

饲料中碳水化合物水平对鲈鱼生长、生理状态参数及体组成的影响

窦兵帅^{1,2} 梁萌青^{2*} 郑珂珂² 陈 壮^{1,2} 王新星²

(¹ 上海海洋大学水产与生命学院, 201306)

(² 青岛市海水鱼类种子工程与生物技术重点实验室 中国水产科学研究院黄海水产研究所, 266071)

摘 要 以初始体重(34.26±0.37)g 的鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* 为研究对象, 进行为期 70 d 的生长实验, 探讨饲料中不同的碳水化合物(CHO)水平对其生长、饲料利用、血糖水平和糖酵解酶活力的影响。实验配制 6 种不同 CHO 水平(0、6%、12%、18%、24%和 30%)的等氮等脂饲料。结果表明, 随着饲料中 CHO 水平的升高, 特定生长率(SGR)和饲料效率(FE)均呈现先上升后下降的趋势, 都在 12%组达到最大值, 并显著高于 24%和 30%组($P < 0.05$), 而肝体比(HSI)和脏体比(VSI)呈显著升高的趋势($P > 0.05$), 且在 30%组达到最大值。饲料中不同 CHO 水平对鲈鱼成活率、肥满度、肌糖原和己糖激酶(HK)活力均无显著影响($P > 0.05$)。饲料中不同 CHO 水平显著提高了鲈鱼粗蛋白和粗脂肪含量($P < 0.05$), 降低了灰分含量($P < 0.05$)。饲料干物质的表观消化率(ADC)在各组之间差异显著($P < 0.05$), 18%组显著高于其余 5 组($P < 0.05$), 12%组饲料蛋白质的 ADC 显著高于对照组($P < 0.05$)。血清中葡萄糖、甘油三酯、胆固醇含量随着饲料中 CHO 水平的增加而逐渐上升($P < 0.05$), 肝糖原含量先显著升高后趋于平稳($P < 0.05$)。以 SGR 为评价指标, 用二次曲线模型分析得出鲈鱼饲料中 CHO 的适宜添加量为 17.75%。

关键词 鲈鱼; 碳水化合物; 生长; 血糖; 糖原

中图分类号 S963.7 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)01-0046-09

Effects of dietary carbohydrate level on growth, physiology and body composition of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*

DOU Bing-shuai^{1, 2} LIANG Meng-qing^{2*} ZHENG Ke-ke²
CHEN Zhuang^{1, 2} WANG Xin-xing²

(¹ College of Fisheries and Life Science, Shanghai Ocean University, 201306)

(² Qingdao Key Laboratory for Marine Fish Breeding and Biotechnology, Yellow Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fishery Sciences, 266071)

ABSTRACT Ten-week feeding trial was conducted to evaluate the effects of dietary carbohydrate level on the growth performance, feed utilization, plasma glucose and glycolytic enzyme

公益性行业(农业)科研专项(201003020)资助

* 通讯作者。E-mail: liangmq@ysfri.ac.cn, Tel: (0532)85822914

收稿日期: 2013-03-04; 接受日期: 2013-03-29

作者简介: 窦兵帅(1988-), 男, 硕士研究生, 主要从事水产动物营养与饲料研究。E-mail: bingshuai66666@163.com, Tel: (0532)85822914

activities of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*. Six isonitrogenous and isolipidic practical diets were formulated to contain graded levels of carbohydrate(CHO) (0, 6%, 12%, 18%, 24% and 30%). Specific growth rate (SGR) and feed efficiency(FE) first increased significantly and then decreased with the increasing dietary carbohydrate ($P < 0.05$), and they reached the highest level at the CHO level of 12%, which were significantly higher than those of 24% and 30% groups ($P < 0.05$). The hepatopancreas somatic index(HSI) and viscerosomatic index(VSI) increased significantly with the increasing dietary carbohydrate contents ($P < 0.05$). No significant differences were observed in survival rate, condition factor(CF), muscle glycogen and hexokinase (HK) among different carbohydrate treatments ($P > 0.05$). Dietary CHO significantly improved the content of crude protein and crude lipid ($P < 0.05$), but significantly reduced the content of ash in the fish ($P < 0.05$). The apparent digestibility coefficients (ADC) of dry matter and crude protein in diets reached the highest at the starch level of 18% and 12% respectively, which were significantly greater than those of the control ($P < 0.05$). With the increasing dietary carbohydrate, glucose, triglyceride and total cholesterol in serum significantly increased ($P < 0.05$). The liver glycogen increased first and then leveled off with the increasing carbohydrate level ($P < 0.05$). On the basis of SGR, the optimum dietary carbohydrate level for the growth of Japanese seabass was 17.75%, estimated by second-order polynomial regression analysis.

