

表1 实验饲料配方及营养组成

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

原料 Ingredients	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	糊精 Dextrin	玉米淀粉 Corn starch	糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch
鱼粉 Fish meal	43.5	43.5	43.5	43.5	43.5
酪蛋白 Casein	6	6	6	6	6
豆粕 Soybean meal	20	20	20	20	20
鱼油 Fish oil	6	6	6	6	6
卵磷脂 Lecithin	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
复合维生素 Vitamin premix ¹	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
复合矿物盐 Mineral premix ²	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
葡萄糖 Glucose	20				
蔗糖 Sucrose		20			
糊精 Dextrin			20		
玉米淀粉 Corn starch				20	
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch					20
营养组成 Proximate analysis					
粗蛋白 Crude protein	43.93	44.16	43.86	43.69	43.74
粗脂肪 Crude lipid	9.12	9.19	9.23	9.28	9.06
灰分 Ash	8.69	8.36	7.85	8.14	7.98
糖含量 Dietary CBH	20.78	20.33	20.86	20.81	20.44

1. 复合维生素(mg 或 g/kg 饲料): 维生素 B1, 25 mg; 维生素 B2, 45 mg; 盐酸吡哆醇, 20 mg; 维生素 B12, 0.1 mg; 维生素 K3, 10 mg; 泛酸, 60 mg; 烟酸, 200 mg; 肌醇, 800 mg; 叶酸, 20 mg; 生物素, 1.2 mg; 维生素 A 乙酸酯, 32 mg; 维生素 D3, 5 mg; 维生素 E, 120 mg; 维生素 C, 2000 mg; 氯化胆碱, 2500 mg; 乙氧基喹啉, 150 mg; 次粉, 14.012 g (Niu *et al*, 2013)

2. 复合矿物盐(mg 或 g/kg 饲料): NaF, 2 mg; KI, 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%), 50 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 60 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; NaCl, 100 mg; MgSO₄·7H₂O, 1200 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 3000 mg; 沸石粉, 15.447 g (Niu *et al*, 2013)

1. Vitamin premix (mg or g/kg diet): thiamin, 25 mg; riboflavin, 45 mg; pyridoxine HCl, 20 mg; vitamin B12, 0.1 mg; vitamin K3, 10 mg; pantothenic acid, 60 mg; niacin acid, 200 mg; inositol, 800 mg; folic acid, 20 mg; biotin, 1.20 mg; retinol acetate, 32 mg; cholecalciferol, 5 mg; α -tocopherol, 120 mg; ascorbic acid, 2000 mg; choline chloride, 2500 mg; ethoxyquin 150 mg; wheat middling, 14.012 g (Niu *et al*, 2013)

2. Mineral premix (mg or g/kg diet): NaF, 2 mg; KI, 0.8 mg; CoCl₂·6H₂O (1%), 50 mg; CuSO₄·5H₂O, 10 mg; ZnSO₄·H₂O, 50 mg; MnSO₄·H₂O, 60 mg; FeSO₄·H₂O, 80 mg; NaCl, 100 mg; MgSO₄·7H₂O, 1200 mg; Ca(H₂PO₄)₂·H₂O, 3000 mg; zeolite, 15.447 g (Niu *et al*, 2013)

表2 饲料不同糖源对卵形鲳鲆日增重、饲料效率和蛋白效率的影响

Tab.2 Effects of dietary carbohydrate sources on daily weight growth, feed efficiency and protein efficiency ratio of *T. ovatus*

