

南方鲇的营养学研究: 饲料中大豆蛋白水平对生长的影响

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: 以初始体重为 23.78 ± 0.09 g 的南方鲇幼鱼为实验对象, 在室内循环水养殖系统中进行为期 6 周的生长实验。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(粗蛋白为 48%)、等能(总能 20 KJ/g) 的饲料, 用于探讨饲料中鱼粉蛋白与大豆蛋白的不同比例对南方鲇生长及饲料转化率的影响。实验在 27.5 ± 0.2 °C 水温条件下进行, 溶氧维持在 5 mg/L 以上, 光照周期为 14L: 10D。实验结果表明, 当大豆蛋白分别替代 13%、26% 和 39% 的鱼粉蛋白时, 3 组之间的特定生长率(SGR) 的差异不显著($P > 0.05$), 但均显著高于 52% 和 65% 替代水平($P < 0.05$)。其中 13% 和 26% 的替代水平的特定生长率(SGR) 显著高于对照组($P < 0.05$); 39% 替代水平的特定生长率(SGR) 与对照组之间差异不显著($P > 0.05$); 而 52% 和 65% 替代水平的特定生长率(SGR) 则显著低于对照组($P < 0.05$)。饲料转化率(FCE)、蛋白质效率(PER) 和蛋白质累积率(PPV) 分别在各处理组之间的差异关系与特定生长率(SGR) 在各组之间的变化相类似。因此, 本文提出南方鲇饲料中大豆蛋白替代 39% 的鱼粉蛋白是适宜的, 过量的添加将影响南方鲇的生长及饲料转化率。通过分析认为大豆蛋白影响南方鲇生长的因素是其消化率较低及氨基酸不平衡。

关键词: 鱼类营养; 饲料蛋白; 大豆粉; 南方鲇; 生长

中图分类号: S965.18 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2002)01-0057-009

有关饲料中植物蛋白源影响肉食性鱼类生长的生理生态学机制研究, 是目前鱼类营养学的热点方向之一。鱼类的天然食性主要分为草食性、杂食性及肉食性三类。草食性鱼类对植物蛋白的适应性较好, 因此有关饲料中植物蛋白源替代鱼粉的研究主要集中在杂食性及肉食性鱼类。已有的研究表明, 杂食性鱼类能够较好地利用大豆蛋白^[1-3]。通过一定的处理, 大豆粉甚至能够完全替代鱼粉^[4]。但肉食性鱼类不仅对蛋白质的需求量高, 且更偏好于动物性蛋白, 所以当以大豆粉替代鱼粉时, 技术难度较大, 涉及的理论问题更突出^[5, 6]。

南方鲇(*Silurus meridionalis*) 属专性肉食性鱼类^[7], 广泛分布于长江流域及以南地区, 是我国特有的经济鱼类。本文是关于南方鲇营养学的系列研究之一^[8-10], 旨在探讨饲料中不同比例的大豆粉蛋白替代鱼粉蛋白对南方鲇生长及饲料转化率的影响, 从而估算其饲料中大豆粉的适宜添加量, 为进一步研制高效廉价的人工配合饲料提供基础资料。

收稿日期: 2001-03-29; 修订日期: 2001-07-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 编号: 30170725

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研究

通讯作者: 谢小军

1 材料与方法

1.1 实验鱼来源及驯化 南方鲇(*Silurus meridionalis* chen)为同一批当年人工孵化的鱼苗,在室内水槽中驯养3个月,挑选出体格健壮,体重相近的南方鲇500尾,放入室内循环水养殖系统^[8]中驯化。驯化期间,以对照组的实验饲料(1号饲料)为驯化饲料,隔天饱食投喂,经15 d的驯养后,开始摄食生长实验。

