

# 不同糖源饲料对卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*) 生长、体组成、血糖水平和肝脏 糖酵解酶活力的影响\*

董兰芳<sup>1,2</sup> 张 琴<sup>1①</sup> 程光平<sup>2①</sup>  
许明珠<sup>1</sup> 童 潼<sup>1</sup> 熊向英<sup>1</sup>

(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** 分别以葡萄糖、蔗糖、糊精、玉米淀粉和糊化玉米淀粉为糖源配制成 5 种等氮等脂饲料,对初始体重为(31.24±0.58) g 的卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)进行为期 56 d 的饲养实验,比较不同糖源饲料对卵形鲳鲹生长、体组成、血液指标和糖酵解酶活力的影响,筛选出最有利于生长的糖种类。结果显示,不同糖源对卵形鲳鲹增重率(WG)和特定生长率(SGR)均有显著影响( $P<0.05$ ),且随糖分子量增大有增大的趋势,其中,糊化玉米淀粉的 WG 和 SGR 最高分别为 335.35%和 2.62 %/d;不同糖源组的脏体比(VSI)、肝体比(HSI)、肝糖原和肌糖原含量以及血糖、血浆总胆固醇和甘油三酯也有显著性差异( $P<0.05$ ),且均为葡萄糖组最高;除己糖激酶(HK)活力外,各糖源组的其他糖酵解酶活力均有显著性差异( $P<0.05$ ),亦是葡萄糖组最高。在本实验条件下,卵形鲳鲹对淀粉类大分子糖的利用效果优于葡萄糖等小分子糖类,糊化玉米淀粉组的生长效果最好;不同糖源饲料对卵形鲳鲹糖代谢过程中糖原合成、糖脂转化、糖酵解等途径的相关指标有一定影响。

**关键词** 卵形鲳鲹;糖源;生长;体组成;血糖;糖酵解酶

**中图分类号** S963.16 **文献标识码** A **文章编号** 2095-9869(2016)05-0022-08

卵形鲳鲹(*Trachinotus ovatus*)俗称金鲳,属广盐肉食鱼类,广泛养殖于中国和马来西亚、新加坡等东南亚国家的沿海地区(Lin *et al.*, 2013)。卵形鲳鲹生长周期短,从种苗开始饲养半年体重可达 500 g 左右,当年即可上市,且其肉质细嫩、味道鲜美,是经济价值很高的优质食用鱼类,深受消费者喜爱。目前,国内市场对卵形鲳鲹的需求量不断上升,美国、日本、韩国、欧盟等国外市场也是供不应求。随着人工育苗技术的成功突破以及大型海水网箱养殖的推广应用,我国卵形鲳鲹规模化养殖有着良好的发展势头,养殖

面积不断增加,养殖产量持续增长。

然而,近年来饲料价格在鱼粉、豆粕等传统饲料蛋白源供应紧张的压力下不断上涨,在一定程度上限制了水产养殖业的发展。而鱼类养殖过程中饲料成本约占总养殖成本的 50%–73% (郑维中, 2003)。因此,在不影响鱼类健康和品质的前提下,减少饲料蛋白用量、降低养殖成本成为鱼类养殖业亟待解决的问题。糖是饲料原料中价格最低、来源最广的能源物质。在鱼类摄入蛋白质的同时,提供糖类物质,可以增加三磷酸腺苷的形成,从而减少蛋白质作为能源被消耗,

\* 广西自然科学基金(2012GXNSFDA053013)、广西科学院基本科研业务费(15YJ22HY14)和广西海洋生物技术重点实验室开放课题(GLMBT-201503)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; 程光平, 教授, E-mail: cgp5@163.com

收稿日期: 2015-07-15, 收修改稿日期: 2015-09-15

使更多的氨基酸用于合成鱼体蛋白, 因此, 糖类起到节约蛋白质的作用(李爱杰, 1996; Stone, 2003; Fernández *et al*, 2007; Enes *et al*, 2008)。同时, 糖作为粘合剂, 在饲料加工成型以及水中稳定性方面有不可替代的作用。然而, 鱼类利用糖的能力较低(Wilson, 1994), 且其受到鱼类品种、糖的种类及添加水平、水温、投饲管理等因素的影响(蔡春芳等, 2006), 因此, 深入开展鱼类对糖利用能力影响因素的研究, 使其更有效地利用糖类物质, 是降低蛋白用量的有效途径。

本研究基于糖的生理功能及其对蛋白质的节约作用, 从鱼类利用不同糖源能力差异的角度比较分析了添加不同糖源饲料对卵形鲳鲹生长、体组成、血液指标以及糖酵解酶活性的影响, 筛选出最有利于卵形鲳鲹生长的糖种类, 为指导卵形鲳鲹人工配合饲料开发提供理论依据, 同时为深入研究鱼类糖代谢的过程和机制提供基础资料。

