

南方鲇的营养学研究: I. 人工饲料的消化率

邓利 谢小军

(西南师范大学生物系 重庆 400715)

摘要: 采用循环水养殖系统在27.5℃条件下,用人工饲料持续喂养南方鲇(*Silurus meridionalis* Chen)幼鱼6周。以三氧化二铬(Cr_2O_3)为指示物,测定了蛋白质含量为35%至60%(变化梯度为5%)的6种等能(20kJ/g)试验饲料的消化率。实验结果表明:饲料蛋白质水平由39.86%升至55.73%时,饲料干物质表观消化率(D_{dm})、蛋白质表观消化率(D_{p})、脂肪表观消化率(D_{f})、能量表观消化率(D_{e})及无氮浸出物表观消化率(D_{nce})分别由36.68%、77.13%、77.13%、71.43%、及55.94%显著上升为82.46%、94.22%、94.96%、93.56%和84.96%($P < 0.05$)。饲料干物质、蛋白质、脂肪、能量及无氮浸出物表观消化率均与饲料蛋白质含量呈显著线性正相关、与饲料中淀粉含量呈显著线性负相关。通过讨论指出了Ogino和Chen有关蛋白质消化率与饲料蛋白质水平关系的假说的不完备性,并提出二者正相关的可能原因为:a 蛋白质真消化率也随着饲料蛋白质水平的下降而下降;b 鱼类摄食不同蛋白质水平饲料后其内源性粪氮量不同;c 二者兼而有之。

关键词: 南方鲇;鱼类营养学;消化率;人工饲料

中图分类号: S965.128 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3207(2000)04-0347-09

消化率是指被动物消化道吸收的能量或营养物质占摄入食物中含量的百分比。有关消化率的研究是鱼类营养生理学研究的重要环节,它还为生态系统的能流及物质循环过程的研究提供基础资料,有重要的理论意义。在养殖实践中,消化率是用来评定饲料成分营养价值的一个重要指标,也是人工饲料配方研制的重要参考数据^[1-3],因此消化率的研究也有着重要的实践意义。

南方鲇是我国特有的重要经济鱼类,广泛分布于长江流域及其以南地区,为凶猛的肉食性鱼类,在水体生态系统中处于较高的营养等级,其生态习性特殊^[4]。有关该种鱼的生物学及能量学已有较多系统的研究^[4-7],还未见有关营养学方面的研究资料报道。九十年代以来,该种鱼的养殖获得初步成功,从而引起了社会和市场的广泛注意。但由于缺乏系统完整的养殖生物学资料为基础,人工配合饲料的研究一直没有突破性进展,严重制约了该种鱼的大规模集约化养殖。本研究考察了南方鲇对人工饲料营养成分的消化率,以期

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,编号:39470104

作者简介: 邓利(1970—),四川省重庆市人,广州中山大学生命科学学院98级博士研究生。

通讯作者: 谢小军

为南方鲇的营养生物学及其人工饲料配方的研究提供基础资料。

1 材料和方法

1.1 实验鱼的来源与驯养 采用本实验室当年人工孵化的南方鲇幼鱼。饲养于西南师范大学水产科学研究所实验渔场的水泥池内。将鲜活的泥鳅 (*Misgurnus anguillicandatus*) 切成碎块作为饲料, 每两天投喂 1 次, 达饱足。实验采用实验室内循环水养殖系统进行, 该系统共 24 个养殖单位(喂养桶), 喂养桶为 ϕ 56cm \times 70cm 的圆柱形聚氯乙烯塑料桶, 喂养桶内水的流量为 4–6L / min。实验前每个养殖单位放入 20 尾鱼进行驯化养殖。用 Diet-4 号实验饲料作为驯化饲料, 每天投喂 1 次(18:00), 达饱足。将水温以每天 2℃ 的速度调至实验设计水温 ($27.5 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$)。室内光源用 5 盏 15W 的白炽灯提供, 5 盏灯均匀布置以保证室内光线分布均匀, 光制为 14L / 10D。驯化时间为 20d。

1.2 实验设计 人工配合饲料分别以白鱼粉、玉米油及面粉作为蛋白质、脂肪及碳水化合物源, 添加 1% 的 Cr_2O_3 作为测定消化率的外源指示物, 配制 6 个蛋白质水平(变幅为 35% 至 60%, 变化梯度为 5%) 的等能饲料(能值为 20kJ / g) (表1)。每个饲料水平设四个重复组, 每组 10 尾鱼, 在饱足日粮水平下喂养 6 周。

