

## 南方鲇的营养学研究: III 饲料脂肪对蛋白质的节约效应

付世建<sup>1</sup> 谢小军<sup>1</sup> 张文兵<sup>1</sup> 曹振东<sup>2</sup>

(1. 西南师范大学生物系, 重庆 400715; 2. 重庆师范学院生物系, 重庆 400046)

**摘要:** 于1997年10月至12月对南方鲇(*Silurus meridionalis*)(初始体重: 30—44g)进行人工配合饲料的喂养实验。实验以白鱼粉和玉米油作蛋白质和脂肪源, 共配制6种不同蛋白质/脂肪比的饲料, 其蛋白质(P)和脂肪(L)的含量分别为43% P/15% L, 47% P/15% L, 51% P/16% L, 50% P/8% L, 54% P/8% L, 58% P/8% L。实验每饲料水平设4个重复, 采用室内循环水养殖系统, 在27.5℃下以饱足日粮水平喂养6周。实验结果表明: 供以高脂肪低蛋白质饲料组的鱼体的特殊生长率(SCR)和饲料转化率(FCE)与低脂肪高蛋白饲料组的无显著差异; 而前者喂养的实验鱼的蛋白质效率(PER)显著大于后者。因此, 南方鲇饲料脂肪对蛋白质有明显的节约效应。

**关键词:** 南方鲇; 人工饲料; 脂肪; 蛋白质节约效应

中图分类号: S965.128 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2001)01-006

鱼类饲料中能量对蛋白质的适宜比例是鱼类营养学研究的重要内容。研究结果表明, 鱼类饲料添加非蛋白能源物质(包括脂肪和碳水化合物)可部分代替蛋白质满足鱼类能量的需求, 提高了鱼类对蛋白质的利用效率<sup>[1-4]</sup>, 这种现象被称为蛋白质的节约效应。对于肉食性鱼类, 饲料脂肪对蛋白质的节约效应往往比碳水化合物更大<sup>[3,5]</sup>。但饲料中脂肪过多对生长有损害作用<sup>[2-6]</sup>。在实际研究工作中通常把生长率不变的情况下, 饲料脂肪水平增加, 蛋白质水平下降的现象称为蛋白质节约效应。

南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)是典型的肉食性鱼类, 有关该种鱼的生物学研究已有较多报道<sup>[7,8]</sup>。本实验室曾对南方鲇饲料的最适蛋白质水平进行了研究<sup>[9]</sup>, 发现南方鲇的适宜生长要求饲料的蛋白质水平较高。蛋白源是鱼类饲料中最昂贵的部分, 高效、经济的饲料一方面要满足鱼类适宜生长的蛋白质需求, 另一方面尽量由脂肪提供能量, 以减少蛋白质原料的用量, 达到节约蛋白质而降低成本的目的。因此对南方鲇饲料的蛋白质和脂肪适宜比例的研究具有重要的理论意义和应用价值。

### 1 材料和方法

#### 1.1 实验鱼的来源及驯养 实验鱼来自西南师范大学水产科学研究所实验渔场 1996年

收稿日期: 1998-10-14; 修订日期: 1999-09-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目, 项目编号: 39470104

作者简介: 付世建(1973—), 男, 河南信阳市人; 硕士; 现在云南省农业厅水产推广站工作

通讯作者: 谢小军

3月人工孵化的同一批南方鲇幼鱼。在实验前 20d 将鱼移至实验室内, 以每天 2℃的速率将水温升至实验设计温度(27. 5℃), 用本研究的 1 号实验饲料(表 1)驯养。驯化结束后随机取 12 尾鱼作初始鱼体样品, 于- 20℃保存以备生化分析。

表 1 实验饲料配方及成分含量表( % 干重)  
Tab. 1 The fomulation and proximate composition of the experimental diets ( % dry wt)