## 1 材料与方法

### 1.1 饲料配方与制作

分别测定各饲料原料的水分、蛋白、脂肪等基本组分, 作为饲料配方的依据。以鱼粉、豆粕、酪蛋白、鱼油、卵磷脂等为饲料基础组分, 分别加入 20% 的葡萄糖、蔗糖、糊精、玉米淀粉和糊化玉米淀粉(葡萄糖、蔗糖和糊精购自青岛福林生物, 分析纯; 玉米淀粉和糊化玉米淀粉购自上海一川糖业科技有限公司, 有效物质含量分别为 98% 和 90%), 配制成 5 种不同糖源的等氮(约 44%)、等脂(约 9%)饲料(5 种饲料的水分含量依次为 9.72%、8.94%、11.54%、8.60% 和 8.81%), 饲料组成配方及其营养组成分析见表 1。

饲料制作的具体步骤为: 用粉碎机将固体原料粉碎后过 80 目筛, 依照设定比例按添加量从低到高的顺序混合拌匀, 再加入预先混合的鱼油和大豆软磷

表 1 饲料配方及营养组成(%干物质)  
Tab.1 Formula and proximate composition of the 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
豆粕 Soybean meal	20	20	20	20	20
酪蛋白 Casein	6	6	6	6	6
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 <sup>1)</sup>	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
复合矿物盐 Mineral premix <sup>2)</sup>	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 carbohydrate	20.78	20.33	20.86	20.81	20.44

1) 复合维生素为每千克饲料提供 Vitamin premix provided per kg of diets: V<sub>B1</sub> 25 mg, V<sub>B2</sub> 45 mg, V<sub>B6</sub> 20 mg, V<sub>B12</sub> 0.1 mg, V<sub>K3</sub> 10 mg, 肌醇 Inositol 800 mg, 泛酸 Pantothenic acid 60 mg, 烟酸 Niacin acid 200 mg, 叶酸 Folic acid 20 mg, 生物素 Biotin 1.2 mg, 维生素 A 乙酸盐 Retinol acetate 32 mg, V<sub>D3</sub> 5 mg; V<sub>E</sub> 120 mg, V<sub>C</sub> 2000 mg, 氯化胆碱 Choline chloride 2500 mg, 乙氧基喹啉 Ethoxyquin 150 mg, 次粉 Wheat middling 14.012g (Niu *et al*, 2013)

2) 复合矿物盐为每千克饲料提供 Mineral premix provided per kg of diets: NaF 2 mg, KI 0.8 mg, CoCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O (1%) 50 mg, CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O 10 mg, FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 80 mg, ZnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 50 mg, MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 60 mg, MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 1200 mg, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O 3000 mg, NaCl 100 mg, 沸石粉 Zeolite 15.447 g (Niu *et al*, 2013)

脂,混合均匀后手工把油脂颗粒搓开,再混匀 15 min,最后加适量水揉成面团,用制粒机(F-26 II, 华南理工大学)制成直径为 2.5 mm 的颗粒饲料,50℃烘干,装袋编号后保存于-20℃冰柜备用。

## 1.2 饲养管理

实验用卵形鲳鲹鱼苗购自北海市铁山港区某养殖场,在其培育的同一批苗种中挑选健康、规格相近的鱼苗作为实验对象,平均初始体重为(31.24±0.58) g。饲养实验在广西海洋研究所海水增殖实验基地的 15 个挂在大塘中规格为 4 m × 3 m × 2 m 的网箱中进行,用商品饲料(北海恒兴特种饲料公司)饱食投喂驯养 14 d。实验开始前停食 24 h,再对卵形鲳鲹进行称重、分组,每个网箱放养鱼苗 30 尾,每个糖源饲料组设置 3 个平行处理。饲养期间,每天饱食投喂 2 次(08:00 和 18:00),投喂时根据摄食情况调整投喂饲料量,少量多次投喂直至鱼不再摄食,尽量避免残饵,记录各个处理组摄食饲料的质量,如有死鱼,应及时捞出并记录数量。实验期间水温为 27–33℃,pH 为 7.6–8.0,盐度为 20.9–25.2,溶氧>6.0 mg/L。

## 1.3 样品收集与分析

养殖实验持续 56 d,停食 24 h,分别捞出各网箱里的卵形鲳鲹,用 1:10000 浓度的 MS-222 麻醉后称量总重并记录尾数,每个网箱随机挑选 5 尾,分别称量体重后,用 5 ml 注射器自尾静脉处取血,血浆保存在-80℃冰箱,用于测定血液指标。抽血后的鱼体立即用手术剪解剖取出内脏团,分离出肝脏,记录内脏团和肝脏的重量,再剪取一部分肌肉,与肝脏一起用液氮速冻后保存于-80℃冰箱,用于测定糖酵解酶活力和糖原含量。剩下完整的鱼体逐条称量体重、测量体长后-20℃冷冻保存,用于分析鱼体常规成分。

饲料和鱼体常规成分测定:水分采用恒温干燥法,105℃烘干至恒重;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);灰分采用马弗炉 550℃灰化 12 h 测定;可消化糖采用 3,5-二硝基水杨酸法。

血液指标、糖原和糖酵解酶活力测定:血糖采用葡萄糖氧化法测定。血浆总胆固醇和甘油三酯浓度,肝糖原和肌糖原含量,以及葡萄糖激酶、己糖激酶、丙酮酸激酶和磷酸果糖激酶 4 种糖酵解酶活力,均采用南京建成生物工程研究所研制的试剂盒进行测定。