1.3 喂养实验 称取一定量的配制好的饲料粉剂(表 1), 加适量的水制成湿饲料, 称出总湿重, 算出配制干重与饲料湿重之比, 取相当于干重 50g 的湿饵作化学分析样品。将湿饵分成定量重的饲料块分别包装于小塑料袋中, 在 -30°C 下保存。每天取湿饵块解冻后

表1 实验饲料配方表
Tab.1 The formulation and proximate composition of experimental diets

成分(干重比) Ingredient (% dry wt.)	Diet-1	Diet-2	Diet-3	Diet-4	Diet-5	Diet-6
矿物质预混剂 Mineral premix	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
微生物预混剂 Vitamin premix	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
纤维素 Carboxymethylcellulose	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
鱼粉 Fish meal	37.52	46.16	52.88	60.01	67.20	74.90
面粉 Wheat meal	37.90	30.53	24.19	18.05	11.95	5.80
骨粉 Bone meal	3.43	2.38	2.41	1.94	1.49	1.00
Cr_2O_3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
玉米油 Corn oil	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
牛肝 Ox liver	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40
成分测定值 Proximate composition						
蛋白质Protein (%dry wt.)	39.86	43.73	46.79	51.57	55.73	59.14
脂肪 Lipid (%dry wt.)	10.08	10.83	11.21	11.91	12.33	12.80
能量 Energy (KJ/g)	20.08	20.39	20.32	20.50	20.90	21.77
蛋白:能量比 Protein/energy ratio (mg/KJ)	19.66	21.45	23.11	25.16	26.67	27.17
灰分 Ash (% dry wt.)	10.04	11.39	12.00	12.87	13.52	14.11
Cr_2O_3 (%dry wt.)	1.02	1.00	1.02	0.96	1.02	1.01
无氮浸出物 Nitrogen free extract (%dry wt.)	39.16	33.45	29.22	23.02	17.82	13.35
可消化能 Digestible energy (KJ/g)	14.49	16.25	16.72	17.63	19.55	20.26

采用定量定形制饵器制成 $0.35 (\pm 0.02) \text{g}$ (湿重) 的颗粒。每天 18:00h 开始投喂, 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, 直到最后两次观察发现桶内饲料粒数不再减少为止, 此时认为鱼已达饱足, 然后取出残饵。实验鱼达饱足的时间未发现超过 2h。每天每桶鱼的摄食量 = (投入粒数 - 残饵粒数) \times 每粒干重, 每天每粒饲料干重按如下方法计算出: 由配制时的饲料样品烘干后取得的实际干重值, 算出配制的各定量重湿饵块的实际干重, 以该干重值除以用该块饲料制出的颗粒数即得每粒饲料干重值。

正式喂养 5d 后开始收集粪便, 用虹吸法每天从水中收集 3 次粪便 (间隔 8h), 选取保持形态较好的粪便冷冻保存作分析材料。

生长实验前后分别测量鱼的体重 W_0 及 W_t (表 2), 并在每喂养桶内随机抽取 3 尾鱼作实验开始时及结束时鱼体化学分析的样品材料。在测 W_0 、 W_t 前均先将鱼停食 2d 以排空体内粪便, 测量时先用浓度为 1:10000 的 MS-222 (Tricaine methanesulfonate) 将鱼麻醉, 然后用拧干的湿毛巾吸干其体表的水分后称量。

表2 实验鱼的初始体重及终体重 (平均值 \pm 标准差 (g))

Tab.2 The initial and final body weights of *Silurus meridionalis* Chen (Mean \pm SD(g)).

