

文章编号: 1674-5566(2010)02-0207-07

饲料淀粉水平对淡水黑鲟生长 和消化酶活性的影响

韩 勃¹, 宋理平²

(1. 上海海洋大学水产与生命学院, 上海 201306

2. 山东省淡水水产研究所, 山东 济南 250117)

摘 要: 配制 5 组等蛋白质等脂肪, 不同淀粉水平 (26%、30%、34%、38%、42%) 的饲料, 网箱养殖淡水黑鲟 (*Hephaestus fuliginosus*) 60 d 初始体重为 (4.02±0.11) g 探讨其饲料中淀粉适宜添加量。结果表明, 淀粉含量 34% 组相对增重率和蛋白质效率显著高于其它各组 ($P < 0.05$), 饲料系数显著低于其它各组 ($P < 0.05$); 各组间肠道胰蛋白酶和脂肪酶活性无显著差异 ($P > 0.05$), 38% 和 42% 组肠道淀粉酶活性显著高于 26% 和 30% 组 ($P < 0.05$); 34% 组全鱼以及肌肉的粗脂肪含量显著高于 26%、30% 和 42% 组 ($P < 0.05$), 全鱼以及肌肉水分、粗蛋白和粗灰分含量各组间无显著差异 ($P > 0.05$); 各组淡水黑鲟脏体比和肥满度无显著差异 ($P > 0.05$), 42% 组肝体比显著高于 26%、30% 和 34% 组 ($P < 0.05$); 各组间成活率无显著差异 ($P > 0.05$)。综合实验结果分析, 淡水黑鲟饲料中淀粉适宜添加量为 34%~38%。

关键词: 淡水黑鲟; 淀粉; 生长性能; 消化酶活性

中图分类号: S917 文献标识码: A

The effects of starch levels on growth performance and digestive enzyme activities of *Hephaestus fuliginosus*

HAN Bo, SONG Liping

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

2. Freshwater Fishery Institute of Shandong Province, Jinan 250117, China)

Abstract: To examine the effects of dietary starch on the growth performance and digestive enzyme activities of *Hephaestus fuliginosus*, diets containing iso-nitrogenous, iso-lipidic but increasing starch levels (26%, 30%, 34%, 38% and 42%) were used to feed experimental fish for 60 days. At the end of the experiment, the *Hephaestus fuliginosus* fed 34% starch level showed higher relative weight and protein efficiency ratio, lower feed conversion ratio than other groups ($P < 0.05$), higher level of crude lipid compositions of whole body and muscle than 26%, 30% and 42% ($P < 0.05$). The groups *Hephaestus fuliginosus* fed 38% and 42% starch level showed higher level amylase activities in intestine than 26% and 30% ($P < 0.05$). The *Hephaestus fuliginosus* fed 42% starch level showed higher hepatosomatic index than 26%, 30% and 34% groups ($P < 0.05$). There were no significant differences in viscerosomatic index, fullness coefficient, trypsin

收稿日期: 2009-09-01

基金项目: 山东省淡水水产研究所所长基金 (031020107)

作者简介: 韩勃 (1984-), 男, 硕士研究生, 专业方向为水产动物营养。E-mail: hmb011@sjnu.com

通讯作者: 宋理平, E-mail: lpsyang974@126.com

and lipase activities in intestine, moisture, crude protein and crude ash compositions of whole body and muscle survival rates among the five groups ($P > 0.05$). The results suggested the optimum dietary starch requirement of *Hephaestus fuliginosus* was 34% ~ 38%.

