

饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长、 体成分和血清生化指标的影响

吴凡^{1,2}, 文华^{1,2}, 蒋明^{1,2}, 刘伟^{1,2}, 仲维玮³, 田娟^{1,2}

(1 中国水产科学研究院 长江水产研究所, 农业部淡水生物多样性保护与利用重点开放实验室, 湖北 武汉 430223;
2 中国水产科学研究院 淡水渔业研究中心, 江苏 无锡 214081; 3 华中农业大学 水产学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:以饲料脂肪水平为7%, 碳水化合物水平分别为20%、27%、34%、41%、48% (相应的蛋白质水平为48%、41%、34%、27%、20%)的5组纯化饲料, 投喂初始体质量为(2.79 ± 0.28) g的奥尼罗非鱼 *Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂ 幼鱼10周。结果表明:随着饲料碳水化合物水平的升高, 奥尼罗非鱼幼鱼的增质量率和特定生长率先上升后下降, 在41%组达到最高, 并显著高于20%、27%和48%组 ($P < 0.05$), 饲料系数以34%组最低, 显著低于20%和48%组 ($P < 0.05$), 肝体比、脏体比呈逐渐升高趋势, 41%和48%组显著高于前3组 ($P < 0.05$); 全鱼和肝脏粗蛋白含量随着饲料碳水化合物水平的升高显著下降 ($P < 0.05$), 全鱼粗脂肪含量则显著升高; 幼鱼血清中的胆固醇、三酰甘油、低密度脂蛋白胆固醇含量随着饲料碳水化合物水平升高而上升, 高密度脂蛋白胆固醇含量则呈下降趋势; 血清谷草转氨酶和谷丙转氨酶活性先下降后上升, 48%组最高, 显著高于其余4组 ($P < 0.05$)。本研究表明:奥尼罗非鱼幼鱼饲料中碳水化合物对蛋白质有节约作用, 碳水化合物水平以34%~41%为宜, 添加水平过高(48%)会显著增加血清中胆固醇和三酰甘油含量, 并对鱼体肝脏功能有损害。

关键词:奥尼罗非鱼; 碳水化合物; 生长; 血清生化指标

中图分类号:S963

文献标志码:A

文章编号:1001-411X(2011)04-0091-05

Effects of Different Dietary Carbohydrate Levels on Growth Performance, Body Composition and Serum Biochemical Indices of Juvenile Hybrid Tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂)

WU Fan^{1,2}, WEN Hua^{1,2}, JIANG Ming^{1,2}, LIU Wei^{1,2}, ZHONG Wei-wei³, TIAN Juan^{1,2}

(1 Key Lab of Freshwater Biodiversity Conservation and Utilization, Ministry of Agriculture, Yangtze River Fisheries

Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuhan 430223, China;

2 Freshwater Fishery Research Center, Chinese Academy of Fishery Sciences, Wuxi 214081, China;

3 Fishery College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Total 450 juvenile hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂) [av. Wt. (2.79 ± 0.28) g] were randomly distributed into 5 groups for 10 weeks. Five iso-lipidic (7% crude lipid) diets were formulated containing five carbohydrate (CBH) levels: 20%, 27%, 34%, 41% and 48%, whereas protein levels were 48%, 41%, 34%, 27% and 20% respectively. The mass gain rates (MGR) and specific growth rates (SGR) of 41% group were significantly higher than those of 20%, 27% and 48% group ($P < 0.05$). The feed conversion rates (FCR) of 34% group were the lowest, significantly lower than those of 20% and 48% group ($P < 0.05$). The hepatopancreas somatic index (HSI) and viscerosomatic index (VSI) of 41% and 48% group were significantly higher than the other three groups ($P < 0.05$). Crude protein content in whole-body and liver of fish decreased with the increasing dietary CBH levels,