## 1.4 计算公式和统计分析

成活率(Survival rate, SR, %)=终末尾数/初始尾数×100

摄食率(Feeding rate, FR, %/d)=摄食量/[终末体重 FBW+ 初始体重 IBW]/2/实验周期×100

肥满度(Condition factor, CF)

=体重(g)×100/体长(cm)<sup>3</sup>

增重率(Weight gain, WG, %)=(FBW-IBW)/IBW×100

特定生长率(Specific growth rate, SGR, %/d)=(lnFBW - lnIBW)/实验周期×100

脏体比(Viserosomatic index, VSI, %)=内脏重/体重×100

肝体比(Hepatosomatic index, HSI, %)=肝脏重/体重×100

采用 SPSS 19.0 软件对数据进行分析处理,用 Levene's test 方差齐性检验后再进行单因素方差分析,结果用“平均值±标准误”表示,若显著性水平  $P<0.05$ , 则进行 Tukey 多重比较。

## 2 结果

### 2.1 不同糖源组卵形鲳鲹的生长性能

表 2 是投喂不同糖源饲料卵形鲳鲹的生长性能结果,经过 56 d 的养殖实验,卵形鲳鲹的 SR 均在 90% 以上,各处理组之间差异不显著( $P>0.05$ )。各糖源组的 FR 和 CF 也无显著性差异( $P>0.05$ )。不同糖源对卵形鲳鲹的 FBW、WG 和 SGR 有显著影响( $P<0.05$ ),且随糖分子量增大有升高的趋势。葡萄糖组的 FBW、WG 和 SGR 最低,平均值分别为 92.16 g、196.95% 和 1.94%/d,显著低于其他糖源组( $P<0.05$ )。糊化玉米淀粉组的 WG 和 SGR 最高,平均值分别为 335.35% 和 2.62%/d,显著高于葡萄糖组和蔗糖组( $P<0.05$ ),而与玉米淀粉组和糊精组无显著性差异( $P>0.05$ )。糊化玉米淀粉组的 FBW 也最高,显著高于葡萄糖组、蔗糖组和糊精组( $P<0.05$ ),而与玉米淀粉组无显著性差异( $P>0.05$ )。蔗糖组、糊精组和玉米淀粉组 3 组间的 WG 和 SGR 无显著性差异( $P>0.05$ )。

### 2.2 不同糖源组卵形鲳鲹的体组成

不同糖源组卵形鲳鲹体组成测定结果见表 3。各糖源组的 VSI 和 HSI 有显著性差异( $P<0.05$ )。葡萄糖组的 VSI 最大,显著大于除蔗糖组外的其他 3 组( $P<0.05$ ),糊精组、玉米淀粉组和糊化玉米淀粉组之间无显著性差异( $P>0.05$ ); HSI 亦是葡萄糖组最大,显著大于淀粉组( $P<0.05$ ),而与蔗糖组和糊精组的差异不显著( $P>0.05$ )。不同糖源对卵形鲳鲹肝糖原和肌

表 2 不同糖源饲料对卵形鲳鲆生长性能的影响( $n=3$ )  
Tab.2 Effects of dietary carbohydrate sources on the growth performance of *T. ovatus*

糖种类 Carbohydrate sources	初始体重 IBW(g)	成活率 SR(%)	终末体重 FBW(g)	摄食率 FR(%/d)	肥满度 CF	增重率 WG (%)	特定生长率 SGR(%/d)
葡萄糖 Glucose	31.03±0.11	98.89±1.11	92.16±2.79 <sup>a</sup>	2.86±0.10	3.54±0.09	196.95±8.55 <sup>a</sup>	1.94±0.05 <sup>a</sup>
蔗糖 Sucrose	31.35±0.21	95.56±2.94	115.63±6.58 <sup>b</sup>	2.90±0.13	3.59±0.14	268.70±19.23 <sup>b</sup>	2.33±0.09 <sup>b</sup>
糊精 Dextrin	31.04±0.18	91.11±4.84	117.05±1.73 <sup>b</sup>	2.63±0.07	3.71±0.13	277.19±7.50 <sup>bc</sup>	2.37±0.04 <sup>bc</sup>
玉米淀粉 Corn starch	31.46±0.22	100.0±0.00	127.39±2.42 <sup>bc</sup>	2.63±0.06	3.51±0.03	305.10±10.47 <sup>bc</sup>	2.49±0.05 <sup>bc</sup>
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch	31.34±0.21	98.89±1.11	136.40±4.93 <sup>c</sup>	2.64±0.08	3.55±0.05	335.35±17.76 <sup>c</sup>	2.62±0.07 <sup>c</sup>
方差分析 ANOVA							
P值(P value)	0.425	0.185	0	0.154	0.665	0	0

注: 同列数据上标字母不同表示存在显著性差异( $P<0.05$ ), 下同  
Note: Values with different superscripts in the same column were significantly different ( $P<0.05$ ). The same as below

表 3 不同糖源饲料对卵形鲳鲆体组成的影响( $n=3$ )  
Tab.3 Effects of dietary carbohydrate sources on the body composition of *T. ovatus*

