

不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响

王 菲, 李向飞, 李贵锋, 刘文斌*

(南京农业大学江苏省水产动物营养重点实验室, 江苏 南京 210095)

摘要: 本实验研究了饲料中不同糖脂比对建鲤幼鱼生长、体组成、消化及糖酵解能力的影响。实验共配制 6 组等氮等能的半纯合饲料, 对应糖脂比分别为 2.3、3.0、4.0、5.6、7.7 和 12.1。将鱼饱食投喂 8 周, 每日投喂 3 次。实验结果表明, 当饲料糖脂比从 2.3 升高至 7.7 时, 增重率、特定生长率、蛋白质效率比和氮保留率均显著升高 ($P < 0.05$); 而当糖脂比进一步升高时, 其均呈下降趋势, 但差异不显著 ($P > 0.05$); 饲料系数的变化趋势与其相反。建鲤幼鱼的脏体比以及全鱼、胴体和肝脏脂肪含量随着饲料糖脂比的降低均显著升高 ($P < 0.05$), 而全鱼、胴体和肝脏的蛋白质含量无显著差异 ($P > 0.05$)。肠道淀粉酶活性随着糖脂比的升高显著升高 ($P < 0.05$), 而脂肪酶的变化趋势则相反 ($P < 0.05$)。此外, 血糖和胰岛素水平、肝糖原含量及肝脏葡萄糖激酶和丙酮酸激酶活性随饲料糖脂比的升高均显著升高 ($P < 0.05$), 血液中总胆固醇和甘油三酯含量则随着糖脂比的降低显著升高 ($P < 0.05$)。根据二次回归模型得出, 在等氮等能的饲料条件下, 建鲤幼鱼最适宜的糖水平和脂肪水平分别为 38.21% 和 4.69%, 其对应的糖脂比为 8.14。

关键词: 建鲤; 糖脂配比; 生长; 体组成; 消化; 糖酵解

中图分类号: S 963

文献标志码: A

蛋白质是鱼类的必需营养物质, 且是水产饲料中价格最高的部分。研究表明, 在保证鱼类正常生长的前提下, 日粮中添加适宜的非蛋白能量, 在一定程度上节约饲料蛋白质用量, 不仅可降低饲料生产成本, 减轻因蛋白质分解过程中产生的氨氮对养殖水体的污染, 还能提高鱼类对日粮的利用率。已有研究表明, 鱼类主要的非蛋白能量来源就是糖类和脂肪。一般, 鱼类能较好地吸收并利用脂肪^[1], 但是高脂会影响鱼类的摄食量^[2], 并且会抑制鱼类的生长, 造成鱼体脂肪代谢障碍, 影响其健康和营养价值^[3-4]。与脂肪相比, 糖类具有相对廉价, 来源较为广泛的优势, 且能被多种鱼类利用, 尤其是杂食性和草食性鱼类^[5-7], 不仅如此, 饲料中添加适量糖类还可以增加饲料的粘结性, 有利于饲料的制粒。但过量的糖类会使鱼类产生持续高血糖症状, 并造成糖原的过度沉积, 进而损伤其免疫机能^[8]。因此, 饲

料中适宜的糖脂配比对鱼类的正常生长具有重要意义。

建鲤 (*Cyprinus carpio* var. *jian*), 是我国主要的鲤养殖品种之一^[9]。根据 2013 年渔业统计年鉴, 2012 年我国建鲤总产量为 2 896 957 t, 在淡水鱼类总产量中位居第 5 位。目前, 有关建鲤的营养需求已有较多的报道, 但仅仅局限于其对维生素、氨基酸和蛋白质的考察, 而其对于非蛋白能量的利用情况鲜有报道。再者, 日本学者的研究表明, 在等氮等能的条件下, 20%~45% 糖水平和 2.1%~14.7% 脂肪水平的饲料对鲤 (*Cyprinus carpio*) 的生长和饲料利用率均无显著影响^[10], 从侧面表现了鲤对饲料中糖脂水平的变化具有较强的耐受性, 进一步论证了鲤进行非蛋白能量研究的必要性。鉴于此, 本实验旨在等氮等能的情况下, 研究饲料中不同糖脂比 (CHO:L) 对建鲤幼鱼生长、体组成、消化和糖酵解能力的影响, 在以上

收稿日期: 2015-04-13

修回日期: 2015-05-31

资助项目: 现代农业产业技术体系建设专项 (CARS-49-20)

通信作者: 刘文斌, E-mail: wbliu@njau.edu.cn

结果的基础上得出建鲤幼鱼最适宜的糖脂配比, 以为建鲤饲料的科学配制提供基础数据和理论参考。

1 材料与方 法

1.1 实验饲料

本实验采用单因子设计, 以饲料中糖脂比作为影响因素, 配制 6 组等氮(粗蛋白为 35%) 等能饲料, 对应的糖脂比分别为 2.3、3.0、4.0、5.6、7.7 和 12.1。实验饲料以进口的秘鲁鱼粉、豆粕、棉粕和菜粕为蛋白源(所有蛋白质原料购置于江苏省淮安正昌饲料有限公司)。以豆油和鱼油为

脂肪源并按照 1:1 的比例添加来调节脂肪的变化, 以糊精为糖源辅助调节无氮浸出物的含量, 以微晶纤维素作为填充物, 使各组饲料的可利用能量保持一致^[11], 以羧甲基纤维素钠为粘结剂。能量计算参照水产动物上已有研究^[12], 蛋白质为 16.74 MJ/kg, 脂肪为 33.47 MJ/kg, 无氮浸出物为 14.64 MJ/kg。饲料原料粉碎过 80 目筛, 称重后将各原料逐级混合均匀, 再加入一定量的水充分混匀后用小型颗粒机加工成粒径为 2 mm 的颗粒饲料, 常温风干后置于 4 °C 冰箱保存备用。饲料组成及营养成分见表 1。