1.2 实验饲料 以鱼粉为动物蛋白源,大豆粉为植物蛋白源,鱼油及豆油为脂肪源,α-淀粉为配平等能水平的补充能源,并分别以大豆蛋白替代0%、13%、26%、39%、52%和65%的鱼粉蛋白,以Cr₂O₃作为外源性指示物,配制成6种等氮(蛋白质含量48%左右)、等能(总能为20KJ/g)的饲料,分别称为Diet 1、Diet 2、Diet 3、Diet 4、Diet 5和Diet 6号饲料(表1)。各原料及饲料的氨基酸组成如表2所示。在饲料制作过程中,各原料按配比定量后混合均匀,加入适量的水制成湿饵,称重后得到干湿重比系数,然后制成一定重量的饵料块,保存于-20℃的冰箱中。另外,在每种饲料中分别取定量的样品,在70℃烘干,保存于-20℃下待测。

表 1 实验饲料配方及营养组成(%干重)
Tab. 1 Formulation and proximate chemical composition of experimental diets (% dry weight)

原料% 干重 Ingredient% dry weight	饲料编号(大豆蛋白水平) Diet No. (SPL ³)					
	Diet 1	Diet 2	Diet 3	Diet 4	Diet 5	Diet 6
	(0%)	(13%)	(26%)	(39%)	(52%)	(65%)
鱼粉 Fish meal ¹	57.04	49.62	42.21	34.79	27.38	19.96
豆粉 Soybean meal ²	0.00	11.57	23.14	34.72	46.29	57.86
鱼油 Fish oil	0.33	1.46	2.58	3.71	4.84	5.97
豆油 Soybean oil	2.00	1.78	1.57	1.35	1.14	0.92
α-淀粉 α-starch	25.73	20.66	15.59	10.52	5.46	0.39
无机盐预混剂 Mineral premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
维生素预混剂 Vitamin premix	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
海藻酸钠 Sodium alginate	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
牛肝 Ox liver	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
三氧化二铬 Cr ₂ O ₃	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
营养组成% Proximate composition						
粗蛋白质 Crude protein	47.85	47.80	48.23	47.84	47.94	48.69
粗脂肪 Crude lipid	11.40	11.90	12.06	12.13	12.11	12.12
灰分 Ash	10.60	10.49	10.42	10.05	9.87	9.66
能量 Energy (KJ/g)	19.89	19.87	20.11	20.29	20.14	20.20

1 鱼粉:水分 10.28%,粗蛋白,71.88%(干重),粗脂肪,15.20%(干重) Fish meal: moisture, 10.28%; crude protein, 71.88% dry matter, lipid, 15.20% dry matter.

2 大豆粉:水分,12.16%,粗蛋白46.06%(干重),粗脂肪,1.86%(干重). Soybean meal: moisture, 12.16%; crude protein, 46.06% dry matter, lipid, 1.86% dry matter.

3 SPL表示饲料中大豆蛋白水平(%总蛋白水平). SPL: soybean meal protein level (% dietary protein).

表 2 原料及饲料中必需氨基酸组成(%饲料蛋白)¹⁾
Tab. 2 Essential amino acid composition of ingredients and experimental diets (% dietary protein)