糖种类 Carbohydrate sources	脏体比 VSI	肝体比 HSI	肝糖原 Liver glycogen (mg/g)	肌糖原 Muscle glycogen (mg/g)	全鱼组分 Whole-body composition (%wet weight)			
					水分 Moisture	粗蛋白 Crude protein	粗脂肪 Crude lipid	灰分 Ash
葡萄糖 Glucose	5.59±0.10 <sup>b</sup>	1.23±0.09 <sup>b</sup>	31.13±0.77 <sup>d</sup>	3.38±0.08 <sup>d</sup>	66.56±1.57	20.03±1.47	10.79±1.07	2.93±0.16
蔗糖 Sucrose	5.40±0.21 <sup>b</sup>	0.95±0.04 <sup>ab</sup>	26.20±0.60 <sup>bc</sup>	2.89±0.06 <sup>bc</sup>	64.26±2.66	23.21±0.94	10.11±1.10	2.65±0.23
糊精 Dextrin	4.66±0.14 <sup>a</sup>	0.95±0.01 <sup>ab</sup>	28.42±0.79 <sup>cd</sup>	3.11±0.08 <sup>cd</sup>	66.22±2.08	19.80±2.15	9.74±0.35	2.90±0.26
玉米淀粉 Corn starch	4.62±0.07 <sup>a</sup>	0.82±0.03 <sup>a</sup>	21.12±0.56 <sup>a</sup>	2.38±0.06 <sup>a</sup>	66.09±0.70	22.52±1.41	10.62±0.52	2.79±0.07
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch	4.62±0.07 <sup>a</sup>	0.81±0.04 <sup>a</sup>	24.17±0.35 <sup>b</sup>	2.69±0.03 <sup>b</sup>	67.17±0.71	21.10±1.87	8.79±0.54	3.04±0.06
方差分析 ANOVA								
P值(P value)	0.001	0.006	0	0	0.806	0.520	0.426	0.588

糖原含量有显著影响( $P<0.05$ ), 且二者变化趋势相同。葡萄糖组最高, 显著高于除糊精组外的其他糖源组( $P<0.05$ ); 淀粉组相对较低, 其中玉米淀粉组最低, 显著低于其他各组( $P<0.05$ )。不同糖源对卵形鲳鲆全鱼水分、粗蛋白、粗脂肪和灰分均无显著性影响( $P>0.05$ )。

### 2.3 不同糖源组卵形鲳鲆的血液指标

由表 4 可知, 不同糖源饲料对卵形鲳鲆血糖、血

浆总胆固醇和甘油三酯均有显著影响( $P<0.05$ )。蔗糖组的血糖水平最高(为 1.98 mmol/L), 显著高于葡萄糖组和糊化玉米淀粉组( $P<0.05$ ), 而与糊精组、玉米淀粉组无显著性差异( $P>0.05$ ), 葡萄糖组与糊化玉米淀粉组无显著性差异( $P>0.05$ ); 葡萄糖组的血浆总胆固醇浓度最高(为 8.91 mmol/L), 显著高于糊化玉米淀粉组( $P<0.05$ ), 而与其他 3 组差异不显著( $P>0.05$ ); 血浆甘油三酯浓度也是葡萄糖组最高(为 13.09 mmol/L), 其他

表 4 不同糖源饲料对卵形鲳鲆血糖、血浆总胆固醇和甘油三酯的影响( $n=3$ )  
Tab.4 Effects of dietary carbohydrate source on plasma glucose, total cholesterol and triglyceride of *T. ovatus* (mmol/L)

糖种类 Carbohydrate sources	血糖 Plasma glucose	血浆总胆固醇 Plasma total cholesterol	血浆甘油三酯 Plasma triglyceride
葡萄糖 Glucose	1.56±0.08 <sup>a</sup>	8.91±0.37 <sup>b</sup>	13.09±0.13 <sup>b</sup>
蔗糖 Sucrose	1.98±0.10 <sup>b</sup>	7.88±0.25 <sup>ab</sup>	8.48±0.39 <sup>a</sup>
糊精 Dextrin	1.79±0.08 <sup>ab</sup>	8.21±0.43 <sup>ab</sup>	9.32±0.48 <sup>a</sup>
玉米淀粉 Corn starch	1.73±0.10 <sup>ab</sup>	7.34±0.42 <sup>ab</sup>	9.34±0.31 <sup>a</sup>
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch	1.55±0.05 <sup>a</sup>	6.99±0.36 <sup>a</sup>	9.09±0.45 <sup>a</sup>
方差分析 ANOVA			
P 值(P value)	0.023	0.030	0

4 个糖源处理组之间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但显著低于葡萄糖组( $P<0.05$ )。