表 1 饲料配方组成和营养成分
Tab. 1 Ingredients and proximate composition of the experimental diets

原料/% ingredients	糖脂比 dietary (CHO:L) ratios					
	2.3	3.0	4.0	5.6	7.7	12.1
鱼粉 fish meal	12	12	12	12	12	12
豆粕 soybean meal	30	30	30	30	30	30
菜籽粕 rapeseed meal	15	15	15	15	15	15
棉粕 cottonseed meal	15	15	15	15	15	15
糊精 dextrin	6.58	9.83	13.07	16.31	19.56	22.8
豆油 soybean oil	4.25	3.5	2.75	2	1.25	0.5
鱼油 fish oil	4.25	3.5	2.75	2	1.25	0.5
纤维素 microcrystalline cellulose	8.72	6.97	5.23	3.49	1.74	0
磷酸二氢钙 calcium biphosphate	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
食盐 salt	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
羧甲基纤维素钠 sodium methoxycellulose	1	1	1	1	1	1
复合预混料 premix ¹	1	1	1	1	1	1
概略养分组成 (% 干物质) proximate composition (% dry matter)						
干物质 dry matter	94.95	95.07	95.33	95.47	94.68	94.58
粗蛋白 crude protein	34.9	35.08	35.72	34.88	35.32	35.34
粗脂肪 crude Lipid	11.22	9.61	8	6.45	4.88	3.41
灰分 ash	8.64	8.77	8.66	8.48	8.79	8.25
粗纤维 crude fiber	14.92	13.17	11.43	9.69	7.94	6.20
无氮浸出物 nitrogen-free extract ²	25.28	28.44	31.52	35.97	37.74	41.38

注:1 预混料为饲料提供以下矿物质(g/kg)和维生素(IU 或者 mg/kg):CuSO₄·5H₂O 2.0 g,FeSO₄·7H₂O 25 g,ZnSO₄·7H₂O 22 g,MnSO₄·4H₂O 7 g,Na₂SeO₃ 0.04 g,KI 0.026 g,CoCl₂·6H₂O 0.1 g,VA 900 000 IU,VD 200 000 IU,VE 4 500 mg,VK₃ 220 mg,VB₁ 320 mg,VB₂ 1 090 mg,VB₅ 2 000 mg,VB₆ 500 mg,VB₁₂ 1.6 mg,VC 5 000 mg,泛酸 1 000 mg,叶酸 165 mg,胆碱 60 000 mg;2 无氮浸出物含量(%) = 100 - 水分(%) - 粗蛋白质(%) - 粗脂肪(%) - 灰分(%) - 粗纤维(%)

Notes:1 Premix supplied the following minerals (g/kg) and vitamins (IU or mg/kg):CuSO₄·5H₂O 2.0 g,FeSO₄·7H₂O 25 g,ZnSO₄·7H₂O 22 g,MnSO₄·4H₂O 7 g,Na₂SeO₃ 0.04 g,KI 0.026 g,CoCl₂·6H₂O 0.1 g,Vitamin A 900 000 IU,Vitamin D 200 000 IU,Vitamin E 4 500 mg,Vitamin K₃ 220 mg,Vitamin B₁ 320 mg,Vitamin B₂ 1 090 mg,Vitamin B₅ 2 000 mg,Vitamin B₆ 500 mg,Vitamin B₁₂ 1.6 mg,Vitamin C 5 000 mg,Pantothenate 1 000 mg,Folic acid 165 mg,Choline 60 000 mg;2 Nitrogen-free extract content = 100 - moisture - crude protein - crude lipid - ash - crude fiber

1.2 实验鱼及养殖管理

实验鱼购于中国水产科学院淡水渔业研究中心宜兴养殖基地,养殖于江苏省淡水所南京禄口实验基地。驯化(期间投喂蛋白质为 35%、脂肪为 6% 的商品料)一周后,挑选体格健壮规格整齐,平均体质量为 (3.38 ± 0.02) g 的建鲤幼鱼 720 尾,随机分成 6 组,每组 4 个重复,每个重复 30 尾。实验鱼养殖于 24 个玻璃纤维水族缸(规格为 3.0 m × 1.0 m × 0.8 m)中,每日投喂 3 次(时间分别在 8:00、12:30、17:00),养殖期为 8 周。实验期间,全天用塘水进行微流水循环(1.5 L/min),并定期用聚维酮碘按使用说明进行消毒,水温为 25 ~ 30 °C, pH 为 7.0 ~ 7.5,全天 24 h 充氧。

1.3 指标测定与方法

生产性能统计和样本采集 养殖结束后,将鱼饥饿 24 h 采样。统计每缸的尾数并称总重,从中取出 3 尾鱼,先用 MS-222 麻醉鱼体,用一次性注射器尾静脉采血然后于 3 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液并保存待测。另随机取出 10 尾鱼逐尾进行称重和测量体长,其中 4 尾鱼冰冻保存以测定体组成,另外 6 尾鱼称重并置于冰盘上解剖,取出内脏称重。然后,分离出肝胰脏,用预冷的 0.85% 生理盐水清洗后用滤纸吸干并冷冻保存用于肝脏酶活的测定。

