

南方鲇的营养学研究:饲料中大豆蛋白水平 对消化率及摄食率的影响

艾庆辉¹ 谢小军²

(1. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072; 2. 西南师范大学水产科学研究所, 重庆 400715)

摘要:以 $23.78 \pm 0.09\text{g}$ 的南方鲇为实验对象, 以 Cr_2O_3 作为测定饲料消化率的指示物, 以大豆蛋白分别替代 0%、13%、26%、39%、52% 和 65% 的鱼粉蛋白, 配制成 6 种等氮(粗蛋白 48%)、等能(总能 20KJ/g) 的饲料, 用于探讨饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例对南方鲇消化率及摄食率的影响。实验在 $27.5 \pm 0.02^\circ\text{C}$ 水温条件下进行 6 周, 溶氧维持在 5mg/L 以上, 光制为 14L:10D。结果表明, 饲料中不同比例鱼粉蛋白与大豆蛋白对南方鲇的消化率及摄食率均存在显著影响($P < 0.05$)。其中南方鲇对干物质、蛋白质、脂肪和能量的消化率随着大豆蛋白替代率的提高而逐步下降, 当替代量为 65% 时, 其消化率显著低于其余各组($P < 0.05$)。而南方鲇的摄食率均随着饲料中大豆粉添加量的升高而升高, 当大豆蛋白替代鱼粉蛋白超过 39% 时, 摄食率显著高于其余各组($P < 0.05$)。通过分析认为, 消化率是限制南方鲇利用大豆粉的重要因素, 而摄食率不是影响其利用率的主要原因。

关键词: 饲料蛋白; 大豆粉; 南方鲇; 消化率; 摄食率

中图分类号: S946.18 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2002)03-0215-06

养殖鱼类对蛋白质的营养需求量约为其饲料干重的 35%—55%, 比鸟类及哺乳类高 150%—300%^[1]。鱼粉是饲料工业中最主要的蛋白质来源, 近年来, 随着集约化养殖的迅猛发展, 鱼粉的需求量急剧上升。然而, 受资源状况的影响, 世界鱼粉的总产量正逐年下降, 这种供需不平衡导致了鱼粉及饲料价格的不断上扬, 从而严重阻碍了养殖业的发展^[2]。因此, 开发新型蛋白源, 降低饲料成本, 成为人们亟待解决的课题。

相对于鱼粉而言, 植物蛋白源价格低廉且来源广泛, 是替代鱼粉的良好原料。其中的大豆不仅蛋白质含量高, 且氨基酸配比与鱼类需求相近, 因而使用最为广泛。影响鱼类利用大豆蛋白的因素主要有: (1) 随着大豆粉的添加, 饲料的摄食率降低^[3]; (2) 大豆粉中的抗营养因子对消化率的影响^[4]; (3) 氨基酸的不平衡性^[5]。

已有的研究表明, 消化率和摄食率都可能是影响鱼类利用植物蛋白的重要因素。对于不同鱼类, 因所采用大豆粉的类型、加工方式以及替代比例不同, 其消化率及摄食率差

收稿日期: 2001-03-29; 修订日期: 2001-07-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目

作者简介: 艾庆辉(1972—), 男, 江西丰城市人; 博士生; 主要从事鱼类营养和鱼类能量学的研究

通讯作者: 谢小军

异较大,从而导致了鱼类对大豆粉的利用率差异,影响生长^[4,6]。但在某些种类,当以大豆粉部分甚至完全替代鱼粉时,其生长及饲料利用率将不受影响^[7,8]。

南方鲇是我国特有的经济鲇类,其个体大,生长迅速,肉味鲜美。自 20 世纪 90 年代以来,该鱼的养殖驯化获得了成功,从而成为了新的名特优养殖对象。有关南方鲇的生物学及能量学已有了较多的研究报道^[9,10]。本实验室曾以鱼粉为蛋白源,对南方鲇的营养需求进行了研究,实验结果表明南方鲇饲料中蛋白质的最适需求量为 47.5%—51.5%^[11]。本研究是有关南方鲇营养学的系列研究之一^[11-13],是在前述研究的基础上,探讨配合饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的不同比例对该种鱼消化率和摄食率的影响,以期为其人工配合饲料的开发提供基础资料