KEY WORDS Japanese seabass; Carbohydrate; Growth; Blood glucose; Glycogen

近年来,随着水产养殖业的不断发展,对鱼粉需求量也越来越大,而世界鱼粉产量又趋于稳定,这就造成鱼粉价格不断上涨,饲料成本随之越来越高。鱼粉资源的严重短缺,已经成为制约水产养殖业可持续发展的重要因素。与蛋白质和脂肪相比,CHO是鱼类饲料中重要且又廉价的饲料原料(Krogdahl *et al.* 2005),饲料中适当地提高CHO的添加量,可以降低饲料成本,减少作为能源被消耗的蛋白质,从而提高水生动物对蛋白质的利用率,起到节约蛋白质的作用。饲料中适宜的CHO水平可以促进鱼类生长(谭肖英等 2007; Al-Asgah *et al.* 1994)。鱼类的胰岛素量分泌不足会导致鱼类耐糖机能低下(李爱杰 1996),因此饲料中CHO水平过高时,可能导致鱼体代谢紊乱,严重时会引起鱼类生长缓慢、免疫力下降、死亡率升高等症状(Dixon *et al.* 1981)。

鲈鱼 *Lateolabrax japonicus* 属鲈形目、脂科、花鲈属,俗称花鲈,为广温、广盐性鱼类,是一种凶猛的肉食性鱼类,味道鲜美,生长迅速,在我国沿海一带已广泛养殖。目前关于鲈鱼的营养学研究已有很多报道(Ai *et al.* 2004; 韩庆炜等 2011; 梁萌青等 2006; Mai *et al.* 2006),但是关于鲈鱼饲料中CHO的适宜添加量与利用能力的研究报道较鲜见。

本研究以玉米淀粉为碳水化合物源,通过测定饲料中不同的CHO水平对鲈鱼生长、生理状态参数和体组成的影响,来探索饲料中CHO的适宜添加量,为优化鲈鱼配合饲料营养配比和提高养殖效益奠定理论基础。

1. 材料与方法

1.1 实验饲料

以鱼粉和酪蛋白为蛋白源,玉米淀粉为糖源,鱼油为脂肪源,微晶纤维素为调节组分,配制成CHO水平依次为0、6%、12%、18%、24%、30%的6种等氮等脂饲料,依次标记为1(0)、2(6%)、3(12%)、4(18%)、5(24%)、6(30%)。实验饲料配方及营养组成如表1所示。实验所需原料均粉碎至60目以上,按比例混匀后,用2%明胶做粘合剂,制成粒径为3mm的颗粒饲料,干燥后于-20℃冰箱中保存备用。

表1 实验饲料配方及成分含量(%干物质)

Table 1 Formulation and proximate composition of the experimental diets (% dry weight)

饲料成分 Ingredients	Diet 1 0	Diet 2 6%	Diet 3 12%	Diet 4 18%	Diet 5 24%	Diet 6 30%
鱼粉 Fish meal	40	40	40	40	40	40
酪蛋白 Casein	19	19	19	19	19	19
鱼油 Fish oil	6	6	6	6	6	6
玉米淀粉 Corn starch	0	6	12	18	24	30
大豆卵磷脂 Soy lecithin	1	1	1	1	1	1
维生素混合物 Vitamin premix ¹	1	1	1	1	1	1
矿物质混合物 Mineral premix ²	1	1	1	1	1	1
羧甲基纤维素 CMC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
微晶纤维素 Microcrystalline cellulose	30.46	24.46	18.46	12.46	6.46	0.46
三氧化二钇 Y ₂ O ₃	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
主要成分分析 Nutrients analysis (%)						
粗蛋白 Crude protein	43.73	44.13	44.26	44.40	44.42	44.78
粗脂肪 Crude lipid	10.49	10.53	11.00	10.65	11.28	10.61
糖 Carbohydrate	1.59	6.78	12.52	17.90	22.91	29.32
灰分 Crude ash	6.65	7.15	7.11	7.25	7.34	7.32
能量 Gross energy(kJ/g)	22.06	21.29	21.34	21.96	22.46	23.47

注¹: 维生素混合物(mg/kg or g/kg 饲料): 核黄素 45mg; 硫胺素 25mg; 维生素 K₃ 10mg; 肌醇 800mg; 盐酸吡哆醇 20mg; 维生素 B₁₂ 0.1mg; 泛酸 60mg; 生物素 1.20mg; 维生素 A 32mg; 维生素 D 5mg; 烟酸 200mg; 叶酸 20mg; 维生素 E 120mg; 次粉 18.67g

注²: 矿物质混合物(mg/kg or g/kg 饲料): 碘化钾 0.8mg; 氟化钠 2mg; 硫酸铁 80mg; 硫酸锌 50mg; 氯化钴 50mg; 硫酸铜 10mg; 硫酸镁 1.200mg; 氯化钠 100mg; 磷酸二氢钙 3.000mg; 沸石粉 15.51g

Note¹: Vitamin premix(mg or g/kg diet): Riboflavin 45mg, Thiamine 25mg, Menadione 10mg, Inositol 800mg, Pyridoxine 20mg, Vitamin B₁₂ 0.1mg, Pantothenate 60 mg, Biotin 1.2mg, Vitamin A 32mg, Vitamin D 5mg, Tocopherol acetate 200mg, Folic acid 20mg, Vitamin E 120 mg, Wheat flour 18.67g