Key words: *Hephaestus fuliginosus*; starch; growth performance; digestive enzyme activities

作为动物必需的能源物质之一,碳水化合物在鱼体内具有不可替代的生理作用,包括组成体组织细胞,提供能量,合成体脂,为合成非必需氨基酸提供碳架,节约蛋白质^[1]。与畜禽动物相比,鱼类对碳水化合物的利用能力较低^[2],一方面是因为鱼类 α 淀粉酶缺乏且消化道短^[3],对常见的碳水化合物消化吸收差;另一方面由于鱼类代谢较多依赖蛋白质和脂肪提供能量^[4],碳水化合物异生成脂肪能力较差^[5],糖异生酶在鱼摄食碳水化合物后不能产生适应性调节等原因,造成鱼体血糖和肝糖原水平升高,从而对鱼体生理功能造成负面影响^[6]。

淡水黑鲷,学名厚唇弱棘,隶属于鲈形目(Perciformes),鲷科(Terapontidae),弱棘鲷属(*Hephaestus*),原产于澳大利亚,是世界上少有的淡水鲷科鱼类。淡水黑鲷体表敷细鳞片、粘液较少,呈黄黑色;头部较尖、呈淡绿色,属亚热带杂食性鱼类。淡水黑鲷具有生长快、体形佳、肉质嫩滑爽口、无肌间刺、含肉率高、饲养方便等优点,深受广大养殖户和消费者的青睐^[7]。我国淡水黑鲷的养殖时间不长,对其营养需求的研究还不完善。目前,国内只有宋理平等^[8]研究报道,

其饲料中最适蛋白质含量为 40.63%,但其对碳水化合物需求量的研究在国内外还未见报道。

本研究探求了淡水黑鲷饲料中淀粉适宜添加量,以期对淡水黑鲷饲料的研制提供理论依据,促进这一新品种在我国的健康养殖。

1 材料与方法

1.1 实验鱼的来源与驯化

实验鱼取自山东省淡水水产研究所当年繁殖的同一批次淡水黑鲷,于玻璃钢水池中(长 2.5 m ,宽 1.5 m)暂养 14 d 期间投喂淀粉含量为 26% 的饲料进行驯化。

1.2 实验饲料

分别以白鱼粉、鱼油和玉米淀粉作为蛋白质、脂肪和淀粉原料,以微精纤维素作为饲料填充物。白鱼粉经粉碎后,与玉米淀粉和纤维素按比例混合均匀,再加入矿物质和维生素预混剂混匀,将鱼油和适量水均匀喷洒在饲料上,用小型绞肉机制成粒径为 1.8 mm 的湿颗粒饲料,并于 40 °C 烘干后密封保存备用。各组实验饲料配方及营养成分均为干重,具体见表 1。

表 1 实验饲料配方及成分含量表
Table 1 Formulation and proximate composition of experimental diets

配方	淀粉水平				
	26%	30%	34%	38%	42%
鱼粉 (%)	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
鱼油 (%)	7	7	7	7	7
玉米淀粉 (%)	24	28	32	36	40
微精纤维素 (%)	16.5	12.5	8.5	4.5	0.5
无机盐预混剂 ¹ (%)	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5
维生素预混剂 ² (%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
营养组成 (%)					
总糖 (%)	25.7	29.8	33.9	37.8	42.1
粗蛋白 (%)	38.9	38.2	38.5	38.4	38.7
粗脂肪 (%)	9.1	9.4	9.4	9.3	8.9
粗灰分 (%)	9.4	9.2	9.5	9.2	9.1

注: 1. 无机盐预混剂(每千克含量): NaCl 2 mg, KI 0.08 mg, $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 1 mg, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 10 mg, $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 74 mg, $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 50 mg, $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 60 mg, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1 000 mg, $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 6 000 mg, $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 5 000 mg, NaCl 100 mg, CaCO_3 4 g

2. 维生素预混剂(每千克含量): 硫胺素, 20 mg; 核黄素, 40 mg; 吡哆醛, 20 mg; 钴胺素, 0.1 mg; 亚硫酸氢钠甲萘醌, 10 mg; 肌醇, 1 000 mg; 泛酸, 60 mg; 烟酸, 200 mg; 生物素, 1.23 mg; 视黄醇, 25 000 IU; 胆钙化醇, 2 500 IU; 生育酚, 112 mg; 抗坏血酸, 2 112 mg; 氯化胆碱, 2 500 mg

