

瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson)幼 鱼日粮中主要营养素需要量研究*

黄 钧¹ 冯 健¹ 孙 挺² 黄晓燕² 何 雷² 杜卫平²

(1. 广西大学动物科技学院 南宁 530004; 2. 四川农业大学动物科技学院 雅安 625014)

提要 采用“金字塔”法对瓦氏黄颡鱼幼鱼日粮中主要营养素的需要量进行了研究。试验共持续了 60 天。实验日粮中蛋白质、脂肪、碳水化合物设定的范围分别为 30%—48%、3%—18%和 26%—35%。结果表明,当日粮碳水化合物在 26%—32%,脂肪 6%—12%,蛋白质 39%—48%,能量在 15.63—16.95MJ/kg 和能量蛋白比为 364—435J/mg 时,瓦氏黄颡鱼幼鱼均获得较好的生长率;日粮脂肪水平为 12%以上时肝组织有不同程度的脂肪变性和坏死;肌肉蛋白质、脂肪和碳水化合物的沉积受日粮中的蛋白质、脂肪和碳水化合物的影响,存在显著性差异($P<0.05$);肝体指数和肠脂比随日粮中脂肪含量升高而增大,肝脏中的糖原含量受到日粮中添加碳水化合物水平的影响,且有显著差异($P<0.05$);日粮中可消化能显著影响肌肉中脂肪的沉积,肠脂比、肝体指数和内脏比都随日粮中可消化能水平提高而呈上升趋势。本实验结果表明,瓦氏黄颡鱼幼鱼日粮中主要营养素的适宜需要量为蛋白质 39%—42%、脂肪 6%—9%、碳水化合物 26%—29%、能量 15.63—16.95MJ/kg、能量蛋白比 364—435J/mg。

关键词 瓦氏黄颡鱼, 营养, 蛋白质, 脂肪, 碳水化合物

中图分类号 S963.73

黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)隶属于鲇形目(Siluriformes)、鮠科(Bagride)、黄颡鱼属(*Pelteobagrus*)(丁瑞华, 1994),广泛分布于长江、黄河、珠江及黑龙江流域,是近年来我国广泛养殖的一种小型本土经济鱼类,其肉细嫩,味道鲜美,营养价值高,深受消费者喜爱,具有潜在的广阔市场。瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson)由于体型大、生长快,是我国养殖量最大并具有代表性的黄颡鱼品种。有关黄颡鱼生物学、繁殖、投饲料率、投饲料频率、耗氧率、氨氮排泄率以及肌肉营养组成等诸多方面都已有研究(刘世平, 1997; 王吉桥等, 2005a, b);黄颡鱼的蛋白质需要也有报道(王武等, 2003; 蒋蓉等, 2004)。但有关黄颡鱼的营养需求,特别是对脂肪、碳水化合物和能量需要量的相关数据,仍然相当匮乏。

传统鱼类营养学对蛋白质、脂肪和碳水化合物等主要营养素需要量的研究方法为等能量单因子方法,需要逐一对其蛋白质、脂肪和碳水化合物等主要营养素进行试验和评估,具有时间长、财力与人力花费大、需要综合评估等缺陷。“金字塔”法可以在较短或同一时间内同时确定动物日粮中蛋白质、脂肪、碳水化合物、能量水平和能量/蛋白质比例这些主要营养素需求量的适宜范围。Hamre(2003)运用此方法成功地进行了大西洋比目鱼幼鱼对蛋白质、脂肪和碳水化合物需求量的研究,但遗憾的是该实验没有重复组。与传统鱼类营养研究方法相比,“金字塔”法可一次性研究鱼类对蛋白质、脂肪和碳水化合物有效可靠的利用范围,并且考虑到了蛋白质、脂肪、碳水化合物的交叉效果,增加了实验的可靠性,缩短了实验周期,是目前鱼类营养学研究上的一种新方法。本实验

* 广西自然科学基金资助重点项目, 20086-1-1 号。黄 钧, 副教授, E-mail: huangjun@gxu.edu.cn

通讯作者: 冯 健, 博士, 教授, E-mail: fengjian08@163.com

收稿日期: 2008-03-12, 收修改稿日期: 2008-05-09

中遵循“金字塔”法,结合传统的方差设计基本思想,除中心组4个重复外,其余各组设立3个重复,弥补了原方法没有重复的缺陷,增强了实验的可靠性。研究了黄颡鱼幼鱼阶段对日粮中主要营养素需求量,试图一次性确定瓦氏黄颡鱼幼鱼对日粮蛋白质、脂肪和碳水化合物有效的利用范围和日粮蛋白质、脂肪、碳水化合物对瓦氏黄颡鱼幼鱼营养生理的交叉效果。

1 材料与方 法

1.1 实验设计与日粮

实验日粮的设计参照(Cornell, 1990),实验选择蛋白质、脂肪和碳水化合物作为日粮组成变量。21

种日粮(处理组),中心点遵循原实验设计,设立四个(即一个日粮重复4次)作为实验的修正值;结合传统方差设计思想,其余处理组设立三个(即一个日粮重复3次)。此方法既可以计算出日粮中主要营养素的需求范围,也可以对数据进行方差分析。根据对黄颡鱼的现有研究结果(韩庆等,2002,2005;王武等,2003;蒋蓉等,2004),确定日粮中蛋白质、脂肪、碳水化合物和能量的范围。

实验日粮原料的主要营养成分见表1,日粮的组成和分析见表2。日粮中蛋白质主要来源于北大西洋鱼粉和大豆粕,主要脂肪来源于食用色拉油和秘鲁鱼油(2:1),主要碳水化合物来源于面粉,其维生素