项目 Items	糖源 Carbohydrate source				
	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	糊精 Dextrin	玉米淀粉 Corn starch	糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch
初始体质量 Initial weight (g)	31.03±0.11	31.35±0.21	31.04±0.18	31.46±0.22	31.34±0.21
终末体质量 Final weight (g)	92.2±2.79 ^a	115.6±6.58 ^b	117.1±1.73 ^b	127.4±2.42 ^{bc}	136.4±4.93 ^c
日增重 Daily weight growth (g/d)	1.28±0.06 ^a	1.76±0.13 ^b	1.79±0.04 ^b	2.00±0.06 ^{bc}	2.19±0.11 ^c
饲料效率 Feed efficiency	0.54±0.02 ^a	0.62±0.02 ^b	0.74±0.01 ^c	0.78±0.01 ^{cd}	0.82±0.01 ^d
蛋白效率 Protein efficiency ratio	1.16±0.04 ^a	1.41±0.03 ^b	1.68±0.02 ^c	1.79±0.03 ^{cd}	1.88±0.02 ^d

注: 同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P < 0.05$)

Note: Values with different superscripts in the same row denoted significantly different ($P < 0.05$)

表3 饲料不同糖源对卵形鲳鲆肝脏消化酶活性的影响

Tab.3 Effects of dietary carbohydrate sources on digestive enzyme activities in the liver of *T. ovatus* (U/mg prot)

消化酶 Digestive enzyme	糖源 Carbohydrate source				
	葡萄糖 Glucose	蔗糖 Sucrose	糊精 Dextrin	玉米淀粉 Corn starch	糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch
蛋白酶活性 Activity of protease	83.88±7.07 ^b	102.0±7.76 ^b	93.68±6.58 ^b	47.83±2.81 ^a	41.85±9.92 ^a
淀粉酶活性 Activity of amylase	9.89±0.43 ^a	14.73±0.19 ^c	12.84±0.88 ^{bc}	10.66±0.39 ^{ab}	9.71±0.51 ^a
脂肪酶活性 Activity of lipase	21.42±1.63 ^a	23.11±1.23 ^a	31.18±1.94 ^b	38.98±1.71 ^c	40.09±0.67 ^c

注: 同行数据上标字母不同者之间表示存在显著差异($P<0.05$)

Note: Values with different superscripts in the same row denoted significantly different ($P<0.05$)

3 讨论

3.1 不同糖源对卵形鲳鲆日增重的影响

糖分子结构是影响鱼类对饲料中糖的利用的因素之一, 饲料糖种类不同, 鱼类表现出不同的生长速度(Hemre *et al.*, 2002)。越来越多的研究表明, 鱼类利用淀粉、糊精等分子量较大糖类要好于葡萄糖、蔗糖等结构简单的小分子糖类。当饲料糖水平为20%时, 摄食含葡萄糖、糊精及淀粉的饲料, 星斑川鲷(*Platichthys stellatus*)的增重率、饲料效率和蛋白质效率的大小依次为糊精组>淀粉组>葡萄糖组(Lee *et al.*, 2004); 金头鲷(*Sparus aurata*)的饲料效率和蛋白质效率以糊精和糊化玉米淀粉组最高, 显著高于葡萄糖组(Enes *et al.*, 2010); 摄食玉米淀粉、小麦淀粉和糊精的军曹鱼(*Rachycentron canadum*), 其增重率、特定生长率和蛋白效率显著高于麦芽糖、蔗糖和葡萄糖组, 葡萄糖组最低且显著低于其他组(Cui *et al.*, 2010)。摄食糖水平为15%饲料的牙鲆(*Paralichthys olivaceus*), 糊精组的饲料效率和蛋白质效率最高, 麦芽糖次之, 葡萄糖最低(Lee *et al.*, 2003)。另外, 斑点叉尾鲷(*Ictalurus punctatus*) (Wilson *et al.*, 1987)、异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)和长吻鮠(*Leiocassis longirostris*) (Tan *et al.*, 2006)、欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*) (Enes *et al.*, 2006)、青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)和鲫鱼(*Carassius auratus*) (蔡春芳等, 2006b)等对糖类的利用也符合上述规律。鱼类被视为具有先天的糖尿病体质(Shiau, 1997), 过去认为鱼类利用糖能力低下的原因是鱼类的胰岛素分泌不足, 然而鱼类血液中胰岛素含量比人类要高。谭肖英等(2007)由此推断, 鱼类对糖利用能力的有限可能不是胰岛素分泌绝对量不足引起的, 而是胰岛素分泌速度跟不上鱼类对饲料糖的吸收速度。因此, 鱼类对不同糖源的利用差异可能与糖类的消化吸收速率以及胰岛素分泌速度有关。小分