#### 2.4 不同糖源组卵形鲳鲹的糖酵解酶活力

卵形鲳鲹糖酵解酶活力测定结果见表 5。饲料不同糖源对卵形鲳鲹葡萄糖激酶 GK、丙酮酸激酶 PK 和磷酸果糖激酶 PFK 的活力均有显著影响( $P<0.05$ ), 而对己糖激酶 HK 活力的影响不显著( $P>0.05$ )。葡萄糖组的 GK 活力最高, 显著高于糊精组和玉米淀粉组( $P<0.05$ ), 而与蔗糖组、糊化玉米淀粉组无显著性差异( $P>0.05$ )。PK 活性亦是葡萄糖组最高, 显著高于糊化玉米淀粉组( $P<0.05$ ), 而与其他 3 个糖源组无显著性差异( $P>0.05$ )。PFK 活力亦是葡萄糖组最高, 显著高于其他糖源组( $P<0.05$ ); 糊精组最低, 显著低于其他糖源组( $P<0.05$ ); 糊化玉米淀粉组分别与玉米淀粉组、蔗糖组两两间无显著性差异( $P>0.05$ ), 但蔗糖组显著高于玉米淀粉组( $P<0.05$ )。

### 3 讨论

#### 3.1 不同糖源饲料对卵形鲳鲹生长性能和体组成的影响

饲料添加不同的糖源种类, 鱼类表现出不同的生长性能。本研究中不同糖源饲料对卵形鲳鲹的 *SR*、*FR* 和 *CF* 均无显著影响, 而不同糖源组的 *WG* 和 *SGR* 有显著性差异, 且随着糖分子量增大有升高的趋势, 糊化玉米淀粉组的 *WG* 和 *SGR* 最高, 生长效果最好。这一结果表明, 卵形鲳鲹对大分子糖类的利用效果要优于小分子糖类。许多鱼类的研究有类似结果: 摄食添加  $\alpha$ -淀粉、糊精和玉米淀粉饲料的史氏鲟(*Acipenser schrencki* Brandt) 与添加葡萄糖、麦芽糖和果糖相比, 有更高的 *WG* 和 *SGR*(Jiang *et al.*, 2014); 低蛋白水平下, 摄食以糊精为糖源饲料的大菱鲆(*Scophthalmus*

*maximus*) 幼鱼, 其 *WG* 和 *SGR* 显著高于葡萄糖和蔗糖组(苗淑彦等, 2013); 摄食含葡萄糖、糊精及淀粉的饲料, 糊精和淀粉组星斑川鲷(*Platichthys stellatus*) 的 *WG* 高于葡萄糖组(Lee *et al.*, 2004); 25℃ 水温下, 摄食小麦淀粉欧洲鲈鱼(*Dicentrarchus labrax*) 的 *SGR* 显著高于摄食葡萄糖的处理组(Enes *et al.*, 2006)。Panserat 等(2001)从葡萄糖影响虹鳟糖代谢酶活性的结果中推测, 鱼类不能很好地利用葡萄糖等小分子糖类, 是因为小分子糖类的消化吸收很快, 而促进葡萄糖转化和分解的糖代谢酶活力需要一段时间才能达到最大活性, 这一时间差使鱼体血糖处在较高水平, 从而引起应激反应, 降低了对糖的利用。谭肖英等(2007)则认为, 鱼类对糖利用率较低, 不是胰岛素分泌绝对量不足, 而是胰岛素分泌速度小于对饲料糖的吸收速度, 不能及时调节血糖浓度。血糖过高还会导致部分葡萄糖未经代谢利用就直接排出体外(张琴等, 2014)。因此, 鱼体是否有充足的时间调动体内糖代谢平衡机制以适应血糖变化, 决定了鱼类能否有效地利用糖类物质。

然而, 一些研究得到了不同结果。Enes 等(2010)的研究结果显示, 糊化淀粉、糊精、麦芽糖和葡萄糖对金头鲷(*Sparus aurata*) 的 *WG* 和 *SGR* 均无显著影响; 蔡春芳等(2009)的研究显示, 日粮糖种类对青鱼(*Mylopharyngodon piceus*) 生长的影响不显著; Shiau 等(2001)研究点带石斑鱼(*Epinephelus malabaricus*) 利用不同糖源的结果同样显示无显著性差异。另外, 同属肉食鱼类的幼白鲟(*Psephurus gladius*)、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*) 和大鳞大马哈鱼(*Oncorhynchus tshawytscha*) 对结构简单的糖的利用能力强于结构复杂的糖(Hung *et al.*, 1993; Bergot, 1979; Buhler *et al.*, 1961)。有研究者认为, 鱼类对不同分子量糖类的利用差异与实验鱼种以及投喂方式有关(蔡春芳等, 2010;

表 5 不同糖源饲料对卵形鲳鲹肝脏葡萄糖激酶、己糖激酶、丙酮酸激酶和磷酸果糖激酶活力的影响( $n=3$ )

Tab.5 Effects of dietary carbohydrate source on the activities of glucokinase, hexokinase, pyruvate kinase and phosphofructokinase in the liver of *T. ovatus* (U/g prot)