表1 日粮原料的主要成分组成
Tab.1 Composition of the dietary ingredients

原料	干物质(g/kg 湿重)	蛋白质(g/kg 湿重)	脂肪(g/kg 湿重)	灰分(g/kg 湿重)	碳水化合物(g/kg 湿重)
鱼粉	859.8	584.7	76.2	76.2	122.7
豆粕	895.5	454.5	3.5	66.1	371.4
面粉	866.9	107.4	9.2	4.5	745.8
鱼油	1000	0	1000	0	0
色拉油	0	0	1000	0	0

表2 日粮设计理论值和分析值及能量组成
Tab.2 The theoretical and analytical proximate composition and energy of the experimental diets

饲料号	理论值(g/kg 干重)			实测值(g/kg 干重)			可消化能(MJ/kg)
	蛋白质	脂肪	碳水化合物	蛋白质	脂肪	碳水化合物*	
1	300	150	350	300.4	151.0	378.1	17.72
2	330	120	350	330.1	120.3	370.4	17.00
3	360	90	350	360.3	90.7	361.2	16.30
4	390	60	350	390.0	60.0	353.4	15.57
5	300	180	320	300.1	180.0	352.9	18.39
6	330	150	320	330.3	150.4	343.7	17.69
7	360	120	320	360.5	120.8	334.5	16.99
8	390	90	320	390.2	90.1	326.7	16.26
9	420	60	320	420.4	60.5	321.5	15.63
10	450	30	320	450.3	37.4	325.7	15.39
11	330	180	290	330.5	180.5	317.0	18.38
12	360	150	290	360.1	150.8	308.5	17.68
13	390	120	290	390.4	120.2	300.1	16.95
14	420	90	290	420.6	90.6	290.9	16.25
15	450	60	290	450.2	60.9	293.2	15.73
16	480	30	290	480.3	39.8	291.6	15.48
17	390	150	260	390.6	150.4	273.4	17.64
18	420	120	260	420.2	120.7	264.9	16.94
19	450	90	260	450.4	90.1	265.3	16.37
20	480	60	260	480.1	60.4	269.7	15.88
21	375	120	305	371.5	120.3	329.5	17.09

* 碳水化合物 = 100 - (蛋白质+脂肪+灰分+水分)。可消化能量(digestible energy, DE): Protein = 18.9kJ/g, fat = 37.7kJ/g, carbohydrate = 16.8kJ/g

和矿物质参照 NRC(1993)标准添加。饲料原料均过 60 目筛, 制成直径为 1.5mm 的硬颗粒饲料, 存放于 -20℃ 冰柜中备用。除第 10 组和第 16 组日粮脂肪高于理论值外, 日粮蛋白质和脂肪水平较接近理论值, 而碳水化合物稍高于理论值。

1.2 试验鱼

1280 尾初始体重为(5.7±0.5)g 的瓦氏黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)幼鱼, 由四川农业大学水产实习基地提供, 从一尾亲鱼的受精卵孵化的水花培养的鱼苗中选出。在水泥池(924cm×728cm×155cm)中固定 64 口网箱(100cm×70cm×90cm)。将 1280 尾鱼随机分成 64 组, 随机放入 64 口网箱, 每口网箱内设圆形食台($r = 8.5\text{cm}$)一个。水泥池保持水深(1.4±0.1)m, 网箱水深不低于 0.7m。第 60 天称重, 称重前停食一天。

1.3 饲养与管理

实验鱼暂养 10 天后开始正式实验, 实验期间使用黑色避光网覆盖 1/2 网箱; 试验期间每天在 7:30 和 18:00 按饱食量投喂, 并记录水温。每三天换水一次, 每次换水 2—4h, 换水量为水泥池总水量 1/3, 实验持续 60 天。试验期间测的水温为(26.0±1.8)℃; 水体溶解氧为(8.136±0.396)mg/L, 总硬度为(84.7±3.7)mg/L, 硝酸盐浓度为(0.018±0.001)mg/L, 亚硝酸盐浓度为(0.037±0.002)mg/L, pH 为 7.11±0.17, 氨氮为(0.101±0.004)mg/L。

1.4 分析方法

实验开始时与结束后对各重复实验鱼称重、计数, 计算其存活率、特定生长率与饲料效益。饲养实验结束后每个重复随机取 10 尾鱼, 每组共取 30 尾鱼, 分别称体重, 取内脏、肝脏和剥离肠脂称重, 计算内脏比(内脏/体重), 肝体指数(HSI)(肝脏重/体重)和肠脂比(肠脂肪重/体重), 并取样保存在 -20℃ 的冰箱中, 以备分析。水分测定采用 105℃ 常压干燥法, 碳水化合物、粗蛋白质和粗脂肪测定分别采用蒽酮法、微量凯氏定氮法和乙醚抽提法。每个样本分析测定两个平行, 两个平行的误差允许在 1%以内。每个重复随机取 3 尾鱼(每组共取 9 尾鱼)的肝脏组织块固定于福尔马林缓冲溶液中, 石蜡固定, 切片 5μm, H.E 染色和肝脏糖原碘染色观察组织变化。

1.5 计算和分析

特定生长率(SGR)的计算参考 Houde 等(1981)方法:

$$SGR(\%) = (e^g - 1) \times 100\%$$

其中, $g = [\ln(W_2) - \ln(W_1)] / t$, W_1 代表各组鱼的初均重, W_2 代表各组鱼的末均重, t 代表饲喂天数。

使用 SPSS13.0 数据统计包实验结果进行方差分析, 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 T2 法进行单因素方差分析; 显著水平采用 0.05。