饲料号 Diets code	1	2	3	4	5	6
蛋白( % ) / 脂肪( % )						
Protein( % ) / Lipid( % )	40/ 15	45/ 15	50/ 15	50/ 8	55/ 8	60/ 8
饲料配方 Ingredient						
矿物质预混剂 Mineral mix	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5	2. 5
维生素预混剂 Vitamin mix	3. 0	3. 0	3. 0	3. 0	3. 0	3. 0
纤维素 Cellulose	2. 0	2. 0	2. 0	2. 0	2. 0	2. 0
鱼粉 Fish meal	44. 6	51. 1	57. 6	51. 3	57. 8	64. 3
面粉 Wheat meal	27. 5	20. 8	14. 1	19. 5	12. 8	6. 0
骨粉 Bone meal	0. 2	0. 9	1. 7	10. 0	10. 8	11. 6
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1. 0	1. 0	1. 0	1. 0	1. 0	1. 0
玉米油 Corn oil	10. 2	9. 6	9. 0	1. 6	1. 0	0. 5
牛肝 Ox liver	8. 4	8. 4	8. 4	8. 4	8. 4	8. 4
成分测定值 Proximate composition						
能值( KJ/ g ) Energy	21. 44	21. 60	21. 82	19. 66	19. 76	19. 45
蛋白质 Protein	42. 53	47. 24	50. 96	50. 02	53. 87	58. 08
脂肪 Lipid	14. 85	15. 05	15. 75	8. 08	8. 00	7. 91
灰分 Ash	8. 98	10. 20	11. 48	16. 57	17. 57	18. 65

1. 2 养殖系统及养殖管理 实验所用的室内循环水养殖系统主要由养殖单位、过滤池组和上位水槽等组成。每个养殖单位为 56× 70cm(Φ·h) 的圆柱形聚乙烯塑料桶。实验水源为加 Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 且曝气 48h 以上的自来水。实验期间水温控制在 27. 5±0. 2℃, 水中溶氧> 5mg/ L。光源为 15W 的白炽灯, 光制为 14L/ 10D。

1. 3 实验设计 设计了能量梯度分别为 19. 5kJ/ g 和 21. 5kJ/ g 的两组实验饲料。高能饲料组含脂 15%, 蛋白质水平分别为 40%、45%、50%; 低能饲料组含脂 8%, 蛋白质水平分别为 50%、55%、60%。以白鱼粉和玉米油为主要蛋白和脂肪源调节饲料的蛋白质和脂肪含量, 饲料配方见表 1。上述每个饲料处理设 A、B、C、D 4 个重复组, 每个重复( 每个养殖单位) 放入鱼 10 尾, 实验鱼初始体重为 36. 2±3. 9g。每天投喂 1 次( 18: 00—20: 00), 达饱足, 观测记录摄食量, 持续喂养 6 周。实验过程中每周对每种实验饲料取 1 个样品于- 20℃下保存, 以备生化分析。

1. 4 饲料及定量方法 实验鱼摄食的精确定量是通过每粒饲料重和摄食饲料粒数的定量来实现的。由自行设计的“颗粒饲料定量定形制作器”制成圆柱形饲料颗粒, 粒重为 0. 35±0. 02g( 湿重)。根据饲料所含干物质总重和制成饲料的粒数, 可计算出每粒饲料所含干物质的重量。实验期间每日 18: 00 开始投喂饲料, 第一次投喂 50 粒, 投喂后每隔 15min 观察一次, 如发现饲料粒数有减少, 则继续加投, 直到桶内饲料粒数不再减少为止,

此时认为鱼已达饱足,并记录投喂饲料粒数。投喂时间持续约 2h。投喂结束后采用虹吸法及时吸出粒状残饵,并记数。用投喂饲料粒数减去残饵粒数再乘以饲料粒重可精确求得实验鱼的摄食量。