Note²: Mineral premix(mg or g/kg diet): KI 0.8mg, NaF 2mg, FeSO₄ · 7H₂O 80mg, ZnSO₄ · 7H₂O 50mg, CoCl₂ · 6H₂O 50mg, CuSO₄ · 5H₂O 10mg, MnSO₄ · 4 H₂O 1.200mg, NaCl 100mg, Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O 3.000mg, Mordenzeo 15.51g

1.2 实验动物及饲养管理

试验用的鲈鱼为当年产的同一批苗种。正式试验前, 试验鱼暂养于 3 m×3 m×0.5 m 的室内流水养殖池中, 以实验对照组饲料饱食投喂, 使之逐渐适应养殖环境。驯养 14 d 后随机挑选出规格一致(34.26±0.37)g、体格健壮、无病的鲈鱼进行分组实验, 实验鱼随机分到 18 个养殖桶中, 每桶 15 尾鱼, 养殖桶直径 1.2m, 水深 50cm。养殖试验于 2011 年 10 月 27 日~2012 年 1 月 15 日在山东烟台开发区天源水产有限公司的室内流水养殖系统中进行, 期间水温保持(16~24)℃, 盐度 25~30, 溶解氧 7mg/L 左右, pH 7.5±0.1, 供水量为 0.6L/min。养殖试验 70 d, 每天 07:00 和 17:30 饱食投喂两次, 投喂前 1h 吸污, 投喂结束后收集残饵, 每天记录投喂量, 如有死鱼, 记录数量并称重, 监测水质、溶氧、水温变化。

1.3 样品收集

实验结束后, 对实验鱼饥饿 24h 处理, 对每个养殖桶的鱼计数、称重。分别从每个桶中随机抽取两尾实验鱼, 保存于-20℃冰箱中, 用于全鱼鱼体常规成分分析; 每个桶中随机抽取 4 尾鱼用 MS-222 麻醉, 称取体重,

测量体长。然后从尾部静脉取血约 1ml,用体积分数为 1%的肝素钠抗凝,低温放置 4h,3 000 r/min 离心 10min,分离血清保存于-80℃冰箱,用于测定血清葡萄糖、甘油三酯、胆固醇含量(由青岛大学附属医院采用临床医学测定方法检测)。取血后的鱼解剖取肝脏、背部肌肉用于相关酶活性分析和肝、肌糖原测定,分离内脏脂团,称肝脏和内脏团质量,用于计算 HSI、VSI。

采用虹吸法收集粪便,每次饱食投喂 30min 后清除残饵及排泄物,每隔 2h 用虹吸法收集一次粪便,挑选包膜完整的粪便置于称量瓶中,70℃烘干,保存在-20℃条件下待测。

1.4 生化分析

饲料和全鱼样品均在 105℃烘干至恒重后,求水分含量。采用凯氏定氮法测粗蛋白含量,采用索氏抽提法(乙醚为抽提液)测粗脂肪含量,将样品放在马福炉(550±20)℃中灼烧 3h 测灰分含量,能量采用氧弹仪测定。饲料和粪便中的 Y_2O_3 经高氯酸消化后,采用电感耦合等离子原子发射光谱仪(VISTA-MPX,美国瓦里安公司)分析测定。利用 3,5-二硝基水杨酸在强碱溶液中与还原糖在沸水浴中加热反应后被还原成棕红色的氨基化合物,该有色物质在 540nm 处有最大吸光度,且在一定浓度范围内(一般 OD 值在 0.2~0.8 范围内线性较好),还原糖的量与反应液的颜色强度(吸光度 OD 值)呈线性关系,利用分光光度仪,在 540nm 波长下测定光密度值,查看标准曲线并计算,求出样品中还原糖的含量。

1.5 计算公式、统计方法

成活率(Survival rate)=终末实验鱼数量/初始实验鱼数量×100

$SGR = 100 \times [\ln(\text{终末体重}) - \ln(\text{初始体重})] / \text{实验天数}$

$FE = 100 \times (\text{终末体重} - \text{初始体重}) / \text{摄食量}$

$CF = 100 \times \text{体重}(\text{g}) / \text{体长}(\text{cm})$

$HSI = \text{肝脏重} / \text{体重量} \times 100$

$VSI = \text{内脏重} / \text{体重量} \times 100$

试验饲料中干物质、营养成分的 ADC 计算公式为:

干物质 ADC(%) = $(1 - \text{饲料中 } Y_2O_3 \% / \text{粪便中 } Y_2O_3 \%) \times 100$

营养物质 ADC(%) = $[1 - (\text{饲料中 } Y_2O_3 \% \times \text{粪便营养成分}) / (\text{粪便中 } Y_2O_3 \% \times \text{饲料营养成分})] \times 100$

所得试验数据采用平均值±标准差(Mean±S.E)表示,并以 SPSS 17.0 分析软件进行单因子方差分析(ANOVA),多重比较采用 Tukey 检验方法,以 $P < 0.05$ 为显著水平。