收稿日期:2010-12-27

作者简介:吴凡(1981—),女,助理研究员,硕士;通信作者:文华(1965—),男,研究员,博士,E-mail:wenhua.lb@163.com

基金项目:公益性行业科研专项资助项目(nyhyzx07-044);国家罗非鱼产业技术体系建设专项资金(nycytx-48-9);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目

while body and liver lipid showed converse trend. The cholesterol (CHO), triglyceride (TG) and low density lipoprotein cholesterol (LDL-C) reached to the peak with dietary CBH level at 48%, while high density lipoprotein cholesterol (HDL-C) showed converse trend. The highest activities of aspartate aminotransferase (AST) and alanine aminotransferase (ALT) were observed in 48% group. The results indicated that CBH could spare some protein in the dietary of juvenile hybrid tilapia; the optimal dietary CBH level was 34% ~ 41%; the high dietary CBH level (48%) significantly improved the CHO and TG and damaged liver function of fish.

Key words: hybrid tilapia (*Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂); carbohydrate; growth; serum biochemical indices

碳水化合物是鱼类饲料中重要且廉价的能源物质^[1]。研究发现,当饲料中碳水化合物不足时,其他营养物质如蛋白质或脂肪将被分解作为能量;在饲料中添加适量的碳水化合物可以使更多的蛋白质用于生长,减少鱼类对蛋白质的消耗量,减轻氮排泄对养殖水体的污染。但碳水化合物的水平过高会导致鱼类肝脏的损害,形成脂肪肝^[2]。因此有必要研究鱼类饲料中适宜的碳水化合物水平,以保证良好的生长性能和合理的饲料成本。奥尼罗非鱼 *Oreochromis niloticus* ♀ × *O. aureus* ♂ 是尼罗罗非鱼 *O. niloticus* 与奥利亚罗非鱼 *O. aureus* 经过杂交而产生的杂种一代,俗称全雄罗非鱼,具有个体大、生长快、起捕率高和产量高的特点,目前已成为我国南方淡水养殖的主养品种。关于其碳水化合物需要量的研究目前已有的一些报道^[3-4],但饲料大多设计为等蛋白等脂肪水平,本试验用等量可消化糖代替等量蛋白质,研究不同碳水化合物水平对其生长、体成分和血清生化指标的影响,以考察碳水化合物对蛋白质的节约作用。旨在为奥尼罗非鱼饲料中碳水化合物的合理使用提供理论依据,在合理的范围内尽量减少蛋白质的使用量,对降低饲料成本,减少氨氮的排泄,减轻水体污染具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验用鱼和饲养条件

试验用奥尼罗非鱼购自国家级广西南宁罗非鱼良种场,试验鱼运回消毒后暂养2周,暂养期间投喂商品饲料。正式试验开始前空腹24 h,并将鱼随机分为5组,每组3个重复,每个重复30尾鱼,平均体质量(2.79 ± 0.28) g,饲养于15个直径1 m,水深35 cm的玻璃纤维养殖缸中,水源为曝气后的井水与湖水的混和水,保持微流水,供水量为0.6 L/min。养殖试验进行10周,每天投喂3次(9:00,13:00和16:00),饱食投喂,试验期间每2周称体质量1次,并及时调整

投喂量。投喂试验期间每天测量水温,并记录试验鱼死亡情况。试验期间连续通气,溶氧不低于5.0 mg/L,水温(27.1 ± 2.6) °C。

1.2 试验饲料

以酪蛋白和明胶作为蛋白源,鱼油和玉米油(质量比1:1)作为脂肪源,用糊精提供碳水化合物,设计5组等脂肪水平的饲料,基本组成见表1。1~5组饲料碳水化合物水平依次为20%、27%、34%、41%、48%,对应的蛋白质水平则分别为48%、41%、34%、27%、20%。脂肪水平为7%左右。加工成2 mm粒径的颗粒饲料储存于-20 °C低温冰箱中备用。