2 结果

2.1 日粮中蛋白质、脂肪、碳水化合物含量与特定生长率和成活率

21 个处理组瓦氏黄颡鱼幼鱼实验开始时平均体重为 5.75g, 结束时平均体重为 16.30—44.00g。由表 3 可知, 各组瓦氏黄颡鱼幼鱼在整个实验阶段的存活率在 85.00%—95.83%之间, 日粮脂肪水平为 18%和 15%时存活率显著低于其它各脂肪水平($P < 0.05$), 日粮脂肪水平为 3%—12%时其存活率无显著差异($P > 0.05$)。由图 1 可知, 试验各组鱼特定生长率在 1.74%/d—3.39%/d 之间, 当日粮碳水化合物为 26%—32%、脂肪为 6%—12%、相对应蛋白质区间为 39%—48%时, 特定生长率较高。日粮中能量水平随日粮中脂肪含量的变化而变化(表 2), 能量与特定生长率之间的变化规律与脂肪同特定生长率之间的变化相似, 日粮能量水平在 15.63—16.95MJ/kg 时, 特定生长率较高。当碳水化合物含量为 26%、脂肪水平为 12%、蛋白质水平 42%时, 获得最大的特定生长率 $3.39 \pm 0.08\%/d$, 其能量蛋白比(rate of digestible energy to protein, E/P)为 403J/mg; 而日粮碳水化合物为 35%、脂肪水平为 3%、15%和 18%, 蛋白质水平为 30%

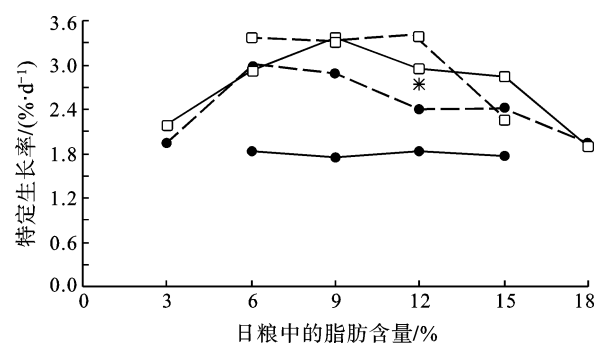


图 1 实验各组鱼的特定生长率(%/d)

Fig. 1 The specific growth rates (SGR) (%/d) of the fish fed with various diets

注: 图例表示日粮中的碳水化合物含量: —●— 35%, - - -●- - 32%, —□— 29%, - - -□- - 26%, *表示中心点

表 3 试验各组鱼数量及死亡率
Tab.3 The number of fish at the beginning and the mortality in all test groups

日粮号	尾数(n)	死亡数(n)	死亡率(%)	日粮号	尾数(n)	死亡数(n)	死亡率(%)
1	60	6	10.0±2.4 ^{ab}	12	60	8	13.3±2.4 ^c
2	60	6	10.0±4.1 ^{ab}	13	60	5	8.3±2.4 ^{ab}
3	60	3	5.0±4.1 ^a	14	60	2	3.3±2.4 ^a
4	60	3	5.0±4.1 ^a	15	60	3	5.0±4.1 ^a
5	60	7	11.7±2.4 ^c	16	60	2	3.3±2.4 ^a
6	60	9	15.0±4.1 ^c	17	60	10	16.7±2.4 ^c
7	60	3	5.0±4.1 ^a	18	60	4	6.7±2.4 ^a
8	60	2	3.3±4.7 ^a	19	60	3	5.0±4.1 ^a
9	60	3	5.0±4.1 ^a	20	60	2	3.3±2.4 ^a
10	60	3	5.0±4.1 ^a	21	80	6	10.0±4.1 ^{ab}
11	60	9	15.0±4.1 ^c	11	60	9	15.0±4.1 ^c

注：右上角不同字母表示差异显著($P<0.05$)

和 33%时, 能量高于 16.95MJ/kg 或低于 15.63MJ/kg, 特定生长率下降。

2.2 日粮中蛋白质、脂肪和碳水化合物在肌肉中的沉积效果

由图 2a 和表 4 可知, 肌肉中的蛋白质含量显著地受到日粮中蛋白质水平影响($P<0.05$), 日粮蛋白质含量为 36%—42%时, 肌肉中蛋白质含量较高。日粮碳水化合物含量为 26%时, 肌肉中蛋白质沉积量显著高于日粮碳水化合物含量为 32%和 35%时的。日粮中脂肪对肌肉中蛋白质含量影响不显著($P>0.05$)。

由图 2b 和表 4 可知, 随着日粮中脂肪水平的增加, 肌肉中脂肪水平也相应增加; 而随着相对应日粮中蛋白质水平的增加, 肌肉中脂肪含量相应降低。日粮碳水化合物水平为 32%和 35%时, 肌肉中的脂肪含量最大, 显著高于日粮碳水化合物为 26%时的肌肉脂肪含量($P<0.05$)。

由图 2c 和表 4 可知, 当日粮中碳水化合物从 26% 升高到 32%时, 肌肉中糖原含量随日粮中碳水化合物的升高而显著升高($P<0.05$), 但继续升高日粮中碳水化合物至 35%, 肌肉中糖原没有显著变化($P>0.05$)。肌肉中糖原含量不受日粮中脂肪水平的影响, 随日粮中蛋白质水平升高而降低, 蛋白质水平为 45%和 48%时, 肌肉糖原含量最低, 显著低于其它各日粮蛋白质水平($P<0.05$)。

由图 2 和表 4 可知, 日粮中能量水平对肌肉蛋白质和碳水化合物没有明显影响, 但肌肉中脂肪含量随日粮可消化能含量的升高而上升, 当日粮可消化能含量大于 16.95MJ/kg 时, 肌肉中脂肪含量显著升高($P<0.05$)。