原料或饲料 Ingredient of diets	大豆蛋白水平 SPL ²					饲料编号 Diet No.			需求量 参考值 Reference value ³	
	鱼粉 Fish meal	大豆粉 Soybean meal	牛肝 Ox liver	0% (Diet 1)	13% (Diet 2)	26% (Diet 3)	39% (Diet 4)	52% (Diet 5)		65% (Diet 6)
亮氨酸 Leu	7.10(5.05)	6.74(3.11)	9.67(7.73)	7.37(3.53)	7.35(3.51)	7.25(3.50)	7.28(3.48)	7.24(3.47)	7.09(3.45)	7.24(4.97)
异亮氨酸 Ile	3.61(2.60)	3.08(1.42)	4.72(3.78)	3.76(1.80)	3.71(1.77)	3.61(1.74)	3.58(1.71)	3.52(1.69)	3.40(1.66)	3.30(2.26)
苏氨酸 Thr	3.89(2.16)	3.24(1.49)	5.19(4.15)	4.13(1.98)	4.05(1.94)	3.93(1.90)	3.88(1.86)	3.79(1.82)	3.66(1.78)	3.36(2.00)
缬氨酸 Val	4.53(3.24)	5.68(2.61)	3.55(2.84)	4.36(2.09)	4.49(2.15)	4.58(2.21)	4.75(2.27)	4.87(2.34)	4.92(2.40)	3.96(2.72)
蛋氨酸 Met	2.32(1.62)	0.85(0.39)	2.60(2.08)	2.29(1.10)	2.14(1.02)	1.97(0.95)	1.83(0.87)	1.67(0.80)	1.49(0.72)	2.10(1.45)
赖氨酸 Lys	7.26(5.35)	5.25(2.42)	7.80(6.24)	7.47(3.58)	7.24(3.46)	6.93(3.34)	6.74(3.23)	6.48(3.11)	6.14(2.99)	7.51(5.15)
苯丙氨酸 Phe	3.68(2.70)	3.95(1.82)	5.78(4.62)	4.02(1.93)	4.05(1.94)	4.04(1.95)	4.09(1.96)	4.11(1.97)	4.06(1.98)	3.76(2.58)
组氨酸 His	1.27(0.93)	1.58(0.73)	2.68(2.15)	1.49(0.71)	1.52(0.73)	1.54(0.74)	1.58(0.76)	1.61(0.77)	1.62(0.79)	1.55(1.07)
精氨酸 Arg	6.77(4.78)	5.68(2.61)	6.74(5.39)	6.65(3.18)	6.55(3.13)	6.38(3.08)	6.32(3.02)	6.20(2.97)	6.00(2.92)	5.96(4.10)

注: 1) 色氨酸因酸水解被破坏, 未检测到, 括号中表示的是占饲料中干物质的含量. No tryptophan was detected because of acid hydrolysis. Values in the parentheses showed the contents of amino acid in dry matter.
2) SPL 表示大豆蛋白水平(%总蛋白含量). ²⁾SPL, soybean meal protein level (% dietary protein).
3) 参考值为鱼体的氨基酸组成. ³⁾The requirement value was based on the amino acid composition of the fish body.

1.3 实验操作程序 生长实验在室内循环水养殖系统中进行^[8]。实验开始之前, 停止投喂一天, 然后以氨基甲酸乙酯(1 : 10000) 对南方鲇进行麻醉后称量(精确至 0.01g)。从中挑选出体重相近(23.78 ± 0.09g) 的南方鲇为实验对象。每个喂养试验桶放入 10 尾实验鱼, 每种饲料设立 4 个平行。同时随机抽取 10 尾鱼, 作为估计初始鱼体的生化组成及含能量的样品。

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。饲料颗粒形状为圆柱形(直径为 6.0mm), 每粒的重量控制在 0.35 ± 0.02g(湿重)。根据所用实验饲料块的干物质含量及制成的饲料颗粒数, 计算出每颗饲料的干重, 从而可通过计算摄食饲料的颗粒数求得每组实验鱼每次的摄食量。每天投喂一次(18:00), 达饱足。投喂方法为: 第一次投喂 20 粒, 每隔 10 min 观察一次, 如发现饲料颗粒减少至 10 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, 然后收取残饵, 记录摄食量。每次投喂持续时间为 1 h。

实验为期 43 d, 实验期间水温控制在 27.5 ± 0.02℃, 溶氧维持在 5mg/L 以上, 光制为 14L: 10D(光亮时间为 7:00—21:00)。实验结束后分别对各组鱼进行称重, 并随机从各组中挑选 2 尾鱼作为生化分析的样品。

1.4 样品分析测定方法 饲料、各原料及鱼体的样品均在 70℃ 烘干至恒重后, 求得干物质含量。采用凯氏定氮法测定其粗蛋白含量(总氮 × 6.25); 采用索氏抽提法(以乙醚为溶剂)测定粗脂肪含量; 灰分是在马福炉中焚烧(550℃) 8 h 后测得; 采用 Phillipson 微量能量计测定饲料中的能量; 氨基酸采用 Beckman 6300 黄金系列高效氨基酸自动分析仪测定。每份样品均重复测定 2 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。