1.3 取样与测定

养殖试验结束后,停食24 h后测定每缸鱼的总体质量,计算增质量率、特定生长率及饲料系数;统计各组鱼的死亡情况,计算成活率;每缸随机取3尾鱼称取体质量,解剖,称取肝脏质量和内脏质量,计算肝体比和脏体比,计算公式如下:

$$\text{增质量率} = (\text{末均体质量} - \text{初均体质量}) / \text{初均体质量} \times 100\%$$

$$\text{特定生长率} = [\ln(\text{末均体质量}) - \ln(\text{初均体质量})] / \text{饲养时间} \times 100\%$$

$$\text{饲料系数} = \text{每个缸投喂的饲料质量} / [\text{试验结束后每缸鱼尾数} \times (\text{末均体质量} - \text{初均体质量})]$$

$$\text{肝体比} = \text{肝脏质量} / \text{体质量} \times 100\%$$

$$\text{脏体比} = \text{内脏质量} / \text{体质量} \times 100\%$$

$$\text{成活率} = \text{终尾数} / \text{初尾数} \times 100\%$$

保存肝脏样品,用于测定其营养成分。每缸取5尾鱼用于测定全鱼的营养成分。每缸另取5尾鱼采用尾静脉抽血,制备血清,保存于-40 °C冰箱,用于生化指标的分析。饲料、肝脏和全鱼样品的水分采用105 °C恒温干燥失重法测定;粗脂肪采用索氏抽提法测定;粗蛋白采用凯氏定氮法测定;灰分采用马福炉灰化法测定。饲料中碳水化合物采用3,5-二硝基水杨酸法测定。采用全自动生化分析仪(日本希森美康CHEMIX-180)测定血清生化指标。

表 1 试验饲料的原料组成及基本营养成分

Tab.1 Formulation and proximate analysis of experimental diets

饲料碳水 化合物 水平/%	配方成分及比例/%									营养成分及 w/%			
	酪蛋白	明胶	糊精	鱼油	玉米油	氯化 胆碱	微晶 纤维素	维生素 预混料 ¹⁾	无机盐 预混料 ¹⁾	水分	粗蛋白	粗脂肪	可消化糖
20	49.20	10.00	26.70	3.50	3.50	0.25	1.85	1.00	4.00	11.45	48.09	7.35	20.43
27	40.40	10.00	34.50	3.50	3.50	0.25	2.85	1.00	4.00	11.10	40.95	7.19	26.55
34	31.60	10.00	42.30	3.50	3.50	0.25	3.85	1.00	4.00	11.13	34.18	7.15	33.78
41	22.80	10.00	50.10	3.50	3.50	0.25	4.85	1.00	4.00	11.28	27.21	7.21	40.56
48	14.00	10.00	57.90	3.50	3.50	0.25	5.85	1.00	4.00	11.24	20.37	7.12	48.02

1) 根据文献[5]配制维生素预混料和无机盐预混料。

1.4 数据统计

试验结果用平均数 ± 标准差表示, Duncan's 多重比较法分析试验结果的差异显著性, 所有统计分析均采用 STATISTICA 6.0 软件, 显著水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和饲料利用的影响

饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长和

饲料利用的影响见表 2。经过 10 周的养殖试验, 5 组奥尼罗非鱼幼鱼的增质量率在 911.55% ~ 1 207.71% 之间, 34% 和 41% 组的增质量率和特定生长率显著高于其他各组 ($P < 0.05$), 这两组间无显著差异 ($P > 0.05$)。随饲料碳水化合物水平升高, 饲料系数呈先降后升的趋势, 以 34% 组最低, 肝体比和脏体比呈上升趋势, 41% 和 48% 组显著高于前 3 组 ($P < 0.05$)。成活率各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼生长和饲料利用的影响¹⁾

Tab.2 Effect of dietary carbohydrate levels on growth and feed utilization of juvenile hybrid tilapia