1.3 实验鱼的饲养与日常管理

暂养结束后停食 24 h 挑取 300 尾平均体重 (4.02 ± 0.11) g 的健康幼鱼, 随机放入 15 个聚乙烯网箱中 ($60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$), 每网箱 20 尾。每日饱食投喂饲料 3 次 (7:00 12:30 18:00)。实验用水取自玉景矿泉水厂, 期间连续充气并保持水温 $(27.0 \pm 1.5) \text{ }^\circ\text{C}$ 、 pH (7.5 ± 1.0) 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ $< 0.4 \text{ mg/L}$ 、 H_2S $< 0.05 \text{ mg/L}$ 。每 7 d 换水一次 (换水量 1/3), 并清理粪便和残饵, 养殖实验共进行 60 d。

1.4 样品的采集

养殖实验结束后, 饥饿 24 h 对各个网箱所有淡水黑鲟测定终体重和终体长, 随后依次采集各样品。

1.4.1 肠道样品

每个网箱随机取 3 尾淡水黑鲟称重后, 麻醉鱼体, 解剖取其内脏团准确称重; 再从内脏团中分离出其肝脏并准确称重; 后分离出其肠道, 装于密封袋中, 立即转至 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的冰箱中待用, 整个解剖过程在冰盘上操作。

1.4.2 肌肉样品

将解剖后的淡水黑鲟用抹布抹干置于解剖盘上, 剔除鱼皮, 取其两侧侧线上的背肌, 装于密封袋中, 立刻放于 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 的冰箱中待用。

1.4.3 全鱼样品

每个网箱随机取 3 尾中等大小的淡水黑鲟装入自封袋, 迅速转入 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 冰箱中待用。

1.5 样品分析

1.5.1 营养成分测定

水分采用恒温干燥法 ($105 \text{ }^\circ\text{C}$); 粗蛋白采用凯氏定氮法; 粗脂肪的测定以乙醚为溶剂, 采用索氏抽提法; 粗灰分是在马福炉中焚烧 ($550 \text{ }^\circ\text{C}$) 测得; 总糖采用 3,5-二硝基水杨酸法。

1.5.2 消化酶活性的测定

胰蛋白酶: 依试剂盒中方法 (试剂盒购于南京建成生物工程研究所), 定义在 $\text{pH} 8.0$ $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, 每毫克蛋白中含有的蛋白酶每分钟使吸光度变化 0.003 即为一个酶活力单位。

淀粉酶: 碘-淀粉比色法。依试剂盒中方法 (试剂盒购于南京建成生物工程研究所), 定义组织中每毫克蛋白在 $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 与底物作用 30 min, 水解 10 m^3 淀粉定义为一个淀粉酶活力单位。

脂肪酶: 依试剂盒中方法 (试剂盒购于南京建成生物工程研究所), 定义在 $37 \text{ }^\circ\text{C}$ 条件下, 每克组织蛋白与底物反应 1 min, 每消耗 $1 \mu\text{mol}$ 底物为一个酶活力单位。

组织蛋白: 考马斯亮兰蛋白试剂盒测定 (试剂盒购于南京建成生物工程研究所)。

1.6 数据分析与统计

各实验参数通过以下公式计算求得:

$$R_S = 100 \times N_f / N_i \quad (1)$$

$$R_{WG} = 100 \times (W_t - W_0) / W_0 \quad (2)$$

$$R_{FC} = I / (W_t - W_0) \quad (3)$$

$$R_{PE} = 100 \times (W_t - W_0) / (I \times P_d) \quad (4)$$

$$I_S = 100 \times W_v / W_t \quad (5)$$

$$I_{IS} = 100 \times W_L / W_t \quad (6)$$

$$F_C = 100 \times W_t / L^3 \quad (7)$$

式中: R_S 为成活率; N_f 为终末尾数; N_i 为初始尾数; R_{WG} 为相对增重率; W_t 为终末体重 (g); W_0 为初始体重 (g); R_{FC} 为饲料系数; R_{PE} 为蛋白质效率; I_S 为肝体比; W_v 为终末内脏团重 (g); I_{IS} 为肝体比; W_L 为终末肝重 (g); F_C 为肥满度 (g/cm^3); L 为终末体长 (cm); I 为摄入干物质的总量 (g); P_d 为饲料中蛋白质含量。