子糖类消化吸收速率较快, 鱼体食用后血糖在短时间内迅速升高, 此时, 胰岛素的分泌速度跟不上血糖的升高速度, 过高的血糖将造成生理胁迫, 对鱼的生长有一定抑制。林小植等(2006)认为, 血糖升高过快, 糖代谢相关酶活尚未相应增加, 同样引起了血糖水平过高以及糖原饱和等生理胁迫效应。血糖水平过高也可能导致血液中的葡萄糖在进入细胞被有效利用之前就排出体外, 因而葡萄糖利用率较低(张琴等, 2014)。而淀粉等大分子糖类在消化道内需经过 α -淀粉酶水解成分子较小的糖类, 再通过葡萄糖淀粉酶进一步水解成葡萄糖才能被鱼体吸收, 血糖升高速率相对较慢, 分泌的胰岛素有效地调节了血糖浓度的平衡。另外, 也有研究认为, 鱼类对不同结构糖利用的差异, 是实验鱼种类及其摄食习惯的差异造成的(Tan *et al.*, 2006)。

本研究结果显示, 大分子糖源组卵形鲳鲆的日增重、饲料效率、蛋白效率均高于小分子糖源组, 其中, 葡萄糖组的日增重、饲料效率、蛋白效率均最低, 两个淀粉组最高。日增重是鱼体平均每天增加的重量, 与饲料效率、蛋白效率共同反映了卵形鲳鲆对添加不同糖源饲料的利用和转化效率。实验结果显示, 卵形鲳鲆与上述鱼类相似, 对淀粉类大分子糖类的利用效率较高, 对葡萄糖的利用效率最差, 且淀粉的糊化对其消化利用也有一定的促进作用, 即5种糖源中, 卵形鲳鲆对糊化玉米淀粉的利用效果最好。

3.2 不同糖源对卵形鲳鲆肝脏消化酶活性的影响

糖类首先要经过消化酶分解成葡萄糖才能被鱼体吸收利用, 消化酶活性的高低直接影响鱼类对营养物质的利用效率, 进而影响其生长发育。研究表明, 饲料营养素的种类和添加水平对鱼类消化酶活性有重要影响。杨奇慧等(2008)比较了投喂冰鲜鱼和人工配合饲料的军曹鱼消化酶活力, 结果显示, 饲料组的前肠与肝脏的蛋白酶比活力显著高于冰鲜鱼组, 胃的

蛋白酶比活力则相反;冰鲜鱼组胃中的淀粉酶活力显著高于配合饲料组,前肠则相反,两种饲料对肝脏的淀粉酶活力影响不显著;配合饲料组的肝脏脂肪酶活力显著高于冰鲜鱼组,而胃和前肠的脂肪酶活力差异不显著。任鸣春等(2014)的研究表明,饲料淀粉水平对团头鲂(*Megalobrama amblycephala*)消化酶活性有显著影响,随着淀粉水平的增加,肝脏中淀粉酶活性先增加后降低,肠道中淀粉酶活性先升高后趋于平缓,淀粉水平对蛋白酶活性也有一定影响但差异不显著。Yu 等(2012)在饲料蛋白水平对大黄鱼(*Pseudosciaena Crocea*)生长和酶活影响的研究中,发现大黄鱼淀粉酶活性随饲料中碳水化合物水平的增加而增加,而胰蛋白酶活性在 42 d 的养殖周期内没有显著差异。有关饲料成分对鱼类消化酶活性影响的报道还有很多,研究结果不尽相同。一般规律为在一定范围内增加饲料某种营养成分,会促使消化该成分的消化酶分泌增加或活性增强,同时,其他消化酶也会由此相应改变。而鱼类消化酶活性还受其食性、生长阶段、环境因子以及营养成分等各方面因素的影响,造成了研究结果的差异。

