

不同种类碳水化合物对吉富罗非鱼生长性能、 体组成和血清生化指标的影响

孙育平^{1,2,3}, 王国霞^{1,2,3}, 胡俊茹^{1,2,3}, 曹俊明^{1,2,3},
陈冰^{1,2,3}, 陈晓璇^{1,2,3}, 王绥涛^{1,2,3}, 黄燕华^{1,2,3*}

(1. 广东省农业科学院动物科学研究所, 广东 广州 510640;

2. 广东省动物育种与营养公共实验室, 广东 广州 510640;

3. 广东省畜禽育种与营养研究重点实验室, 广东 广州 510640)

摘要: 为了解罗非鱼对不同种类碳水化合物(CBH)的利用效果,研究了6种碳水化合物对罗非鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响。实验选用720尾初重为 (3.0 ± 0.3) g的健康吉富罗非鱼,随机分为6组,每组4个重复,每个重复30尾,分别投喂设计含30%南方糙米、次粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉的6种不同CBH的等氮、等能饲料,实验周期为8周。结果显示,南方糙米、玉米淀粉组的终末均重、增重率、特定生长率和蛋白效率显著高于其他组,而饲料系数明显最低($P < 0.05$)。CBH种类明显影响全鱼、肌肉的组成($P < 0.05$)。玉米淀粉组肝糖原含量明显高于马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),而马铃薯淀粉和甘薯淀粉组的血糖明显低于木薯淀粉、玉米淀粉和次粉组($P < 0.05$)。CBH种类对血清CHO、TG影响明显($P < 0.05$),但对TP、SOD、T-AOC和MDA的影响不明显($P > 0.05$)。研究表明,不同种类CBH对罗非鱼生长性能的影响明显($P < 0.05$),以特定生长率为指标,罗非鱼对南方糙米和玉米淀粉的利用效果较好。

关键词: 吉富罗非鱼; 碳水化合物; 生长性能; 体组成; 血清生化指标

中图分类号: S 963.7

文献标志码: A

蛋白质、脂肪和碳水化合物(carbohydrate, CBH)是动物生长的3大营养和能量物质来源。与陆生脊椎动物相比,鱼类对CBH的需求及利用能力较低^[1]。然而,随着鱼类集约化养殖的发展,蛋白质在鱼类饲料成本中所占的比重越来越高,而CBH原料在饲料中较蛋白、脂肪原料具有更好的价格优势。因此,CBH是鱼类饲料中重要且廉价的能源物质^[2]。在饲料中添加适宜的CBH不仅可以提高鱼类的特定生长率,还能节约鱼类饲料中蛋白和脂肪的使用^[3-4]。但不同鱼类对CBH的利用能力存在差异,同种鱼类对不同CBH的吸收能力也不同。因此,了解鱼类对不同种类CBH的利用效果,是寻找新的大宗优质廉价潜在饲料糖源原料的前提。研究表明,鱼类对不同种类CBH的利用效

果不同^[5-6]。Buhler等^[7]研究发现随着CBH分子量的增加,大鳞大马哈鱼(*Chinook salmon*)的生长速度下降,Furuichi等^[8]研究却发现高分子CBH组鲤(*Cyprinus carpio*)的增重率和饲料效率最高。但鱼类对大分子CBH的利用性要好于小分子CBH这一观点越来越受到人们的认同^[9-10]。此外,鱼类对CBH的利用效率还与养殖策略、CBH水平、饲料组成等因素有关^[11-12]。一般认为,草食性和杂食性鱼类比肉食性鱼类对CBH的利用能力强^[13]。但饲料中过多或不适宜的CBH会抑制鱼类生长,容易造成生产性能下降,并可能影响产品质量。综上所述,开展鱼类饲料中适宜CBH的研究,既可保证鱼类良好的生长性能和合理的饲料成本,还能减少鱼类对蛋白质的消耗量,减轻氮排放

收稿日期:2014-04-25 修回日期:2014-06-16

资助项目:广东省海洋渔业科技推广专项(201201C04)

通信作者:黄燕华,E-mail:huangyh111@126.com

对养殖水体环境的污染。

罗非鱼是我国重要的养殖鱼类,具有个体大、生长快、出肉率高、肉质丰满、细嫩、味道鲜美、起捕率高和产量高等特点,是目前我国南方淡水养殖的主要品种,具有重要的经济价值。罗非鱼是典型的杂食性鱼类,CBH 在其饲料中的适宜使用量已备受关注。Shiau^[14] 建议尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*) 饲料中 CBH 适宜添加水平为 30%~40%,吴凡等^[15] 研究认为,奥尼罗非鱼 (*O. niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) 幼鱼饲料中糖适宜添加量为 34%~41%。蒋利和等^[16] 研究认为饲料以 29%~35% 的糖水平较利于吉富罗非鱼 (*GIFT tilapia*, *O. niloticus*) 幼鱼的生长。目前,罗非鱼饲料中一般使用麦麸、小麦粉(次粉、面粉)作为主要糖源,而对我国来源广泛的碳水化合物种类的使用较少。关于罗非鱼对几种区域性的 CBH 利用效果比较的研究尚未见报道。为此,本实验以吉富罗非鱼幼鱼为研究对象,选择在饲料

中使用 30% 的南方糙米、次粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉,比较 6 种不同 CBH 原料对罗非鱼生长性能、体组成和血清生化指标的影响,旨在揭示罗非鱼对不同种类 CBH 的利用效果,为 CBH 在罗非鱼饲料中的应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 实验饲料