采用 SPSS 17.0 软件对各组数据进行方差分析和 Duncan 多重检验 ($P < 0.05$ 即认为显著差异)。

2 结果

2.1 饲料淀粉水平对淡水黑鲟生长性能和饲料利用的影响

由表 2 可知, 经过 60 d 养殖实验, 各组淡水黑鲟成活率无显著差异 ($P > 0.05$)。34% 组淡水黑鲟的终体重和相对增重率显著高于其它实验组 ($P < 0.05$), 分别达到 7.65 g 和 91.25%, 是 26% 组的 1.43 和 2.73 倍。饲料系数随饲料淀粉水平上升先减小后增大, 其中 34% 组最低 (1.55), 显著低于 26% 和 30% 组 ($P < 0.05$); 30%、38% 和 42% 组间无显著差异 ($P > 0.05$)。34% 组蛋白质效率达到 170.86%, 显著高于其它组 ($P < 0.05$), 是 26% 组的 2.18 倍。

2.2 饲料淀粉水平对淡水黑鲟形体特征的影响

随着饲料淀粉水平的增加, 淡水黑鲟脏体

比、肝体比和肥满度逐渐增高(见表3)。42%组脏体比最大(7.79%),但各组间无显著差异($P>0.05$)。42%组肝体比(2.08%)显著高于26%、30%和34%组($P<0.05$),是26%组的1.28倍,38%组与其它各组间无显著差异($P>0.05$)。各实验组间肥满度无显著差异($P>0.05$),说明60d养殖实验结束后,淡水黑鲟体形相近。

2.3 饲料淀粉水平对淡水黑鲟肠道消化酶的影响

各组淡水黑鲟肠道内胰蛋白酶和脂肪酶活性无显著差异($P>0.05$)(见表4)。肠道淀粉酶活性随饲料淀粉水平升高呈逐渐增大趋势,38%和42%组显著高于26%和30%组($P<0.05$);34%组与其它各组间无显著差异($P>0.05$)。

2.4 饲料淀粉水平对淡水黑鲟全鱼及肌肉成分的影响

由表5可知,全鱼粗蛋白和粗脂肪含量随饲料淀粉水平升高呈先增大后减小趋势。38%组粗蛋白含量(15.95%)最高,但与其它各组并无显著差异($P>0.05$)。34%组粗脂肪含量(7.44%)显著高于30%组($P<0.05$),30%组又显著高于26%、42%组($P<0.05$)。各实验组间全鱼水分和粗灰分含量无显著差异($P>0.05$)。随饲料淀粉水平升高,肌肉粗蛋白含量呈逐渐增

加趋势,42%粗蛋白含量(18.47%)最高,但与其它组无显著差异($P>0.05$)。肌肉粗脂肪含量仍呈先增大后减小趋势,34%组(3.61%)与38%无显著差异($P>0.05$),显著高于30%和42%组($P<0.05$)。各实验组间肌肉水分和粗灰分含量无显著差异($P>0.05$)。

3 讨论

鱼类对饲料碳水化合物利用能力较差^[3],但其饲料中应含有适量的碳水化合物^[9]。如添加量不足,蛋白质和脂肪就会被分解用于能量供应和合成一些可由碳水化合物衍生而来的生物活性物质(如非必需氨基酸和核酸),造成鱼类代谢紊乱,鱼体消瘦,生长性能下降^[10]。但当鱼类摄食过高水平碳水化合物饲料后,鱼体血糖持续偏高^[11],代谢负荷加重^[12],同样导致鱼体的生长率和饲料效率降低^[13]。鲈鱼(*Micropterus salmoides*)饲料中加入10%的碳水化合物使生长得到改善,但增加到27%时生长会迟缓^[14]。适宜的碳水化合物含量可以促进鱼类生长,起到节约蛋白质的作用。大西洋鲑(*Salmo salar*)和虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)等肉食性鱼类的饲料中添加15%~18%的碳水化合物可以提高生长率、饲料效率和蛋白质效率^[15]。