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及饲料 南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)为同一批人工孵化的鱼苗。饲料配方及营养组成见前文^[15]。

1.2 实验操作程序 摄食生长实验在室内循环水养殖系统中进行,水温控制在 $27.5 \pm 0.02^\circ\text{C}$,溶氧维持在 5mg/L 以上,光制为 14L:10D(7:00—21:00 为光亮时间)。实验开始之前,停止投喂 1d,以氨基甲酸乙酯(1:10000)对南方鲇麻醉后,进行称量(精确至 0.01g)。从中挑选出 23g 左右的南方鲇为实验对象,每个喂养桶中随机放入 10 尾实验鱼,通过随机排列后每种饲料设 4 个平行。

每次投喂前,先把一定量的饲料从冰箱中取出解冻,用自行研制的定型定量器制作颗粒饲料。饲料形状为圆柱形(直径为 6.0mm),每粒重量可控制在 $0.35 \pm 0.02\text{g}$ (湿重)。根据所用实验饲料块的干物质含量及制成饲料的颗粒数,可计算出每粒饲料的干重。饱食投喂,每天投喂一次(18:00),每次投喂时间间隔为 1h,具体投喂方法为:第一次投喂 20 粒,每隔 10min 观察一次,如发现饲料颗粒减少至 5 粒以下,则加投至 10 粒,直至最后两次发现饲料颗粒不再减少为止,然后吸出残饵。每天每桶鱼的摄食量 = (投入粒数 - 残饵粒数) × 每粒饲料的干重。实验进行 1 周后,开始收集粪便,每天 3 次,每次间隔 8h,选取成型的粪便颗粒为分析样品,保存在 -30°C 条件下待测。

1.3 分析测定方法 饲料、各原料及粪便样品均在 70°C 烘干至恒重后,求得干物质含量,然后进行生化测定。采用凯氏定氮法测定样品的总氮含量,将测定结果乘以 6.25 后得粗蛋白含量;采用索氏抽提法,以乙醚为抽提剂测定脂肪含量;将样品在马福炉中灼烧(550°C)8h 后测得灰分含量;采用 Phillipson 微量能量计测定饲料和粪便中的能值; Cr_2O_3 的测定通过湿法消化后,比色求得^[14]。每份样品均重复测定两次,若相对偏差大于 2%,则增加重复次数,采用相对偏差在 2% 以下的两个测定值的平均数为测定结果。

1.4 计算及统计方法 实验参数的计算公式如下:

$$\text{特定生长率(SGR)} = 100 \times (\ln W_1 - \ln W_0) / t$$

$$\text{摄食率(FR)} = 100 \times I \times 2 / ((W_1 + W_0) \times t)$$

$$\text{表观消化率(ADC\%)} = 100 \times (1 - \text{饲料中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} / \text{粪便中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量})$$

$$\text{各营养物质表观消化率(\%)} = 100 \times (1 - \text{饲料中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} \times \text{粪便中营养物质含量} / \text{粪便中 } \text{Cr}_2\text{O}_3 \text{ 含量} \times \text{饲料中营养物质含量})$$

每天的体重由 $W_n = W_0 \times e^{(SGR \times 100 \times n)}$ 推算而得,然后根据日均重求得日摄食率。其中 $W_0(g)$ 为初始平均体重, $W_t(g)$ 为终末平均体重, $W_n(g)$ 为第 n 天的平均体重, $t(d)$ 为实验时间, n 为实验的第 n 天, $I(g)$ 为摄入的干物质或蛋白质、脂肪、能量的含量。