1.5 计算及统计方法 以下各参数的计算公式为:

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

$$\text{饲料转化率(FCE)} = (W_t - W_0) \times 100 / I_d$$

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (W_t - W_0) \times 100 / (I_d \times P)$$

$$\text{蛋白质累积率(PPV)} = (W_t \times P_1 - W_0 \times P_2) / (I_d \times P)$$

其中 W_t (g) 为终末体重, W_0 (g) 为初始体重, t (d) 为实验时间, I_d (g) 为摄入干物质, P 、 P_1 和 P_2 分别为饲料、终末鱼体和初始鱼体中蛋白质含量(g)。

采用 SPSS 9.0 for Windows 对所得数据进行方差分析, 若差异达显著, 然后进行 Tukey 多重比较, 显著性水平为 $P < 0.05$ 。以二次多项式来拟合生长率(SGR) 与大豆蛋白替代水平(SPL, % 饲料蛋白) 之间的相关关系。

2 结果

2.1 饲料中鱼粉蛋白与大豆蛋白不同比例条件下南方鲇的生长状态参数

实验结果表明(表 3) 当大豆蛋白替代鱼粉蛋白的比例分别为 13%、26% 和 39% 时, 这 3 个饲料处理组之间的特定生长率(SGR)、蛋白质效率(PER) 及蛋白质利用率(PPV) 差异不显著($P > 0.05$), 但均高于对照组(0% 大豆蛋白组), 其中 Diet 2 号(13% 的替代水平) 和 Diet 3 号(26% 的替代水平) 饲料组的特定生长率(SGR) 已显著高于对照组(P

表 3 饲料中不同大豆蛋白水平对南方鲇生长、饲料转化率及蛋白质效率的影响(平均数±标准误)^{1,2}

饲料中大豆蛋白水平 SPL ³	0%	13%	26%	39%	52%	65%
饲料编号 Diet No.	(Diet 1)	(Diet 2)	(Diet 3)	(Diet 4)	(Diet 5)	(Diet 6)
初始体重 IW(g)	23.72±0.06	23.83±0.06	23.83±0.04	23.76±0.07	23.79±0.03	23.75±0.04
终末体重 FW(g)	81.77±3.35 ^c	106.56±3.19 ^a	97.33±3.88 ^{ab}	91.11±4.14 ^b	74.23±2.84 ^d	66.21±2.99 ^d
特定生长率 SGR(%/d)	2.87±0.10 ^b	3.48±0.07 ^a	3.27±0.10 ^a	3.12±0.11 ^{ab}	2.64±0.09 ^c	2.38±0.11 ^c
饲料转化率 FCE(%)	108.71±2.16 ^b	129.36±4.80 ^a	120.29±5.40 ^{ab}	110.85±5.47 ^b	84.90±3.93 ^c	76.24±4.71 ^c
蛋白质效率 PER	2.27±0.05 ^b	2.71±0.10 ^a	2.50±0.11 ^{ab}	2.32±0.12 ^{ab}	1.77±0.08 ^c	1.57±0.10 ^c
蛋白质累积率 PPV(%)	35.71±0.78 ^a	41.91±1.22 ^a	38.56±1.52 ^a	35.84±1.80 ^a	27.41±1.30 ^b	24.82±1.59 ^b

¹ 表格中所给数据为平均数及 4 个重复的标准误。¹Values are means and standard errors of four replicates; ² 平均数后不同的上标表示差异显著。 ²Means with different superscripts have significant differences (P<0.05); ³SPL 表示饲料中大豆蛋白的水平(%总蛋白水平)。 ³SPL: soybean meal protein level (% dietary protein)。

表 4 饲料中不同大豆蛋白水平对南方鲇身体组成的影响(平均数±标准误)^{1,2}

Tab. 4 The effects of different levels of dietary soybean protein on body composition in the southern catfish (Means±S.E.).