本研究结果显示,不同糖源对卵形鲳鲹肝脏蛋白酶、淀粉酶和脂肪酶均有显著影响。其中,淀粉酶是与糖类消化吸收关系最为密切的消化酶(张丽丽等, 2009)。与哺乳动物相比,鱼类的淀粉酶活性要低得多,而肝脏是分泌淀粉酶的主要器官,肝脏淀粉酶活性的高低直接影响鱼类对食物中糖类物质的消化能力。本研究中,蔗糖组的肝脏淀粉酶活力最高,糊精次之,葡萄糖组和糊化玉米淀粉组最低。葡萄糖不需消化分解就能被机体直接吸收,而糊化玉米淀粉的加工方式使淀粉分子以单分子形式存在,具有更大的表面积与消化酶作用分解,因此,葡萄糖组和糊化玉米淀粉组的淀粉酶活性较低的原因可能是两种糖源易于消化吸收(叶为标, 2009; Panserat *et al*, 2001), 鱼体适应性分泌较少。同时也说明,鱼类对营养物质的消化能力取决于消化酶活性的高低,这是针对相同营养成分的饵料来说的。饲料组成不同的情况下,消化酶活性的高低并不能反映鱼体对营养成分的利用效率,因该成分被机体消化吸收的难易程度对消化酶的诱导和分泌有重要影响。另外,本研究中测定的是鱼体饥饿 24 h 后的消化酶活,而消化酶活力还与进食时间有关。因此,卵形鲳鲹进食后不同时间点消化酶活力的动态变化有待进一步研究。卵形鲳鲹两个淀粉组的肝脏蛋白酶活性显著低于分子量较小的其他三组,而肝脏脂肪酶活力则随着糖分子量的增大而显著增加。不同糖源与饲料蛋白和脂肪结合方式不同,可能

影响了鱼体对蛋白和脂肪的消化吸收,而不同糖源对其消化腺的刺激作用也不同。

消化酶活性的高低关系到鱼体对营养物质的消化吸收效率,然而这仅是鱼体利用营养成分的第一步。糖类在鱼体内的转化过程复杂多变,其代谢途径包括分解、合成、转化、运输等,当中有一个过程受到影响,都会影响其生长发育。本研究并未发现卵形鲳鲹消化酶活性与其生长存在相关性。有关不同糖源对其生长及消化酶活性影响的机制,有待进一步研究与讨论。

4 结论

不同糖源对卵形鲳鲹的日增重、饲料利用和消化酶活性均有显著影响。本研究条件下,淀粉类大分子糖类对卵形鲳鲹的促生长效果优于葡萄糖、蔗糖和糊精,其中糊化玉米淀粉的促生长效果最好,该糖源组的日增重达到 2.19 g/d, 饲料效率和蛋白效率分别为 0.82%和 1.88。