采用 SPSS9.0 for Windows 对所得数据进行方差分析,差异显著后进行 Tukey 多重比较,显著性水平为 $P < 0.05$ 。

2 结果

2.1 大豆蛋白替代不同比例鱼粉蛋白饲料条件下的南方鲇的消化率

随着饲料中大豆粉添加量的提高,南方鲇的干物质、蛋白质、脂肪和能量消化率呈逐渐下降的趋势(表 1)。当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例为 52% 或 52% 以下时,其干物质及蛋白质消化率与对照组之间差异不显著($P > 0.05$),但均显著高于 65% 的替代水平($P < 0.05$)。大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例为 26% 或超过 26% 时,各组的脂肪消化率显著低于对照组($P < 0.05$)。

表 1 饲料中不同大豆蛋白水平对南方鲇消化率的影响(平均数 \pm 标准误)¹

Tab.1 Effects of different levels of soybean protein in the diet on apparent digestibility(Means \pm S.E)

大豆蛋白水平 SPL ²	0%	13%	26%	39%	52%	65%
饲料编号 Diet No.	(Diet 1)	(Diet 2)	(Diet 3)	(Diet 4)	(Diet 5)	(Diet 6)
ADC ³ of dry matter(%)	79.21 \pm 0.86 ^{ab}	80.94 \pm 0.74 ^a	77.68 \pm 0.92 ^{ab}	73.72 \pm 1.98 ^b	72.98 \pm 1.25 ^b	62.46 \pm 2.60 ^c
ADC of protein(%)	79.14 \pm 0.70 ^a	80.49 \pm 0.72 ^a	78.67 \pm 1.06 ^a	77.53 \pm 1.95 ^a	77.70 \pm 1.39 ^a	69.48 \pm 3.05 ^b
ADC of lipid(%)	92.27 \pm 0.32 ^a	92.62 \pm 0.29 ^a	84.66 \pm 0.63 ^b	80.87 \pm 1.44 ^b	78.85 \pm 0.98 ^b	60.52 \pm 2.73 ^c
ADC of energy(%)	86.29 \pm 0.56 ^a	85.73 \pm 0.55 ^a	81.96 \pm 0.74 ^{ab}	77.58 \pm 1.69 ^b	76.78 \pm 1.07 ^b	64.83 \pm 2.43 ^c

注:1 表中不同的上标字母表示差异显著($P < 0.05$)。Means with different superscripts have significant differences($P < 0.05$)。

2 SPL 表示饲料中大豆蛋白水平(%总蛋白水平)。Soybean protein level(% dietary protein)。

3 ADC 为表观消化率。Apparent digestibility coefficient。

2.2 大豆蛋白替代不同比例鱼粉蛋白饲料条件下的南方鲇的摄食率

在实验的初始阶段,大豆粉含量最高两组(52% 和 65%)的日平均摄食率明显低于其余各组。经 8—9d 后,其日平均摄食率逐渐赶上其余各组,到 23—25d 时,含大豆粉最高两个组的日平均摄食率显著高于其余各组(图 1)。

而在整个实验期,随着饲料中大豆粉替代比例的提高,南方鲇的总平均摄食率有逐渐上升的趋势(表 2)。当大豆蛋白替

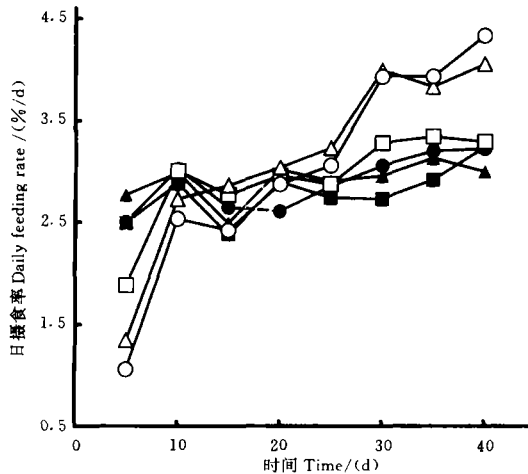


图 1 不同饲料处理下日摄食率的变化
(每个点代表连续 5d 的平均值)