选择饲料用玉米淀粉、次粉和木薯淀粉均由广东通威饲料有限公司提供,南方糙米(黄色粒状,广东),马铃薯淀粉(白色粉末状,河南)和甘薯淀粉(白色块状,山东)均购自广州新天铖粮油食品批发中心。以鱼粉、大豆浓缩蛋白、豆粕、菜粕和棉粕为蛋白源,豆油和卵磷脂为脂肪源,分别以添加 30% 的南方糙米、次粉、玉米淀粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉为糖源,按等氮等能原则设计配制 6 种不同 CBH 的饲料(表 1)。各种饲料原料粉碎后均过40目筛后,按照表1配方准

表 1 实验饲料配方及营养水平(%,干物质基础)
Tab.1 Composition and nutrient level of the test diets(%,dry matter basis)

成分 ingredients	南方糙米 southern brown rice	次粉 wheat middling	玉米淀粉 corn starch	马铃薯淀粉 potato starch	甘薯淀粉 sweat potato starch	木薯淀粉 cassava starch
碳水化合物/% carbohydrate	30	30	30	30	30	30
鱼粉(国产)/% fish meal	4	4	4	4	4	4
大豆蛋白粉/% soybean gluten meal	12	6	20.30	20	20	20
豆粕/% soybean meal	18.5	24.47	12	12	12	12
菜粕/% rapeseed meal	10	10	10	10	10	10
棉粕/% cottonseed meal	10	10	10	10	10	10
豆油/% soybean oil	4.24	4.20	3.80	4.82	4.56	4.60
脱脂统糠/% crude rice bran	4.66	4.85	3.33	2.29	2.78	2.83
卵磷脂/% lecithin	2	2	2	2	2	2
磷酸二氢钙/% Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	1.55	1.50	1.50	1.70	1.50	1.50
沸石粉/% zeolite powder	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.5
维生素预混料/% vitamin premix ¹	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
矿物质预混料/% mineral premix ²	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱/% choline chloride	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
维生素 C 磷酸酯/% VC phosphate ester	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
合计 total	100	100	100	100	100	100
营养成分 nutrient levels ³						
水分/% moisture	8.68	7.47	6.96	7.54	7.79	7.71
淀粉及总糖/% total carbohydrate	32.6	24.28	37.7	32.76	40.49	22.72
粗蛋白/% crude protein	31.06	34.60	31.97	32.29	31.53	36.43
粗脂肪/% crude lipid	7.77	8.94	7.46	9.13	8.35	9.25
灰分/% ash	7.60	8.33	7.43	7.70	7.52	8.35
能量/(MJ/kg) energy	17.82	18.44	17.75	17.85	17.70	18.00

注:1. 每千克矿物质预混料中含 Ca 230 g;K 36 g;Mg 9 g;Fe 10 g;Zn 8 g;Mn 1.9 g;Cu 1.5 g;Co 0.25 g;I 0.032 g;Se 0.05 g。2. 每千克维生素预混料中含有:维生素 A3 200 000 IU;维生素 D₃ 1 600 000 IU;维生素 E 16 g;维生素 K 4 g;维生素 B₁ 4 g;维生素 B₂ 8 g;维生素 B₆ 4.8 g;烟酸 28 g;泛酸钙 16 g;叶酸 1.28 g;肌醇 40 g;维生素 B₁₂ 0.016 g;生物素 0.064 g。3. 营养水平为实测值
Notes:1. one kilogram of mineral premix contained Ca 230 g;K 36 g;Mg 9 g;Fe 10 g;Zn 8 g;Mn 1.9 g;Cu 1.5 g;Co 0.25 g;I 0.032 g;Se 0.05 g。2. one kilogram of vitamin premix contained VA 3 200 000 IU;VD₃ 1 600 000 IU;VE 16 g;VK 4 g;VB₁ 4 g;VB₂ 8 g;VB₆ 4.8 g;nicotinic acid 28 g;calcium pantothenate 16 g;folic acid 1.28 g;inositol 40 g;V B₁₂ 0.016 g;biotin 0.064 g。3. the nutrition levels are measured values

确称量,采取逐级扩大法添加微量成分,先将粉状原料混合均匀,再添加豆油、卵磷脂,最后加入质量分数为 40% 左右的水,充分混合均匀后用 SLX-80 型挤压机制成直径为 2.0 mm 的颗粒饲料,在 50 ℃ 烘干冷却后,过筛去粉,留颗粒料并以塑料封口袋包装,置于 -20 ℃ 冰柜中保存备用。

1.2 实验鱼及饲养管理

实验用吉富罗非鱼鱼苗由国家级广东罗非鱼良种场提供。将实验鱼苗运回消毒后,在广东省农业科学院动物科学研究所水产研究室的室外循环水泥池中暂养 2 周,暂养期间投喂商品饲料。正式实验开始前,空腹 24 h,随机挑选 720 尾体质健壮,规格和重量基本一致,初始体质量为 (3.0 ± 0.3) g 的吉富罗非鱼,随机分为 6 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾,分别放入本研究室的室内循环水养殖系统中的 24 个容积为 350 L (实际水体积为 300 L) 的纤维玻璃桶内 (直径 80 cm, 高度 70 cm)。养殖水为经过珊瑚石、活性炭过滤的自来水。每个重复分别投喂 1 种实验饲料。每天分别于 8:30、15:00 和 20:30 进行投喂,投喂时停水断气。日投喂量为体质量的 4%~6%,并根据摄食、生长和天气情况适当调整,以每次投喂后无残饵为宜。实验期间,自然光照,水温 26~31 ℃,pH 7.2~7.8,循环水进水速率为 5 L/min,充气保持溶氧 >5 mg/L,氨氮 <0.02 mg/L。每天观察鱼的活动和健康状况,追踪记录死亡和投饲量。定期排污和换水,换水量约为 30%。饲养周期为 8 周。