2 结果

2.1 饲料中 CHO 水平对鲈鱼生长和饲料利用的影响

生长试验结束后各试验组的成活率为 91.17%~96.67%,饲料中不同的 CHO 水平并没有显著影响各试验组之间的成活率($P > 0.05$)(表 2)。然而,不同 CHO 水平的饲料对鲈鱼 FE 和 SGR 均有显著影响($P < 0.05$)。当饲料中 CHO 水平在 0~12%时,鲈鱼的 SGR 随着 CHO 水平的增加而显著上升($P < 0.05$),但是当继续提高 CHO 水平时,鲈鱼的 SGR 逐渐下降。FE 也表现出类似的变化趋势。用二次多项回归模型拟合 SGR 和 CHO 水平的关系,得到鲈鱼生长的最适 CHO 水平为 17.75%(图 1)。

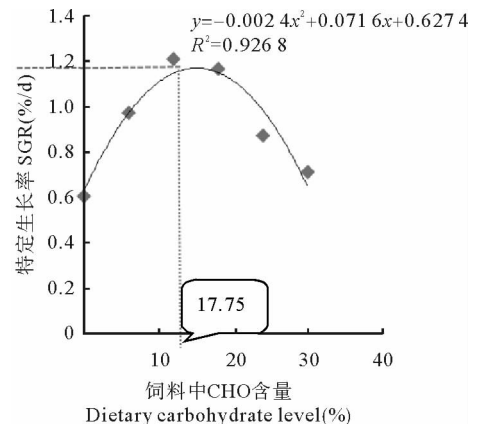


图 1 饲料中 CHO 水平与鲈鱼 SGR 的关系
Fig. 1 Relationship between dietary carbohydrate level and SGR of Japanese seabass

表 2 饲料中 CHO 水平对鲈鱼成活率、SGR 和 FE 的影响(平均值±标准差)

Table 2 Effects of different dietary CHO level on survival rate, specific growth rate (SGR) and feed efficiency (FE) of Japanese seabass (Mean±S.E)

饲料标号 No. of diet	CHO 含量 (CHO content, %)	初始体重 Initial weight(g)	终末体重 Final weight(g)	成活率 Survival rate (%)	SGR(%/d)	FE (%)
1	0	34.52±0.50	45.03±2.37 ^a	91.67±5.77	0.61±0.08 ^a	0.35±0.08 ^{ab}
2	6	34.32±0.27	53.08±4.25 ^{ab}	93.33±2.89	0.97±0.06 ^{cd}	0.50±0.08 ^{bc}
3	12	34.16±0.43	60.37±5.32 ^b	96.67±2.89	1.21±0.11 ^d	0.55±0.09 ^c
4	18	34.14±0.37	53.42±2.11 ^{ab}	93.33±5.77	1.17±0.05 ^d	0.51±0.04 ^c
5	24	34.08±0.32	48.52±5.63 ^a	91.68±5.77	0.87±0.15 ^{bc}	0.41±0.08 ^{abc}
6	30	34.35±0.44	43.11±3.85 ^a	91.67±2.89	0.71±0.07 ^{ab}	0.33±0.11 ^a

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

2.2 饲料中 CHO 水平对鲈鱼全鱼体成分的影响

鲈鱼全鱼鱼体水分含量在 72.71%~73.73% 之间(表 3),各个实验组之间无显著差异($P>0.05$)。鱼体粗蛋白、粗脂肪和灰分含量分别在 14.31%~16.49%、4.59%~5.67%、4.71%~5.06% 之间,各个处理组之间均有显著差异($P<0.05$)。随着 CHO 水平的升高,鱼体粗蛋白含量呈现出逐渐上升的趋势,并在 30% 组达到最大值,显著高于饲料中 CHO 含量为 0 的对照组($P<0.05$);鱼体粗脂肪含量则呈现先上升后下降的趋势,并在 CHO 含量为 12% 组达到最大值($P<0.05$);随着饲料中 CHO 水平的升高,灰分含量在各处理组中都显著低于对照组($P<0.05$)。

表 3 饲料中 CHO 水平对鲈鱼全鱼体成分的影响(平均值±标准差)

Table 3 Effects of different dietary CHO level on whole-body composition of Japanese seabass(Mean±S.E)

饲料标号 NO.	CHO 含量 CHO content(%)	水分 Moisture (%)	粗蛋白 Crude protein (%)	粗脂肪 Crude lipid (%)	灰分 Ash (%)
1	0	73.75±0.55	14.31±0.03 ^a	4.59±0.09 ^a	5.06±0.08 ^c
2	6	72.71±0.41	15.50±0.08 ^{ab}	5.02±0.07 ^{bc}	4.86±0.01 ^{ab}
3	12	72.86±1.21	15.74±1.16 ^{ab}	5.67±0.17 ^d	4.71±0.04 ^a
4	18	73.40±0.06	16.47±0.40 ^b	5.30±0.17 ^{cd}	4.83±0.05 ^{ab}
5	24	73.74±0.33	16.23±1.14 ^{ab}	5.01±0.15 ^{bc}	4.88±0.06 ^b
6	30	73.05±0.07	16.49±0.68 ^b	4.76±0.16 ^{ab}	4.84±0.09 ^{ab}