生产性能的计算公式如下:

$$\text{增重率 (weight gain rate, WGR, \%)} = \frac{(W_t - W_0) \times 100}{W_0}$$

$$\text{特定生长率 (specific growth rate, SGR, \% / d)} = \frac{[\ln(W_t) - \ln(W_0)] \times 100}{t}$$

$$\text{日摄食量 (daily feed intake, DFI, mg/d)} = \frac{F \times 100}{(W_t - W_0) \times t}$$

$$\text{饲料系数 (feed conversion ratio, FCR)} = \frac{F}{(W_t - W_0)}$$

$$\text{蛋白质效率比 (protein efficiency ratio, PER)} = \frac{(W_t - W_0)}{(F \times CP)}$$

$$\text{氮保留率 (nitrogen retention efficiency, NRE, \%)} = \frac{(W_t \times CP_t - W_0 \times CP_0) \times 100}{(F \times CP)}$$

$$\text{肝体比 (hepatosomatic index, HSI, \%)} = \frac{\text{肝脏重 (g)} \times 100}{\text{全鱼重 (g)}}$$

$$\text{脏体比 (viscerosomatic index, VSI, \%)} = \frac{\text{内脏重 (g)} \times 100}{\text{全鱼重 (g)}}$$

$$\text{成活率 (survival rate, SR, \%)} =$$

$$\frac{\text{实验结束时总尾数} \times 100}{\text{实验开始时总尾数}}$$

式中, W_0 为鱼体初重(g); W_t 为鱼体末重(g); F 为摄食量(g); CP_0 为实验开始时鱼体粗蛋白含量(%); CP_t 为实验结束时鱼体粗蛋白含量(%); CP 为饲料中粗蛋白含量(%); t 为饲养天数(d)。

样品测定 概略养分测定:将饲料、全鱼和胴体称重后置于培养皿中,在 (105 ± 2) °C 的烘箱中烘至恒重测定水分含量。粗蛋白(N × 6.25)含量采用全自动凯氏定氮仪(FOSS KT260,瑞士)测定;粗脂肪含量采用索氏抽提法测定;将饲料样品置于电炉上碳化后,在马弗炉中于 (550 ± 20) °C 下灼烧 5 h 后测得饲料中灰分含量;饲料中的粗纤维含量采用纤维分析仪(ANKOM A2000i,美国)测定;饲料总能采用氧弹测热仪(Parr 1281,美国)测定。肝脏中脂肪含量的测定是根据 Folch 等^[13]采用的氯仿-甲醇混合液抽提法来测定的。

肠道和肝脏组织匀浆液的制备及酶活性的测定:将肠道和肝脏等组织准确称重,以 1:9 (组织:生理盐水)的比例加入预冷的生理盐水后冰浴匀浆,然后于 3 000 r/min 离心 10 min,收集上清液并存放于 4 °C 冰箱待测。肠道总蛋白酶活性采用福林-酚(Folin-phenol)法测定^[14] (蛋白酶活性单位定义:在 37 °C, pH 7.0 条件下,每分钟水解酪蛋白产生相当于 1 μg 酪氨酸所需的酶量,规定为一个酶活性单位)。肠道脂肪酶和淀粉酶活性均采用南京建成生物工程研究所生产的试剂盒(编号为 A054 和 C016)测定,具体方法见说明书(脂肪酶活性单位定义:在 37 °C 条件下,每克组织蛋白在本反应体系中与底物反应 1 min,每消耗 1 μmol 底物为 1 个酶活性单位;淀粉酶活性单位定义:每毫克蛋白在 37 °C 与底物作用 30 min,水解 10 mg 淀粉定义为 1 个淀粉酶活性单位)。葡萄糖激酶(GK)活性参照 Panserat 等^[15]的方法测定,丙酮酸激酶(PK)活性参照 Foster 等^[16]方法测定,血糖水平参照葡萄糖氧化酶法,具体步骤参见 Asadi 等^[17],血浆胰岛素水平采用武汉华美生物工程有限公司(CUSABIO)生产的鱼用 ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay, 酶联免疫吸附剂测定法)试剂盒(编号:CSB-E12123Fh)进行测定,首先将血浆样品进行梯度稀释,然后使用上述试剂盒进行分析测定,发现胰岛素的含量

和稀释浓度之间均表现出较好的线性关系。在此基础上拟合出标准曲线,进而计算出各组血浆样品中的胰岛素水平。

1.4 数据统计与分析

实验数据采用 SPSS16.0 软件分析,实验结果以平均值 \pm 标准误 (means \pm SE) 表示。先进行单因素方差分析 (One-Way ANOVA), 采用 Duncan 氏法做多重比较分析组间差异显著程度, 显著水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 饲料糖脂比对建鲤幼鱼生产性能和饲料利用率的影响

饲料糖脂比对建鲤幼鱼的成活率、日摄食量

和肝体比均无显著影响 ($P > 0.05$) (表 2)。当糖脂比由 2.3 增加至 7.7 时,末重、增重率、特定生长率和蛋白质效率比均显著升高 ($P < 0.05$); 当糖脂比进一步增加时,其均呈现降低趋势,但差异不显著 ($P > 0.05$)。而饵料系数的变化趋势与此相反。当糖脂比由 2.3 增加至 5.6 时,氮保留率显著升高 ($P < 0.05$),而脏体比显著降低 ($P < 0.05$); 当糖脂比进一步增加时,二者均无显著变化 ($P > 0.05$)。以日粮糖脂比为横坐标,建鲤幼鱼增重率为纵坐标进行拟合分析,得出一个二次回归方程: $y = -4.249x^2 + 69.18x + 654, R^2 = 0.906$ 。对其进行求解,得出建鲤幼鱼的适宜糖脂比为 8.14, 此时其获得最大的生长速度,具体如图 1 所示。