1.3 样品采集与分析方法

养殖实验结束时,禁食 24 h,计数、去水后称重。每个重复随机选取 5 尾鱼,立即处死。105 ℃ 烘干至恒重,用于全鱼体成分分析。另取 3 尾鱼,去鳞取出两侧背肌,于 105 ℃ 烘干至恒重备用。再随机从每个重复中取 5 尾鱼测定肝体比和肥满度,并用 1 mL 无菌注射器于尾静脉取血,合并置于无菌 Eppendorf 管中,低温静置 1 h 后,以 4 000 r/min 离心 15 min,制得血清样品,分装,置于 -80 ℃ 冰箱中以备分析。剥离肝脏,置于 -80 ℃ 冰箱中保存备用。

实验饲料、鱼体及肌肉成分测定参照 AOAC (2000) 的方法。样品均经过 105 ℃ 烘干至恒重后的研磨,粗蛋白含量采用凯氏定氮法测定;粗脂肪含量采用索氏抽提法 (乙醚为抽提液) 测定;灰分通过将样品在电炉上碳化后,在马弗炉中灼烧

8 h (550 ℃) 后测得;总能含量采用氧弹式热量计测定。总糖含量采用盐酸水解后用 3,5-二硝基水杨酸法测定^[17]。

肝糖原和肌糖原采用蒽酮法测定;血糖采用葡萄糖氧化酶法测定;血清总蛋白 (TP) 采用考马斯亮蓝法测定;血清胆固醇 (CHO) 和甘油三酯 (TG)、超氧化物歧化酶 (SOD)、丙二醛 (MDA)、总抗氧化能力 (T-AOC),分别采用酶法、黄嘌呤氧化酶法、硫代巴比妥酸法、 Fe^{3+} 还原法测定,所用试剂盒均购自南京建成生物工程研究所,测定方法均按照试剂盒说明进行。

1.4 计算公式

增重率 (weight gain rate, WGR, %) = $100 \times (\text{终末体质量} - \text{初始体质量}) / \text{初始体质量}$

特定生长率 (specific growth rate, SGR, %/d) = $100 \times [\text{Ln}(\text{终末均体质量}) - \text{Ln}(\text{初始均体质量})] / \text{饲养天数}$

摄食量 (feed intake, FI, g) = 投饲总量 / [(实验开始时鱼尾数 + 实验结束时鱼尾数) / 2]

饲料系数 (feed conversion ratio, FCR) = 摄食量 / (终末体质量 + 死亡鱼体质量 - 初始体质量)

蛋白质效率 (protein efficiency ration, PER) = (终末体质量 + 死亡鱼体质量 - 初始体质量) / 摄入蛋白量

肝体比 (hepatosomatic index, HSI, %) = $100 \times (\text{肝脏重量} / \text{鱼体质量})$

脏体比 (viserosomatic index, VSI, %) = $100 \times (\text{内脏重量} / \text{鱼体质量})$

肥满度 (condition factor, CF, g/cm³) = $100 \times \text{鱼体质量} / \text{鱼体长}^3$

存活率 (survival rate, SR, %) = $100 \times \text{实验结束时鱼尾数} / \text{实验开始时鱼尾数}$

1.5 数据处理及统计分析

实验数据采用平均值 ± 标准误 (mean ± SE) 表示。处理间差异用单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 当方差分析显示处理结果差异显著时,使用 Duncan 多重比较分析组间差异的显著性。数据处理用 SPSS 17.0 软件进行, $P < 0.05$ 为差异显著。

2 结果

2.1 不同种类 CBH 对罗非鱼生长和饲料利用的影响

饲料中添加不同种类的 CBH,对罗非鱼的生

长影响显著($P < 0.05$)。南方糙米和玉米淀粉组的终末体均重、增重率和特定生长率均最高,分别为 (40.40 ± 0.85) g 和 (40.53 ± 2.05) g, $1\,175.32\% \pm 26.93\%$ 和 $1\,178.25\% \pm 64.29\%$, $(4.24 \pm 0.04)\%/d$ 和 $(4.24 \pm 0.08)\%/d$,与木薯淀粉和次粉组相比无明显差异($P > 0.05$),马铃薯淀粉和甘薯淀粉组最低,分别为 (35.31 ± 0.66) g 和 (35.71 ± 0.41) g, $1\,014.38\% \pm 21.36\%$ 和 $1\,027.79\% \pm 13.24\%$, $(4.02 \pm 0.03)\%/d$ 和 $(4.04 \pm 0.02)\%/d$,明显低于南方糙米和玉米淀粉组($P < 0.05$),但与木薯淀粉和次粉组无显著性差异($P > 0.05$)(表 2)。摄食量木薯淀粉组最高为 (42.75 ± 0.46) g,与次粉和玉米淀粉组无显著差异($P > 0.05$),但明显高于南方糙米、马铃薯和甘薯淀粉组($P < 0.05$),马铃薯