表2 饲料淀粉水平对淡水黑鲟生长性能和饲料利用的影响

Tab 2 Effect of dietary starch levels on growth performances and feed utilization of *Hephaestus fuliginosus*

生长指标	淀粉水平				
	26%	30%	34%	38%	42%
初始体重(g/尾)	4.06±0.08	4.02±0.12	3.94±0.22	4.04±0.10	4.04±0.09
终末体重(g/尾)	5.34±0.12 ^c	5.61±0.13 ^c	7.65±0.27 ^a	6.47±0.49 ^b	6.45±0.29 ^b
成活率(%)	85.00±2.89	81.67±1.67	86.67±1.67	82.50±2.50	83.33±4.41
相对增重率(%)	33.38±3.00 ^c	40.09±3.15 ^c	91.25±6.83 ^a	61.67±1.27 ^b	61.09±7.18 ^b
饲料系数	3.35±0.33 ^a	2.48±0.19 ^b	1.55±0.13 ^c	1.94±0.06 ^{bc}	2.04±0.20 ^{bc}
蛋白质效率(%)	78.35±7.75 ^c	105.87±8.41 ^{bc}	170.86±14.57 ^a	134.59±4.39 ^b	129.86±12.04 ^b

注:每行平均值后上标字母不同表示差异显著($P<0.05$),下同。

表3 饲料淀粉水平对淡水黑鲟形体特征的影响

Tab 3 Effect of dietary starch levels on viserosomatic index, hepatosomatic index and fullness coefficient of *Hephaestus fuliginosus*

形体指标	淀粉水平				
	26%	30%	34%	38%	42%
脏体比(%)	7.21±0.39	7.38±0.17	7.53±0.29	7.78±0.21	7.79±0.29
肝体比(%)	1.63±0.17 ^b	1.65±0.14 ^b	1.66±0.05 ^b	1.83±0.03 ^{ab}	2.08±0.06 ^a
肥满度(%)	1.60±0.13	1.65±0.02	1.74±0.05	1.77±0.04	1.79±0.02

表 4 饲料淀粉水平对淡水黑鲟肠道消化酶的影响

Tab 4 Effect of dietary starch levels on main digestive enzyme activities in intestine of *H. phaeostus fuliginosus*

消化酶指标	淀粉水平				
	26%	30%	34%	38%	42%
胰蛋白酶 (U/mgpro)	2 216.32±45.24	2 238.97±56.17	2 227.53±36.19	2 247.78±74.82	2 258.07±42.21
脂肪酶 (U/gpro)	37.43±5.11	39.65±6.14	39.98±4.56	40.83±5.72	39.78±3.96
淀粉酶 (U/mgpro)	23.51±3.23 ^b	23.97±4.26 ^b	25.04±4.50 ^{ab}	26.87±4.24 ^a	27.19±7.03 ^a

表 5 饲料淀粉水平对淡水黑鲟全鱼及肌肉成分的影响

Tab 5 Effect of dietary starch levels on whole body and muscle compositions of *H. phaeostus fuliginosus*

指标	淀粉水平				
	26%	30%	34%	38%	42%
水分 (%)	75.59±0.37	76.02±0.29	75.17±0.25	74.75±0.54	75.10±0.81
粗蛋白 (%)	15.16±0.22	15.26±0.22	15.54±0.30	15.95±0.11	15.44±0.55
粗脂肪 (%)	5.13±0.39 ^c	6.51±0.15 ^b	7.44±0.17 ^a	7.14±0.09 ^{ab}	5.62±0.16 ^c
粗灰分 (%)	4.14±0.15	4.10±0.23	3.83±0.17	4.17±0.10	3.88±0.12
肌肉成分水分 (%)	78.08±0.10	78.11±0.19	78.39±0.32	78.24±0.31	78.29±0.05
粗蛋白 (%)	18.35±0.08	18.33±0.05	18.37±0.05	18.43±0.13	18.47±0.08
粗脂肪 (%)	2.78±0.17 ^c	3.18±0.09 ^b	3.61±0.18 ^a	3.36±0.05 ^{ab}	3.04±0.04 ^{bc}
粗灰分 (%)	1.16±0.01	1.18±0.06	1.15±0.03	1.16±0.03	1.14±0.01