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

2.3 饲料中 CHO 水平对鲈鱼 ADC 的影响

饲料中 CHO 水平对鲈鱼的 ADC 影响较大,在各组间均有显著差异($P<0.05$)。随着 CHO 水平的升高,饲料干物质的 ADC 呈先上升后下降的趋势(表 4),其中 6(30%) 组干物质 ADC 为 42.24%,是所有组中的最低值,4(18%) 组干物质 ADC 最高,达到了 53.17%,显著高于其他各处理组($P<0.05$);饲料中蛋白质的 ADC 呈先上升后下降的趋势,当饲料中 CHO 水平为 6% 时,鲈鱼对饲料中蛋白质的 ADC 显著高于对照组($P<0.05$),继续增加饲料中 CHO 水平,蛋白质的 ADC 无显著差异($P>0.05$),当饲料中 CHO 水平为 30% 时,蛋白质的表观消化率显著下降($P<0.05$)。

表 4 饲料中 CHO 水平对鲈鱼 ADC 的影响(平均值±标准差)

Table 4 Effects of different dietary CHO level on the apparent digestibility coefficient (ADC) of Japanese seabass (Mean±S.E)

饲料标号 NO.	CHO 含量 CHO content(%)	干物质 Dry matter (%)	粗蛋白 Crude protein(%)
1	0	42.44±1.85 ^a	86.63±0.23 ^a
2	6	45.11±2.68 ^a	88.53±0.54 ^b
3	12	46.53±0.00 ^a	88.84±0.02 ^b
4	18	53.17±1.56 ^b	88.52±0.35 ^b
5	24	46.14±3.54 ^a	88.37±0.77 ^b
6	30	42.24±1.41 ^a	86.53±0.45 ^a

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

2.4 饲料中 CHO 水平对鲈鱼形态学指标的影响

随着饲料中 CHO 水平的升高,鲈鱼的 HSI 在各组之间差异显著($P<0.05$),表现出逐渐上升的趋势(表 5);当饲料中 CHO 水平为 30%时,鲈鱼的 HSI 达到最大值,且显著高于对照组($P<0.05$);CHO 30%组鲈鱼的 VSI 显著高于 CHO 12%组($P<0.05$);CF 在各组之间没有表现出显著差异($P>0.05$)。

表 5 饲料中 CHO 水平对鲈鱼 HSI、VSI 和 CF 的影响(平均值±标准差)

Table 5 Effects of different dietary CHO level on HSI, VSI and CF of Japanese seabass(Mean±S.E)

饲料标号 NO.	CHO 含量 CHO content(%)	HSI (%)	VSI (%)	CF (%)
1	0	0.75±0.15 ^a	7.19±1.17 ^{ab}	1.38±0.11
2	6	0.84±0.01 ^{ab}	8.18±0.35 ^{ab}	1.44±0.04
3	12	0.85±0.08 ^{ab}	6.77±0.55 ^a	1.39±0.07
4	18	1.01±0.16 ^{ab}	7.13±0.18 ^{ab}	1.39±0.08
5	24	1.20±0.26 ^{bc}	8.05±0.22 ^{ab}	1.47±0.03
6	30	1.57±0.14 ^c	8.58±0.82 ^b	1.46±0.02

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

2.5 饲料中 CHO 水平对鲈鱼血液指标的影响

本研究条件下,血清中葡萄糖含量、胆固醇、甘油三酯含量分别维持在(4.70~10.46)mmol/L、(2.24~3.91)mmol/L 和(2.44~4.71)mmol/L(表 6)。血清中葡萄糖的含量随着饲料中 CHO 水平的升高,呈现逐渐上升的趋势,在 CHO 水平为 30%饲料组达到最大值,并显著高于 0、6%、12%组($P<0.05$)。甘油三酯、胆固醇含量在各个实验组之间差异显著($P<0.05$),呈现出与血糖类似的结果。

2.6 饲料中 CHO 水平对肝糖原、肌糖原和糖酵解酶活力的影响

饲料中添加 CHO 显著增加了肝糖原含量($P<0.05$),随着饲料中 CHO 水平的升高,肝糖原含量呈现先显著上升后平稳的趋势(表 7),且在饲料中 CHO 水平为 18%时达到最大值。同肝糖原相比,肌糖原含量在鲈鱼体内含量相对较少,在各实验组之间无显著差异($P>0.05$)。随着饲料中 CHO 水平的升高,肝脏 HK 活力表现出先上升后下降的趋势,但各实验组之间无显著差异($P>0.05$)。

表 6 饲料中 CHO 水平对血糖、甘油三酯、胆固醇的影响(平均值±标准差)