淀粉组最低 $[(40.20 \pm 0.24)$ g],但与南方糙米组 $[(41.14 \pm 0.34)$ g]无明显差异($P > 0.05$)。肝体比指数南方糙米组最高,为 $1.90\% \pm 0.16\%$,明显高于次粉、马铃薯淀粉和甘薯淀粉组($P < 0.05$),与玉米淀粉和木薯淀粉组无明显差异($P > 0.05$)。脏体比和肥满度实验各处理组均无明显差异($P > 0.05$)。各处理组间成活率未呈现显著性差异($P > 0.05$)。各组饲料系数所呈现出的规律与生长效果基本相似,南方糙米最低,为 1.12 ± 0.03 ,明显低于次粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),但与玉米淀粉组相比无明显差异($P > 0.05$)。同样,蛋白质效率以南方糙米组最高,与玉米淀粉组无显著性差异($P > 0.05$),两者显著优于马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉组。

表 2 不同种类 CBH 对罗非鱼生长性能的影响
Tab.2 Effect of different types of carbohydrate on the growth performance of tilapia

组别 group	南方糙米 southern brown rice	次粉 wheat middling	玉米淀粉 corn starch	马铃薯淀粉 potato starch	甘薯淀粉 sweet potato starch	木薯淀粉 cassava starch
初始体均重/g IBW	3.17 ± 0.00	3.17 ± 0.00	3.17 ± 0.00	3.17 ± 0.00	3.17 ± 0.00	3.17 ± 0.00
终末体均重/g FBW	40.40 ± 0.85 ^a	37.64 ± 1.28 ^{ab}	40.53 ± 2.05 ^a	35.31 ± 0.66 ^b	35.71 ± 0.41 ^b	38.15 ± 1.66 ^{ab}
增重率/% WGR	1 175.32 ± 26.93 ^a	1 088.06 ± 40.39 ^{ab}	1 178.25 ± 64.29 ^a	1 014.38 ± 21.36 ^b	1 027.79 ± 13.24 ^b	1 105.65 ± 53.46 ^{ab}
特定生长率/(%/d) SGR	4.24 ± 0.04 ^a	4.12 ± 0.06 ^{ab}	4.24 ± 0.08 ^a	4.02 ± 0.03 ^b	4.04 ± 0.02 ^b	4.14 ± 0.08 ^{ab}
摄食量/g FI	41.14 ± 0.34 ^{bc}	41.64 ± 0.48 ^{ab}	41.84 ± 0.65 ^{ab}	40.20 ± 0.24 ^c	41.97 ± 0.38 ^{ab}	42.75 ± 0.46 ^a
肝体比/% HSI	1.90 ± 0.16 ^a	1.51 ± 0.09 ^{bc}	1.81 ± 0.09 ^{ab}	1.45 ± 0.06 ^c	1.51 ± 0.06 ^{bc}	1.73 ± 0.07 ^{abc}
脏体比/% VSI	9.87 ± 0.23	9.59 ± 0.31	10.01 ± 0.21	10.45 ± 0.39	9.77 ± 0.14	9.45 ± 0.14
肥满度/(g/cm ³) CF	3.38 ± 0.03	3.32 ± 0.02	3.36 ± 0.01	3.35 ± 0.06	3.36 ± 0.03	3.29 ± 0.03
饲料系数 FCR	1.12 ± 0.03 ^c	1.24 ± 0.03 ^{ab}	1.15 ± 0.03 ^{bc}	1.27 ± 0.01 ^a	1.31 ± 0.02 ^a	1.26 ± 0.04 ^a
蛋白质效率 PER	2.89 ± 0.08 ^a	2.61 ± 0.06 ^{bc}	2.79 ± 0.07 ^{ab}	2.53 ± 0.02 ^c	2.46 ± 0.03 ^c	2.56 ± 0.08 ^c
成活率/% SR	98.33 ± 1.67	95.83 ± 2.10	96.67 ± 2.85	96.67 ± 1.36	96.67 ± 1.93	92.50 ± 1.60

注:同行数据肩标相同字母或无字母表示差异不显著($P > 0.05$),不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表注释同
Notes:in the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ($P > 0.05$), different small letter superscripts mean significant difference($P < 0.05$). The same as the following

2.2 不同种类 CBH 对罗非鱼体组成的影响

甘薯淀粉组鱼体水分含量最高,为 $71.37\% \pm 1.02\%$,明显高于南方糙米、玉米淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),但与次粉、马铃薯淀粉和甘薯淀粉组无明显差异($P > 0.05$),木薯淀粉和南方糙米组最低,分别为 $68.42\% \pm 0.67\%$ 和 $68.45\% \pm 0.71\%$,与玉米淀粉和木薯淀粉组差异明显($P < 0.05$)。次粉组粗蛋白含量最高,为 $61.12\% \pm 0.72\%$,与甘薯淀粉组无明显差异($P > 0.05$),但明显高于南方糙米、玉米淀粉、马铃薯淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),其中,木薯淀粉组最低,为 $56.38\% \pm 0.58\%$ 。粗脂肪玉米淀粉($26.64\% \pm 0.73\%$)和南方糙米组($26.00\% \pm 1.10\%$)均明

显高于次粉、马铃薯淀粉、甘薯淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),次粉组最低,为 $18.88\% \pm 0.59\%$ 。马铃薯淀粉组灰分含量最高,为 $16.77\% \pm 0.33\%$,明显高于木薯淀粉、南方糙米和玉米淀粉组($P < 0.05$),但与次粉和甘薯淀粉组无明显差异($P > 0.05$),玉米淀粉组最低($12.27\% \pm 0.25\%$)($P < 0.05$)(表 3)。