本实验发现饲料淀粉水平为 26%~34%时,淡水黑鲟相对增重率逐步增大;超过 34%时,其生长受到抑制,增重率逐步下降,需求量为 34%~38%,与同为杂食性的鲤鱼 (*Cyprinus carpio*)^[16],罗非鱼 (*Aermonas hydrophila*)^[17]和异育银鲫 (*Carassius auratus gibelio*)^[18]相近。不同食性鱼类饲料中碳水化合物需求量差异较大:肉食性鱼类饲料碳水化合物需求量一般≤20%^[19],黑鲟 (*Sparus macrocephalus*)、鲮鱼 (*Parabrambus curtus*)和大麻哈鱼 (*Oncorhynchus keta*)分别为 15.9%、10%和 20%^[20];杂食性鱼类的需求量一般在 25%~40%之间^[21],鲤鱼、罗非鱼和宝石鲈 (*Scortum barcoo*)分别为 30%、40%和 33%~37%^[16-17,22];草鱼 (*Ctenopharyngodon idellus*)饲料中最适碳水化合物含量为 36.5%~42.5%^[16],可见草食性鱼类可利用更高水平的碳水化合物。这可能是由于不同食性鱼类肠道分泌淀粉消化酶能力不同^[23];也有可能与杂食性鱼类能更好的调节血糖浓度,加速糖酵解,而降低糖异生作用^[24]有关。与对异育银鲫^[25]和宝石鲈^[22]饲料适宜淀粉水平的研究相比,淡水黑鲟相对增重率较小,可能与淡水黑鲟性情好斗,尤其在摄食时争抢凶猛,互相攻击,造成体质弱小的鱼长期无法正常摄食有关;也有报道认为:淡水黑鲟在苗种期间(10g以下),生长相对较慢,随着个体增长,生长速度逐渐加快^[7]。

当饲料淀粉水平小于 34%时,淡水黑鲟饲料利用率随其水平升高逐渐增大,说明饲料淀粉水平未达到淡水黑鲟最适需求量之前,日粮中适当的非蛋白能量源(脂肪和碳水化合物)可以减少蛋白质的分解代谢^[26],蛋白质效率也逐步升高。但当 38%和 42%组淀粉水平超过其最适需求量后,饲料效率开始下降。肉食性的大西洋鲈 (*Pleuronectes ferruginea*)^[27]、大西洋鳕 (*Gadus morhua*)^[28]和杂食性的斑点叉尾鲴 (*Ictalurus punctatus*)^[2]等鱼类的相关研究都证实了当饲料碳水化合物含量过高时,鱼类会表现出饲料系数增大和蛋白质效率降低等现象^[13]。可能是因为部分鱼类(如鲤鱼)肠道淀粉酶活性不随饲料淀粉水平的提高而上升^[29],过高的糖水平反而抑制了肠道内氨基酸的吸收和转运,致使蛋白质效率下降^[30]。

本实验淡水黑鲟脏体比及肝体比随饲料中淀粉水平升高呈逐步增大趋势。肝脏是鱼类营养代谢的主要器官,在碳水化合物代谢中发挥着重要的作用^[31]。翘嘴红鲌 (*Erythronotus erythronotus*)^[32]、虹鳟^[33]、青鱼 (*Mylopharyngodon piceus*)^[25]、大口黑鲈 (*Micropterus salmoides*)^[34]以及南方鲇 (*Silurus meridionalis*)^[35]的研究都表明:长期饲喂高碳水化合物含量饲料能造成肝脏肿大,增加肝体比及脏体比。当鱼类摄入碳水化合物后,一部分用于

机体的代谢供能;另一部分则以糖原的形式储存于肝脏和肌肉中,所以当鱼类摄入大量淀粉后,由于肝糖原的大量蓄积,肝胰脏增大,损害肝脏功能,从而影响鱼体免疫力^[15]。