Table 6 Effects of different dietary CHO level on glucose, triglyceride and total cholesterol in serum of Japanese seabass (Mean±S. E)

饲料标号 NO.	CHO 含量 CHO content(%)	血糖 Glucose(mmol/L)	胆固醇 Total cholesterol(mmol/L)	甘油三酯 Triglyceride(mmol/L)
1	0	4.70±0.05 ^a	2.24±0.69 ^a	2.44±0.69 ^a
2	6	6.52±1.37 ^{ab}	3.09±0.34 ^{ab}	2.66±0.30 ^a
3	12	9.79±1.53 ^{bc}	3.56±0.33 ^{ab}	3.19±0.20 ^{ab}
4	18	8.89±2.23 ^{bc}	3.46±0.48 ^{ab}	2.88±0.46 ^{ab}
5	24	8.34±1.01 ^{abc}	2.77±0.16 ^{ab}	3.97±0.42 ^{bc}
6	30	10.46±1.01 ^c	3.91±0.38 ^b	4.71±0.46 ^c

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

表 7 饲料中 CHO 水平对鲈鱼肝糖原、肌糖原和肝脏 HK 活力的影响(平均值±标准差)

Table 7 Effects of different dietary CHO level on liver glycogen, muscle glycogen and the activities of hexokinase(HK) in the liver of Japanese seabass (Mean±S. E)

饲料标号 NO.	CHO 含量 CHO content(%)	肝糖原 Liver glycogen(mg/g)	肌糖原 Muscle glycogen(mg/g)	己糖激酶 HK(U/g prot)
1	0	10.72±3.51 ^a	0.39±0.18	0.84±0.05
2	6	18.46±7.01 ^b	0.73±0.15	1.02±0.40
3	12	21.70±4.02 ^b	0.52±0.03	0.98±0.41
4	18	54.13±3.65 ^c	0.63±0.21	1.42±0.49
5	24	50.40±3.79 ^c	0.59±0.16	0.89±0.18
6	30	50.13±1.19 ^c	0.72±0.08	0.91±0.08

注:同列数据中上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)

Note: Values within the same column with different superscripts are significantly different ($P<0.05$)

3 讨论

有关饲料中 CHO 含量对鱼类生长影响的研究中,实验设计多用等氮等能的饲料,由脂肪来平衡 CHO 的变化,由于鱼类对脂肪综合利用能力较高,因此通过饲料中不同的糖和脂肪的比例所表现出来的鱼类生长和饲料利用效率的差异来反映鱼类对 CHO 的利用能力(蔡春芳 2004)。本实验饲料为等氮等脂饲料,CHO 的多少由微晶纤维素调节,避免了实验结果因脂肪含量的不同造成的影响,提高了实验结果的准确性。本研究中,以玉米淀粉作为 CHO 的主要来源,当 CHO 水平由 0 增加到 30% 时,鲈鱼的 FE 和 SGP 都呈现先上升后下降的趋势,并在 CHO 水平 12% 时,FE 和 SGR 都达到最大值,说明饲料中适宜的 CHO 水平可以促进鲈鱼生长,这与在罗非鱼(Al-Asgah *et al.* 1993)、大西洋鲑(Hemre *et al.* 2008)、奥尼罗非鱼(吴凡等 2011)中的研究结果相似。当 CHO 水平达到 30% 时,会抑制鲈鱼的生长,说明摄食过量的 CHO 水平的饲料会降低鱼类生长速度和饲料利用率(Wilson 1994;Furuichi *et al.* 1980;Singh *et al.* 2006;付世建等 2005)。本研究条件下,由回归分析得出鲈鱼生长的最适 CHO 水平为 17.75%(图 1),这与黑鲷(高淳仁等 1993)、牙鲆(张显娟等 1998;Lee *et al.* 2003)、鲈鱼(程镇燕 2010)的最适 CHO 的添加量有所差异,此差异可能与鱼体规格的大小、鱼的种类及养殖环境、水体温度有关。一般来讲,淡水鱼和温水性鱼较海水鱼,冷水性鱼类对糖的利用能力强,草食性、杂食性鱼类比肉食性鱼类对糖的利用能力强(Wilson 1994;Hemre *et al.* 2002)。鱼体消化系统的结构和功能随生长发育而不断完善,各种激素的分泌和糖代谢酶系逐渐健全。在早期发育过程中,鱼类的消化酶系的功能会因营养需求的变化而发生适应性调节(罗毅平等 2010)。

摄食一定量的 CHO 饲料对鱼类生长没有影响,但是会影响鱼体内内脏器官的相对质量(戈贤平等 2007;Panserat *et al.* 2000)。肝指数常被用于评价鱼类的营养状态,一般认为鱼类摄食高水平的饲料后会引引起肝指数的上升(蔡春芳等 2009;Deng *et al.* 2001)。本研究发现,饲料中 CHO 水平显著影响鲈鱼的 HSI 和 VSI,且 HSI 随着碳水化合物水平的升高而逐渐上升,周 华等(2011)对鳊鱼的研究中也发现类似的结果,表明高 CHO 水平引起了肝脏组织的肿大。