除水分含量外,不同种类 CBH 对罗非鱼肌肉成分产生明显的影响($P < 0.05$)(表 4)。马铃薯淀粉组肌肉蛋白含量最高($92.22\% \pm 0.01\%$),明显高于其他种类 CBH($P < 0.05$),木薯淀粉组最低($89.63\% \pm 0.01\%$),但与南方糙米组无明显差异($P > 0.05$)。粗脂肪、灰分含量最高值分

别出现在木薯淀粉组(3.71% ± 0.01%)和马铃薯淀粉组(6.68% ± 0.02%)($P < 0.05$),而最低值则出现在马铃薯淀粉组(2.33% ± 0.01%)和玉米淀粉组(5.91% ± 0.01%)($P < 0.05$)。

表 3 不同种类 CBH 对罗非鱼体成分的影响(干重)
Tab.3 Effect of different types of carbohydrate on body compositions of tilapia(dry matter) %

组别 group	南方糙米 southern brown rice	次粉 wheat middling	玉米淀粉 corn starch	马铃薯淀粉 potato starch	甘薯淀粉 sweat potato starch	木薯淀粉 cassava starch
水分 moisture	68.45 ± 0.71 ^b	70.77 ± 0.71 ^a	68.56 ± 0.38 ^b	69.55 ± 0.46 ^{ab}	71.37 ± 1.02 ^a	68.42 ± 0.67 ^b
粗蛋白 crude protein	57.18 ± 0.47 ^b	61.12 ± 0.72 ^a	57.31 ± 0.64 ^b	58.40 ± 0.51 ^b	60.43 ± 0.90 ^a	56.38 ± 0.58 ^b
粗脂肪 crude lipid	26.00 ± 1.10 ^a	18.88 ± 0.59 ^c	26.64 ± 0.73 ^a	19.95 ± 0.66 ^c	21.04 ± 0.93 ^{bc}	22.81 ± 1.22 ^b
灰分 ash	13.38 ± 0.52 ^b	16.24 ± 0.28 ^a	12.27 ± 0.25 ^c	16.77 ± 0.33 ^a	15.70 ± 0.39 ^a	14.05 ± 0.32 ^b

表 4 不同种类 CBH 对罗非鱼肌肉成分(干重)、肌肉、肝脏糖原(湿重)的影响
Tab.4 Effect of different types of carbohydrate on muscle compositions(dry matter) ,
muscle and liver glycogen(wet matter) of tilapia

组别 group	南方糙米 southern brown rice	次粉 wheat middling	玉米淀粉 corn starch	马铃薯淀粉 potato starch	甘薯淀粉 sweat potato starch	木薯淀粉 cassava starch
水分/% moisture	79.52 ± 0.15	79.73 ± 0.04	79.38 ± 0.34	79.51 ± 0.17	79.32 ± 0.13	79.17 ± 0.12
粗蛋白/% crude protein	89.69 ± 0.01 ^c	91.35 ± 0.01 ^b	91.34 ± 0.01 ^b	92.22 ± 0.01 ^a	91.24 ± 0.01 ^b	89.63 ± 0.01 ^c
粗脂肪/% crude lipid	3.47 ± 0.01 ^b	2.75 ± 0.01 ^d	3.50 ± 0.01 ^b	2.33 ± 0.01 ^c	2.94 ± 0.01 ^c	3.71 ± 0.01 ^a
灰分/% ash	6.17 ± 0.01 ^c	6.34 ± 0.01 ^b	5.91 ± 0.01 ^c	6.68 ± 0.02 ^a	6.32 ± 0.01 ^b	6.04 ± 0.01 ^d
肌糖原/(mg/g) muscle glycogen	0.43 ± 0.03	0.45 ± 0.04	0.49 ± 0.02	0.50 ± 0.05	0.45 ± 0.03	0.49 ± 0.07
肝糖原/(mg/g) liver glycogen	33.23 ± 2.79 ^b	42.59 ± 3.52 ^{ab}	48.67 ± 3.45 ^a	40.48 ± 4.53 ^{ab}	35.37 ± 3.13 ^b	35.02 ± 2.35 ^b

不同种类 CBH 对肌糖原无明显影响($P > 0.05$),但对肝糖原的影响明显($P < 0.05$)(表 4)。玉米淀粉组肝糖原[(48.67 ± 3.45)mg/g]明显高于南方糙米、甘薯淀粉和木薯淀粉组($P < 0.05$),但与次粉和马铃薯淀粉组无明显差异($P > 0.05$),南方糙米组肝糖原含量最低[(33.23 ± 2.79)mg/g],并明显低于玉米淀粉组($P < 0.05$)。

2.3 不同种类 CBH 对罗非鱼血清生化指标的影响
CBH 种类明显影响血糖含量($P < 0.05$)。南方糙米组血糖含量与其他 CBH 无明显差异($P >$

0.05);木薯淀粉、玉米淀粉和次粉组间血糖无明显差异($P > 0.05$),但显著高于马铃薯淀粉和甘薯淀粉组($P < 0.05$)。CBH 种类对血清 TP 影响不明显($P > 0.05$),但对罗非鱼血清 CHO 和 TG 水平影响明显($P < 0.05$)。马铃薯淀粉和甘薯淀粉组血清 CHO 明显高于次粉、南方糙米和玉米淀粉组($P < 0.05$),而木薯淀粉组血清 TG 明显高于次粉和南方糙米组($P < 0.05$)。木薯淀粉组血清 TG 最高,马铃薯淀粉组最低。CBH 种类对血清 SOD、T-AOC 和 MDA 的影响不明显($P > 0.05$)(表 5)。