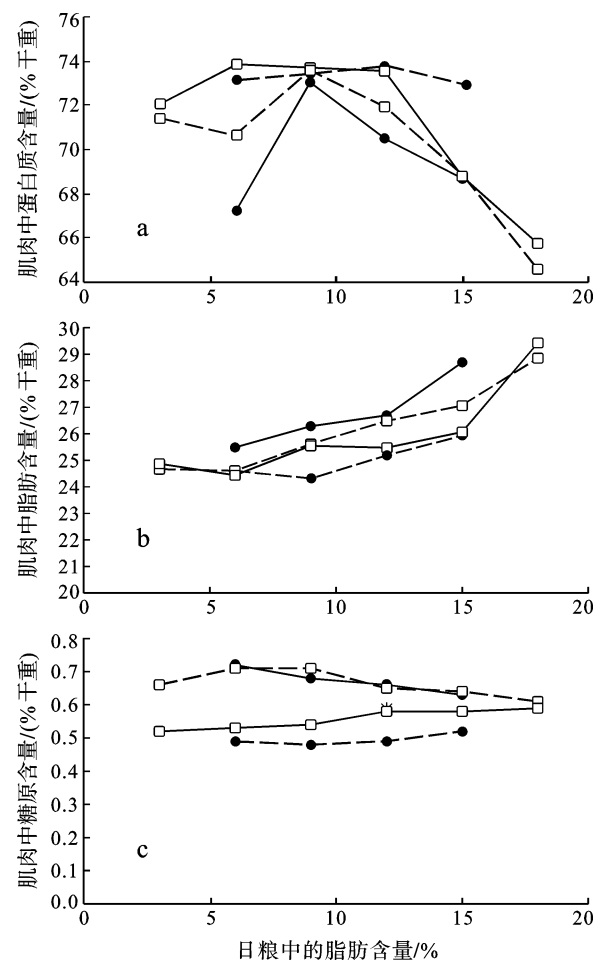


图 2 实验各组鱼肌肉中的蛋白质、脂肪和糖原
Fig.2 The whole body macronutrient composition (g/kg wet wt) of the yellow catfish juveniles fed with various macronutrient compositions for 60 days
a. 蛋白质, b. 脂肪, c. 糖原。图例表示日粮中的碳水化合物含量: —●— 35%, - - □ - - 32%, —□— 29%, - - - - 26%, *表示中心点

表 4 实验各组鱼的肝体指数、肠脂比、肝脏中糖原含量和肌肉中蛋白质、脂肪、糖原含量(%)
Tab.4 Hepatosomatic index (HIS), fat in mesentery/body (FMB), liver glycogen content (LGC), and protein, lipid, glycogen contents in muscle of fish (%)

饲料号	肝体指数 HIS	肠脂比 FMB	肝脏糖原含量 LGC(湿重)	肌肉蛋白质含量 (干重)	肌肉脂肪含量 (干重)	肌肉糖原含量 (干重)
1	3.64±0.12 ^{def}	4.84±0.15 ^{ef}	9.14±0.06 ^l	68.70±0.23 ^{bc}	28.69±0.05 ^g	0.63±0.01 ^{fg}
2	3.30±0.14 ^{abcd}	4.37±0.24 ^{bcd}	9.08±0.24 ^l	70.44±0.23 ^{cde}	26.69±0.87 ^{ef}	0.66±0.01 ^{hi}
3	3.10±0.10 ^{ab}	4.05±0.38 ^{abcd}	8.79±0.02 ^k	73.05±0.34 ^{efg}	26.29±0.11 ^{def}	0.68±0.01 ⁱ
4	3.55±0.09 ^{cdef}	4.59±0.28 ^{bcd}	9.06±0.04 ^l	67.11±4.19 ^{ab}	25.49±0.18 ^{abcde}	0.72±0.01 ^j
5	3.83±0.09 ^f	5.36±0.23 ^f	9.01±0.03 ^l	64.60±0.06 ^a	28.85±0.38 ^g	0.61±0.01 ^f
6	3.66±0.13 ^{def}	4.70±0.24 ^{cdef}	8.06±0.04 ^j	68.88±0.13 ^{bcd}	27.06±0.76 ^f	0.64±0.01 ^{fg}
7	3.31±0.17 ^{abcd}	4.43±0.23 ^{bcd}	7.91±0.03 ^{ij}	71.97±0.08 ^{defg}	26.49±0.05 ^{def}	0.65±0.01 ^{gh}
8	3.33±0.09 ^{abcd}	3.99±0.18 ^{ac}	7.78±0.08 ⁱ	73.57±0.14 ^{fg}	25.61±0.19 ^{abcde}	0.71±0.02 ^j
9	3.19±0.18 ^{abc}	4.07±0.29 ^{abcd}	5.72±0.10 ^d	70.72±0.56 ^{cdef}	24.60±0.05 ^a	0.71±0.01 ^j
10	3.23±0.14 ^{abc}	4.04±0.41 ^{abcd}	5.39±0.05 ^b	71.39±0.25 ^{cdefg}	24.66±0.15 ^{ab}	0.66±0.01 ^{hi}
11	3.75±0.15 ^{ef}	5.40±0.23 ^f	7.75±0.02 ^l	65.78±0.22 ^{ab}	29.43±0.04 ^g	0.59±0.01 ^e
12	3.11±0.28 ^{ab}	4.05±0.21 ^{abcd}	7.37±0.01 ^{gh}	68.86±0.20 ^{bc}	26.07±0.12 ^{cdef}	0.58±0.00 ^e
13	3.01±0.12 ^{ab}	3.38±0.17 ^{ab}	7.54±0.07 ^h	73.58±0.11 ^{fg}	25.48±0.48 ^{abcde}	0.58±0.01 ^e
14	2.93±0.13 ^{ab}	3.97±0.15 ^{ab}	7.43±0.02 ^h	73.77±0.23 ^{fg}	25.54±0.15 ^{abcde}	0.54±0.00 ^d
15	3.10±0.14 ^{ab}	4.13±0.30 ^{bcd}	5.43±0.10 ^b	73.88±0.25 ^g	24.44±0.17 ^a	0.53±0.01 ^{cd}
16	3.15±0.14 ^{abc}	3.95±0.18 ^{ab}	5.18±0.06 ^a	72.08±0.71 ^{efg}	24.87±0.19 ^{abc}	0.52±0.01 ^c
17	3.65±0.19 ^{def}	4.71±0.23 ^{def}	7.17±0.05 ^g	73.04±2.37 ^{efg}	25.94±0.27 ^{bcd}	0.52±0.01 ^{bc}
18	3.30±0.10 ^{abcd}	4.35±0.24 ^{bcd}	6.97±0.04 ^f	73.85±0.40 ^g	25.20±1.59 ^{abcde}	0.49±0.00 ^{ab}
19	3.39±0.14 ^{bcd}	4.10±0.19 ^{bcd}	6.55±0.03 ^e	73.54±0.09 ^{efg}	24.32±0.20 ^a	0.48±0.01 ^a
20	3.23±0.17 ^{abc}	4.30±0.27 ^{bcd}	5.06±0.03 ^a	73.16±0.20 ^{efg}	24.60±0.15 ^a	0.49±0.00 ^a
21	3.26±0.11 ^{abc}	4.34±0.28 ^{bcd}	7.79±0.04 ^l	72.01±0.56 ^{efg}	26.53±0.13 ^{ef}	0.59±0.01 ^e