实验发现淡水黑鲟肠道淀粉酶活性随饲料淀粉水平升高逐步增加,但34%、38%和42%组间已无显著差异($P > 0.05$),说明食物中的淀粉会对肠道产生一定的刺激作用,促使淀粉酶的分泌增加、活性增强,尽管淀粉酶的调节作用是有限的,但体现了淀粉酶对底物的适应性^[24]。据李广丽研究报道^[29]:随着饲料中淀粉水平升高,草鱼肝胰脏和肠道内淀粉酶比活性均显著升高,而鲤鱼虽略有升高,但增高不显著,可见淡水黑鲟肠道淀粉酶的调节机制与鲤鱼是相近的。另外,各种消化酶活性与食物刺激、肠道不同部位、温度、鱼体不同发育阶段等诸多因素相关,对其肠道消化酶调节机制还需进一步深入研究。

随着饲料中淀粉水平的增高,全鱼及肌肉中粗蛋白含量有逐步增大的趋势,但各组间无显著差异($P > 0.05$);而34%组全鱼及肌肉中粗脂肪含量显著增高($P < 0.05$),说明淡水黑鲟具备一定的将淀粉转化成体蛋白和体脂的能力,但转化体蛋白效果与转化体脂相比是微量的,次要的。鱼类可将饲料中的碳水化合物转化为身体脂肪而存储起来^[36],由于饲料中碳水化合物含量的增加,促使肝脏脂肪合成酶活性增强,从而表现出鱼体脂肪含量在一定程度上也相应增加^[37]。南方鲇^[38]和宝石鲈^[22]的研究中也报道了类似结果。

本实验条件下,综合考虑淡水黑鲟生长性能、饲料利用、形体特征等指标,确定其饲料淀粉适宜添加量为34%~38%。

参考文献:

- [1] 李爱杰. 水产动物营养与饲料[M]. 北京: 中国农业出版社, 1996: 29-30
- [2] Wilson R P. Utilization of dietary carbohydrate by fish[J]. *Aquaculture*, 1994, 124: 67-80
- [3] Spanthof L, Plantikow H. Studies on the carbohydrate digestion in rainbow trout[J]. *Aquaculture*, 1983, 30: 95-108
- [4] Weber J M, Haman F. Pathways for metabolic fuels and oxygen in high performance fish[J]. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 1996, 113A: 33-38
- [5] Hillestad M, Johnsen F, Aasgard T. Protein to carbohydrate ratio in high energy diets for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)[J]. *Aquaculture Research*, 2001, 32: 517-523
- [6] Deng D F, Refstie S, Hung S S. Glycemic and glycosuric responses in white sturgeon (*Acipenser transmontanus*) after oral administration of simple and complex carbohydrates[J]. *Aquaculture*, 2001, 199: 107-117
- [7] 崔迎松, 付佩胜, 尹永波. 淡水黑鲟的生物学特性[J]. 内陆水产, 2003, (9): 3
- [8] 宋理平, 张家国, 师吉华, 等. 不同蛋白质水平对淡水黑鲟幼鱼生长性能的影响[J]. 中国饲料, 2006, (7): 29-32
- [9] 孙挺. 黄颡鱼幼鱼三大营养素需要量的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008: 151-170
- [10] Buhler D R, Halver H E. Nutrition of salmonid fishes IX. Carbohydrate requirements of chinook salmon[J]. *Nutrition*, 1961, 74: 307-318
- [11] Bergot F. Carbohydrate in rainbow trout diets: effects of the level and source of carbohydrate and the number of meals on growth and body composition[J]. *Aquaculture*, 1979, 18: 157-167
- [12] Høiem G J, Mørnsten T P, Kroghdal A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes[J]. *Aquaculture Nutrition*, 2002, 8: 175-194
- [13] Hilton J W, Atkinson J L. Response of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) to increased levels of available carbohydrate in practical trout diets[J]. *British Journal of Nutrition*, 1982, 47 (3): 597-607
- [14] Boonyaratpalin. Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout, gilthead sea bream and common carp[J]. *Am J Physiol*, 2000, 278: 1164-1170
- [15] Høiem G J, Hansen T. Utilization of different dietary starch sources and tolerance to glucose loading in Atlantic salmon during parrinolt transformation[J]. *Aquaculture*, 1998, 161: 145-157
- [16] Wilson R P. Handbook of Nutrient Requirements of Fish in Fish[M]. Boca Raton: CRC Press, 1991: 13-22
- [17] 林建斌. 鱼类对日粮中碳水化合物的利用[J]. 饲料工业, 1995, (12): 8-10
- [18] 蔡春芳, 王道尊, 黄卫. 异育银鲫对糖利用性的研究—饲料糖含量对生长、消化吸收率及体成分的影响[J]. 苏州大学学报: 自然科学版, 1999, 3(15): 87-90
- [19] 黄晓艳. 南方鲇幼鱼对三大营养素需求量的研究[D]. 雅安: 四川农业大学, 2008: 35-45
- [20] 高淳仁, 李岩, 徐学良. 黑鲟幼鱼对饲料蛋白质、脂肪、糖类需求量的研究[J]. 齐鲁渔业, 1993, (6): 35-37
- [21] Lin. Utilization of carbohydrates in warm-water fish with particular reference to tilapia[J]. *Aquaculture*, 1999, 151: 79-96
- [22] 宋理平. 宝石鲈营养需求的研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2009: 40-60
- [23] 周景祥, 余涛, 黄权, 等. 鲤鱼、黄颡鱼和大眼鲈消化酶活性的比较研究[J]. 吉林大学学报, 2001, 23(1): 94-96