鱼类摄食的糖,除了部分糖酵解用于氧化功能供机体利用之外,以糖原的形式储存和通过戊糖途径提供脂肪合成材料也是鱼体内消解糖的重要途径(Hemre *et al.* 2002;Lee *et al.* 2004)。本研究发现,饲料中添加 CHO 显著提高了鲈鱼肝脏的肝糖原含量,且随着 CHO 水平的上升而呈现先上升后平稳的趋势,并且在 CHO 水平为 18%组达到最大值。这些结果表明,鱼类在摄食高糖饲料之后,会将摄入的饲料转化为肝糖原,供给鱼体能量,保证机体代谢(付世建等 2005),在摄食高糖饲料后,通过糖原的积累在一定程度上可以缓解高血糖水平对鱼体造成的生理胁迫(林小植等 2006)。本研究中,肝糖原含量在 CHO 水平为 18%组达到最大值,之后出现略微下降的趋势,这可能是由于肝糖原大量蓄积、持续的高血糖使肝脏增大,肝功能损坏(Vielma *et al.* 2003),由此推断鲈鱼体内肝糖原的储存已接近饱和。

del Sol Novoa 等(2004)对虹鳟鱼的研究发现,肌肉中的糖原含量同肝糖原相比,含量较低且与饲料中 CHO 的水平没有关系,本研究中鲈鱼的肌糖原含量没有受到饲料中 CHO 水平的影响,与上述结论吻合。

血脂是血液中的甘油三酯、磷脂、总胆固醇及其酯和游离脂肪酸等脂类的统称,它们以脂蛋白的形式在血液中存在并且运输,是机体恒定的供给能量来源(周顺伍 1999)。本研究发现,随着饲料中 CHO 水平的升高,鲈鱼血清中胆固醇、甘油三酯含量显著上升,这与吴 凡等(2011)对奥尼罗非鱼、戈贤平等(2007)对翘嘴红鲌、Lee 等(2003)对牙鲆的研究结果相似,说明饲料中 CHO 水平的升高增加了鱼体内的糖的代谢,脂肪合成速度加快,使得血脂含量显著上升。

糖酵解途径是鱼体内糖类分解的唯一途径(Cowey *et al.* 1989),HK(EC 2.7.1.1)是糖酵解的第一步关键酶,可以催化葡萄糖磷酸化生成葡萄糖-6-磷酸(Enes *et al.* 2009),它们的活性对于维持动物体血糖动态平衡,增加对糖的利用具有重要意义(Panserat *et al.* 2001;van de Werve *et al.* 2001)。本研究发现,鲈鱼体内 HK 活力较低,且在各组之间没有显著差异,这与 Enes 等(2006)对欧洲鲈、戈贤平等(2007)对翘嘴红鲌、Panserat 等(2000)对虹鳟的研究结果相似。由此推断,鲈鱼作为肉食性鱼类,葡萄糖代谢在糖酵解的第一步就因为较低的 HK 活力而受到了限制,这或许也是鱼类对糖的利用能力较差的一个原因。

综上所述,饲料中添加一定量的 CHO(玉米淀粉)可以提高鲈鱼的生长,在不影响其正常生长、消化与机体代谢的情况下,鲈鱼饲料中 CHO 的适宜添加量为 17.75%。

参 考 文 献

- 戈贤平,刘 波,谢 骏,俞菊华,唐永凯,吴婷婷. 2007. 饲料中不同碳水化合物水平对翘嘴红鲌生长和血液指标和糖代谢酶的影响. 南京农业大学学报,30(3):88-93
- 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(4):393-398
- 吴 凡,文 华,蒋 明,刘 伟,仲维玮,田 娟. 2011. 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. 华南农业大学学报,32(4):91-95
- 张显娟,李爱杰,薛 敏. 1998. 牙鲆幼鱼对蛋白质、脂肪及碳水化合物营养需求的研究. 上海水产大学学报,7(增刊):98-103
- 李爱杰. 1996. 水产动物营养与饲料科学. 北京:中国农业出版社(第1版),26-36
- 周 华,樊启学,宗克金,宋 林,张云龙,杨 威. 2011. 饲料中碳水化合物水平对鳊鱼生长和体成分的影响. 水生态学杂志,32(3):108-113
- 周顺伍. 1999. 动物生物化学. 北京:化学工业出版社,134-144
- 林小植,罗毅平,谢小军. 2006. 饲料碳水化合物水平对南方鲇幼鱼餐后糖酵解酶活性及血糖浓度的影响. 水生生物学报,30(3):304-310
- 罗毅平,谢小军. 2010. 鱼类利用碳水化合物的研究进展. 中国水产科学,17(2):381-390
- 高淳仁,李 岩. 1993. 黑鲷幼鱼对饵料蛋白质、脂肪、糖类需求量的研究. 齐鲁渔业,(6):35-37
- 梁萌青,王家林,常 青,柳旭东,麦康森. 2006. 饲料中硒的添加水平对鲈鱼生长性能及相关酶活性的影响. 中国水产科学,13(6):1017-1022
- 程镇燕. 2010. 大黄鱼和鲈鱼对几种水溶性维生素营养需求及糖类营养生理的研究. 见:中国海洋大学博士研究生学位论文

