

日粮中不同糖源对吉富罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)稚鱼养殖效果与机理研究*

吴彬 彭淇 陈斌 孙晓锋 冯健

(广西大学海洋研究中心 南宁 530004)

提要 采用含有 25%葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、蔗糖糖蜜、糊精、小麦淀粉等不同糖源的 6 组等氮、等能量半纯合实验日粮,研究了不同糖源对吉富罗非鱼稚鱼养殖效果与机理。结果表明,葡萄糖组、麦芽糖组鱼的特定生长率、饲料效益和蛋白效益显著低于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$);葡萄糖组和麦芽糖组鱼鱼体总能明显低于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$);葡萄糖组和麦芽糖组鱼肝脏脂肪、肝糖原和肌糖原含量明显低于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$);葡萄糖组鱼血糖浓度与总蛋白含量显著低于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$);葡萄糖组和麦芽糖组鱼肝组织中己糖激酶(HK)显著高于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$),葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)显著低于其它各个糖源组鱼($P < 0.05$)。本实验结果认为,日粮中不同糖源对吉富罗非鱼稚鱼养殖效果的差异主要与调控鱼体内糖代谢的关键酶己糖激酶(HK)、葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)对不同糖源的糖分子结构不同活性有关,与糖的分子大小无关。在罗非鱼稚鱼饲料中添加蔗糖糖蜜效果较好。

关键词 罗非鱼;日粮;糖源;生长效益;酶活性

中图分类号 S963.73

糖类是自然界中最丰富、廉价的动物营养物质。畜禽动物能够以糖类作为其主要的能量来源,在传统动物营养与饲料研究中,利用日粮中糖类作为动物的主要的能量物质以节约蛋白质,提高日粮蛋白质效益,降低生产成本是近 20 年来畜禽营养领域的一个重要研究方向(Garnsworthy *et al*, 2008)。与陆生动物相比,鱼类对糖类的利用能力较低,这与鱼类的种类有关,也与鱼类对不同种类的糖类利用差异性有关(Christiansen *et al*, 1987; 付世建等, 2005; Anshuman *et al*, 2009)。目前在鱼类营养学研究中,不同糖源对鱼类的营养作用与机理已经成为一个令人关注热点(Enes *et al*, 2008)。本研究通过在实验日粮中添加葡萄糖、麦芽糖、蔗糖、蔗糖糖蜜、糊精、小麦淀粉 6 种不同糖源,探讨其对吉富罗非鱼[Genetic Improvement of Farmed Tilapia strain of Nile tilapia

(*Oreochromis niloticus*)]稚鱼养殖效果、鱼体营养成分、血液指标和糖代谢关键酶的影响,以了解不同糖源对罗非鱼的营养作用与机理。

1 材料与方法

1.1 实验日粮组成与成分分析

实验各组日粮组成和主要营养成分见表 1,其营养标准、复合矿物、复合多维含量参照 NRC(1993)罗非鱼营养标准,共设计 6 组等氮、等能量的半纯合日粮。葡萄糖、麦芽糖由南宁医药公司提供;蔗糖、蔗糖糖蜜由南宁糖业股份有限公司提供;糊精由南宁化工股份有限公司提供。由于各种糖源含有的水分有所差异,因此先测定各种糖源物质的水分含量,然后按照干物质相等的原则添加。饲料原料全部经过粉碎,过 40 目筛,按配比称量后,微量成分采取逐级扩

* 广西科技厅攻关项目资助, 122201-3 号。吴彬, 硕士研究生, 443566402@qq.com

通讯作者: 冯健, 教授, 德国慕尼黑大学博士(VMD), E-mail: fengjian08@163.com

收稿日期: 2012-10-12, 收修改稿日期: 2013-01-21

大法添加, 并与大宗原料混合均匀, 加油和水后再次均匀混合, 用小型颗粒饲料机制粒直径为 2.5mm 的颗粒饲料, 于 65℃ 烘干, 储存于密封塑料袋中, 置 -20℃ 冰箱内保存直至投喂。