表 2 不同糖脂比对建鲤幼鱼生产性能和饲料利用率的影响

Tab.2 Production performance and feed utilization of juvenile Jian carp fed diets with different CHO:L ratios

指标 parameters	糖脂比 dietary (CHO:L) ratios					
	2.3	3.0	4.0	5.6	7.7	12.1
末重/g FW	29.89 \pm 0.85 ^c	30.54 \pm 0.94 ^{bc}	33.10 \pm 1.08 ^{ab}	33.68 \pm 0.76 ^a	34.79 \pm 0.87 ^a	33.04 \pm 0.70 ^{ab}
增重率/% WGR	790.19 \pm 24.46 ^c	803.42 \pm 30.93 ^{bc}	890.62 \pm 47.32 ^{ab}	891.47 \pm 2.65 ^{ab}	937.30 \pm 27.15 ^a	868.13 \pm 11.41 ^{abc}
特定生长率/(%/d) SGR	3.90 \pm 0.05 ^c	3.93 \pm 0.06 ^{bc}	4.09 \pm 0.09 ^{ab}	4.10 \pm 0.00 ^{ab}	4.18 \pm 0.05 ^a	4.05 \pm 0.02 ^{abc}
饵料系数 FCR	1.34 \pm 0.03 ^a	1.33 \pm 0.05 ^{ab}	1.23 \pm 0.03 ^b	1.17 \pm 0.03 ^c	1.16 \pm 0.06 ^c	1.23 \pm 0.02 ^{bc}
日摄食量/(mg/d) DFR	634.46 \pm 11.94	640.47 \pm 4.74	653.22 \pm 12.51	631.54 \pm 6.19	651.35 \pm 11.41	651.91 \pm 9.39
蛋白质效率比 PER	1.90 \pm 0.05 ^b	1.92 \pm 0.08 ^b	2.04 \pm 0.06 ^{ab}	2.21 \pm 0.05 ^a	2.21 \pm 0.06 ^a	2.06 \pm 0.04 ^{ab}
氮保留率/% NRE	29.31 \pm 0.16 ^c	29.39 \pm 0.97 ^c	32.72 \pm 0.96 ^b	35.01 \pm 0.56 ^a	36.99 \pm 0.81 ^a	32.74 \pm 0.74 ^b
肝体比/% HSI	2.28 \pm 0.11	2.37 \pm 0.20	2.42 \pm 0.13	2.40 \pm 0.07	2.44 \pm 0.06	2.35 \pm 0.14
脏体比/% VSI	11.59 \pm 0.12 ^a	11.54 \pm 0.07 ^a	11.27 \pm 0.16 ^a	10.61 \pm 0.21 ^b	10.47 \pm 0.16 ^b	10.30 \pm 0.32 ^b
成活率/% SR	98.33 \pm 0.58	97.50 \pm 0.71	96.67 \pm 0.93	100.00 \pm 0.00	97.50 \pm 1.40	96.67 \pm 0.93

注:表中同列数据后标注不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$),下同

Notes: Values with different small letter superscripts in the same column mean significant difference ($P < 0.05$), The same as the following

饲料中糖脂比和建鲤增重率之间的关系可以用二次回归模型来表述: $y = -4.249x^2 + 69.18x + 654, R^2 = 0.906$ (图 1)。当饲料中糖脂比为 8.14 时,建鲤生长最佳。

2.2 饲料糖脂比对建鲤幼鱼全鱼、胴体和肝脏组成的影响

不同糖脂比对建鲤全鱼、胴体和肝脏的粗蛋白含量均无显著影响 ($P > 0.05$) (表 3)。当糖脂比由 2.3 增加至 7.7 时,全鱼、胴体和肝脏的脂肪含量均显著降低 ($P < 0.05$),而全鱼和胴体水分含量则显著升高 ($P < 0.05$),肝脏水分含量并无显著差异 ($P > 0.05$)。当糖脂比进一步增加时,其均无显著差异 ($P > 0.05$)。此外,建鲤肝糖原含量随饲料糖脂比的升高显著增加 ($P < 0.05$)。

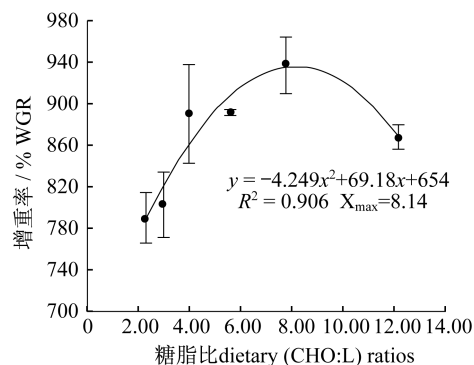


图 1 建鲤幼鱼的增重率与饲料中糖脂比的拟合分析
Fig.1 Relationship between weight gain rate and dietary CHO:L ratios of juvenile Jian carp

表 3 不同糖脂比对建鲤幼鱼全鱼、胴体和肝脏组成(以鲜样为基础)的影响
 Tab. 3 Proximate compositions (wet weight basis) of whole-body, carcass and liver of juvenile Jian carp fed diets with different CHO:L ratios