Fig.1 The change of daily feeding rate for six diets
(Each point represents the mean value every five days)

—■— Diet-1 —▲— Diet-2 —●— Diet-3
—□— Diet-4 —△— Diet-5 —○— Diet-6

代鱼粉蛋白的比例分别为 52% 及 65% 时,其干物质、蛋白质和能量的总平均摄食率均显著高于其余各组 ($P < 0.05$),而当替代比例在 39% 或 39% 以下时,各处理组之间与对照组之间摄食率差异不显著 ($P > 0.05$)。

表 2 饲料中不同大豆蛋白水平对南方鲇摄食率的影响(平均数 \pm 标准误)¹

Tab. 2 Effects of different levels of soybean protein in the diet on feeding rate (Means \pm S.E.)

大豆蛋白水平 SPL ²	0%	13%	26%	39%	52%	65%
饲料编号 Diet No.	(Diet 1)	(Diet 2)	(Diet 3)	(Diet 4)	(Diet 5)	(Diet 6)
FR ³ of dry matter(%)	2.35 \pm 0.04 ^b	2.29 \pm 0.06 ^b	2.35 \pm 0.06 ^b	2.47 \pm 0.09 ^b	2.82 \pm 0.06 ^a	2.88 \pm 0.16 ^a
FR of protein(%)	1.13 \pm 0.02 ^b	1.09 \pm 0.03 ^b	1.13 \pm 0.03 ^b	1.18 \pm 0.05 ^b	1.35 \pm 0.03 ^a	1.40 \pm 0.04 ^a
FR of lipid(%)	0.27 \pm 0.00 ^b	0.27 \pm 0.00 ^b	0.28 \pm 0.00 ^b	0.30 \pm 0.01 ^b	0.34 \pm 0.00 ^a	0.35 \pm 0.01 ^a
FR of energy(%)	46.79 \pm 0.73 ^b	45.41 \pm 1.21 ^b	47.22 \pm 1.15 ^b	50.02 \pm 1.82 ^b	56.81 \pm 1.24 ^a	58.20 \pm 1.59 ^a

注:1,2 注同表 1 注; 3 FR 为摄食率。Feeding rate

3 讨论

3.1 饲料中鱼粉蛋白与大豆蛋白的不同比例对南方鲇消化率的影响

消化率是影响鱼类利用大豆蛋白的重要因素。一般的研究表明随着饲料中大豆粉添加量的提高,鱼类对饲料中干物质的消化吸收率将逐渐下降^[3]。本研究结果也表明(表 1),随着大豆粉添加量的提高,南方鲇对饲料中干物质的表观消化率随之逐渐下降。因而消化率成为抑制南方鲇利用大豆蛋白的重要因素。

鱼类消化率与饲料中大豆蛋白质的关系有三种不同的现象:一是随着大豆蛋白比例的提高,蛋白质的消化率逐渐下降^[3];二是消化率不受饲料中大豆蛋白含量的影响^[4];三是蛋白质消化率随大豆蛋白替代比例的升高而升高^[16,17]。本实验所观察到的结果与第一类现象相同,即随着饲料中大豆蛋白替代比例的提高,南方鲇对蛋白质的消化吸收率逐渐下降。这可能是由于大豆粉中的胰蛋白酶抑制因子、凝集素及植酸等抗营养因子,扰乱了南方鲇对蛋白质的消化吸收,从而降低消化率^[4]。

3.2 饲料中不同比例鱼粉蛋白与大豆蛋白对南方鲇摄食率的影响

一些研究表明,随着饲料中大豆粉添加量的提高,鱼类的摄食率逐渐下降,从而影响了鱼类的生长^[7,8]。但也有研究表明,饲料中添加一定量的鱼粉将不影响鱼类的摄食率^[16]。本研究表明(表 2),随着饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白比例的提高,南方鲇的摄食率有逐渐上升的趋势,且当替代量达到一定水平时,其摄食率将显著高于较低替代量组。