1.2 实验鱼与饲养管理

1500 尾吉富罗非鱼鱼苗由广西水产研究所国家罗非鱼良种繁育场提供, 暂养一周后开始正式分组实验, 期间投喂普通罗非鱼鱼苗饲料。取其中 360 尾为实验鱼, 平均体重为 (3.4±0.2)g 的, 共分 18 组(6 个实验组, 每组 3 个平行), 每组 20 条鱼, 随机放养于 1m×0.5m×1m 尼龙网箱中, 网箱中架设直径一个为 15cm、高 3cm 的食台。网箱放置在 12.0m×3.0m×1.5m 的水泥池中, 实验期间采用微流水交换, 沙滤循环, 换水频率为每天换水 1/6。整个实验期间水质监测(每天测 3 次水温; 每周测一次水质指标)情况为: 水温 (31.4±3.3)℃, pH 7.1±0.2, 溶解氧 (8.33±0.29)mg/L, 氨氮 (0.51±0.02)mg/L, 亚硝酸盐 (0.16±0.03)mg/L, 硝酸盐 (0.10±0.01)mg/L。每天投喂两次, 投喂时间为

9:00、18:00, 投喂量以鱼体重的 15%—10% 称料, 平均分成两次投喂, 每次把饲料投入网箱中食台内, 观察实验鱼的进食情况, 投喂 3min 后若饲料台上有剩余的饲料, 则结束投喂并捞出残饵, 记录每次残饵数量与每天余料。每 2 周称重并调整投喂量。养殖实验持续 61 天, 光周期为自然周期。

1.3 样品的采集与计算

实验开始与结束时, 对实验各组的鱼记数、称重, 计算其存活率和特定生长率。计算每天的余料和残饵数量, 计算其投喂量、饲料效益和蛋白效益。实验结束后每实验组 3 个平行网箱随机各取 2 尾鱼, 共 6 尾鱼, 分别称重, 烘干, 用于测全鱼主要营养成分; 每实验组 3 个平行网箱取 3 尾鱼, 共 9 尾鱼, 分别称重, 解剖取肝脏称重计算肝体指数, 剥离肠脂称重计算肠脂指数; 每个网箱取 2 条鱼的肝脏及背肌, 用生理盐水冲洗并用滤纸吸干, 分别称肝脏、肌肉各 0.5g 于加入装有 3mL 5% 三氯乙酸的样品管中, 然后匀浆, 采用蒽酮比色法测定肝糖原和肌糖原(Seifter *et al*,

表 1 实验日粮组成和主要营养成分分析 (%)¹⁾
Tab.1 Composition of the experimental diets and main nutrients (%)¹⁾

原料名称	实验 1 组	实验 2 组	实验 3 组	实验 4 组	实验 5 组	实验 6 组
秘鲁鱼粉	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8	65.8
鱼油	2	2	2	2	2	2
葡萄糖	25	0	0	0	0	0
麦芽糖	0	25	0	0	0	0
蔗糖	0	0	25	0	0	0
糖蜜	0	0	0	25	0	0
糊精	0	0	0	0	25	0
小麦淀粉	0	0	0	0	0	25
复合矿物 ²⁾	1	1	1	1	1	1
复合多维 ³⁾	1	1	1	1	1	1
氯化胆碱	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
微晶纤维素	5	5	5	5	5	5
主要营养成分%(实测值)						
水分	10.33	10.05	9.77	10.52	10.20	9.92
粗蛋白	38.33	38.41	38.37	38.30	38.27	38.40
粗脂肪	9.17	9.22	8.99	9.03	9.05	9.29
粗灰分	16.21	16.53	17.06	16.78	17.38	17.19
总糖 ⁴⁾	25.96	25.79	25.81	25.37	25.60	25.20
总能(MJ/kg) ⁵⁾	16.01	16.03	15.96	15.88	15.86	15.96

注: 1) 平均 2 个重复。2) 复合矿物组成(每 kg 预混料): 硫酸亚锰(32.5% Mn)50mg; 硫酸亚铁(20.1% Fe)40mg; 硫酸铜(25.4% Cu)5mg; 硫酸锌(22.7% Zn)90mg; 亚硒酸钠(45.6% Se)1mg; 二氯化钴(24.8% Co)3.0mg; 氟化钠(42.5% F)5mg。3) 复合多维(每 kg 日粮): 维生素 A, 10000IU; 维生素 D₃, 4000IU; 维生素 E, 400IU; 维生素 K₃, 50mg; 盐酸硫胺素 60mg; 核黄素 70mg; 泛酸钙 200mg; 生物素 2.0mg; 叶酸 20mg; 维生素 B₁₂, 0.20mg; 烟酸 300mg; 盐酸吡哆醇 20mg; 维生素 C, 300mg; 肌醇 400mg。4) 总糖=100-(水分+粗蛋白+粗脂肪+粗灰分)。5) 总能=(蛋白×23.64KJ/g + 脂肪×39.54KJ/g + 总糖×17.15KJ/g)/100