饲料碳水 化合物水平/%	初均体质量/g	末均体质量/g	增质量率/%	特定生长率/%	饲料系数	肝体比/%	脏体比/%	成活率/%
20	2.97 ± 0.48a	29.91 ± 3.88a	911.55 ± 36.62a	3.31 ± 0.05a	1.67 ± 0.08b	2.39 ± 0.09a	9.00 ± 0.42a	96.67 ± 3.33a
27	2.58 ± 0.10a	30.32 ± 2.02a	1 075.60 ± 39.65b	3.52 ± 0.05b	1.49 ± 0.04a	2.22 ± 0.18a	9.23 ± 0.48a	98.89 ± 1.92a
34	2.71 ± 0.35a	34.29 ± 3.43ab	1 168.11 ± 40.80c	3.63 ± 0.05bc	1.43 ± 0.05a	2.46 ± 0.19a	9.17 ± 0.61a	97.78 ± 3.85a
41	2.87 ± 0.13a	37.51 ± 2.80b	1 207.71 ± 56.31c	3.67 ± 0.06c	1.50 ± 0.09a	2.88 ± 0.27b	10.61 ± 0.34b	98.89 ± 1.92a
48	2.82 ± 0.17a	28.73 ± 1.72a	918.28 ± 30.05a	3.31 ± 0.04a	2.01 ± 0.07c	3.69 ± 0.24c	11.40 ± 0.52b	98.89 ± 1.92a

1) 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列数据后凡有一个相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

2.2 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼体成分的影响

各组奥尼罗非鱼幼鱼体成分见表 3。随着饲料中碳水化合物水平的升高, 全鱼水分含量呈下降趋势, 粗蛋白含量显著下降, 粗脂肪含量显著上升, 41% 和 48% 组的全鱼粗蛋白含量显著低于其他 3 组, 全鱼

粗脂肪含量显著高于其他 3 组 ($P < 0.05$)。肝脏水分含量各组间无显著差异 ($P > 0.05$), 肝脏粗蛋白含量随着碳水化合物水平升高而降低, 41% 和 48% 组显著低于 20% 和 27% 组 ($P < 0.05$), 肝脏粗脂肪含量各组间无显著差异 ($P > 0.05$)。全鱼和肝脏的粗灰分含量各组均无显著差异 ($P > 0.05$)。

表 3 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼体成分的影响¹⁾

Tab.3 Effect of dietary carbohydrate levels on carcass composition of juvenile hybrid tilapia

饲料碳水 化合物水平/%	$w_{\text{全鱼}}/\%$				$w_{\text{肝脏}}/\%$			
	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分	水分	粗蛋白	粗脂肪	粗灰分
20	69.96 ± 1.24c	17.17 ± 0.73b	9.20 ± 0.76a	3.48 ± 0.12a	65.09 ± 0.83a	11.54 ± 0.47c	10.84 ± 0.44a	1.17 ± 0.03a
27	68.64 ± 0.15b	16.96 ± 0.27b	10.38 ± 0.16b	3.47 ± 0.10a	64.06 ± 1.40a	11.34 ± 0.26c	11.35 ± 0.93a	1.18 ± 0.03a
34	68.11 ± 0.46ab	17.00 ± 0.39b	10.60 ± 0.72b	3.42 ± 0.23a	64.96 ± 1.30a	10.74 ± 0.60bc	10.69 ± 0.98a	1.21 ± 0.03a
41	67.15 ± 0.44a	15.90 ± 0.41a	11.99 ± 0.20c	3.25 ± 0.13a	65.70 ± 2.06a	10.40 ± 0.68b	11.70 ± 0.46a	1.20 ± 0.07a
48	67.32 ± 0.40a	15.52 ± 0.41a	11.62 ± 0.38c	3.50 ± 0.15a	63.21 ± 0.40a	8.39 ± 0.31a	11.74 ± 1.09a	1.17 ± 0.01a