注: 右上角不同字母表示差异显著($P<0.05$)

2.3 日粮对肝体指数、肠脂比、肝脏糖原含量的影响和肝脏病理观察

由图 3 和表 4 可知, 肝体指数随着日粮中脂肪含量的增加而增加, 日粮脂肪为 18% 时最高, 其次是日粮脂肪为 15%, 其余各脂肪水平时的肝体指数没有显著差异。日粮蛋白质为 30% 和 33% 时肝体指数较大, 显著大于其它各蛋白质水平($P<0.05$), 日粮蛋白质为 36%、39%、42%、45% 和 48% 时肝体指数无显著差异($P>0.05$)。日粮碳水化合物为 29% 时肝体指数最小, 增加或减少日粮中碳水化合物都会提高肝体指数。

肠脂比在日粮脂肪水平为 3% 时最小, 其次是日粮脂肪为 9% 和 12%, 最高的是日粮脂肪水平为 15% 和 18%。肠脂比随日粮蛋白质水平升高先降低后升高, 日粮蛋白质水平为 30% 时肠脂比最大, 显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)高于其它蛋白质水平。日粮中碳水化合物水平对肠脂比无显著影响($P>0.05$)。

肝脏糖原含量随日粮中碳水化合物的升高而升

高, 日粮碳水化合物为 26% 时最低, 显著低于其它各日粮碳水化合物水平($P<0.05$); 日粮碳水化合物为 35% 时最高, 显著高于其它各日粮碳水化合物水平($P<0.05$)。肝脏糖原含量随日粮中脂肪含量的升高呈上升趋势, 随蛋白质的升高呈下降趋势($P>0.05$)。

日粮中能量受三种营养(蛋白质、脂肪和碳水化合物)的共同影响, 但主要受日粮脂肪水平的影响(表 2); 随着日粮能量水平逐渐升高, 肝体指数、肠脂比和肝脏碳水化合物浓度呈上升趋势, 但肠脂比上升趋势更加明显(图 3 和表 4)。

实验结束时实验各重复组解剖 6 尾鱼, 仅少数组有个别鱼肝脏中度或轻度发黄, 着色不均匀。肝脏组织的病理变化结果见表 5, 日粮脂肪水平在 3%—9% 时肝组织未见病变; 日粮脂肪水平在 12%—18% 之间时, 随着日粮中的脂肪含量增加, 肝细胞脂肪变性的程度明显加重, 同时, 肝脏中的肝细胞坏死比例也随着日粮中的脂肪含量的增加而增多。

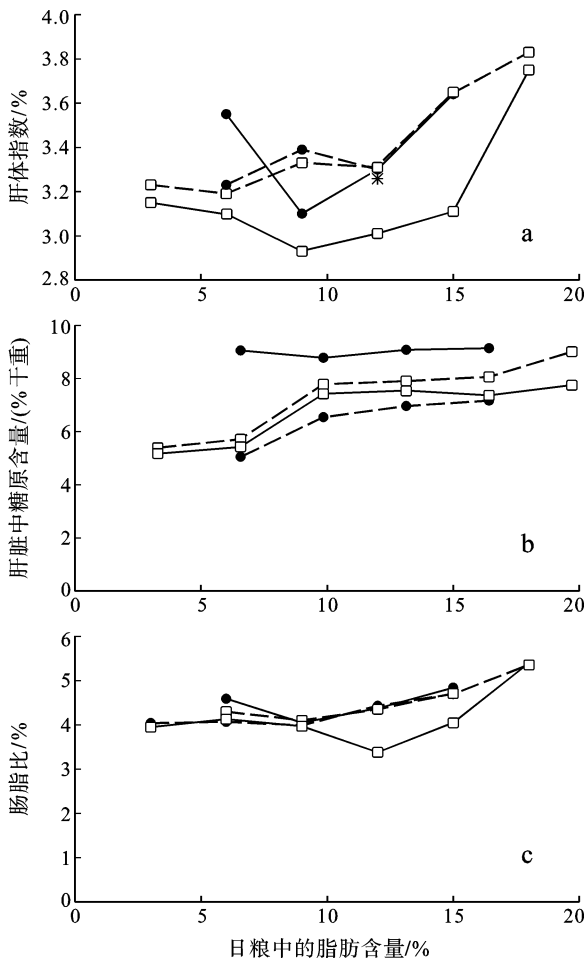


图3 实验各组鱼的肝体指数(HSI, %)、肝脏中糖原含量(% wet wt)和肠脂比(FMB, %)