指标 parameters	糖脂比 dietary (CHO:L) ratios						
	2.3	3.0	4.0	5.6	7.7	12.1	
全鱼 whole-body	水分/% moisture	73.73 ± 0.46 ^b	73.91 ± 0.28 ^b	74.42 ± 0.03 ^{ab}	74.71 ± 0.11 ^{ab}	75.00 ± 0.23 ^a	75.18 ± 0.42 ^a
	粗蛋白/% crude protein	15.28 ± 0.13	15.27 ± 0.07	15.61 ± 0.27	15.49 ± 0.22	15.80 ± 0.15	15.51 ± 0.04
	粗脂肪/% crude lipid	8.22 ± 0.25 ^a	7.98 ± 0.35 ^a	7.59 ± 0.09 ^{ab}	7.56 ± 0.29 ^{ab}	6.85 ± 0.16 ^c	6.76 ± 0.45 ^c
胴体 carcass	水分/% moisture	71.16 ± 0.34 ^b	71.51 ± 0.38 ^b	71.47 ± 0.24 ^b	71.95 ± 0.23 ^{ab}	72.53 ± 0.11 ^a	72.57 ± 0.16 ^a
	粗蛋白/% crude protein	16.89 ± 0.60	16.01 ± 0.28	17.24 ± 0.53	16.59 ± 0.30	17.87 ± 0.97	17.18 ± 0.39
	粗脂肪/% crude lipid	6.51 ± 0.36 ^a	6.04 ± 0.37 ^{ab}	5.98 ± 0.27 ^{ab}	5.50 ± 0.02 ^{bc}	5.08 ± 0.09 ^c	4.86 ± 0.10 ^c
肝脏 liver	水分/% moisture	68.93 ± 0.38	69.07 ± 0.19	69.22 ± 0.25	69.53 ± 0.33	69.71 ± 0.21	69.89 ± 0.26
	粗蛋白/% crude protein	12.11 ± 0.28	12.48 ± 0.15	12.71 ± 0.57	12.65 ± 0.48	12.72 ± 0.08	12.49 ± 0.10
	粗脂肪/% crude lipid	10.36 ± 0.48 ^a	10.27 ± 0.83 ^a	9.13 ± 0.62 ^{abc}	8.88 ± 0.67 ^{ab}	8.12 ± 0.07 ^c	7.35 ± 0.39 ^c
	肝糖原/mg/g liver glycogen	38.72 ± 1.37 ^c	43.69 ± 1.46 ^{abc}	42.88 ± 2.37 ^{abc}	45.97 ± 0.82 ^{ab}	47.01 ± 2.30 ^{ab}	48.95 ± 1.98 ^a

2.3 饲料糖脂比对建鲤幼鱼肠道消化酶活性的影响

饲料糖脂比对建鲤肠道蛋白酶活性无显著性影响($P > 0.05$) (表 4)。当饲料糖脂比由 2.3

增加至 7.7 时,肠道脂肪酶活性显著降低($P < 0.05$),而淀粉酶活性显著升高($P < 0.05$);当糖脂比进一步增加时,其均无显著变化($P > 0.05$)。

表 4 不同糖脂比对建鲤幼鱼肠道消化酶活性的影响
 Tab. 4 Intestinal digestive enzymes activities of juvenile Jian carp fed diets with different CHO:L ratios

指标 parameters	糖脂比 dietary (CHO:L) ratios					
	2.3	3.0	4.0	5.6	7.7	12.1
蛋白酶/(U/mg) protease activity	39.21 ± 3.82	43.21 ± 2.15	45.62 ± 3.12	42.96 ± 3.64	51.87 ± 5.66	48.28 ± 4.48
脂肪酶/(U/g) amylase activity	32.69 ± 2.70 ^a	33.14 ± 1.93 ^a	30.92 ± 1.53 ^{ab}	28.49 ± 2.30 ^{ab}	25.61 ± 2.18 ^b	24.73 ± 1.49 ^b
淀粉酶/(U/g) lipase activity	139.69 ± 4.53 ^b	142.40 ± 10.83 ^b	159.19 ± 10.60 ^{ab}	158.70 ± 7.30 ^{ab}	178.07 ± 14.78 ^a	182.43 ± 11.28 ^a

2.4 饲料糖脂比对建鲤幼鱼肝脏酶活和血浆生化指标的影响

由表 5 可见,不同糖脂比对建鲤血浆总胆固醇含量均无显著影响($P > 0.05$)。当糖脂比由 2.3 增加至 7.7 时,建鲤血糖、胰岛素水平以及肝脏葡萄糖激酶和丙酮酸激酶活性均显著升高($P < 0.05$),而血浆甘油三酯含量则显著降低($P < 0.05$)。当糖脂比进一步增加时,其均无显著差异($P > 0.05$)。

3 讨论

本实验结果表明,在等氮等能条件下,饲料非蛋白能源中不同的糖脂配比对建鲤幼鱼的生长和饲料利用率均有显著影响。饲料中糖脂配比由 2.3 上升至 7.7 时,建鲤幼鱼的增重率逐渐升高,

当其进一步上升至 12.1 时,增重率又呈下降趋势,在糖脂比为 8.14 (糖水平和脂肪水平分别为 38.21% 和 4.69%) 时,其增重率达到最大值,同时蛋白质效率比和氮保留率也呈现与其相同的趋势,类似的研究结果在各种食性的鱼类上均有报道,例如 鲈 (*Pleuronectes platessa*)^[18]、长吻鮠 (*Leiocassis longirostris* Günther)^[19]、尼罗罗非鱼 (*Oreochromis niloticus*)^[20] 和 草鱼 (*Ctenopharyngodon idella*)^[7] 等。本实验中,低糖高脂组和高糖低脂组均有较低的增重率、氮保留率和蛋白质效率比,并且具有较大的饵料系数。究其原因,可能是由于过高的脂肪或可消化糖含量会降低饲料的适口性,进而降低了鱼类的摄食量,减少其他营养物质的摄入量,最终导致其增长速度缓慢^[21]。此外,高糖低脂组中,3.41% 的饲

表 5 不同糖脂比对建鲤幼鱼肝脏酶活和血浆生化指标的影响
 Tab.5 Hepatic enzymes activities and plasma biochemical parameters of juvenile Jian carp fed diets with different CHO:L ratios