1950; Garcia *et al.*, 1990, 1996); 每个网箱解剖 4 条鱼, 取其肝脏, 用于肝脏脂肪的测定。

将余下的实验鱼于网箱中饥饿 1 天, 第二天饱食投喂不同糖源日粮后 4h, 每个网箱随机取 3 条鱼进行尾静脉抽血, 以 3000r/min 的转速离心 15min, 取上层的血清和血浆, 使用日立 7600-D20 全自动血液生化分析仪测定血浆中多项生化指标; 每个网箱取 2 条鱼, 于冰盘上迅速解剖, 取肝脏, 迅速用液氮保存, 使用美国 Amresco 试剂盒与指南方法测定己糖激酶(HK)、丙酮酸激酶(PK)、葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)酶活和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)活性。实验样品的水分、粗蛋白、脂肪和灰分含量按 AOAC(1990)有关标准方法测定。

有关参数计算公式如下(Halver *et al.*, 2002):

$$\text{摄食量(FI)}(\text{g}) = \text{投喂量} - (\text{余料} + \text{残饵})$$

$$\text{成活率(SR)}(\%) = (\text{实验结束鱼尾数} / \text{实验开始时尾数}) \times 100$$

$$\text{特定生长率(SGR)}(\%/t) = 100 \times (\ln W_2 - \ln W_1) / t$$

$$\text{饲料效益(FER)}(\%) = 100 \times (W_2 - W_1) / \text{FI}$$

$$\text{蛋白效益比(PER)} = \text{FER} / P$$

$$\text{肝体指数(HSI)}(\%) = (W_4 / W_3) \times 100$$

$$\text{肠脂指数(ISI)}(\%) = (W_5 / W_3) \times 100$$

式中, W_1 为实验开始时鱼体重(g), W_2 为实验结束时鱼体重(g), t 为养殖实验天数(d), FI 为摄食量, P 为粗蛋

白含量(%), W_3 为鱼体重(g), W_4 为肝脏质量, W_5 为肠系膜脂肪重。

1.4 数据处理和分析

采用 SPSS19.0 数据统计软件包对实验各组间数据进行统计分析, 实验结果经过一元方差分析(One-way ANOVA)后, 用平均数±标准差表示。先进行方差齐性分析, 方差齐性则运用 LSD 法进行单因素方差多重比较, 方差非齐性则采用 Tamhane's T_2 法进行单因素方差分析, 显著水平采用 0.05。然后进行 Duncan's 多重比较各实验组间差异的显著性, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 实验各组鱼的存活率、生长性能和日粮利用率

在整个养殖实验期间, 实验各组鱼没有出现死亡, 存活率均为 100%。实验各组鱼的摄食量、特定生长率、饲料效率见表 2。葡萄糖组鱼特定生长率、饲料效率均为最低, 其特定生长率与其它糖源组鱼有显著性差异, 其饲料效率与麦芽糖组鱼外其它糖源组鱼有显著性差异($P > 0.05$); 麦芽糖组鱼特定生长率、饲料效率均显著性低于糖蜜组、蔗糖组、糊精组和小麦淀粉组鱼($P > 0.05$); 糖蜜组、蔗糖组、糊精组和小麦淀粉组鱼特定生长率、饲料效率组间无显著性差异($P < 0.05$)。

表 2 实验各组鱼的摄食量、特定生长率和饲料效率

Tab.2 The feed intakes (FI), specific growth ratio (SGR) and feed efficiency ratio (FER) in fish