**1.5 生化分析** 用烘干法测定样品水分含量;用凯氏定氮法测定样品含氮量,再乘以 6.25 得样品粗蛋白含量;采用索氏提取法以乙醚为抽提液测定样品粗脂肪含量;将样品在电炉上炭化 1h 后,再在马福炉中焚烧(550℃) 3h,取得样品灰分含量;用氧弹测热仪测定样品的能量值。样品重复测定 2 次,当相对偏差超过 2% 时,增加重复次数,取相对偏差低于 2% 的两个测定值的平均数为记录结果。

**1.6 生长参数的计算** 按下列公式计算各种参数

$$\text{特殊生长率(SGR, \%)} = 100 \times (\ln W_t - \ln W_o) / t$$

$$\text{饲料转化率(FCE, \%)} = 100 \times (W_t - W_o) / \text{摄食饲料重}$$

$$\text{蛋白质效率(PER)} = (W_t - W_o) / \text{摄食蛋白质质量}$$

能量利用效率(ANER, %) =  $100 \times \text{身体贮积能量} / \text{摄食食物含能量}^{[3]}$  其中,  $W_t$  和  $W_o$  分别为实验鱼的终末湿体重和初始湿体重,  $t$  为实验天数。数据的分析和处理参照其他有关蛋白质节约效应的研究<sup>[1, 2]</sup>, 把饲料组别作为单一影响因素, 用“Statistica”统计软件包对各生长参数和鱼体组成数据进行单因素方差分析, 方差分析达显著后( $p < 0.05$ ) 采用 LSD 检验进行多重比较。

## 2 结果

### 2.1 饲料的不同蛋白质/脂肪比对生长率(SGR)的影响

方差分析表明当饲料脂肪添加量为 8% 时, 50% 蛋白质饲料组(4 号饲料组)的 SGR 显著低于( $p < 0.05$ ) 54% 蛋白质饲料组(5 号饲料组), 而 54% 蛋白质饲料组与 58% 蛋白质饲料组(6 号饲料组)的 SGR 无显著差异, 说明在此脂肪水平下达到最适生长蛋白质水平约为 54%。当饲料脂肪含量增加到 15% 时, 43% 蛋白质饲料组(1 号饲料组)的 SGR 与其它高脂肪饲料组均无显著差异, 说明当饲料脂肪添加量为 15% 时, 蛋白质水平为 43% 就能达到最适生长(表 2)。

### 2.2 饲料的不同蛋白质/脂肪比对摄食率的影响

南方鲇对饲料的能量摄食率(RLe)显著受饲料脂肪含量影响。饲料蛋白质/脂肪比为 43P/15L(1 号饲料组)和该比为 51P/16L(3 号饲料组)饲料组的实验鱼的能量摄食率显著大于( $p < 0.05$ ) 低脂肪饲料组(脂肪含量为 8%, 4、5、6 号饲料组)(表 2)。

### 2.3 饲料的不同蛋白/脂肪比对饲料转化率(FCE)、饲料能量转化率(ANER)、蛋白质效率(PER)的影响

不同蛋白/脂肪比饲料的 FCE 无显著差异(表 2)。但饲料的 ANER 随蛋白质水平上升而下降的, 43P/15L 饲料组(1 号饲料组)的 ANER 显著大于( $p < 0.05$ ) 54P/8L 饲料组(5 号饲料组)和 58P/8L 饲料组(6 号饲料组)。PER 随蛋白质水平的上升而下降, 除 51P/15L 饲料组(3 号饲料组)和 50P/8L 饲料组(4 号饲料组)由于蛋白质水平相近其 PER 无显著差异外, 其余各饲料组的 PER 均存在着显著差异( $p < 0.05$ )(表 2)。

表 2 不同饲料处理对南方鲇生长状态参数影响( 平均值±标准差)

Tab.2 The growth performance of *Silurus meridionalis* fed with the test diets (M ±SD, n= 4)