初始鱼体 Initial fish body	饲料中大豆蛋白水平 SPL ³					
	0%	13%	26%	39%	52%	65%
	(Diet 1)	(Diet 2)	(Diet 3)	(Diet 4)	(Diet 5)	(Diet 6)
水分 Moisture (%)	78.86±0.18 ^a	76.37±0.11 ^d	76.57±0.27 ^d	77.59±0.13 ^c	77.75±0.17 ^c	78.36±0.10 ^b
粗蛋白 Crude protein (% ^{ww} ⁴)	14.13±0.06 ^b	15.27±0.03 ^a	15.20±0.08 ^a	15.05±0.06 ^a	15.12±0.04 ^a	15.02±0.04 ^a
粗脂肪 Crude lipid (% ^{ww})	3.23±0.01 ^c	4.83±0.05 ^a	4.69±0.06 ^a	3.78±0.05 ^b	3.49±0.07 ^b	3.17±0.04 ^c
灰分 Ash (% ^{ww})	2.70±0.01	2.75±0.02	2.65±0.02	2.67±0.03	2.75±0.02	2.71±0.01

注: ¹ 表格中所给数据为平均数及 4 个重复的标准误。 ¹Values are means and standard errors of four replicates; ² 平均数后不同的上标表示差异显著。 ²Means with different superscripts have significant differences (P<0.05); ³SPL 表示饲料中大豆蛋白的水平(%总蛋白水平)。 ³SPL: soybean meal protein level (% dietary protein); ⁴ww 表示占湿重比例。 ⁴ww: wet weight.

< 0.05)。实验鱼的饲料转化率(FCE)在13%的替代水平达到最高(129.36%),与26%的替代水平之间差异不显著($P > 0.05$),但显著高于对照组及39%的替代水平($P < 0.05$)。当饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白比例超过39%时,其SGR、FCE、PER和PPV均显著低于对照组及其余各组($P < 0.05$)。

2.2 饲料中不同比例鱼粉蛋白与大豆蛋白对南方鲇身体组成的影响

随着饲料中大豆蛋白替代比例的升高,鱼体水分含量逐渐上升,而蛋白质和脂肪含量则有逐渐下降的趋势(表4)。各处理组之间蛋白质及灰分的差异均不显著($P > 0.05$)。当大豆蛋白替代鱼粉蛋白超过26%时,其脂肪含量显著低于对照组($P < 0.05$)。其中脂肪含量(C_L : % 体重)和水分含量(C_M : % 体重)之间存在明显的负相关:

$$C_L = 60.3 - 0.727C_M \quad (r = -0.931, P < 0.01)$$

3 讨论

3.1 饲料中大豆蛋白替代鱼粉蛋白的不同比例对南方鲇生长及饲料利用的影响

从本实验的结果可以看出,当大豆蛋白替代鱼粉蛋白在13%—39%时,南方鲇的生长率及饲料利用率均高于对照组,但当替代率达到52%及65%时,其生长率、饲料转化率、蛋白质效率等则显著低于对照组及其余各组($P < 0.05$)。这表明在饲料中添加一定量的大豆蛋白对南方鲇的生长率及饲料转化率没有负面影响或使其得到改善,但过量添加将会抑制南方鲇的生长及对饲料的利用。Kikuchi对日本鳊鱼的研究也发现,当以脱脂大豆粉替代25%的鱼粉蛋白时,其生长显著高于对照组(全鱼粉组)^[6]。但该结果与另一些有关于其它鱼类的研究结果相左。即当饲料中添加任何比例的大豆蛋白时,其生长及饲料转化率均会低于对照组(未添加大豆粉组),且随着添加量的提高,生长率及饲料转化率呈直线下降^[2,3]。还有一些研究表明,当大豆蛋白的添加量在一定范围内时,鱼类的生长及饲料转化率与对照组之间差异不显著,但当添加量超过该范围时,其生长及饲料转化率将急剧下降^[11]。