组别	始重(g)	末重(g)	摄食量(g)	特定生长率(%/t)	饲料效率率(%)
实验 1 组	3.4±0.2	18.4±1.3 ^a	29.8±1.6 ^a	2.7±0.1 ^a	50.2±4.5 ^a
实验 2 组	3.4±0.2	33.9±1.5 ^b	56.9±2.6 ^d	3.8±0.3 ^b	53.6±1.9 ^a
实验 3 组	3.4±0.2	41.8±2.4 ^c	49.6±2.6 ^c	4.1±0.1 ^c	77.4±4.4 ^b
实验 4 组	3.4±0.2	39.5±4.9 ^c	49.1±3.3 ^c	4.0±0.2 ^c	73.6±8.5 ^b
实验 5 组	3.4±0.2	43.4±3.5 ^c	51.2±1.0 ^c	4.2±0.2 ^c	78.0±7.7 ^b
实验 6 组	3.4±0.2	44.4±4.6 ^c	52.8±1.9 ^b	4.2±0.5 ^c	76.9±2.6 ^b

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)

表 3 实验各组鱼鱼体营养成分(%)

Tab.3 The carcass nutrient contents in fish (%)

组别	水分	蛋白质	脂肪	灰分	全鱼总能(J/mg)
实验 1 组	76.5±1.0 ^b	13.6±0.1 ^a	3.6±0.1 ^a	4.7±0.1 ^c	4.94±0.01 ^a
实验 2 组	75.9±1.6 ^{ab}	14.2±0.4 ^{ab}	4.2±0.3 ^b	4.6±0.1 ^c	5.02±0.05 ^a
实验 3 组	74.8±0.9 ^{ab}	14.8±0.5 ^b	4.8±0.1 ^c	4.5±0.1 ^d	5.57±0.02 ^c
实验 4 组	74.7±2.3 ^{ab}	14.6±0.2 ^b	4.5±0.1 ^b	4.6±0.1 ^{de}	5.51±0.02 ^c
实验 5 组	75.2±1.4 ^{ab}	14.4±0.2 ^{ab}	4.6±0.1 ^b	4.4±0.1 ^b	5.51±0.05 ^c
实验 6 组	74.9±1.2 ^a	14.7±0.2 ^b	4.5±0.1 ^d	4.3±0.1 ^a	5.91±0.02 ^e

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P < 0.05$)

2.2 实验各组鱼鱼体营养成分与总能

实验各组鱼鱼体营养成分(水分、蛋白质、脂肪、灰分)见表 3。葡萄糖组鱼鱼体水分和灰分含量最高,蛋白质、脂肪含量与总能最低,其中脂肪含量与其它糖源组鱼有显著性差异($P<0.05$)。葡萄糖组和麦芽糖组鱼鱼体总能明显低于其它 4 糖源($P>0.05$)。

2.3 实验各组鱼的肝体指数、肠脂指数、肝脏脂肪、肝糖原、肌糖原

各实验组鱼的肝体指数、肠脂指数、肝脏脂肪、肝糖原、肌糖原见表 4。实验各组鱼肝体指数与肠脂指数之间没有显著性差异($P>0.05$);葡萄糖组鱼肝脏脂肪、肝糖原和肌糖原含量均为最低,其中肌糖原含量与其它糖源组鱼有显著性差异,肝糖原含量与蔗

糖组、糖蜜组和小麦淀粉组鱼有显著性差异($P<0.05$)。葡萄糖组和麦芽糖组鱼肝脏脂肪含量明显低于其它糖源组鱼($P>0.05$)。

2.4 实验各组鱼血液生化指标

实验各组鱼血液(血浆)生化指标见表 5。葡萄糖组鱼血浆中血糖、总蛋白、胆固醇、甘油三酯含量最低,其中总蛋白与其它糖源组鱼有显著性差异,甘油三酯含量与蔗糖糖蜜组鱼有显著性差异($P<0.05$)。葡萄糖组与麦芽糖组鱼血浆中血糖含量显著性低于其它糖源组鱼($P>0.05$)。

2.5 实验各组鱼肝脏组织中 4 种糖代谢关键酶活

实验各组鱼肝脏中 4 种糖代谢关键酶活性见表 6。在调控糖酵解关键酶中,实验各组鱼的肝脏丙酮

表 4 实验各组鱼的肝体指数、肠脂指数、肝脏脂肪、肝糖原、肌糖原(%)
Tab.4 The HIS, ISI, liver lipid, hepatic glycogen and muscle glycogen in fish (%)