表 5 不同种类 CBH 对罗非鱼血清生化指标的影响
Tab.5 Effect of different types of carbohydrate on serum biochemical index of tilapia

组别 group	南方糙米 southern brown rice	次粉 wheat middling	玉米淀粉 corn starch	马铃薯淀粉 potato starch	甘薯淀粉 sweat potato starch	木薯淀粉 cassava starch
血糖/(mmol/L) serum glucose	6.00 ± 0.48 ^{ab}	6.77 ± 0.42 ^a	6.90 ± 0.54 ^a	5.01 ± 0.67 ^b	4.55 ± 0.36 ^b	7.30 ± 0.58 ^a
总蛋白/(g/L) TP	26.30 ± 1.57	24.85 ± 0.49	26.33 ± 0.60	26.80 ± 0.60	27.70 ± 1.16	27.55 ± 1.83
胆固醇 (mmol/L) CHO	2.30 ± 0.12 ^c	2.26 ± 0.04 ^c	2.42 ± 0.15 ^{bc}	2.82 ± 0.05 ^a	2.92 ± 0.06 ^a	2.64 ± 0.13 ^{ab}
甘油三酯 (mmol/L) TG	0.87 ± 0.01 ^{ab}	0.83 ± 0.01 ^{ab}	0.88 ± 0.03 ^{ab}	0.79 ± 0.02 ^c	0.88 ± 0.05 ^{ab}	0.96 ± 0.03 ^a
超氧化物歧化酶/(U/mL) SOD	163.31 ± 6.81	155.60 ± 4.94	156.45 ± 7.27	156.13 ± 6.33	166.40 ± 5.51	155.11 ± 7.44
总抗氧化能力/(U/mL) T-AOC	11.54 ± 0.19	11.72 ± 0.17	11.76 ± 0.15	12.16 ± 0.17	11.97 ± 0.05	11.55 ± 0.24
丙二醛/(nmol/mL) MDA	14.01 ± 0.38	15.57 ± 0.60	14.39 ± 0.46	14.66 ± 0.35	15.22 ± 0.96	14.47 ± 0.15

3 讨论

鱼类对 CBH 的利用效果受鱼和 CBH 种类的

影响^[5-8,18]。因此,对于某一种具体的养殖对象而言,必须通过实验研究碳水化合物利用效果才能确定其适宜的 CBH 种类。草食性和杂食性鱼类比肉

食性鱼类能耐受更高水平的 CBH^[13]。罗非鱼是典型的杂食性鱼类,已有研究表明杂食性鱼类对 CBH 的利用能力较强,一般为 30%~40%^[14-16]。本实验中,罗非鱼增重率均大于 100%,特定生长率均大于 4%/d,这说明 6 种 CBH 在饲料中添加 30% 未对罗非鱼生长产生不良影响,与以往研究^[14-16]认为的罗非鱼饲料中 CBH 适宜使用量为 30%~40% 基本一致,证明罗非鱼对实验中的 6 种不同碳水化合物都有较强的利用能力。

不同种类 CBH 对罗非鱼的生长性能具有明显影响。以往研究表明,不同种类 CBH 对罗非鱼体大小规格产生影响^[19],与此相似,本实验结果中,南方糙米和玉米淀粉组罗非鱼的终末体均重、增重率和特定生长率明显高于马铃薯淀粉和甘薯淀粉组。不同 CBH 种类对鱼体脂肪的影响最为明显,这与 Lin 等^[20]结果一致。次粉和玉米淀粉组中的体脂肪和肌肉脂肪均高于南方糙米组,田丽霞等^[6]在草鱼(*Ctenopharyngodon idella*)研究中发现,鱼体营养成分组成中,水稻淀粉组全鱼脂肪含量相对低于玉米淀粉和小麦淀粉组,本实验结果与此相似。本研究还发现南方糙米和玉米淀粉组蛋白质效率明显最高,而饲料系数明显最低。这说明罗非鱼对南方糙米和玉米淀粉的利用效果优于其他 4 种 CBH 种类。

肝体指数常被用于评价鱼类的营养状态。许多研究表明,肝体指数随饲料中可消化的 CBH 含量的增加而增大,这主要由于糖原在肝脏中积累所造成^[21-22]。此外,CBH 种类也会影响鱼体胰腺的组成^[18]。在本实验中,30% 南方糙米组中罗非鱼的肝体比明显比次粉、马铃薯和甘薯淀粉组要大,表明南方糙米可利用的 CBH 相比次粉、马铃薯和甘薯淀粉要高。但南方糙米组中的肝糖原含量最低,认为可能与南方糙米组 CBH 代谢后更多参与代谢供能,而非在肝脏中生成糖原积累有关。由此也进一步说明,CBH 种类会影响罗非鱼肝脏的功能,与乐贻荣等^[23]研究认为的可利用淀粉水平高会导致肝糖原积累的结果相反,这可能因 CBH 种类不同所致。本实验结果未发现 CBH 种类与成活率之间的相关性,提示实验所用 6 种 CBH 在饲料中添加 30% 的含量不会影响罗非鱼的正常生长。