参 考 文 献

- 区又君, 李加儿. 卵形鲳鲹的早期胚胎发育. 中国水产科学, 2005, 12(6): 786-789
- 区又君, 何永亮, 李加儿, 等. 卵形鲳鲹胚后发育阶段的体色变化和鳍的分化. 热带海洋学报, 2012, 31(1): 62-66
- 叶为标. 淀粉糊化及其检测方法. 粮食与油脂, 2009, 22(1): 7-10
- 任鸣春, 贾文锦, 戈贤平, 等. 饲料不同淀粉水平对团头鲂成鱼生长性能、消化酶活性及肌肉成分的影响. 水产学报, 2014, 38(9): 1494-1502
- 许晓娟, 李加儿, 区又君, 等. 深水网箱养殖卵形鲳鲹血液指标. 动物学杂志, 2008, 43(6): 109-116
- 李孟均, 陈春娜. 饲料中的糖对水产动物的影响. 北京水产, 2008, (2): 57-59
- 杨奇慧, 周歧存, 郑海娟, 等. 不同饲料对军曹鱼组织消化酶活力的影响. 水产科学, 2008, 27(12): 633-636
- 张邦杰, 梁仁杰, 王晓斌, 等. 卵形鲳鲹 *Trachinotus ovatus* (Linnaeus)的引进、咸、海水池塘养与越冬. 现代渔业信息, 2001, 16(3): 16-20
- 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. 广东海洋大学学报, 2009, 29(4): 14-18
- 张琴, 许明珠, 童童, 等. 饲料不同糖源对方格星虫稚虫日增重和消化酶的影响. 南方水产科学, 2014, 10(1): 21-26
- 林小植, 罗毅平, 谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲂幼鱼餐后糖酵解酶活性及血糖浓度的影响. 水生生物学报, 2006, 30(3): 304-310
- 罗毅平, 谢小军. 鱼类利用碳水化合物的研究进展. 中国水

- 产科学, 2010, 17(2): 381–390
- 钱雪桥, 崔奕波, 解绶启, 等. 养殖鱼类饲料蛋白需要量研究进展. 水生生物学报, 2002, 26(4): 410–416
- 蔡小辉, 文雪, 徐力文, 等. 卵形鲳鲹一例疑似神经性病毒病的初步分析. 水产科学, 2012, 31(10): 597–601
- 蔡春芳, 王永玲, 陈立侨, 等. 饲料糖种类和水平对青鱼、鲫生长和体成分的影响. 中国水产科学, 2006a, 13(3): 452–459
- 蔡春芳, 陈立侨. 鱼类对糖的利用评述. 水生生物学报, 2006b, 30(5): 608–613
- 谭肖英, 罗智, 刘永坚. 鱼类对饲料中糖的利用研究进展. 中国饲料, 2007, 7(6): 19–23
- Cui XJ, Zhou QC, Liang HO, *et al.* Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance and hepatic carbohydrate metabolic enzyme activities of juvenile cobia (*Rachycentron canadum* Linnaeus.). *Aquac Res*, 2010, 42(1): 99–107
- Enes P, Peres H, Couto A, *et al.* Growth performance and metabolic utilization of diets including starch, dextrin, maltose or glucose as carbohydrate source by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. *Fish Physiol Biochem*, 2010, 36(4): 903–910
- Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Rapid metabolic adaptation in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles fed different carbohydrate sources after heat shock stress. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 2006, 145(1): 73–81
- Hemre GI, Mommsen TP, Krogdahl A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. *Aquac Nutr*, 2002, 8(3): 175–194
- Lee SM, Lee JH. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. *Fisheries Sci*, 2004, 70(1): 53–58
- Lee SM, Kim KD, Lall SP. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture*, 2003, 221(1–4): 427–438
- Lin S, Mao S, Guan Y, *et al.* Dietary administration of chitooligosaccharides to enhance growth, innate immune response and disease resistance of *Trachinotus ovatus*. *Fish Shellfish Immunol*, 2012, 32(5): 909–921
- Niu J, Du Q, Lin HZ, *et al.* Quantitative dietary methionine requirement of juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* at a constant dietary cystine level. *Aquac Nutr*, 2013, 19(5): 677–686
- Panserat S, Capilla E, Gutierrez J, *et al.* Glucokinase is highly induced and glucose-6-phosphatase poorly repressed in liver of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by a single meal with glucose. *Comp Biochem and Physiol B Biochem Mol Biol*, 2001, 128(2): 275–283
- Shiau SY. Utilization of carbohydrates in warm water fish with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture*, 1997, 151(1–4): 79–96
- Tan Q, Xie S, Zhu X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate sources on growth performance and utilization for gibel carp (*Carassius auratus gibelio*) and Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Gunther). *Aquac Nutr*, 2006, 12(1): 61–70
- Wilson RP, Poe WE. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono- and disaccharides as energy sources. *J Nutr*, 1987, 117(2): 280–285
- Wu Y, Han H, Qin J, *et al.* Replacement of fishmeal by soy protein concentrate with taurine supplementation in diets for golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Aquac Nutr*, 2015, 21(2): 214–222
- Xie ZZ, Xiao L, Wang DD, *et al.* Transcriptome analysis of the *Trachinotus ovatus*: identification of reproduction, growth and immune-related genes and microsatellite markers. *PLoS ONE*, 2014, 9(10): e109419
- Yu HR, Ai QH, Mai KS, *et al.* Effects of dietary protein levels on the growth, survival, amylase and trypsin activities in large yellow croaker, *Pseudosciaena Crocea* R., larvae. *Aquac Res*, 2012, 43(2): 178–186
- Zheng PL, Ma ZH, Guo HY, *et al.* Osteological ontogeny and malformations in larval and juvenile golden pompano *Trachinotus ovatus* (Linnaeus 1758). *Aquac Res*, 2016, 47(5): 1421–1431
- Zhou CP, Ge XP, Lin HZ, *et al.* Effect of dietary carbohydrate on non-specific immune response, hepatic antioxidative abilities and disease resistance of juvenile golden pompano (*Trachinotus ovatus*). *Fish Shellfish Immunol*, 2014, 41(2): 183–190