组别	肝体指数	肠脂指数	肝脏脂肪	肝糖原	肌糖原
实验 1 组	1.34±0.18	0.30±0.35	3.73±0.12 ^a	2.36±0.36 ^a	0.21±0.01 ^a
实验 2 组	1.33±0.25	0.35±0.25	3.88±0.25 ^a	2.70±0.56 ^{ab}	0.33±0.03 ^b
实验 3 组	1.31±0.48	0.41±0.25	4.41±0.12 ^b	3.89±0.65 ^b	0.35±0.03 ^b
实验 4 组	1.25±0.26	0.39±0.20	4.30±0.14 ^b	3.74±0.20 ^b	0.35±0.02 ^b
实验 5 组	1.41±0.32	0.44±0.20	4.54±0.21 ^b	3.04±0.56 ^{ab}	0.33±0.03 ^b
实验 6 组	1.49±0.26	0.48±0.19	4.67±0.33 ^b	3.26±0.90 ^{ab}	0.34±0.02 ^b

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

表 5 实验各组鱼血浆中血糖、总蛋白、胆固醇、甘油三酯含量
Tab.5 The GLU, TP, CHOL, TRIG in plasma in fish

组别	血糖(mmol/L)	总蛋白(g/L)	胆固醇(mmol/L)	甘油三酯(mmol/L)
实验 1 组	2.97±0.31 ^a	23.60±0.98 ^a	1.70±0.71	3.16±0.12 ^a
实验 2 组	3.53±0.93 ^{ab}	27.93±0.47 ^b	1.94±0.77	3.53±0.24 ^{ab}
实验 3 组	4.60±0.53 ^b	27.50±1.01 ^b	2.02±0.67	3.84±0.45 ^b
实验 4 组	4.27±0.81 ^b	28.33±1.12 ^b	2.27±0.24	3.41±0.14 ^{ab}
实验 5 组	4.77±0.21 ^b	27.30±2.15 ^b	2.84±1.36	3.33±0.34 ^{ab}
实验 6 组	4.20±0.71 ^b	28.35±2.05 ^b	2.95±1.53	3.71±0.14 ^{ab}

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

表 6 实验各组鱼肝脏中己糖激酶(HK)、丙酮酸激酶(PK)、葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)、磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)活性(U/g)

Tab.6 Activities of hexokinase, pyruvate kinase, glucose-6-phosphatase and phosphoenolpyruvate carboxykinase (U/g)

组别	己糖激酶	丙酮酸激酶	葡萄糖-6-磷酸酶	磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶
实验 1 组	14.69±1.03 ^c	8.01±1.27	6.35±0.78 ^a	8.36±1.47 ^a
实验 2 组	14.11±0.89 ^b	8.54±0.46	5.23±1.32 ^a	9.65±0.95 ^a
实验 3 组	9.81±0.58 ^a	8.12±1.16	10.23±1.72 ^b	13.62±1.89 ^b
实验 4 组	9.86±0.75 ^a	8.08±1.12	9.86±0.94 ^b	14.58±2.36 ^b
实验 5 组	9.67±0.54 ^a	8.23±0.85	10.36±1.52 ^b	15.69±1.88 ^b
实验 6 组	9.39±0.78 ^a	8.16±0.66	10.43±1.45 ^b	15.87±1.99 ^b

注: 同一列数据右上角不同上标小写字母代表有显著差异($P<0.05$)

酸激酶(PK)活性没有显著性差异($P>0.05$);但葡萄糖组和麦芽糖组鱼的肝脏己糖激酶(HK)活性明显高于其它糖源组鱼($P<0.05$)。在调控糖异生关键酶中,葡萄糖组和麦芽糖组鱼的肝脏葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)活性明显低于其它糖源组鱼($P<0.05$)。