分时间段考察实验鱼的日平均摄食率发现,在实验的初始阶段,饲料中大豆蛋白比例较高的实验组,南方鲇的摄食率相对较低(图 1)。随着时间的推移,饲料中大豆蛋白比例较高组的摄食率逐渐上升,到实验的第 8—9d 时,各组之间摄食率基本一致。这说明南方鲇对含大豆粉的食物有一逐渐适应的过程,且随着大豆粉比例的提高,该适应的时间也相应延长,这主要是因为鱼粉的适口性较好,其中含有较多的促摄食物物质。相反,大豆粉中的一系列抗营养因子则会抑制鱼类的食欲^[3,4,5,15]。当大豆粉替代鱼粉的比例逐渐上升时,饲料中的促摄食物物质逐渐减少,从而影响了饲料的适口性,使摄食率减少。但经过一

段时间的适应调节后,鱼类将逐渐适应含大豆粉的食物,从而使因添加大豆粉而引起的适口性差异不再影响摄食率。本实验的结果表明,经一定时间的适应期后,南方鲇可适应含大豆粉的食物。Refstie et al. 对虹鳟的研究也表明,在前 28d,虹鳟对含 40%大豆粉的饲料摄食率及生长率明显低于全鱼粉组,但 28d 后,二者之间的差异不显著。这说明虹鳟能够逐渐适应大豆粉中的异味物质,从而提高其摄食率,使生长不受影响^[17]。类似的现象在大西洋鲑、大麻哈鱼中均有报道^[15,18]。

本实验的后期阶段,南方鲇的摄食率随大豆蛋白替代比例的上升有升高的趋势,最终导致大豆蛋白比例较高的实验组在整个实验期间的总平均摄食率反而更高。这主要由于在实验初期阶段较高的替代比例处理组因适口性较差而使前期摄食量较少,不能满足其营养需求,为了弥补这一不足,南方鲇适应性调整食欲,使摄食率增高。这与其他的一些鱼类对营养物质缺乏的反应相类似^[19]。同时实验鱼的消化率均随着饲料中大豆粉的升高而下降(表 2),这样南方鲇可利用的蛋白质、脂肪等在大豆粉含量较高的处理组相对更少,从而促使鱼体进一步提高其食欲及摄食率^[20]。由此可见,适口性对鱼类摄食率的影响为短期效应,而鱼体对食物中营养物质及能量的需求,即鱼体内在的食欲及食欲反馈(Appetite return)是决定鱼类长期摄食率的主要因素。因此摄食率不是影响南方鲇利用大豆蛋白的主要原因。

参考文献:

- [1] Jauncey K. Advances in freshwater fish nutrition [M]. In Feed Production Tomorrow II. Bangkok, Thailand, 1993
- [2] 岑玉吉. 我国水产饲料业的现状与发展动态[J]. 淡水渔业, 1999, 29(2): 37—40
- [3] Lim C, Sessa K J. Nutrient and Utilization Technology in Aquaculture [M]. Champaign AOAC Press, 1994, 166—188
- [4] Olli J J, Krogdahl A. Nutritive value of four soybean products in diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, walbaum) reared in freshwater [J]. Acta Agri. Scand., Sect. A. Anim. Sci., 1994, 44: 185—192
- [5] Andrew J W, Page J W. Growth factors in the fish meal component of catfish diets [J]. J. Nutr., 1974, 104: 1091—1096
- [6] Refstie S, Svihus B, Shearer K D, et al. Nutrient digestibility in Atlantic salmon and broiler chickens related to viscosity and non-starch polysaccharide content in different soybean products [J]. Aquaculture, 1999, 79: 331—345
- [7] Reigh R C, Ellis S C. Effects of dietary soybean and fish protein ratios on growth and body composition of red drum (*Sciaenops ocellatus*) fed isonitrogenous diets [J]. Aquaculture, 1992, 104: 279—292
- [8] Bureau D P, Harris A M, Cho C Y. The effects of purified alcohol extracts from soy products on feed intake and growth of chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. Aquaculture, 1998, 161: 325—345
- [9] Xie X J, Sun R Y. The bioenergetics of the southern catfish *Silurus meridionalis* Chen: growth rate as a function of ration level, body weight, and temperature [J]. J. Fish. Biol., 1992, 40: 719—730
- [10] Xie X J, Sun R Y. Pattern of energy allocation in the southern catfish *Silurus meridionalis* Chen [J]. J. Fish. Biol., 1993, 42: 197—207
- [11] 张文斌, 谢小军, 付世健, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料的最适蛋白质水平[J]. 水生生物学报, 2000, 24(6): 603—609
- [12] 邓利, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: I. 人工饲料的消化率. [J]. 水生生物学报, 2000, 24(4): 347—355
- [13] 付世健, 谢小军, 张文斌, 等. 南方鲇的营养学研究: III. 饲料脂肪对蛋白质的节约效应[J]. 水生生物学报, 2001, 25(1): 70—75
- [14] Furukawa A, Tsukahara H. On the acid digestion method for the determination of chromic oxide as a index substance in the study of digestibility of fish feed [J]. Bull. Jpn. Soc. Sci., 1966, 32: 502—506