指标 parameters	糖脂比 dietary (CHO:L) ratios					
	2.3	3.0	4.0	5.6	7.7	12.1
葡萄糖激酶活性/(U/g) glucokinase	2.18 ± 0.12 ^{bc}	1.93 ± 0.11 ^c	2.39 ± 0.17 ^{abc}	2.68 ± 0.21 ^{ab}	2.95 ± 0.20 ^a	3.06 ± 0.18 ^a
丙酮酸激酶活性/(U/g) pyruvate kinase	34.04 ± 3.81 ^c	40.59 ± 5.81 ^{bc}	49.72 ± 5.24 ^{abc}	47.45 ± 6.00 ^{abc}	57.70 ± 7.28 ^{ab}	61.88 ± 4.05 ^a
血糖/(mmol/L) serum glucose	3.81 ± 0.39 ^b	4.31 ± 0.21 ^b	4.71 ± 0.48 ^{ab}	4.65 ± 0.21 ^{abc}	5.65 ± 0.40 ^a	5.74 ± 0.43 ^a
胰岛素/(mU/L) insulin	3.25 ± 0.25 ^b	3.15 ± 0.29 ^b	3.46 ± 0.39 ^{bc}	3.77 ± 0.24 ^{ab}	4.46 ± 0.26 ^a	4.57 ± 0.19 ^a
总胆固醇/(mmol/L) total cholesterol	8.74 ± 0.44	8.52 ± 0.51	8.53 ± 0.78	7.90 ± 0.36	7.78 ± 0.60	7.80 ± 0.53
甘油三酯/(mmol/L) triacylglycerol	6.51 ± 0.57 ^a	5.40 ± 0.47 ^{ab}	5.36 ± 0.52 ^a	5.00 ± 0.43 ^{bc}	4.26 ± 0.50 ^b	4.24 ± 0.19 ^b

料脂肪水平并不能满足建鲤幼鱼对必需脂肪酸的需求,而必需脂肪酸的缺乏会降低鱼类的成活率,抑制其正常生长,类似的研究结果在许多鱼类上已有验证^[4,7,22]。然而相比之下,高糖低脂组比低糖高脂组的生长性能要好,说明在等氮等能的条件下,适当升高日粮中的糖脂配比能够促进建鲤的生长,提高其对饲料的利用率。此外,这一结果也从侧面表明建鲤对饲料中的糖类有较强的利用能力。然而,Kheyyali 等^[10]的研究表明,等氮等能条件下,不同糖脂比(1.4%~15.4%)对初重为 75.6 g 的鲤的生长和饵料系数均无显著差异,这与本实验结果有较大不同。造成这种差异的原因可能是实验用鱼规格不同,其对糖类的利用能力也不同^[21];再者,养殖水温的不同也会影响鲤对非蛋白能源的利用,已有研究表明低温时,鱼类更偏向于用脂肪氧化供能,糖酵解酶类活力无补偿增高,降低了其对于糖类的分解利用^[23]。

本实验结果表明,当饲料糖脂比降低时,建鲤幼鱼全鱼、胴体和肝脏中脂肪含量以及脏体比均显著升高。究其原因,可能是因为当饲料中脂肪含量过高时,部分脂肪并未被鱼体充分利用而是沉积在肌肉、肝脏和肠系膜等组织处,进而导致体脂肪含量和脏体比的升高,进一步证明了鱼体脂肪沉积的重要原因之一便是饲料中脂肪的升高^[24-26]。此外,随着日粮中糖脂比的升高,建鲤幼鱼肝体比呈升高趋势,肝糖原含量亦显著升高,这可能是因为日粮中过多的糖类会转化为糖原储

存在鱼类肝脏中,致使其出现肝脏肿大现象,直接导致肝糖原含量和肝体比的升高。此外,本实验中建鲤幼鱼全鱼、胴体和肝脏的粗蛋白含量受日粮糖脂比的影响不显著。根据已有研究可知这个结果是合理的,因为鱼体的蛋白质含量主要与其规格的大小和所处的生长阶段有关,而和日粮的相关性不大(Lanari 等^[27])。

研究表明,不同种类的鱼可以根据不同饲料来分泌调节其消化酶的活性^[28]。一般,杂食性鱼类的调节能力远高于其他食性鱼类^[29-30],本实验结果显示,建鲤肠道脂肪酶活性与日粮脂肪水平呈显著正相关性,这表明随着脂肪水平的升高,其对日粮中脂肪的消化吸收能力逐渐增强,这可能是因为随着饲料脂肪水平的升高,增大了脂肪酶与底物的反应作用面积^[31],进而提高了幼鱼对脂肪的消化利用能力。当达到一定程度的脂肪水平,幼鱼脂肪酶活性并未持续升高,说明脂肪仅能在一定范围内对脂肪酶活性起到增强作用。由实验看来,建鲤幼鱼肠道淀粉酶活性随着饲料中糖的增加而增加,这表明适宜的糖含量可以促进其肠道淀粉酶的合成和分泌。实验中,当糖脂比为 3.0 时,建鲤肠道蛋白酶和淀粉酶都处在最低水平,也从侧面反映了高脂对建鲤利用蛋白质和糖有一定的抑制作用。