饲料号 Diet Code	1	2	3	4	5	6
饲料的蛋白质与脂肪之比						
Protein/lipid in diets	43/ 15	47/ 15	51/ 16	50/ 8	54/ 8	58/ 8
能量摄食率 RL						
J/ gBW/ d*	525±14 <sup>a</sup>	500±31 <sup>ab</sup>	519±20 <sup>a</sup>	451±43 <sup>b</sup>	480±33 <sup>b</sup>	477±18 <sup>b</sup>
特殊生长率 SGR%*	4. 04±0. 15 <sup>ab</sup>	4. 00±0. 17 <sup>ab</sup>	4. 12±0. 08 <sup>a</sup>	3. 52±0. 14 <sup>c</sup>	3. 88±0. 21 <sup>ab</sup>	3. 78±0. 28 <sup>bc</sup>
饲料转化率 FCE	1. 33±0. 01	1. 36±0. 05	1. 39±0. 05	1. 28±0. 07	1. 31±0. 04	1. 27±0. 07
饲料能量转化率 AN-ER%*	48. 3±5. 7 <sup>a</sup>	44. 6±5. 0 <sup>ab</sup>	46. 1±7. 0 <sup>ab</sup>	43. 9±7. 1 <sup>ab</sup>	40. 3±6. 2 <sup>b</sup>	41. 1±6. 5 <sup>b</sup>
蛋白质效率 PER*	3. 17±0. 03 <sup>a</sup>	2. 92±0. 16 <sup>b</sup>	2. 77±0. 10 <sup>c</sup>	2. 66±0. 22 <sup>c</sup>	2. 42±0. 09 <sup>d</sup>	2. 18±0. 15 <sup>e</sup>

\* 表中上标英文字母不同的同一行数数值间差异显著(p< 0. 05) The values in each row without a common superscript are significantly different (p< 0. 05)

2.4 饲料的不同蛋白/ 脂肪比对鱼体组成的影响

饲料处理对鱼体脂肪含量、能量含量和灰分含量有显著影响 (p< 0. 05) , 对鱼体含水量和蛋白质含量无显著影响( 表 3) 。高脂肪饲料组鱼体脂肪含量显著高于(p< 0. 05) 低脂肪饲料组。43P/ 15L饲料组( 1号饲料组) 的鱼体含能量显著大于(p< 0. 05) 低脂肪饲料组,

表 3 不同实验饲料喂养南方鲇的鱼体组成成分( % 湿重) ( 平均值±标准差)

Tab. 3 The body composition ( % wet weight) of *Silurus meridionalis* with the test diets ( M ±SD, n= 4)

蛋白质/ 脂肪 protein/ lipid	饲料号 Diet Code	1	2	3
	初始鱼体 Initial fish	43/ 15	47/ 15	51/ 16
含水量 Moisture	78. 70±0. 40	70. 62±2. 33	72. 72±2. 24	71. 12±3. 14
粗蛋白 Crude protein	14. 45±0. 18	16. 89±1. 40	16. 07±1. 04	17. 57±3. 88
粗脂肪 Crude lipid*	3. 96±1. 56	7. 90±1. 44 <sup>a</sup>	7. 51±0. 36 <sup>a</sup>	7. 58±0. 89 <sup>a</sup>
灰分 Ash*	2. 60±0. 41	2. 87±0. 21 <sup>a</sup>	2. 56±0. 18 <sup>a</sup>	3. 01±0. 45 <sup>ab</sup>
能量( KJ/ g) Energy contain	4. 16±0. 40	7. 22±0. 68 <sup>a</sup>	6. 59±0. 42 <sup>ab</sup>	6. 86±0. 59 <sup>ab</sup>