Fig.3 Hepatosomatic index (HSI, %), liver glycogen content (% wet wt) and fat in mesentery/body (FMB, %) of fish fed with various diets

a. 肝体指数, b. 肝脏中糖原含量, c. 肠脂比。图例表示日粮中的碳水化合物含量: —●— 35%, - -□- - 32%, —□— 29%, - - - - 26%, *表示中心点

3 讨论

实验结果表明,随着日粮蛋白质水平升高,瓦氏黄颡鱼幼鱼生长率不断升高,但当日粮中碳水化合物为35%时,蛋白质对生长率没有明显影响($P>0.05$);日粮碳水化合物在26%—32%之间、蛋白质水平在39%—48%之间时,具有较好的生长率;在相同日粮碳水化合物水平下,蛋白质为42%、45%和48%时生长率没有显著差异($P>0.05$)。可以确定瓦氏黄颡鱼幼鱼日粮蛋白质适宜区间为39%—42%。蒋蓉等(2004)对初重为11.65g的黄颡鱼研究表明,适宜蛋白质需要量为37.58%—39.02%,稍低于本实验结果。王武等(2003)采用抛物线回归法求的初重为(2.65 ± 0.07)g的瓦氏黄颡鱼蛋白质需要量为39.73%,与本实验结果相似,这些差异可能是因实验鱼的规格、养殖环境(如水温、溶氧和pH)或饲料原料不同引起。

日粮中碳水化合物含量为35%时,日粮各脂肪水平的生长率无明显差异,其余各组生长率随着日粮中脂肪的升高,先升高后降低,日粮中脂肪含量为6%—12%时生长率较高。但是考虑到脂肪含量为12%时,肝组织有不同程度的脂肪变性,肠脂比较高,肝体指数较大,肌肉中脂肪含量也较高(表4、表5),而日粮脂肪为6%时,其生长率不同程度地低于日粮脂肪为9%和12%时的生长率,可确定瓦氏黄颡鱼幼鱼适宜日粮脂肪区间为6%—9%,但最适脂肪需要量接近9%。韩庆等(2005)认为黄颡鱼最适宜脂肪水平为11.31%,高于本实验结果,可能是由于只考虑了生长效果,没有考虑到组织中脂肪沉积和肝组织的病理变化。碳水化合物低于35%时,相同日粮碳水化合物下,生长率随日粮脂肪水平的升高先升后降低。韩庆

表5 不同脂肪水平日粮组鱼的肝脏组织的病理变化
Tab.5 The pathological occurrences in liver tissue of fish fed with various lipid diets

项目	日粮脂肪水平(%)					
	18	15	12	9	6	3
肝细胞脂肪变性(例)	18 +++	15 +++ 12 ++ 9 +	6 ++ 17 + 25 -	36 -	36 -	18 -
肝细胞坏死(例)	2 +++ 5 ++ 1 + 10 -	1 ++ 2 + 32 -	48 -	36 -	36 -	18 -

注: - 表示未见病变, + 表示轻度病变, ++ 表示中度病变, +++ 表示严重病变

等(2005)对黄颡鱼的研究表明, 当脂肪含量 $>11.31\%$ 时, 鱼体的相对增重率、饲料转化率、蛋白质效率与脂肪含量呈负相关。上述结果表明, 日粮中适宜的脂肪含量可以促进瓦氏黄颡鱼幼鱼生长, 节约蛋白质, 但过高的日粮脂肪会抑制生长。

实验结果表明, 黄颡鱼适宜的碳水化合物区间为 $26\%—29\%$ 。但即使是同种鱼, 对不同来源的碳水化合物的消化率也不同(Kaushik *et al*, 2002; Hemre *et al*, 2002; Stone *et al*, 2003), 因此, 其碳水化合物需要量会随饲料原料变化而有一定程度的变化。鱼类中普遍存在这种现象, 植食性和杂食性的鱼类比肉食性的鱼类具有更强的消化碳水化合物的能力(Hemre *et al*, 2002; Stone *et al*, 2003)。黄颡鱼是温和的肉食性鱼类(刘世平, 1997), 按照这种理论, 对碳水化合物的消化能力应该强于肉食性的鱼, 而低于杂食性的鱼。使用含 40% 可消化淀粉的日粮饲养杂食性的罗非鱼(*Oreochromis*)和鲤鱼(*Cyprinus carpio*), 结果发现罗非鱼和鲤鱼能够很好地生长(Stone *et al*, 2003), 可见本实验结果支持这一理论。本实验中日粮碳水化合物为 35% 时, 特定生长率最低, 日粮中不同脂肪和蛋白质水平生长率没有显著差异。当日粮碳水化合物从 35% 降至 32% 时, 生长率显著升高($P<0.05$), 而日粮碳水化合物为 26% 和 29% 时没有显著差异, 可见日粮中过高的碳水化合物抑制生长。对其它鱼类的许多研究也有类似的报道(Erfanullan, 1995; Stone *et al*, 2003; Singh *et al*, 2006)。