3 讨论

在鱼类对不同糖源利用能力的研究报道中,各种结果差异较大。一些学者认为鱼类对大分子糖的利用优于小分子糖(Furuichi *et al*, 1982; Wilson *et al*, 1987; Luquet, 1991; Hemre *et al*, 1998),如通过对杂交罗非鱼的研究中,发现杂交罗非鱼对大分子糖的利用优于小分子糖(Shiau *et al*, 1995; Shiau, 1997),在对阳光鲈鱼的研究中也有类似的结果(蔡春芳等, 1999)。但另一些学者认为鱼类对小分子糖的利用优于大分子糖,如草鱼对葡萄糖的利用性优于玉米淀粉(田丽霞等, 2000),在对虹鳟鱼和金头鲷的研究中,也发现了这两种鱼对小分子糖的利用性较大分子糖好(Cowey *et al*, 1977; Bergot, 1979; Enes *et al*, 2008)。也有少数报道发现为鱼类对小分子糖的利用鱼大分子糖具有相似的效果(Lin *et al*, 1997)。本实验结果表明,罗非鱼葡萄糖日粮组生长效益与饲料效率最低,其次为麦芽糖日粮组,与糖蜜日粮组、蔗糖日粮组、糊精日粮组和小麦淀粉日粮组有显著性差异。葡萄糖日粮组鱼鱼体水分和灰分含量最高,蛋白质、脂肪含量最低,葡萄糖组和麦芽糖组鱼鱼体总能明显低于其它4种糖源;葡萄糖日粮组鱼肝脏脂肪、肝糖原和肌糖原含量均为最低,其次为麦芽糖日粮组,表明这2种糖源在罗非鱼鱼体中沉积与转化为脂肪效率较其它4种糖源低。葡萄糖日粮组鱼血浆中血糖、总蛋白、胆固醇、甘油三酯含量最低,葡萄糖组与麦芽糖日粮组鱼血浆中血糖含量显著性低于其它糖源日粮组,表明其作为能量物质节约蛋白质与脂肪的能力较其它4种糖源低。在调控糖酵解关键酶中,葡萄糖日粮组和麦芽糖日粮组鱼的肝脏己糖激酶(HK)活性明显高于其它糖源日粮组鱼。在调控糖异生关键酶中,葡萄糖日粮组和麦芽糖日粮组鱼的肝脏葡萄糖-6-磷酸酶(G6Pase)和磷酸烯醇式丙酮酸羧激酶(PEPCK)活性明显低于其它糖源日粮组鱼。糖蜜日粮组、蔗糖日粮组、糊精日粮组和小麦淀粉日粮组的罗非鱼生长效益、饲料效率、鱼体营养成分、血浆生化指标和调控糖酵解与糖异生的4种关键酶活性相似。这表明,6

种不同糖源日粮对罗非鱼稚鱼产生的生长效益与饲料效率差异并不是由糖分子大小引起的,而主要是由于罗非鱼鱼体中调控糖酵解与糖异生的4种关键酶对不同糖源分子结构的活性差异所致,其机理值得从不同糖源对糖代谢关键酶表达影响方面进一步研究。葡萄糖日粮组和麦芽糖日粮组罗非鱼生长效益与饲料效率低下,主要原因在于糖酵解效率高而糖异生效率低,使罗非鱼对这2种糖源的有效利用率明显低于其它4种糖源。葡萄糖日粮组罗非鱼生长效益最低与其摄食量最少有关,这可能是葡萄糖对罗非鱼的诱食性较差。由于蔗糖糖蜜的主要成分为蔗糖,所以糖蜜日粮组罗非鱼的生长效益、饲料效率较好,与蔗糖日粮组、糊精日粮组和小麦淀粉日粮组相似,表明在罗非鱼饲料中大量添加蔗糖糖蜜这种蔗糖工业副产物是可行的。

参 考 文 献

- 田丽霞,刘永坚,刘栋辉等,2000.葡萄糖和玉米淀粉对草鱼生长和肠系膜脂肪沉积的影响.水产学报,24(5):438—441
- 付世建,谢小军,2005.饲料碳水化合物水平对南方鲇生长的影响.水生生物学报,29(04):393—398
- 蔡春芳,宋学宏,王永玲等,1999.不同糖源及铬对异育银鲫生长和糖耐量的影响.水产学报,23:432—436
- Anshuman A, Khardenavis M, Atul N *et al*, 2009. Utilization of molasses spentwash for production of bioplastics by waste activated sludge. Waste Management, 29(9): 2558—2565
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA, 67—78
- Bergot F, 1979. Problems particuliers poses par utilisation des glucides chez la Truite arcenciel. Ann Nutr Alim, 33: 247—257
- Christiansen D C, Khngsoyr L, 1987. Metabolic, utilization of nutrients and the effects of insulin in fish. Comp Biochem Physiol, 88: 701—711
- Cowey C B, Knox D, Walton M J *et al*, 1977. The regulation of gluconeogenesis by diet and insulin in rainbow trout. Br J Nutr, 38: 463—470
- Enes P, Panserat S, Kaushik S *et al*, 2008. Growth performance and metabolic utilization of diets with native and waxy maize starch by gilthead sea bream (*Sparus aurata*) juveniles. Aquaculture, 274: 101—108
- Furuichi M, Yone Y, 1982. Changes of activities of hepatic enzymes related to carbohydrate metabolism of fish in glucose and insulin glucose tolerance tests. Bull Jpn Soc Sci Fish, 48: 463—466
- Garcia de Frutos P, Bonamusa L, Fernandez F *et al*, 1990. Fructose-2, 6-bisphosphate in liver of *Sparus aurata*. Comp Biochem Physiol, 96B: 63—65
- Garcia Riera M P, Hemr G L, 1996. Glucose tolerance in turbot,