3.2 南方鲇饲料中大豆粉的最适添加量

鱼类饲料中大豆粉的最适添加量,是指在该添加水平或该添加水平以下,鱼类的生长及饲料转化率与对照组差异不显著或高于对照组。即在此条件下,鱼类能够最大限度地利用大豆蛋白的量。本实验结果表明,在南方鲇饲料最适蛋白水平下(48%的粗蛋白),当大豆蛋白替代鱼粉蛋白时,其摄食率、干物质和蛋白质消化率^[12]、特定生长率、饲料转化率、蛋白质效率及净蛋白质利用率与对照组之间差异都不显著的最大替代比例为39%(表3、4)。因此以大豆蛋白替代39%的鱼粉蛋白是比较适宜的,过量的添加将影响南方鲇的生长及饲料利用率。

大豆粉的最适添加量在不同鱼类之间而有较大差异,其中南方鲇饲料中大豆蛋白的最适替代量低于鲤、罗非鱼、虹鳟和条纹鲈^[1,4,13,14],这与南方鲇的生态特征及获取能量的方式有关。在自然条件下,南方鲇属专性食鱼者(Piscivore)^[7],在水体中处于最高营养级,主要以中小型鱼类为食,因而与其它杂食性及肉食性鱼类相比,其食谱较窄,更难适应含大豆粉的饲料。此外,饲料中的蛋白质水平也将影响大豆粉的最适添加量。本实验中饲料蛋白水平为48%左右,为南方鲇饲料的最适蛋白质水平^[9],高于鲤、罗非鱼、虹鳟和条纹

鲇所采用的蛋白水平。大豆粉中的必需氨基酸 Met、Lys 等明显低于鱼粉中的含量(表 2), 为限制性氨基酸。在较高的饲料蛋白水平下, 鱼类对必需氨基酸需求量相应提高^[1], 因而限制性氨基酸的作用将显得更为明显, 鱼体对蛋白质的利用率将低于较低的饲料蛋白水平。因此在较高的饲料蛋白水平条件下, 鱼类对植物蛋白的利用率将大大降低, 从而影响替代率^[1, 6]。

3.3 影响南方鲇利用大豆蛋白的因素

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^[11]; (2) 大豆粉中的抗营养因子对消化率的影响^[15]; (3) 氨基酸的不平衡性^[16]。

有关饲料中大豆蛋白替代水平对摄食率的研究结果表明, 随着替代比例的提高, 南方鲇的摄食率并未降低, 相反却有增加的趋势, 一方面由于添加大豆粉而引起的适口性的变化为短期效应, 对摄食行为并不产生明显影响。另一方面, 随着大豆粉比例的提高, 饲料中的可消化利用的营养物质逐渐降低, 鱼体因补偿其营养物质的不足而提高了食欲, 从而适应性提高其摄食率。因此摄食率并不是限制南方鲇利用大豆蛋白的关键因素^[12]。

有关饲料中大豆蛋白替代水平对消化率的研究结果表明随着大豆粉添加量的提高, 南方鲇对各营养物质的消化率逐渐下降, 且两者之间呈显著的负相关^[12]。因此, 消化率是限制南方鲇利用大豆蛋白的重要因素, 这与许多的其它研究结果相一致^[17, 18]。

大豆蛋白中氨基酸的不平衡将影响鱼类对它的利用。有关南方鲇对必需氨基酸的需求量尚未确定, 因而把南方鲇鱼体的氨基酸组成作为需求量的参考标准^[19]。从表 2 可知, 除蛋氨酸和赖氨酸外, 各组饲料的其它必需氨基酸均在参考值以上或与参考值差距微小。随着饲料中大豆蛋白含量的提高, 蛋氨酸和赖氨酸等必需氨基酸含量逐渐下降, Diet5 和 Diet6 中的蛋氨酸和赖氨酸含量与参考值已有较大差距, 而投喂 Diet5 和 Diet6 饲料的南方鲇, 生长率均显著低于对照组。通过饲料中大豆蛋白的替代水平与南方鲇的特定生长率之间的回归方程, 得到大豆蛋白的最适替代水平为 22.50% (图 1), 即介于 Diet2 和 Diet3 之间的替代水平。若以大豆蛋白替代 22.50% 的鱼粉蛋白, 则该饲料中的蛋氨酸含量为 2.11% 饲料蛋白, 几乎