日粮中蛋白质水平从 30% 上升到 42% 时, 黄颡鱼肌肉中蛋白质的含量也逐渐上升, 日粮蛋白质水平继续从 42% 上升至 48% , 肌肉中蛋白质含量无显著变化($P>0.05$)。Shyong 等(1998)的研究表明, 饲喂高蛋白质日粮的鱼体肌肉中蛋白质含量比饲喂低蛋白质日粮的高, 这与本实验研究结果相似。黄颡鱼肝体指数随日粮蛋白质水平升高而降低, 但日粮蛋白质为 $42\%—48\%$ 之间时, 肝体指数没有显著差异。Webster(1995)对太阳鲈(*Morone chrysops* × *M. saxatilis*)研究表明, 肝体指数显著受到日粮中蛋白质水平的影响, 日粮蛋白质水平高则肝体指数小, 与本实验结果相似。

随着日粮中脂肪水平的增加, 肠脂比、肝体指数、肝脏碳水化合物含量和脂肪含量持续升高, 而对蛋白质和碳水化合物在肌肉中的含量无明显影响。日粮脂肪水平在 $3\%—9\%$ 之间时, 肠脂比和肝体指数较小, 肌肉和肝脏中脂肪含量、碳水化合物含量都较

低。Lee 等(2002)对岩鱼(*Sebastes schlegeli*)的研究认为, 提高日粮中的可消化蛋白和可消化脂肪, 内脏、肝脏和肌肉中脂肪含量都升高, 对虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)的研究结果也表明, 提高日粮中的脂肪水平, 会增加肌肉和内脏的脂肪含量(Weatherup *et al*, 1997)。Dias 等(2004)的研究同样表明, 日粮中脂肪水平升高可增加脂肪在内脏、肝脏和肌肉中的含量, 这些都与本实验结果相似。但也有研究表明, 提高日粮中脂肪水平对体组成没有负面影响(Berger *et al*, 1987)。

本实验中黄颡鱼肝脏中的肝脏碳水化合物含量随着日粮中的碳水化合物添加量增加而增加, 与其他学者的研究一致(Hemre *et al*, 2002); 本实验中黄颡鱼肌肉和肝脏碳水化合物含量随着日粮中的碳水化合物添加量增加而增加, 这与一些学者研究结果不同(Stone *et al*, 2003)。本实验中黄颡鱼, 当日粮碳水化合物为 29% 时, 肝体指数最小; 其余各碳水化合物水平时的肝体指数无显著差异。Erfanullan(1995)对似石首鱼(*Labeo rohita*)的研究结果认为, 日粮中碳水化合物水平对肝体指数影响不显著, 而另一些报道对虹鳟和似石首鱼的研究认为, 日粮中碳水化合物水平显著影响肝体指数(Hemre *et al*, 2002)。这些差异可能是由于养殖环境、日粮碳水化合物来源或鱼种不同引起, 其具体原因有待深入研究。有学者对杂交罗非鱼研究表明, 日粮中碳水化合物会增加会提高脂肪在组织中的沉积(Wang *et al*, 2005), 但本实验结果表明, 黄颡鱼肌肉中脂肪的含量不受食粮中碳水化合物的影响。

由本实验结果可知, 提高日粮中的可消化能, 肠脂比、肝脏比和内脏比呈上升趋势, 肠脂比的上升尤其明显($P<0.05$)。据 Webster(1995)报道, 腹腔脂肪、肝体指数和鱼体组成受到日粮中蛋白质和能量水平的显著影响, 随着日粮可消化脂肪和蛋白水平的升高, 幼岩鱼的肝脏比和内脏比呈上升趋势(Lee *et al*, 2002)。日粮中可消化能的提高也会增加黄颡鱼脂肪在肌肉中的含量($P<0.05$), 但对肌肉中蛋白质和碳水化合物含量没有明显影响($P<0.05$)。日粮中的能量水平随日粮中脂肪含量的变化而变化(表 2), 所以能量与特定生长率之间的变化规律与脂肪同特定生长率的变化相似(图 2), 日粮能量水平在 $15.63—16.95\text{MJ/kg}$ 之间时, 特定生长率较高。日粮中蛋白质和能量是影响鱼类生长和鱼体组成的主要因素, 适宜的能量蛋白比不仅可以提高生长率, 同时也可以

提高屠宰率及产品品质。由本实验结果可知, 能量蛋白比为 364—435J/mg 时, 生长较快, 内脏比例小, 脂肪和肝脏碳水化合物在肝脏组织中含量较低。当能量蛋白比为 403J/mg 时, 有最大生长率(3.39±0.08)%/d。

综上所述, 当日粮蛋白质为 39%—42%、脂肪为 6%—9%、碳水化合物为 26%—29%、能量为 15.63—16.95MJ/kg、能量蛋白比为 364—435J/mg 时, 瓦氏黄颡鱼幼鱼生长率较高, 脂肪和糖原在肝脏和肌肉中含量较低。