糖种类 Carbohydrate sources	肝脏糖酵解酶 Glycolytic enzymes in liver			
	葡萄糖激酶 GK	己糖激酶 HK	丙酮酸激酶 PK	磷酸果糖激酶 PFK
葡萄糖 Glucose	0.97±0.03 <sup>b</sup>	1.22±0.13	39.1±1.35 <sup>b</sup>	0.79±0.03 <sup>d</sup>
蔗糖 Sucrose	0.81±0.03 <sup>ab</sup>	1.15±0.02	34.2±1.70 <sup>ab</sup>	0.62±0.01 <sup>c</sup>
糊精 Dextrin	0.64±0.02 <sup>a</sup>	1.12±0.04	32.2±2.78 <sup>ab</sup>	0.33±0.03 <sup>a</sup>
玉米淀粉 Corn starch	0.68±0.08 <sup>a</sup>	1.06±0.06	31.3±1.90 <sup>ab</sup>	0.51±0.01 <sup>b</sup>
糊化玉米淀粉 Gelatinized corn starch	0.79±0.05 <sup>ab</sup>	1.11±0.01	29.6±1.83 <sup>a</sup>	0.59±0.03 <sup>bc</sup>
方差分析 ANOVA				
<i>P</i> 值( <i>P</i> value)	0.007	0.585	0.053	0

Wilson, 1994), 幼白鲟、虹鳟和大鳞大马哈鱼为淡水鱼, 而卵形鲳鲆是海水鱼, 这可能是它们利用不同分子量糖的能力不同的原因。聂琴等(2013)研究了糖源和糖水平的交互作用对大菱鲆糖代谢的影响, 结果显示, 不同添加水平下, 不同糖源对大菱鲆糖代谢酶活性的影响效果不同。因此, 不同鱼类对不同糖源利用的效果差异可能是饲料糖的添加水平以及实验鱼种、饲养管理方式等的不同造成的。另外, 与玉米淀粉相比, 糊化玉米淀粉对卵形鲳鲆有更好的生长效果。糊化玉米淀粉是玉米淀粉在高温下溶胀、分裂形成的, 此时淀粉分子以单分子形式存在, 松散度高, 吸水膨胀能力强, 利于机体水解, 在消化过程中较玉米淀粉节约了部分能量, 因而表现出更好的生长效果。对黄鳍鲷(*Sparus latus*)和南方鲷(*Silurus meridionalis*)的研究也发现, 糊化玉米淀粉较玉米淀粉有更高的利用率(吴小易等, 2007; 付世建等, 2005)。

鱼类的生长过程实际上是鱼体对营养素利用和积累的过程, 生长性能的不同一定程度上反映了鱼体对各营养素的积累有所差异。本研究中, 不同糖源组卵形鲳鲆蛋白、脂肪等基本组分无显著性差异, 而 *VSI*、*HSI* 以及肝糖原、肌糖原含量差异显著, 且均在葡萄糖组达到最大。原因可能是葡萄糖的消化吸收最快, 其餐后血糖水平很高, 对糖原合成机制的刺激最大, 因此, 葡萄糖组的肝糖原和肌糖原含量最高。Lee 等(2003)在不同糖源对牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)影响的研究中也得到类似结果, 葡萄糖组的糖原含量显著高于糊精、麦芽糖和纤维素处理组。糖原含量最高同时导致了鱼体有更大的肝脏体积, 所以葡萄糖组的 *HSI* 和 *VSI* 较其他糖源组大。然而, Enes 等(2010)的研究中未发现预糊化淀粉、糊精、麦芽糖和葡萄糖对金头鲷的肝糖原含量有显著影响; Shapawi 等(2011)对驼背鲈(*Cromileptes altivelis*)的研究中也未发现玉米淀粉、木薯淀粉和糊精对其 *HSI* 和 *VSI* 有显著影响。因此, 不同鱼种转化糖原的能力可能不同, 其影响因素及过程有待进一步研究。

### 3.2 不同糖源饲料对卵形鲳鲆血液指标和糖酵解酶活力的影响

血糖主要来自鱼体肠道的消化吸收, 餐后血糖一定程度上反映了鱼类对糖的消化吸收速率。Enes 等(2010)测定了金头鲷餐后 6 h 的血糖发现, 葡萄糖组显著高于预糊化玉米淀粉组和麦芽糖组。而牙鲆餐后血糖水平动态变化的研究结果显示, 24 h 前各糖源组血糖浓度均呈先升高后降低的峰值变化, 且峰值大小依次为葡萄糖组>麦芽糖组>糊精组>纤维素组, 24 h

后基本恢复至初始水平, 各糖源组血糖浓度差别很小(Lee *et al*, 2003)。本研究测定的是饥饿处理超过 24 h 的血糖水平, 除蔗糖组血糖浓度显著高于葡萄糖组和糊化玉米淀粉组外, 其他糖源组之间均无显著性差异。葡萄糖不需消化就能直接吸收; 糊化玉米淀粉结构松散, 加上淀粉酶在鱼体内的广泛分布, 也能较快地被分解利用; 而蔗糖需经蔗糖酶催化作用水解为葡萄糖和果糖才能被鱼体消化吸收。因此, 鱼体消化液的蔗糖酶含量少, 对蔗糖的消化吸收过程持续时间较长, 这可能是蔗糖组卵形鲳鲆禁食 24 h 后血糖水平相对较高的原因。