(编辑 马瑾艳)

Effect of Different Carbohydrate Sources on Daily Weight Growth, Feed Utilization and Digestive Enzyme Activities of *Trachinotus ovatus*

DONG Lanfang¹, ZHANG Qin^{1①}, XU Mingzhu¹, TONG Tong¹,

WANG Jun², XIONG Xiangying¹, PENG Yinhu¹

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

2. The Key Laboratory of Aquatic Product Processing, Ministry of Agriculture, South China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Guangzhou 510300)

Abstract A cost-efficient formula of feed in fish farming usually contains a large amount of low-cost energy sources supplemented with sufficient level of high-cost essential nutrients such as protein. Carbohydrate is the least costly dietary energy for animals. However, the utilization of carbohydrate varies a lot between different fish species, and the mechanisms underlying distinctive carbohydrate-consuming abilities have been obscure. In this study we aimed to explore the effects of different carbohydrate sources on daily weight growth (DWG), feed utilization and digestive enzyme activities of *Trachinotus ovatus*. Fish (initial weight 31.24±0.58 g) were fed with 5 groups of isonitrogenous and isolipidic diets each of which contained 1 type of carbohydrate at 20% including glucose, sucrose, dextrin, corn starch or gelatinized corn starch. Each group was fed for 8 weeks. The results showed that different carbohydrate sources significantly affected the DWG, feed efficiency (*FE*) and the protein efficiency ratio (*PER*) ($P<0.05$). The gelatinized corn starch group had significantly higher DWG (2.19 g/d), *FE* (0.82%) and *PER* (1.88) than other groups ($P<0.05$), and there was no significant difference between the two starch groups ($P>0.05$). The glucose group had the lowest DWG, *FE* and *PER* ($P<0.05$). Dietary carbohydrate sources also had great effects on activities of digestive enzymes ($P<0.05$). The protease activity of the two starch groups was significantly lower than that of the other three groups ($P<0.05$). The sucrose group displayed the highest amylase activity ($P<0.05$). The lipase activity was boosted along with the increase in the molecular weight of the dietary carbohydrate, and was the highest in the gelatinized corn starch group. In conclusion, large-molecule carbohydrates may have better effects on the growth of *T. ovatus* than glucose, sucrose and dextrin. Gelatinized corn starch was the optimal carbohydrate source in this study.

Key words *Trachinotus ovatus*; Carbohydrate sources; Daily weight growth; Feed utilization; Digestive enzyme activities

① Corresponding author: ZHANG Qin, E-mail: zhangqin821220@163.com