1) 表中数据为平均值 ± 标准差, 同列数据后凡有一个相同小写字母者表示差异不显著 ($P > 0.05$, Duncan's 法)。

2.3 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

由表 4 可知, 当饲料碳水化合物水平从 20% 升高到 48% 时, 血清中胆固醇 (CHO), 三酰甘油 (TG)

和低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 含量出现显著升高, 48% 组最高, 显著高于其余 4 组 ($P < 0.05$)。高密度脂蛋白胆固醇 (HDL-C) 含量变化趋势正好相反, 随着碳水化合物水平升高而降低, 48% 组显著低于

其余4组($P < 0.05$).

血清中谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT)的活性随着饲料中碳水化合物水平的升高先降低后升高,

当碳水化合物水平从20%上升到41%时,AST和ALT活性出现显著下降($P < 0.05$),当碳水化合物水平达到48%时,AST和ALT活性显著高于前4组($P < 0.05$).

表4 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响¹⁾

Tab.4 Effect of dietary carbohydrate levels on serum biochemical indices of juvenile hybrid tilapia

饲料碳水 化合物水平/%	c/(mmol·L ⁻¹)				酶活性/(U·L ⁻¹)	
	CHO	TG	HDL-C	LDL-C	AST	ALT
20	4.59 ± 0.25a	3.39 ± 0.38a	1.58 ± 0.21d	0.52 ± 0.05a	638.67 ± 27.30c	72.00 ± 3.61b
27	4.72 ± 0.13a	3.55 ± 0.46a	1.78 ± 0.16d	0.73 ± 0.11ab	623.33 ± 21.08c	61.33 ± 3.79a
34	6.14 ± 0.16b	3.37 ± 0.48a	1.24 ± 0.11bc	0.79 ± 0.05b	536.33 ± 36.35b	51.00 ± 5.29a
41	5.69 ± 0.26b	5.83 ± 0.23b	1.12 ± 0.12b	1.08 ± 0.15c	443.67 ± 26.39a	52.67 ± 5.69a
48	9.56 ± 0.34c	10.22 ± 1.07c	0.78 ± 0.11a	1.61 ± 0.19d	844.00 ± 38.74d	92.67 ± 8.62c

1)表中数据为平均值±标准差,同列数据后凡有一个相同小写字母者表示差异不显著($P > 0.05$, Duncan's法).

3 讨论

3.1 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼生长的影响

Shiau等^[6]研究认为奥尼罗非鱼可以有效地利用淀粉和糊精.本试验以糊精作为碳水化合物的主要来源,当其水平从20%升高到48%时,奥尼罗非鱼的增质量率和特定生长率均为先上升后下降,说明饲料碳水化合物水平可以显著影响奥尼罗非鱼幼鱼的生长.第1组饲料中的粗蛋白水平最高但幼鱼的生长性能并不是最佳的,说明饲料中的粗蛋白添加水平并非越高越好,蛋白质和碳水化合物比例应该适宜.而第5组的生长出现显著下降,可能有两方面的原因:一是第5组饲料中蛋白质水平偏低(20%),不能满足罗非鱼的生长需要,许多研究表明罗非鱼幼鱼对蛋白质的需要量在30%~40%之间^[7-8];二是当饲料中碳水化合物水平过高时,抑制了罗非鱼的生长.Furuichi等^[9]对鲤*Cyprinus carpio*的研究也有类似结果,鲤分别摄食含10%、20%和30%糊精的饲料时,生长未出现显著性差异,而摄食含40%糊精时生长出现下降.