蛋白质/ 脂肪 protein/ lipid	饲料号 Diet Code	4	5	6
	初始鱼体 Initial fish	50/ 8	54/ 8	58/ 8
含水量 Moisture	78. 70±0. 40	73. 00±5. 86	75. 12±1. 97	74. 00±2. 44
粗蛋白 Crude protein	14. 45±0. 18	17. 52±3. 88	16. 07±1. 08	17. 32±1. 58
粗脂肪 Crude lipid*	3. 96±1. 56	5. 63±1. 32 <sup>b</sup>	5. 24±0. 29 <sup>b</sup>	5. 00±0. 44 <sup>b</sup>
灰分 Ash*	2. 60±0. 41	3. 13±0. 50 <sup>ab</sup>	3. 05±0. 38 <sup>ab</sup>	3. 32±0. 43 <sup>b</sup>
能量( KJ/ g) Energy contain	4. 16±0. 40	6. 21±0. 91 <sup>bc</sup>	5. 78±0. 47 <sup>c</sup>	5. 92±0. 47 <sup>bc</sup>

\* 表中上标英文字母不同的同一行数数值间差异显著(p< 0. 05) The values in each row without a common superscript are significantly different (p< 0. 05)

47P/15L 和 51P/15L 饲料组(2 号和 3 号饲料组)的鱼体含能量显著大于( $p < 0.05$ ) 54P/8L 饲料组(5 号饲料组)。43P/15L 和 47P/15L 饲料组(1 号和 2 号饲料组)的鱼体灰分含量显著大于( $p < 0.05$ ) 58P/8L 饲料组(6 号饲料组)(表 3)。

3 讨论

关于鱼类饲料脂肪对蛋白质的节约效应是鱼类营养学的热点问题,已有的研究结果发现鱼类饲料脂肪对蛋白质的作用主要有下面 3 种情况: 1. 饲料脂肪可在一定的范围内(5—10%)变动而不影响饲料的最适蛋白质水平,即脂肪对蛋白质无节约效应,鱼类生长主要受饲料蛋白质水平制约。2. 在一定范围内(5—10%),饲料脂肪水平升高最适蛋白质水平也升高。关于 1、2 两种情况的报道较少。3. 在一定范围内随饲料脂肪水平的增加最适蛋白质水平下降,即饲料脂肪对蛋白质有节约效应,这类鱼较常见<sup>[1, 2, 6]</sup>。从生长率来看,本实验南方鲇饲料脂肪添加量为 8% 时,其最适蛋白质水平为 54%。当饲料脂肪添加量为 15% 时,饲料最适蛋白质水平为 43%(表 2),而本实验室关于南方鲇饲料最适蛋白质水平的研究发现,当饲料脂肪添加量为 12% 时,饲料的最适蛋白质水平为 47%<sup>[9]</sup>。说明南方鲇饲料添加脂肪,生长的最适蛋白质水平降低,饲料脂肪对蛋白质有显著的节约效应。

表 4 不同种类的鱼类饲料脂肪对蛋白质的节约效率  
Tab. 4 The Protein- saving efficiency of dietary lipid in different fish

种类 Fish Species	脂肪水平的 增加量 $\Delta L$	最适蛋白质水 平的减小量 $\Delta P$	节约效率(%) * Saving efficiency	文献来源 Data
阳光鲈 <i>Morone chrysops</i> × <i>M. saxatilis</i>	7.7%	3.5%	27.2	Webster et al 1995
石斑鱼 <i>Epinephelus malabaricus</i>	5.5%	4.0%	43.7	Shi Yen Shiau et al, 1996
黄鲷 <i>Dendex dendex</i>	5.4%	6.6%	73.6	Tihalbi et al, 1995
南方鲇 <i>Silurus meridionalis</i>	6.8%	11.3%	100	本实验 This experiment

\* 蛋白质节约效率=  $100 \times \Delta P \times 24.7 / (\Delta L \times 39.5)$ 。 Protein saving efficiency=  $100 \times \Delta P \times 24.7 / (\Delta L \times 39.5)$ 。