血糖和糖原水平是反映动物糖代谢和全身组织细胞功能状态以及内分泌机能的一个重要指标,同时还可以反映饲料和营养状态是否适当,肝脏机

能是否良好^[24-25]。CBH 被鱼体摄食后,饲料中的大分子 CBH 需要降解成葡萄糖才能进入循环系统。葡萄糖经肠道吸收后进入肝脏,一部分葡萄糖通过肝脏进入体内循环,引起摄食后的血糖上升,一部分由肝细胞摄取合成肝糖原贮存在肝脏中,其可在内分泌调节下分解为葡萄糖,进入循环系统以维持血糖稳定,另一部分则被肝外组织摄取形成肌糖原、被氧化供能或转化为脂肪等。本实验结果中,CBH 种类对肌糖原作用不明显,但明显影响肝糖原和血糖水平,这可能与罗非鱼对不同种类 CBH 的吸收和转化能力有关,但不同种类 CBH 的吸收利用和转化的机制有待深入探讨。

鱼体免疫抗氧化能力的强弱与健康程度存在密切关系,免疫抗氧化能力降低通常可导致各种疾病的发生。本实验结果显示,不同 CBH 种类对血清免疫抗氧化指标 SOD、T-AOC 和 MDA 影响不明显(表 5),表明 6 种 CBH 在饲料中添加 30%,不会影响罗非鱼的健康状况。

4 结论

本实验条件下,6 种 CBH 对罗非鱼的生长性能、饲料利用、体组成和部分血清生化指标具有明显的影响。以特定生长率为指标,表明罗非鱼对南方糙米和玉米淀粉的利用效果优于其他 4 种实验 CBH。

参考文献:

- [1] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish[J]. Aquaculture, 1994, 124(1-4): 67-80.
- [2] Krogdahl Å, Hemre G I, Mommsen T P. Carbohydrates in fish nutrition: Digestion and absorption in postlarval stages [J]. Aquaculture Nutrition, 2005, 11(2): 103-122.
- [3] Shiau S Y, Peng C Y. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Aquaculture, 1993, 117(3-4): 327-334.
- [4] El-Sayed A F M, Garling Jr D L. Carbohydrate-to-lipid ratios in diets for *Tilapia zillii* fingerlings[J]. Aquaculture, 1988, 73(1-4): 157-163.
- [5] Cai C F, Chen L Q, Ye Y T, et al. Effects of kind and level of dietary carbohydrate on growth performance and physiological of juvenile black carp (*Mylopharyngodon piceus* Richardson) [J]. Chinese Journal of Animal Nutrition, 2009, 21(2): 212-218. [蔡春芳,陈立侨,叶元土,等.日粮糖种类和

- 水平对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.]
- [6] Tian L X, Liu Y J, Feng J, *et al.* Effect of different types of starch on growth, the deposition of mesenteric fat and body composition of *Ctenopharyngodon idellus* [J]. Journal of Fisheries of China, 2002, 26(3): 247 - 251. [田丽霞, 刘永坚, 冯健, 等. 不同种类淀粉对草鱼生长、肠系膜脂肪沉积和鱼体组成的影响. 水产学报, 2002, 26(3): 247 - 251.]
- [7] Buhler D R, Halver J E. Nutrition of salmonoid fishes IX. Carbohydrate requirements of chinook salmon [J]. The Journal of Nutrition, 1961, 74(3): 307 - 318.
- [8] Furuichi M, Yone Y. Availability of carbohydrate in nutrition of carp and red sea bream [J]. Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries, 1982, 48(7): 945 - 948.
- [9] Cai C F, Song X H, Wang Y L. Effects of various carbohydrate sources and chromium on the growth and glucose tolerance by *Carassius auratus gibelio* [J]. Journal of Fisheries of China, 1999, 23(4): 432 - 434. [蔡春芳, 宋学宏, 王永玲. 不同糖源及铬对异育银鲫生长和糖耐量的影响. 水产学报, 1999, 23(4): 432 - 434.]
- [10] Wu B, Peng Q, Chen B, *et al.* The effect of different carbohydrate sources in diet on aquaculture performance and mechanism in Gift Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) juvenile [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2013, 44(4): 1050 - 1055. [吴彬, 彭淇, 陈斌, 等. 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. 海洋与湖沼, 2013, 44(4): 1050 - 1055.]
- [11] Stone D A J. Dietary carbohydrate utilization by fish [J]. Reviews in Fisheries Science, 2003, 11(4): 337 - 369.
- [12] Tuang 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.
- [13] Hemre G I, Mommsen T P, Kroghdahl Å. Carbohydrates in fish nutrition; Effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. Aquaculture Nutrition, 2002, 8(3): 175 - 194.
- [14] Shiau S Y. Tilapia, *Oreochromis* spp. nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture [M] // Webster C D, Lim C E. Nutrient requirements and feeding of finfish for aquaculture. New York: Cabi Publishing, 2002: 273 - 292.
- [15] Wu F, Wen H, Jiang M, *et al.* Effects of different dietary carbohydrate levels on growth performance and blood biochemical parameters of juvenile GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Northwest A&F University: Natural Sciences, 2012, 40(12): 8 - 14. [吴凡, 文华, 蒋明, 等. 饲料碳水化合物水平对吉富罗非鱼幼鱼生长性能和血液主要生化指标的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2012, 40(12): 8 - 14.]
- [16] Jiang L H, Wu H Y, Huang K, *et al.* Effects of dietary carbohydrate levels on growth performance and liver metabolism functions of juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus*) [J]. Journal of Fisheries of China, 2013, 37(2): 245 - 255. [蒋利和, 吴宏玉, 黄凯, 等. 饲料糖水平对吉富罗非鱼幼鱼生长和肝代谢功能的影响. 水产学报, 2013, 37(2): 245 - 255.]
- [17] Yu S K, Olsen C E, Marcussen J. Methods for assay of 1, 5-anhydro-d-fructose and α -1, 4-glucanlyase [J]. Carbohydrate Research, 1998, 305(1): 73 - 82.
- [18] Cai C F, Wang Y L, Chen L Q, *et al.* Effect of level and source of dietary carbohydrate on growth and body composition of *Mylopharyngodon piceus* and *Carassius auratus* [J]. Journal of Fishery Science of China, 2006, 13(3): 452 - 459. [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, 2006, 13(3): 452 - 459.]
- [19] Pen-Hsing T, Shiau S Y. Carbohydrate utilization versus body size in tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Comparative Biochemistry and Physiology-Part A: Physiology, 1993, 104(3): 585 - 588.
- [20] Lin J H, Shiau S Y. Hepatic enzyme adaptation to different dietary carbohydrates in juvenile tilapia *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1995, 14(2): 165 - 170.
- [21] Rawles S D, Gatlin III D M. Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. Aquaculture, 1998, 161(1-4): 201 - 212.
- [22] Kaushik S J, de Oliva Teles A. Effect of digestible energy on nitrogen and energy balance in rainbow trout [J]. Aquaculture, 1985, 50(1-2): 89 - 101.
- [23] Yue Y R, Yang H, Xu Q Q, *et al.* Effects of dietary protein level on growth performance, immunity