研究表明,鱼类对糖的利用能力与糖酵解酶的活性密切相关,而葡萄糖激酶和丙酮酸激酶是机体糖酵解途径中的 2 个关键限速酶,其活性可

以在一定程度上反映鱼体的糖代谢能力^[8]。本实验中,当饲料糖脂比由 2.3 升高至 7.7 时,建鲤幼鱼肝脏葡萄糖激酶活性和丙酮酸激酶活性均显著升高,表明其对糖类的代谢能力显著增强,也反映了其对高糖具有较强的耐受力。然而,当糖脂比进一步升高时,二者均无显著变化,表明这 2 种酶的活性已经饱和,过高的糖类不能再促进酶活性的升高,从侧面反映出 37.3% 左右的糖是建鲤幼鱼可以承受的极限。此外,本实验结果表明,建鲤幼鱼血糖和血浆胰岛素水平与饲料糖脂比均呈显著正相关性,从侧面反映出其对糖类的利用能力较强。类似结果见 Wilson^[8] 的研究,究其原因可能是因为日粮中过高的糖含量会导致鱼体血糖水平的升高,高血糖会促进机体胰岛素的分泌和释放,从而清除体内多余的糖类以缓解机体的代谢负担。本实验中,随着糖脂比的下降,血液中甘油三酯含量显著升高,表明鱼体为了应对高脂饲料而加强了对脂肪的运输,这也从侧面反映出该鱼体内沉积的脂肪主要来自饲料而非其他营养物质,类似的研究结果见于团头鲂 (*Megalobrama amblycephala*)^[26,29] 和瘤棘鲃 (*Psetta maxima*)^[32]。

4 小结

综上所述,在等氮等能的条件下,当日粮中糖脂配比为 8.14 时(此时对应的糖水平和脂肪水平分别为 38.21% 和 4.69%),建鲤幼鱼达到最佳生长水平。此外,建鲤对糖和脂肪均有较好的利用能力,但是其对糖类的利用能力稍强于脂肪。

参考文献:

- [1] Watanabe T. Strategies for further development of aquatic feeds [J]. *Fisheries Science*, 2002, 68 (2): 242 - 252.
- [2] Webster C D, Tiu L G, Tidwell J H, *et al.* Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) reared in cages [J]. *Aquaculture*, 1995, 131(3 - 4): 291 - 301.
- [3] Hanley F. Effects of feeding supplementary diets containing varying levels of lipid on growth, food conversion, and body composition of Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.) [J]. *Aquaculture*, 1991, 93(4): 323 - 334.
- [4] Garling D L, Wilson R P. Optimum dietary protein to energy ratio for channel catfish fingerlings, *Ictalurus punctatus* [J]. *The Journal of nutrition*, 1976, 106 (9): 1368 - 1375.
- [5] Furuichi M, Yone Y. Effect of dietary dextrin levels on the growth and feed efficiency, the chemical composition of liver and dorsal muscle, and the absorption of dietary protein and dextrin in fishes [J]. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries*, 1980, 46(2): 225 - 229.
- [6] Hofer R, Sturmhuber C. Inhibition of trout and carp α -amylase by wheat [J]. *Aquaculture*, 1985, 48(3 - 4): 277 - 283.
- [7] Gao W, Liu Y J, Tian L X, *et al.* Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth performance, body composition, nutrient utilization and hepatic enzymes activities of herbivorous grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) [J]. *Aquaculture Nutrition*, 2010, 16(3): 327 - 333.
- [8] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish [J]. *Aquaculture*, 1994, 124(1 - 4): 67 - 80.
- [9] Sun X Y, Zhang J S, Shi Y H, *et al.* Studies on the genetic characteristic of Jian carp (*Cyprinus carpio* var Jian) in China [J]. *Aquaculture*, 1995, 137(1): 276 - 277.
- [10] Kheyyali D, Shimeno S, Takeda M. Effect of dietary carbohydrate and lipid levels on hepatopancreatic enzymes and body composition in carp [J]. *Feeding and Nutrition in Fish*, 1989: 451 - 460.
- [11] Murai T, Akiyama T, Nose T. Effects of glucose chain length of various carbohydrates and frequency of feeding on their utilization by fingerling carp [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1983, 49 (10): 1607 - 1611.
- [12] Ogino C, Chiou J Y, Takeuchi T. Protein nutrition in fish, 6: Effects of dietary energy sources on the utilization of dietary proteins by rainbow trout and carp [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1976, 42 (2): 213 - 218.
- [13] Folch J, Lees M, Sloane Stanley G H. A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues [J]. *Journal of Biological Chemistry*, 1957, 226(1): 497 - 509.
- [14] Lowry O H, Rosebrough N J, Farr A L, *et al.* Protein measurement with the Folin phenol reagent [J]. *The Journal of Biological Chemistry*, 1951, 193 (1): 265 - 275.
- [15] Panserat S, Medale F, Blin C, *et al.* Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout, gilthead seabream, and common carp