- 韩庆炜,梁萌青,姚宏波,常青,吴立新. 2011. 鲈鱼对7种饲料原料的表观消化率及其肝脏、肠道组织结构的影响. 渔业科学进展, 32(1):32-39
- 蔡春芳,陈立侨,叶元土,宋学宏,杨彩根,陈国风. 2009. 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, 21(2):212-218
- 蔡春芳. 2004. 青鱼(*Mylopharyngodon piceus*)和鲫(*Carassius auratus*)对饲料糖的利用及其代谢机制的研究. 见:华东师范大学博士研究生学位论文
- 谭肖英,罗智,刘永坚. 2007. 鱼类对饲料中糖的利用研究进展. 中国饲料, (6):19-22
- Ai QH, Mai KS, Li HT and 8 others. 2004. Effects of dietary protein to energy ratios on growth and body composition of juvenile Japanese sea-bass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 230(1-4):507-516
- Al-Asgah NA, Ali A. 1994. Feeding of various carbohydrate sources on the growth performance and nutrient utilization in *Oreochromis niloticus*. In: Saudi Arabia (eds). International Symposium on Aquaculture Technology and Investment Opportunities. Riyadh, Agribiological Research, 47(1):1-12
- Cowey CB, Walton MJ. 1989. Intermediary metabolism. In: Halver JE (eds). Fish nutrition, Academic Press, New York, p260-329
- del Sol Novoa M, Capilla E, Rojas P and 3 others. 2004. Glucagon and insulin response to dietary carbohydrate in rainbow trout(*Oncorhynchus mykiss*). Gen Comp Endocrinol 139(1):48-54
- Deng DF, Refstie S, Hung SSO. 2001. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates. Aquaculture 199(1-2):107-117
- Dixon DG, Hilton JW. 1981. Influence of available dietary carbohydrate content on tolerance of waterborne copper by rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson. J Fish Biol 19(5):509-518
- Enes P, Panserat S and 1 other. Kaushik S. 2009. Nutritional regulation of hepatic glucose metabolism in fish. Fish Physio Biochem 35(3):519-539
- Furuichi M, Yone Y. 1980. 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. Bull Jap Soc Sci Fish 46(2):225-229
- Hemre GI, Mommsen TP, Krogdahl A. 2002. Carbohydrate in fish nutrition; effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. Aquaculture Nutrition 8(3):175-194
- Hemre GI, Sandnes K, Lie Ø and 2 others. 2008. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.; growth and feed utilization. Aquaculture Research 26(3):149-154
- Krogdahl A, Hemre GI, Mommsen TP. 2005. Carbohydrates in fish nutrition; digestion and absorption in post larval stages. Aquaculture Nutrition 11(2):103-122
- Lee SM, Lee JH. 2004. Effect of dietary glucose, dextrin and starch on growth and body composition of juvenile starry flounder *Platichthys stellatus*. Fisheries Science 70(1):53-58
- Lee SM, Kim KD, Lall SP. 2003. Utilization of glucose, maltose, dextrin and cellulose by juvenile flounder (*Paralichthys olivaceus*). Aquaculture 221(1-4):427-438
- Mai KS, Zhang L, Ai QH and 5 others. 2006. Dietary lysine requirement of juvenile Japanese seabass, *Lateolabrax japonicus*. Aquaculture 258(1-4):535-542
- Panserat S, Medale F, Blin C and 6 others. 2000. Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrate in rainbow trout, gilthead seabream, and common carp. Am J Physiol-Regu, Integr Comp Physiol, 278(5):1164-1170
- Panserat S, Capilla E, Gutierrez J and 6 others. 2001. 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 Physiol Part B; Biochem Mol Biol 128(2):275-283
- Rawles SD, Gatlin DM. 1998. Carbohydrate utilization in striped bass(*Morone saxatilis*) and sunshine bass(*M. chrysops* ♀ × *M. saxatilis* ♂). Aquaculture 16(1-4):201-212
- Singh RK, Balange AK, Ghughuskar MM. 2006. Protein sparing effect of carbohydrates in the diet of *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822) fry. Aquaculture 258(1-4):680-684
- Vielma J, Koskela J, Ruohonen K and 2 others. 2003. Optimal diet composition for European whitefish(*Coregonus lavaretus*): carbohydrate stress and immune parameter responses. Aquaculture 225(1-4):3-16
- van de Werve G, Lange A, Newgard C and 3 others. 2001. New lessons in the regulation of glucose metabolism taught by the glucose-6-phosphatase system. Eur J Biochem 267(6):1533-1549
- Wilson RP. 1994. Utilization of dietary carbohydrate by fish. Aquaculture 124(1-4):67-80