- [15] 艾庆辉, 谢小军. 南方鲇营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对生长的影响[J]. 水生生物学报, 2002, **26**(1): 57—65
- [16] Pongmaneerat J, Watanabe T. Utilization of soybean meal as protein source in diets for rainbow trout [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, **58**: 1983—1990
- [17] Refstie S, Helland S V, Storebakken T. Adaptation to soybean meal in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1997, **153**: 263—272
- [18] Refstie S, Storebakken T, Roem A J. Feed consumption and conversion in Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with fish meal, extracted soybean meal or soybean meal with reduced content of oligosaccharides, trypsin inhibitors, lectins and soya antigens. *Aquaculture*, 1998, **162**: 301—312
- [19] Bromley P J. The effect of dietary water content and feeding rate on the growth and food conversion efficiency of turbot (*Scophthalmus maximus* L.) [J]. *Aquaculture*, 1980, **20**: 91—99
- [20] Jobling M, Wandsvik A. An investigation of factors controlling food intake in Arctic charr, *Salvelinus alpinus* L. [J]. *J. Fish Biol.*, 1983, **23**: 397—404

THE NUTRITION OF *SILURUS MERIDIONALIS*: EFFECTS OF DIFFERENT LEVELS OF DIETARY SOYBEAN PROTEIN ON DIGESTIBILITY AND FEEDING RATE

AI Qing-hui¹ and XIE Xiao-jun²

(1 Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072)

2 Institute of Fishery Sciences, Southwest-China Normal University, Chongqing 400715)

Abstract: A growth experiment was conducted on *Silurus meridionalis*, with initial weight of 23.78 ± 0.09 g, for 6 weeks at 27.5 ± 0.02 °C in recirculating system. Using chromic oxide as an indicator, six isonitrogenous (48% protein) and isoenergetic (gross energy, 20KJ/g) diets, with soybean protein (SP) replacing 0%, 13%, 26%, 39%, 52% and 65% of fish meal protein (FP), were formulated to examine the effects of incorporation of dietary SP on digestibility and feeding rate. The results indicated that dietary level of SP significantly influenced feeding rate and apparent digestibility in this southern sheatfish ($P < 0.05$). With the increased SP, the apparent digestibility of dry matter, protein, lipid and energy decreased. When SP in the diet was 65%, the apparent digestibility was significantly lower than that in other groups ($P < 0.05$). Feeding rate increased with the increased SP. Fish fed the diets with 52% and 65% of SP showed significantly higher feeding rate than other groups ($P < 0.05$). It is suggested that the digestibility was an important factor affecting the utilization of soybean meal for the southern sheatfish, but the feeding rate didn't.

Key words: Dietary protein; Soybean meal; *Silurus meridionalis*; Digestibility; Feeding rate