糖类和脂类可以相互转化, 因而其代谢过程是密不可分的。糖酵解途径中, 丙酮酸有氧化脱羧生成的乙酰辅酶 A 是合成脂肪酸和胆固醇的原料, 其中, 脂肪酸可进一步合成甘油三酯(吕淑霞等, 2003)。本研究中摄食葡萄糖卵形鲳鲆的血浆总胆固醇和甘油三酯的含量最高, 而其他糖源组之间均无显著性差异。一般来说, 在糖供给充足时, 糖可大量转变为脂肪贮存起来(王蔚芳等, 2009)。葡萄糖快速吸收, 鱼体的餐后血糖较高, 转化生成的胆固醇和甘油三酯也较高。

糖酵解指的是葡萄糖分子分解生成丙酮酸伴随能量生成的一系列反应过程, 是鱼体摄入过多糖分后降低血糖的重要途径, 因此, 糖酵解过程的强弱与血糖水平的高低密切相关。本研究已证明, 糖酵解关键酶 HK、GK、PK 和 PFK 在卵形鲳鲆肝脏中均存在。不同糖源对卵形鲳鲆的 HK 活力无显著性差异。Enes 等(2010)在金头鲷的研究中, 没有发现饲料糖源对其 HK 活力有显著影响, 因此认为 HK 对糖源种类不敏感。对欧洲鲈鱼利用不同糖源(Enes *et al*, 2006)的研究也得到了类似的结果。另外, 目前已有的研究结果也表明饲料糖水平对鱼类 HK 活力无显著影响(王广宇等, 2008)。

然而, 饲料添加不同糖源对卵形鲳鲆的 GK、PK 和 PFK 活力均有显著影响。GK 和 PK 活力均是葡萄糖组最大, 其他糖源组之间差异不显著。对金头鲷(Enes *et al*, 2010)、欧洲鲈鱼(Enes *et al*, 2006)和虹鳟(Panserat *et al*, 2001)的研究也得到了类似结果。聂琴等(2013)研究发现, 在糖水平分别为 5%和 15%时, 不同糖源对大菱鲆 GK 活力的影响不显著, 而当糖水平升高到 28%时, 葡萄糖和蔗糖组的 GK 活力显著高于糊精组; PK 活力则在添加水平为 15%时, 葡萄糖组显著大于蔗糖组, 而在其他添加水平各糖源组间无显著性差异。因此, 糖水平显著影响了不同糖源对鱼类糖代谢酶活力的诱导效果。PFK 活力亦是葡萄糖组

最高,且各糖源组之间差异较大,说明卵形鲳鲹 PFK 活力对糖源种类比较敏感。军曹鱼(*Rachycentron canadum*)的研究也有相似的结果,葡萄糖组的 PFK 活力显著高于其他糖源组,而糊精组和麦芽糖组的 PFK 活力较低(Cui *et al.*, 2010)。另外,添加水平为 28% 时,葡萄糖和蔗糖组的大菱鲆 PFK 活力也显著高于糊精组(聂琴等, 2013)。5 个糖源组中葡萄糖组的 GK、PK 和 PFK 活力均最高,说明摄食葡萄糖卵形鲳鲹的糖酵解作用较强,这可能也是高血糖水平的刺激诱导作用引起的糖酵解酶适应性分泌增强。

#### 4 结 论

尽管鱼类利用糖的能力较低,糖类物质仍然是鱼体不可缺少的营养成分。深入研究鱼类对糖利用的影响因素,使糖得到更有效的利用很有必要。不同糖源饲料对卵形鲳鲹的生长性能、体组成、血液指标和糖酵解酶活性有显著影响,糊化玉米淀粉组的 WG 和 SGR 最高,分别为 335.35% 和 2.62%/d,因此,糊化玉米淀粉是 5 种糖源中最适合卵形鲳鲹生长的糖源种类。