- [24] 高梅. 饲料碳水化合物对南方鲇幼鱼消化酶及相关生理指标的影响[D]. 重庆: 西南大学, 2006: 40—50
- [25] 蔡春芳. 青鱼和鲫对饲料糖的利用及其代谢机制的研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2004: 40—60
- [26] Cho C Y, Kaushik S J. Nutrition energetic in fish: energy and Protein utilization in rainbow trout(*Salmo gairdneri*) [J]. *World Rev Nutr Diet*, 1990, 61: 132—172
- [27] Hemre G L, Sandnes K. Carbohydrate nutrition in Atlantic salmon. Salmon salar growth and feed utilization [J]. *Aq Nut* 1995, 3 (26): 149—154
- [28] Emanuelli J A K. Growth rate, feed conversion, and body composition of carbohydrate[J]. *Aquaculture*, 1998 (29): 84—97
- [29] 李广丽. 草鱼、鲤肠道、肝胰脏消化酶活性的初步研究[J]. 湛江水产学院学报, 1994, 14(1): 34—40
- [30] 尾崎久雄. 鱼类血液与循环生理[M]. 许学龙, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1982: 88—115
- [31] 田丽霞. 草鱼的糖代谢研究[D]. 广州: 中山大学, 2003: 45—58
- [32] 戈贤平. 不同糖、脂含量日粮对翘嘴红鲌相关糖代谢酶的调节研究[J]. 淡水渔业, 2006, 12: 27—30
- [33] Panserat S, Médale F, Béque J et al. Hepatic glucokinase is induced by dietary carbohydrates in rainbow trout, rainbow sea bream, and common carp [J]. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 2000, 278: 1164—1170
- [34] 谭肖英, 刘永坚, 田丽霞, 等. 饲料中碳水化合物水平对大口黑鲈生长、鱼体营养成分组成的影响[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(增刊): 258—262
- [35] 罗毅平, 谢小军. 南方鲇对饲料碳水化合物的代谢适应[J]. 水生生物学报, 2009, 33(1): 140—144
- [36] Sargent J, Henderson R J, Tocher D R. The lipids. Fish Nutrition[M]. San Diego: Academic Press, 1989: 153—218
- [37] Shiau S Y, Lin S F. Effect of Supplemental Dietary Chromium and Vanadium on the Utilization of Different Carbohydrate in Tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) [J]. *Aquac*, 1993, 110: 321—330
- [38] 李治, 谢小军. 饲料中碳水化合物水平对南方鲇幼鱼身体化学组成的影响[J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2005, 30(5): 914—919