与参考值一致, 赖氨酸含量为 7.06% 饲料蛋白, 接近于参考值。相应地, 投喂 Diet2 和 Diet3 的南方鲇, 其生长率显著高于对照组; 而与 Diet2 和 Diet3 相比, 对照组饲料的蛋氨酸和赖氨酸含量与参考值之间的差距更大。作者的结果表明蛋氨酸和赖氨酸是影响南方鲇利用大豆蛋白的限制性氨基酸。在适宜的替代范围内, 加入一定量的大豆蛋白可使饲料中氨基酸的配比更趋合理, 更适合于鱼类的需求, 从而达到促生长的目的; 过量的添加将导致饲料中的必需氨基酸的不平衡, 对生长产生负面影响。一些研究表明, 在含大豆粉的饲料中添加蛋氨酸或赖氨酸将提高鱼类对饲料的利用率, 促进生长^[1, 13, 20]。因此还可以推

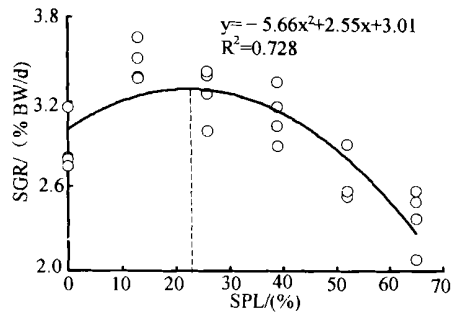


图 1 南方鲇的生长率 (SGR, % 体重/d) 与饲料中大豆蛋白 (SPL, % 饲料总蛋白) 替代水平之间的关系

Fig. 1 The relationship between specific growth rate (SGR, % B. W/d) and dietary soybean protein level (SPL, % dietary protein) in *Silurus meridionalis*

论当在南方鲇饲料中添加一定量的蛋氨酸或赖氨酸时,其大豆蛋白适宜替代水平有可能得到提高。以期今后进一步的实验对此进行验证。

参考文献:

- [1] Shiau S Y, Chuang J L, Sun C L. Inclusion of soybean meal in tilapia (*Oreochromis niloticus* × *O. aureus*) diets at two protein levels [J]. *Aquaculture*, 1987, **65**: 251– 261
- [2] Webster C D, Yancey D H, Tidwell J H. Effect of partially or totally replacing fish meal with soybean meal on growth of blue catfish (*Ictalurus furcatus*) [J]. *Aquaculture*, 1992, **103**: 141– 152
- [3] Elangovan A, Shim K F. The influence of replacing fish meal partially in the diet with soybean meal on growth and body composition of juvenile tin foil barb (*Barbodes altus*) [J]. *Aquaculture*, 2000, **189**: 133– 144
- [4] Viola S, Mokady S, Rappaport U, et al. Partial and complete replacement of fish meal by soybean meal feeds for intensive culture of carp [J]. *Aquaculture*, 1981, **26**: 223– 236
- [5] Pongmaneerat J, Watanabe T. Utilization of soybean meal as protein source in diets for rainbow trout [J]. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 1992, **58**: 1983– 1990
- [6] Kikuchi K. Use of defatted soybean meal as a substitute for fish meal in diets of Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*) [J]. *Aquaculture*, 1999, **179**: 3– 11
- [7] 谢小军. 南方大口鲇的幼鱼发育的研究[J]. 水生生物学报, 1989, **13**: 124—133
- [8] 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
- [9] 张文斌, 谢小军, 付世建, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料中最适蛋白质含量[J]. 水生生物学报, 2000, **24**(6): 603—609
- [10] 付世建, 谢小军, 张文斌, 等. 南方鲇的营养学研究: 饲料脂肪对蛋白质的节约效应. 水生生物学报, 2001, **25**(1): 70—75
- [11] 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
- [12] 艾庆辉, 谢小军. 南方鲇的营养学研究: 饲料中大豆粉替代鱼粉的不同比例对南方鲇消化率及摄食率的影响[J]. 水生生物学报 2002, **26**(2)
- [13] Kaushik S J, Cravedi J P, Lalles J P, et al. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* [J]. *Aquaculture*, 1995, **133**: 257– 274
- [14] Gallagher M L. The use of soybean meal as a replacement for fish meal in diets for hybrid striped bass (*Morone saxatilis* × *M. chrysops*) [J]. *Aquaculture*, 1994, **126**: 119– 127
- [15] Wilson R P, Poe W E. Effects of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish [J]. *Aquaculture*, 1985, **46**: 19– 25
- [16] Hasan M R, Macintosh D J, Jauncey K. Evaluation of some plant ingredients as dietary protein sources for common carp (*Cyprinus carpio*. L) fry [J]. *Aquaculture*, 1997, **151**: 55– 70
- [17] Dabrowski K, Poczczynski P, Kock G, et al. Effect of partially or totally replacing fish meal protein by soybean meal protein on growth, food utilization and proteolytic enzyme activities in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). New in vivo test for exocrine pancreatic secretion [J]. *Aquaculture*, 1989, **77**: 29– 49
- [18] Xie S Q, He X Q, Yang Y. Effects on growth and feed utilization of Chinese longsnout *Leiostomus xanthurus* Günther of replacement of dietary fish meal by soybean cake [J]. *Aquaculture Nutrition*, 1998, **4**: 187– 192
- [19] Ogino, C. Requirements of carp and rainbow trout for essential amino acids [J]. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish*, 1980, **46**: 171– 174
- [20] Rodehutsord M, Borchert F, Gregus Z, et al. Availability and utilization of free lysine in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) 2. Comparison of L-lysine·HCl and L-lysine sulphate [J]. *Aquaculture*, 2000, **187**: 177 – 183

THE NUTRITION OF *SILURUS MERIDIONALIS*: EFFECTS OF DIFFERENT LEVELS OF DIETARY SOYBEAN PROTEIN ON GROWTH

AI Qing-hui¹ and XIE Xiao-jun²

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

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

Abstract: A growth experiment was conducted in a recirculating rearing system on juvenile of the southern catfish, *Silurus meridionalis*, at 27.5 ± 0.02 . Six isonitrogenous (48% protein) and isoenergetic (20KJ/g gross energy) diets, with soybean meal protein (SP) replacing 0%, 13%, 26%, 39%, 52% and 65% of fish meal protein (FP), were formulated to examine the effects of different levels of SP on growth and feed conversion efficiency. The results showed that the specific growth rates (SGRs) in fish fed the diets with 13% and 26% of SP were significantly higher than those of control group ($P < 0.05$), while the SGRs in fish fed the diets with 52% and 65% of SP were significantly lower than those of control group ($P < 0.05$). The SGR in fish fed the diet with 39% of SP was higher compared with control group, but the difference was not significant ($P > 0.05$). There were no significant differences in SGR among fish fed the diets with 13%, 26% and 39% of SP ($P > 0.05$). The changes of feed conversion efficiency (FCE), protein efficiency ratio (PER) and protein productive value (PPV) among different tested groups followed the similar pattern as that of SGR. The results indicated that 39% of FP could be replaced with SP in the diet for the southern catfish and excessive inclusion of dietary SP will result in poor growth and low feed conversion efficiency. Discussion in this paper suggested that the main limitations in use of dietary SP for the catfish were due to its low digestibility and imbalance of amino acid.

Key words: Fish nutrition; Dietary protein; Soybean meal; *Silurus meridionalis*; Growth