- function and disease resistance for hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 2013, 44 (2): 493–498. [乐贻荣,杨弘,徐起群,等. 饲料蛋白水平对奥尼罗非鱼 (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) 生长,免疫功能以及抗病力的影响. 海洋与湖沼,2013,44(2):493–498.]
- [24] Zhao W P, Liu Y J, Pan Q, *et al.* Changes of blood sugar and liver glycogen levels after feeding in grass carp [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2002, 41(3): 64–67. [赵万鹏,刘永坚,潘庆,等. 草鱼摄食后血糖和肝糖原质量分数的变化. 中山大学学报:自然科学版,2002,41(3):64–67.]
- [25] Peng S M, Shi Z H, Li J, *et al.* Effect of transportation stress on serum cortisol, glucose, tissue glycogen and lactate of juvenile silver pomfret (*Pampus argenteus*) [J]. *Journal of Fisheries of China*, 2011, 35 (6): 831–837. [彭士明,施兆鸿,李杰,等. 运输胁迫对银鲷血清皮质醇、血糖、组织中糖元及乳酸含量的影响. 水产学报,2011,35(6):831–837.]

Effects of different types of carbohydrate on growth, body composition and serum biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*)

SUN Yuping^{1,2,3}, WANG Guoxia^{1,2,3}, HU Junru^{1,2,3}, CAO Junming^{1,2,3},
CHEN Bing^{1,2,3}, CHEN Xiaoying^{1,2,3}, WANG Suitao^{1,2,3}, HUANG Yanhua^{1,2,3*}

(1. Institute of Animal Science, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Guangzhou Public Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China;

3. Guangzhou Key Laboratory of Animal Breeding and Nutrition, Guangzhou 510640, China)

Abstract: The experiment was conducted to determine the effects of different dietary carbohydrate (CBH) on the growth performance, body composition and serum biochemical indices of GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*). Total 720 fish (initial weight: 3.03 ± 0.3 g) were randomly assigned to 24 tanks (30 fish/tank) and fed with six experimental diets, which contained 30% different types of carbohydrate (southern brown rice, wheat middling, corn starch, potato starch, sweet potato starch and cassava starch) for 60 days. Daily feeding rate was 4%–6% wet weight. The result showed that the final body weight (FBW), the weight gain (WG), the specific growth rate (SGR) and the protein efficiency ratio in fish of southern brown rice group and corn starch group were significantly higher than those of the other 4 groups, but the feed conversion ratio was on the contrary ($P < 0.05$). The differences in body and muscle composition were significantly affected by the types of dietary carbohydrate ($P < 0.05$). Hepatosomatic index (HSI) is the highest in brown rice and corn starch groups ($P < 0.05$). However, the viserosomatic index, condition factor and survival rate were not observed to have difference in all of the carbohydrate groups ($P > 0.05$). Hepatic glycogen of corn starch group was obviously higher than that of potato starch, sweet potato starch and cassava starch groups ($P < 0.05$), while serum glucose of fish in potato starch and sweet potato starch group is significantly lower than the cassava starch, corn starch, wheat middling, and brown rice groups ($P < 0.05$). CHO and TG showed significant different among the carbohydrate groups ($P < 0.05$), but other serum biochemical indices, mainly relation to TP, SOD, T-AOC and MDA examined in serum were on the contrary ($P > 0.05$). The results indicated that GIFT tilapia could tolerate the six types of dietary containing 30% carbohydrate but they did not impair the growth performance. It was concluded that the different carbohydrate sources in diet would produce significant differences in growth performance of GIFT tilapia. Based on the growth performance (SGR), it is suggested that the optimal dietary carbohydrate sources for GIFT tilapia were brown rice and corn starch in this study.

Key words: GIFT tilapia (*Oreochromis niloticus*); carbohydrate; growth performance; body composition; serum biochemical indices

Corresponding author: HUANG Yanhua. E-mail: huangyh111@126.com