- Scophthalmus maximus* (L.) Aquaculture Nutrition, 2(2): 117—120
- Garnsworthy P C, Wiseman J, 2008. Recent Advances in Animal Nutrition. Academic Press, London: 19—24
- Halver J E, Hardy R W, 2002. Fish Nutrition. third edition. Academic Press, London: 506—511
- Hemre G I, Hansen T, 1998. Utilization of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon (*Salmo salar*), during parros molt transformation. Aquaculture, 161: 145—157
- Lin J-H, Cui Y B, Hung S S O *et al*, 1997. Effects of feeding strategy and carbohydrate source on carbohydrate utilization by white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) and hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*). Aquaculture, 148: 201—211
- Luquet P, 1991. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. CRC Press, Boca Raton, FL, 13—22
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient Requirements of Fish. National Academy Press, Washington D C, USA: 114
- Seifter S, Dayton S, Novic B *et al*, 1950. The estimation of glycogen with the anthrone reagent. Arch Biochem Biophys, 50: 191—200
- Shiau S Y, 1997. Utilization of carbohydrates in warmwater fish-with particular reference to tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. Aquaculture, 151: 79—96
- Shiau S Y, Liang H-S, 1995. Carbohydrate utilization and digestibility by tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*, are affected by chromic oxide inclusion in the diet. Journal of Nutrition, 125: 975—982
- Wilson R P, Poe W E, 1987. Apparent inability of channel catfish to utilize dietary mono and disaccharides as energy sources. J Nutr, 117: 280—285

THE EFFECT OF DIFFERENT CARBOHYDRATE SOURCES IN DIET ON AQUACULTURE PERFORMANCE AND MECHANISM IN GIFT NILE TILAPIA (*OREOCHROMIS NILOTICUS*) JUVENILE

WU Bin, PENG Qi, CHEN Bin, SUN Xiao-Feng, FENG Jian
(Center of Marine Research, Guangxi University, Nanning, 530004)

Abstract We have studied the effect of different carbohydrate sources in diet on aquaculture performance and mechanism in GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapia) Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) juveniles. The fish were fed with six types of isonitrogenous and isoenergetic semi-pure formulated diets which contained 25% glucose, maltose, sucrose, sugarcane molasses, dextrin, and wheat starch in six experiment groups 1, 2, 3, 4, 5, and 6 respectively. The result show that the specific growth rate (SGR), feed efficiency ratio (FER) in fish of glucose group and maltose group were significantly lower than fish of other 4 groups ($P < 0.05$). The gross energy of fish carcass in fish of glucose group and maltose group was significantly lower than fish of other 4 groups ($P < 0.05$). The contents of liver lipid, liver glucose and muscle glycogen in fish of glucose group and maltose group were significantly lower than other 4 groups ($P < 0.05$). The blood sugar concentration and contents of total protein in fish of glucose group were significantly lower than other 4 groups ($P < 0.05$). The activity of pyruvate kinase (PK) in hepatic tissue of fish in glucose group and maltose group were significantly higher than other 4 groups ($P < 0.05$), but the activities of glucose-6-phosphatase (G6Pase) and phosphoenolpyruvate carboxykinase (PEPCK) in hepatic tissue of fish in glucose group and maltose group were significantly lower than fish in other 4 groups ($P < 0.05$). Therefore, we consider that the differences on aquaculture performance of the juvenile GIFT tilapia fed by different carbohydrate sources in diet were related with the activities of HK, G6Pase, and PEPCK mainly, rather than the molecular size of carbohydrates. It is practical to add sugarcane molasses in feed of tilapia juvenile.

Key words tilapia *Oreochromis niloticus*; diet; carbohydrate sources; aquaculture performance; enzyme activity