#### 参 考 文 献

- 王广宇, 刘波, 谢骏, 等. 鱼类糖代谢几种关键酶的研究进展. 上海水产大学学报, 2008, 17(3): 377-383
- 王蔚芳, 麦康森, 张文兵, 等. 饲料中不同糖源对皱纹盘鲍体脂组成的影响. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2009, 39(2): 221-227
- 付世建, 谢小军. 饲料碳水化合物水平对南方鲷生长的影响. 水生生物学报, 2005, 29(4): 393-398
- 吕淑霞, 任大明, 唐咏. 基础生物化学. 北京: 中国农业出版社, 2003, 354
- 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. 水产学报, 2007, 31(4): 463-471
- 李爱杰. 水产动物营养与饲料学. 北京: 中国农业出版社, 1996, 26-36
- 张琴, 许明珠, 童潼, 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
- 苗淑彦, 苗惠君, 聂琴, 等. 饲料中不同种类的碳水化合物对大菱鲆生长性能和代谢反应的影响. 水产学报, 2013, 37(6): 910-919
- 郑维中. 高效环保型饲料与鱼类养殖. 中国水产, 2003(专刊): 205-213
- 聂琴, 苗惠君, 苗淑彦, 等. 不同糖源及糖水平对大菱鲆糖代谢酶活性的影响. 水生生物学报, 2013, 37(3): 425-433
- 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(6): 19-23
- 蔡春芳, 陈立侨, 叶元土, 等. 日粮糖种类和水平青鱼生长性能和生理指标的影响. 动物营养学报, 2009, 21(2): 212-218
- 蔡春芳, 陈立侨, 叶元土, 等. 饲料糖对彭泽鲫生长和生理机能的影响. 水生生物学报, 2010, 34(1): 170-176
- 蔡春芳, 陈立侨. 鱼类对糖的利用评述. 水生生物学报, 2006, 30(5): 608-613
- Bergot F. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition. Aquaculture, 1979, 18(2): 157-167
- Buhler DR, Halver JE. Nutrition of salmonoid fishes: IX Carbohydrate requirements on Chinook salmon. J Nutr, 1961, 74(31): 307-318
- 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). Aquacul Res, 2010, 42(1): 99-107
- 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 Phys A Mol Integr Physiol, 2006, 145(1): 73-81
- Enes P, Panserat S, Kaushik S, *et al.* Growth performance and metabolic utilization of diets with native and waxy maize starch by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. Aquaculture, 2008, 274(1): 101-108
- 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
- Fernández F, Miquel AG, Córdoba M, *et al.* Effects of diets with distinct protein-to-carbohydrate ratios on nutrient digestibility, growth performance, body composition and liver intermediary enzyme activities in gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) fingerlings. J Exp Mar Biol Ecol, 2007, 343(1): 1-10
- Hung SSO, Fynn-Aikins KF. Carbohydrate utilization and its impact on some metabolic and histological parameters in white sturgeon. Fish Nutrition in Practice, 1993, Paris: INRA 61, 127-136
- Jiang M, Liu W, Wen H, *et al.* Effect of dietary carbohydrate sources on the growth performance, feed utilization, muscle composition, postprandial glycemic and glycogen response of Amur sturgeon, *Acipenser schrenckii* Brandt, 1869. J Appl Ichthyol, 2014, 30(6): 1613-1619
- Lee SM, Lee JH. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Fisheries Science (Tokyo), 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 H, Chen X, Chen S, *et al.* Replacement of fish meal with fermented soybean meal in practical diets for pompano *Trachinotus ovatus*. Aquacul Res, 2013, 44(1): 151-156

- 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 Phys B Biochem Mol Biol*, 2001, 128(2): 275–283
- Shapawi R, Mustafa S, Ng WK. Effects of dietary carbohydrate source and level on growth, feed utilization, and body composition of the humpback grouper, *Cromileptes altivelis* (Valenciennes). *J Appl Aquacul*, 2011, 23(2): 112–121
- Shiau SY, Lin YH. Carbohydrate utilization and its protein-sparing effect in diets for grouper (*Epinephelus malabaricus*). *Anim Sci (Penicuik, Scotland)*, 2001, 73(2): 299–304
- Stone DAJ. Dietary carbohydrate utilization by fish. *Reviews in Fisheries Science*, 2003, 11(4): 337–369
- Wilson RP. Utilization of dietary carbohydrate by fish. *Aquaculture*, 1994, 124(1–4): 67–80

(编辑 冯小花)

## Effect of Different Carbohydrate Sources on the Growth, Body Composition, Plasma Biochemical Indices and Glycolytic Enzyme Activities of *Trachinotus ovatus*

DONG Lanfang<sup>1,2</sup>, ZHANG Qin<sup>1</sup>①, CHENG Guangping<sup>2</sup>①,  
XU Mingzhu<sup>1</sup>, TONG Tong<sup>1</sup>, XIONG Xiangying<sup>1</sup>

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

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

**Abstract** In this trial, five isonitrogenous and isolipidic diets were formulated with different carbohydrate sources at 20%, including glucose, sucrose, dextrin, corn starch, and gelatinized corn starch. The *Trachinotus ovatus* with initial weight of (31.24±0.58) g were fed with each diet for 8 weeks. Then the effects of different carbohydrate sources on a variety of biological activities were compared so to determine the optimal carbohydrate sources. The results suggested that the carbohydrate sources with higher molecular weight significantly increased the weight gain (*WG*) and the specific growth rate (*SGR*) ( $P<0.05$ ). The group fed with gelatinized corn starch showed the highest *WG* (335.35%) and *SGR* (2.62%/d). The viscerosomatic index (*VSI*), hepatosomatic index (*HSI*), liver glycogen content, and muscle glycogen content of the five carbohydrate groups were significantly different ( $P<0.05$ ), and those of the glucose group were the highest. Carbohydrate sources also affected the levels of plasma glucose, total cholesterol, and triglyceride ( $P<0.05$ ). No significant difference was observed in hepatic hexokinase (*HK*) activity ( $P>0.05$ ). Activities of glucokinase (*GK*), pyruvate kinase (*PK*) and phosphofructokinase (*PFK*) reached the highest in the glucose group ( $P<0.05$ ). These results suggested that macromolecules (starch) are better for the growth of *T. ovatus* than glucose, sucrose, and dextrin, thus gelatinized corn starch should be the optimal carbohydrate source. Furthermore, carbohydrate sources may also have effects on the glycogen synthesis, glycolipid transformation and glycolysis.

**Key words** *Trachinotus ovatus*; Carbohydrate source; Growth; Body composition; Plasma glucose; Glycolytic enzymes

① Corresponding author: ZHANG Qin, E-mail: zhangqin821220@163.com; CHENG Guangping: E-mail: cgp5@163.com