- [J]. American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 2000, 278 (5):1164 – 1170.
- [16] Foster G D, Moon T W. Enzyme activities in the Atlantic hagfish, *Myxine glutinosa*: changes with captivity and food deprivation[J]. Canadian Journal of Zoology, 1986, 64(5):1080 – 1085.
- [17] Asadi F, Hallajian A, Asadian P, et al. Serum lipid, free fatty acid, and proteins in juvenile sturgeons: *Acipenser persicus* and *Acipenser stellatus* [J]. Comparative Clinical Pathology, 2009, 18 (3): 287 – 289.
- [18] Cowey C B, Adron J W, Brown D A, et al. Studies on the nutrition of marine flatfish. The metabolism of glucose by plaice (*Pleuronectes platessa*) and the effect of dietary energy source on protein utilization in plaice [J]. British Journal of Nutrition, 1975, 33 (2):219 – 231.
- [19] Tan Q, Xie S, Zhu X, et al. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth and feed utilization in Chinese longsnout catfish (*Leiocassis longirostris* Günther) [J]. Journal of Applied Ichthyology, 2007, 23(5):605 – 610.
- [20] Shimeno S, Ming D C, Takede, M. Metabolic response to dietary carbohydrate to lipid ratios in *Oreochromis niloticus*[J]. Nippon Suisan Gakkaishi, 1993, 59(5):827 – 833.
- [21] Mokoginta I, Takeuchi T, Hadadi A, et al. Different capabilities in utilizing dietary carbohydrate by fingerling and subadult giant gouramy *Osphronemus gouramy*[J]. Fisheries Science, 2004, 70 (6): 996 – 1002.
- [22] Ellis S C, Reigh R C. Effects of dietary lipid and carbohydrate levels on growth and body composition of juvenile red drum, *Sciaenops ocellatus* [J]. Aquaculture, 1991, 97(4):383 – 394.
- [23] Cordiner S, Egginton S. Effects of seasonal temperature acclimatization on muscle metabolism in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 1997, 16 (4): 333 – 343.
- [24] Martino R C, Cyrino J E P, Portz L, et al. Effect of dietary lipid level on nutritional performance of the surubim, *Pseudoplatystoma coruscans* [J]. Aquaculture, 2002, 209(1):209 – 218.
- [25] Chou B S, Shiau S Y. Optimal dietary lipid level for growth of juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus* × *Oreochromis aureus* [J]. Aquaculture, 1996, 143(2):185 – 195.
- [26] Li X F, Liu W B, Jiang Y Y, et al. Effects of dietary protein and lipid levels in practical diets on growth performance and body composition of blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings [J]. Aquaculture, 2010, 303(1 – 4):65 – 70.
- [27] Lanari D, Poli B M, Ballestrazzi R, et al. The effects of dietary fat and NFE levels on growing European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.). Growth rate, body and fillet composition, carcass traits and nutrient retention efficiency [J]. Aquaculture, 1999, 179(1 – 4):351 – 364.
- [28] Moro G V, Camilo R Y, Moraes G, et al. Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen* [J]. Aquaculture Research, 2010, 41(3):394 – 400.
- [29] Li X F, Jiang Y Y, Liu W B, et al. Protein-sparing effect of dietary lipid in practical diets for blunt snout bream (*Megalobrama amblycephala*) fingerlings: effects on digestive and metabolic responses [J]. Fish Physiology and Biochemistry, 2012, 38 (2): 529 – 541.
- [30] Buddington R K, Chen J W, Diamond J. Genetic and phenotypic adaptation of intestinal nutrient transport to diet in fish [J]. The Journal of Physiology, 1987, 393(1):261 – 281.
- [31] Giri S S, Sahoo S K, Sahu A K, et al. Effect of dietary protein level on growth, survival, feed utilisation and body composition of hybrid Clarias catfish (*Clarias batrachus* × *Clarias gariepinus*) [J]. Animal Feed Science and Technology, 2003, 104(1 – 4):169 – 178.
- [32] Regost C, Arzel J, Cardinal M, et al. Dietary lipid level, hepatic lipogenesis and flesh quality in turbot (*Psetta maxima*) [J]. Aquaculture, 2001, 193(3 – 4):291 – 309.

Effects of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, body composition, digestion and glycolysis of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *Jian*)

WANG Fei, LI Xiangfei, LI Guifeng, LIU Wenbin*

(Key Laboratory for Aquaculture Nutrition of Jiangsu Province, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The object of this study was to evaluate the effects of dietary carbohydrate-to-lipid (CHO:L) ratios on growth performance, body composition, digestive activities and glycolysis of juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*). Fish were fed six isonitrogenous and isoenergetic diets with different (CHO:L) ratios (2.3, 3.0, 4.0, 5.6, 7.7, 12.1) three times daily for 8 weeks. The results indicated that weight gain rate (WGR), specific growth rate (SGR), protein efficiency ratio (PER) and nitrogen retention efficiency (NRE) increased significantly ($P < 0.05$) when dietary CHO:L increased from 2.3 to 7.7, and then they nonsignificantly decreased ($P > 0.05$) as dietary CHO:L ratios increased from 7.7 to 12.1, while feed conversion ratio (FCR) showed the opposite variation trend. The values of viscerosomatic index (VSI) increased significantly ($P < 0.05$) as dietary CHO:L ratios decreased, so as the whole body, carcass and liver lipid. There were no significant differences in whole body, carcass and liver crude protein among dietary treatments ($P > 0.05$). Intestine amylase activities increased significantly ($P < 0.05$) as dietary CHO:L ratios increased, whereas intestine lipase activities increased significantly ($P < 0.05$) as dietary CHO:L ratios decreased. Liver glycogen, blood glucose and insulin increased significantly ($P < 0.05$) as CHO:L ratios increased. Activities of glucokinase and pyruvate kinase were stimulated significantly ($P < 0.05$) by elevated levels of dietary carbohydrate. However, plasma total cholesterol and triacylglyceride levels increased linearly as dietary CHO:L ratios decreased ($P < 0.05$). Based on a second-order polynomial regression analysis of WGR against dietary CHO:L ratios, corresponding to a CHO:L ratio of 8.14, a diet holding 350 g/kg of crude protein and 13.2 MJ/kg of digestive energy, proved to be optimal for juvenile Jian carp. These results demonstrated that utilization of dietary lipid and carbohydrate was moderate in juvenile Jian carp, but the fish was a little more capable of utilizing carbohydrate compared with lipid.

Key words: *Cyprinus carpio* var. *jian*; carbohydrate-to-lipid ratio; growth; body composition; digestion; glycolysis

Corresponding author: LIU Wenbin. E-mail: wblu@njau.edu.cn