在本试验中,饲料碳水化合物水平为34%和41%的两组奥尼罗非鱼幼鱼生长最好.这与Teshima等^[10]报道的尼罗罗非鱼饲料中碳水化合物适宜水平为30%~40%基本一致.但与强俊等^[4]得出的奥尼罗非鱼的碳水化合物的最适水平为9.7%的结果有较大出入,这主要是因为强俊等^[4]在试验中采用的是等蛋白等脂肪的设计,碳水化合物水平为9.7%是在粗蛋白水平为45%时得出的结论,因此要低于本试验的结果.当饲料碳水化合物水平从34%上升到41%时,蛋白质水平由34%下降到27%,幼鱼的生长并未出现显著差异,说明当饲料中蛋白质水平降低时碳水化合物可以替代部分蛋白质,起到节约蛋

白质的作用.

肝指数常被用于评价鱼类的营养状态.许多研究表明随着饲料碳水化合物水平的增加,肝指数随之增加^[11-12],本试验出现了类似的结果,41%和48%组的肝体比和脏体比显著高于其余3组,说明饲料碳水化合物水平过高有可能造成肝脏的肿大.

3.2 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼体成分的影响

不少研究表明饲料碳水化合物水平对鱼体的水分、粗蛋白、粗灰分含量均无显著影响,而对粗脂肪含量产生显著影响^[13-14].本研究中,随着饲料碳水化合物水平的增加(饲料中相应的蛋白质水平逐渐减少),全鱼和肝脏的粗蛋白含量均显著降低,说明饲料蛋白质水平与鱼体粗蛋白含量存在正相关.这与Hatlen等^[15]对大西洋庸鲈*Hippoglossus hippoglossus*的研究结果类似.本研究结果显示全鱼粗脂肪含量随着碳水化合物水平升高而显著升高,肝脏粗脂肪含量有升高趋势但未出现显著差异,这与对鲤和尼罗罗非鱼的研究结果一致^[16-17],说明饲料碳水化合物在一定程度上可以转化为身体脂肪.

3.3 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼幼鱼血清生化指标的影响

碳水化合物代谢与脂类代谢之间存在着密切的联系.在糖代谢的过程中,糖酵解产物丙酮酸在有氧条件下先氧化脱羧生成乙酰辅酶A,进而合成CHO和TG^[18].本研究中,随着饲料中碳水化合物水平的升高,幼鱼血清中TG、CHO、LDL-C含量均显著上升,这与对翘嘴红鲌*Erythroculter ilishaeformis*^[19]和牙鲆*Paralichthys olivaceus*^[20]的研究结果相似,说明饲料碳水化合物水平的升高造成了糖代谢增加,脂肪合成速度加快,因此血脂显著上升.本试验中血清HDL-C含量与TG、CHO、LDL-C变化趋势相反,随着饲料碳水化合物水平的升高而降低.由于血液中多

余的血脂是靠高密度脂蛋白(HDL)来代谢的,HDL可将血液中多余的CHO转运到肝脏,处理分解成胆酸盐,通过胆道排泄出去,血清HDL-C含量降低说明HDL运送回肝脏代谢的CHO减少,不利于血液中CHO的清除。

当饲料碳水化合物水平从20%上升到41%时,幼鱼血清AST和ALT活性显著下降,这可能主要是受到了饲料中蛋白质水平的影响。AST和ALT主要参与氨基酸的分解和合成,当饲料中的蛋白质水平降低时,氨基酸代谢强度减小从而造成了转氨酶活性的降低^[7]。但当碳水化合物水平继续上升为48%时,血清AST和ALT活性并未降低反而显著上升,这说明幼鱼的肝功能可能受到了损害。AST主要分布在肝细胞浆和肝细胞的线粒体中,ALT则主要分布在肝细胞浆中,当肝脏组织受到损伤时,肝细胞内的AST和ALT会释入血液,引起血清酶活力的升高。这和Hemre等^[21]的研究结果类似,说明摄食过高水平的碳水化合物容易造成鱼类代谢负荷,损害其肝脏功能。

参考文献:

- [1] KROGDAHL A, HEMRE G I, MOMMSEN T P. Carbohydrates in fish nutrition; digestion and absorption in postlarval stages [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2005, 11 (2) : 103-122.
- [2] 张海涛, 王安利, 李国立, 等. 营养素对鱼类脂肪肝病变的影响 [J]. *海洋通报*, 2004, 23 (1) : 82-89.
- [3] WANG Yong, LIU Yong-jian, TIAN Li-xia, et al. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture Research*, 2005, 36 (14) : 1408-1413.
- [4] 强俊, 王辉, 彭俊, 等. 饲料碳水化合物水平对奥尼罗非鱼仔稚鱼生长的影响 [J]. *饲料工业*, 2009, 30 (14) : 32-35.
- [5] SHIAU S Y, SU Shu-lin. Juvenile tilapia (*Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus*) requires dietary myo-inositol for maximal growth [J]. *Aquaculture*, 2005, 243 : 273-277.
- [6] SHIAU S Y, PENG Chun-yang. Protein-sparing effect by carbohydrates in diets for tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus* [J]. *Aquaculture*, 1993, 117 : 327-334.
- [7] MOHSEN A T, MOHAMMAD H A, YASSIR A E, et al. Effect of dietary protein level, initial body weight, and their interaction on the growth, feed utilization, and physiological alterations of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 2010, 298 : 267-274.
- [8] HAFEDH Y S. Effects of dietary protein on growth and body composition of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L. [J]. *Aquaculture Research*, 1999, 30 (5) : 385-393.
- [9] FURUICHI M, YONE Y. Effect of dietary dextrin levels on growth and feed efficiency, the chemical composition of liver and dorsal muscle, and the absorption of dietary protein and dextrin in fishes [J]. *Bull Jpn Soc Sci Fish*, 1980, 46 (2) : 225-229.
- [10] TESHIMA S, KANAZAWA A, UCHIYAMA Y. Effect of dietary protein, lipid, and digestible carbohydrate levels on the weight gain, feed conversion efficiency, and protein efficiency ratio of *Tilapia niloticus* [J]. *Mem Kagoshima Univ Res Center S Pac*, 1985, 6 : 56-71.
- [11] 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 [J]. *动物营养学报*, 2009, 21 (2) : 212-218.
- [12] RAWLES S D, GATLIN D M. Carbohydrate utilization in striped bass (*Morone saxatilis*) and sunshine bass (*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂) [J]. *Aquaculture*, 1998, 16 : 201-212.
- [13] ALI M Z, JAUNCEY K. Optimal dietary carbohydrate to lipid ratio in African catfish *Clarias gariepinus* [J]. *Aquaculture international*, 2004, 12 : 169-180.
- [14] LEE S M, LEE J H. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus* [J]. *Fisheries Sci*, 2004, 70 (1) : 53-58.
- [15] HATLEN B, HELLAND B G, HELLAND S J. Growth, feed utilization and body composition in two size groups of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in protein and carbohydrate content [J]. *Aquaculture*, 2005, 249 : 401-408.
- [16] GAYE S J, FOCKEN U, BECKER K. Effect of dietary protein/carbohydrate ratio on activities of hepatic enzymes involved in the amino acid metabolism of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Fish Physiol Biochem*, 2006, 32 : 275-282.
- [17] KESHAVANATH P, MANJAPPA K, GANGADHARA B. Evaluation of carbohydrate rich diets through common carp culture in manured tanks [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, 8 (3) : 169-174.
- [18] 王镜岩, 朱圣庚, 徐长法. 生物化学: 下册 [M]. 3版. 北京: 高等教育出版社, 2002 : 258-268.
- [19] 戈贤平, 刘波, 谢骏, 等. 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长及血液指标和糖代谢酶的影响 [J]. *南京农业大学学报*, 2007, 30 (3) : 88-93.
- [20] LEE S M, KIM K D, LALL S P. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 2003, 221 : 427-438.
- [21] HEMRE G I, MOMMSEN T P, KROGDAHL A. Carbohydrates in fish nutrition; effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, 8 (3) : 175-194.