参 考 文 献

- 丁瑞华, 1994. 四川鱼类志. 成都: 四川科学技术出版社, 451—453
- 王 武, 石张东, 甘 炼, 2003. 江黄颡鱼幼鱼最适蛋白质需求量的研究. 上海水产大学学报, 12(2): 185—188
- 王吉桥, 王 凯, 王声权等, 2005a. 不同投饲养率对黄颡鱼幼鱼生长和存活率的影响. 水产学杂志, 18(2): 1—5
- 王吉桥, 王文辉, 李文宽等, 2005b. 饲料蛋白质和维生素 C 含量对黄颡鱼生长和免疫的影响. 水产学报, 29(4): 512—518
- 刘世平, 1997. 鄱阳湖黄颡鱼生物学研究. 动物学杂志, 32(4): 10—16
- 蒋 蓉, 送学宏, 叶元土等, 2004. 黄颡鱼饲料中适宜的蛋白质含量和能蛋比. 大连水产学院学报, 19(4): 252—257
- 韩 庆, 田宗城, 夏维福等, 2005. 黄颡鱼饲料脂肪最适合量. 水产科学, 24(7), 8—11
- 韩 庆, 夏维福, 罗玉双等, 2002. 不同动植物蛋白比对黄颡鱼生长的影响. 上海水产大学学报, 11(3): 259—263
- Berger A, Halver J E, 1987. Effect of dietary protein, lipid and carbohydrate content on growth, feed efficiency and carcass composition of striped bass, *Morone saxatilis* (Walbaum), fingerlings. *Aquaculture and Fisheries Management*, 18: 345—356
- Cornell J A, 1990. *Experiments with Mixture*. Wiley, New York, 121—135
- Dias J, Panserat S, Concercao L E C *et al*, 2004. Effect of dietary carbohydrate-to-lipid ratios on growth, lipid deposition and metabolic hepatic enzymes in juvenile senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup). *Aquaculture Research*, 35: 1122—1130
- Erfanullan A K, 1995. Protein-sparing effect of dietary carbohydrate in diets for fingerling *Labeo rohita*. *Aquaculture*, 136: 331—339
- Hamre K, 2003. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles. *Aquaculture*, 233—244
- Hemre G I, Momsen T P, Krogh A, 2002. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth. *Glucose Metabolism and Hepatic Enzymes*, 8: 175—194
- Houde E D, Schekter R C, 1981. Growth rates, rations and cohort consumption of marine fish larvae in relation to prey concentrations. *Cons Perm Int Explor Mer*, 178: 441—453
- Kaushik S, Panserat S, Perrin A, 2002. High dietary lipids induce liver glucose-6-phosphatase expression in rainbow. *The Journal of Nutrition*, 132(2): 137—141
- Lee S M, Jeon I G, Lee J Y, 2002. Effects of digestible protein and lipid levels in practical diets on growth, protein utilization and body composition of juvenile rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, 211: 227—239
- NRC (National Research Council), 1993. *Nutrient Requirements of Fish*. National Academy Press, Washington, D C, USA, 114
- Shyong W J, Huang C H, Chen H C, 1998. Effects of dietary protein concentration on growth and muscle composition of juvenile *Zacco barbata*. *Aquaculture*, 167: 35—42
- Singh R K, Balange A K, Ghughuskar M M, 2006. Protein sparing effect of carbohydrates in the diet of *Cirrhinus mrigala* (Hamilton, 1822) fry. *Aquaculture*, 258: 680—684
- Stone D A J, Allan G L, Anderson A J, 2003. Carbohydrate utilization by juvenile silver perch, *Bidyanus bidyanus* (Mitchell). . Digestibility and utilization of starch and its break-down products. *Aquaculture Research*, 34: 109—121
- Wang Y, Liu Y J, Tian L X *et al*, 2005. Effects of dietary carbohydrate level on growth and body composition of juvenile tilapia, *Oreochromis niloticus* × *O. aureus*. *Aquaculture Research*, 36: 1408—1413
- Weatherup R N, McCracken K J, Foy R *et al*, 1997. The effects of dietary fat content on performance and body composition of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 151: 173—184
- Webster C D, Tiu L G, Tidwell J H *et al*, 1995. Effects of dietary protein and lipid levels on growth and body composition of sunshine bass (*Morone chrysops* × *M. saxatilis*) reared in cages. *Aquaculture*, 131: 291—301

MACRONUTRIENT COMPOSITION OF FORMULATED DIETS FOR JUVENILE YELLOW CATFISH (*PELTEOBAGRUS FULVIDRACO* RICHARDSON)

HUANG Jun¹, FENG Jian¹, SUN Ting², HUANG Xiao-Yan², HE Lei², DU Wei-Ping²

(1. College of Animal Science, Guangxi University, Nanning, 530004; 2. College of Animal Science, Sichuan Agriculture University, Yaan, 625014)

Abstract 1280 artificially cultured yellow catfish juvenile (*Pelteobagrus fulvidraco* Richardson) in weight of (5.7 ± 0.5) g were randomly divided into 64 groups in small cages to test 21 formulated diets of which 20 diets had three replicate per diet, and one with four replicate as the central one to calibrate bias. The test lasted for 60 days. The ranges of dietary protein, lipid and carbohydrate were designed between 30%—48%, 3%—18%, and 26%—35%, respectively. The aim of this study was to determine optimal macronutrient composition of formulated diets for Yellow catfish juvenile. The test showed that (1) at dietary protein 39%—48%, the corresponding dietary lipid was 6%—12% and carbohydrate 26%—29%, digestible energy (DE) 15.63—16.95MJ/kg, and the rate of digestible energy to protein (E/P) 364—435J/mg, the growth performance was good. No significant different in specific growth rate (SGR) was noticed at dietary protein levels of 42%—48%. The dietary lipid at 12%—18% caused fatty degeneration and necrosis; (2) The contents of protein, lipid and glycogen in muscle and liver were affected by dietary protein, lipid and carbohydrate levels ($P < 0.05$). At carbohydrate 35%, the glycogen contents in both muscle and liver were the highest. (3) Hepatosomatic index (HSI) and fat in mesentery/body (FMB) increased significantly with increasing dietary lipid level ($P < 0.05$), but not significantly by dietary protein and carbohydrate ($P > 0.05$). In addition, the glycogen contents in muscle and liver were affected by dietary carbohydrate level ($P < 0.05$). (4) The lipid content in muscle, HSI and FMB increased with increasing dietary digestible energy level, especially FMB ($P < 0.05$). The experimental results indicated that for yellow catfish juvenile, the best formula should be at 39%—42% protein, 6%—9% lipid, 26%—29% carbohydrate, 15.63—16.95MJ/kg DE and 36.4—43.5MJ/kg E/P, ideally.

Key words *Pelteobagrus fulvidraco* Richardson, Nutrition, Protein, Lipid, Carbohydrate