研究结果显示尽管多数鱼类饲料脂肪对蛋白质有节约效应,对于不同种类的鱼类,添加饲料脂肪引起的蛋白质水平下降的幅度不同;蛋白质水平的减少量和脂肪水平的添加量的比值也不同。把这种 SGR 不变的情况下,饲料添加脂肪,蛋白质水平下降的幅度叫作饲料脂肪对蛋白质的节约能力;以能量计算,蛋白质减少量与脂肪增加量之比称为饲料脂肪对蛋白质的节约效率。由表 4 可以看出,南方鲇饲料脂肪和蛋白质在一定范围内可以以 1:1 来替换,饲料脂肪对蛋白质的节约能力和节约效率均明显大于其它鱼类,说明南方鲇饲料脂肪对饲料蛋白质有很大的节约效应,同时也表明在南方鲇的配合饲料中添加 15% 的脂肪是合适的。

## 参考文献:

- [1] Tibalbi E, Beraldo L A, Volpelli Pinosa M. Growth response of juvenile dendum (*Dendex dendex* L.) to varying protein level and protein to lipid ratio in practical diets [J]. *Aquaculture*, 1996. **139**: 91—99
- [2] Shiao S Y, Lan C W. Optimum dietary protein level and protein to energy ratio for growth of grouper (*Epinephelus malabaricus*) [J]. *Aquaculture*, 1996. **145**: 259—266
- [3] 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**: 383—394
- [4] Erfanullah Jafri A K. Protein-sparing effects of dietary carbohydrate in diet for fingerling *Labeo rohita* [J]. *Aquaculture*, 1995. **136**: 331—339
- [5] Weatherup R N, McCracken K J, Foy R, et al. The effects of dietary fat on performance and body composition of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) [J]. *Aquaculture*, 1997, **151**: 173—184
- [6] Winfree, R A, Stickney R R. Effects of dietary protein and energy on growth, feed conversion efficiency and body composition of *Tilapia aurea* [J]. *J Nutr.* 1981, **111**: 11001—1012
- [7] 谢小军, 孙濡泳. 南方鲇的日总代谢和特殊动力作用的能量消耗[J]. 水生生物学报, 1992. **16**(3): 200—207
- [8] 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
- [9] 张文兵, 付世建, 曹振东, 谢小军. 南方鲇饲料的最适蛋白质水平[J]. 水生生物学报, 2000, **24**(6):

## THE UNTRITION OF *SILURUS MERIDIONALIS*: III PROTEIN SPARING EFFECT OF DIETARY LIPID

FU Shi-jian<sup>1</sup>, XIE Xiao-jun<sup>1</sup>, ZHANG Wen-bing<sup>1</sup> and CAO Zhen-dong<sup>2</sup>

(1. Department of Biology, Southwest Normal University, Chongqing 400715;

2. Department of Biology, Chongqing Teachers' College, Chongqing 400046)

**Abstract:** From October to December, 1997, the growth experiment of the southern sheatfish, *Silurus meridionalis*, was conducted with initial weight 30—44 g. The fish were fed with artificial formulated diets of different ratios of protein (P) to lipid (L), i. e. 43% P/15% L, 47% P/15% L, 51% P/16% L, 50% P/8% L, 54% P/8% L, 58% P/8% L, in the aquariums with recirculated water system. At each of the diets 4 groups of the Southern Sheatfish (10 fish in each group) were fed at *ad libitum* ration level for 6 weeks at 27.5 °C. Significant difference was not found in specific growth rate (SGR) and food conversion efficiency (FCE) between the fish at the higher lipid and lower protein level of diets and those at the lower lipid and higher protein level. But protein efficiency ratio (PER) in the former was significantly higher than in the later. With the dietary lipid content increased from 8% to 15%, the optimum dietary protein level estimated for the fish declined from 54% to 43%. It was suggested that dietary lipid had significant protein-sparing effect on this fish.

**Key words:** *Silurus meridionalis*; Formulated diet of fish; Lipid; Protein-sparing effect