重 复 Replicates		处理组 (蛋白质水平%) Groups of treatment (Protein level %)					
		Diet-1	Diet-2	Diet-3	Diet-4	Diet-5	Diet-6
		39.86%	43.73%	46.79%	51.57%	55.73%	59.14%
A	W_0	35.9 \pm 1.4	35.6 \pm 1.4	36.2 \pm 1.4	35.8 \pm 1.3	36.1 \pm 1.2	34.8 \pm 1.5
	W_t	113.0 \pm 31.6	92.4 \pm 10.0	129.9 \pm 25.3	145.1 \pm 36.7	135.8 \pm 32.6	136.4 \pm 41.7
B	W_0	40.4 \pm 1.3	40.2 \pm 1.6	39.9 \pm 1.5	40.0 \pm 1.1	40.8 \pm 1.5	40.7 \pm 1.5
	W_t	126.7 \pm 29.8	125.1 \pm 23.0	167.3 \pm 36.0	183.4 \pm 35.1	159.8 \pm 21.6	158.4 \pm 44.2
C	W_0	45.4 \pm 1.2	44.8 \pm 0.9	44.8 \pm 1.2	45.9 \pm 1.9	45.4 \pm 1.0	45.4 \pm 1.6
	W_t	149.5 \pm 25.4	138.7 \pm 28.6	184.7 \pm 36.7	171.2 \pm 58.2	204.1 \pm 46.1	177.1 \pm 38.6
D	W_0	52.0 \pm 2.8	51.9 \pm 2.6	52.4 \pm 3.4	51.7 \pm 2.5	52.6 \pm 3.5	52.2 \pm 2.5
	W_t	147.2 \pm 33.8	151.2 \pm 29.8	189.1 \pm 44.0	225.5 \pm 52.2	199.8 \pm 28.2	182.9 \pm 44.0

以上所获取的饲料、鱼体及粪便样品均在 70℃ 下烘至恒重取得干重比, 研磨为细末于 -20℃ 下保存待测。

1.4 生化分析 采用凯氏定氮法测定样品的总氮含量, 然后将测定结果乘以 6.25 取得粗蛋白含量值; 采用索氏提取法, 用乙醚为抽提剂测脂肪含量; 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; 用硝酸在加热条件下消化样品, 然后用高氯酸氧化 Cr_2O_3 , 用 721 分光光度计在 350nm 处比色, 将标准称量的 Cr_2O_3 以同样过程处理后作标准曲线, 取得样品中 Cr_2O_3 含量; 用 GR-3500 型氧弹式测热量计测定能量。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。无氮浸出物含量为样品中减去蛋白质、脂肪及灰分含量后的值。

1.5 数据处理 实验鱼的生长状态参数及饲料消化率按如下公式计算:

生长率 (%) = $100 \times (\text{Ln}W_t - \text{Ln}W_0) / t$; 摄食率 (%) = $100 \times C / [(W_0 + W_t) / 2 / t]$; 食物转化率 (%) = $100 \times (W_t - W_0) / C$; 蛋白质效率 (%) = $(W_t - W_0) / (C \times P_d\%)$;

生物价(%) = $100 \times (W_t \times P_t\% - W_0 \times P_0\%) / (C \times P_d\%)$; 表观消化率(%) = $100 \times [1 - (N_f / N_d) \times (Cr_d / Cr_f)]$

其中:
 W_0, W_t ——实验鱼的初始体重及终末体重(g); t ——实验鱼喂养时间(d); C ——摄食量(干重 g); $P_0\%, P_t\%, P_d\%$ ——初始鱼体、喂养结束时鱼体及饲料蛋白质含量(%); N_d ——饲料中的干物质(%)、蛋白质(%)、脂肪(%)、无氮浸出物(%)或能量(kJ / g)含量; N_f ——粪便中的干物质(%)、蛋白质(%)、脂肪(%)、无氮浸出物(%)或能量(kJ / g)含量; Cr_d, Cr_f ——饲料及粪便中的 Cr_2O_3 含量(%)

实验数据用“Statistics d’Institut Technique des Cereales et des Fourrages”统计软件包进行统计分析。

2 结果

通过方差分析及 Duncan 氏多重比较表明(表 3): 当饲料蛋白质水平为 39.86% 时(Diet-1), 干物质表观消化率(D_{dm})及蛋白质表观消化率(D_p)显著低于其余 5 个蛋白质水平组。蛋白质水平由 43.73%(Diet-2)升至 51.57%(Diet-4)时, D_{dm}, D_p 呈上升趋势, 但差异未达统计显著性, 蛋白质水平为 55.73%(Diet-5)及 59.14%(Diet-6)2 组的 D_{dm} 及 D_p 显著高于其余 4 组($p < 0.05$); Diet-1 组的脂肪表观消化率(D_f)及能量表观消化率(D_e)显著低于其余 5 组, Diet-4 组的 D_f 及 D_e 显著高于 Diet-1 及 Diet-2、Diet-3 3 组, Diet-5 及 Diet-6 组的

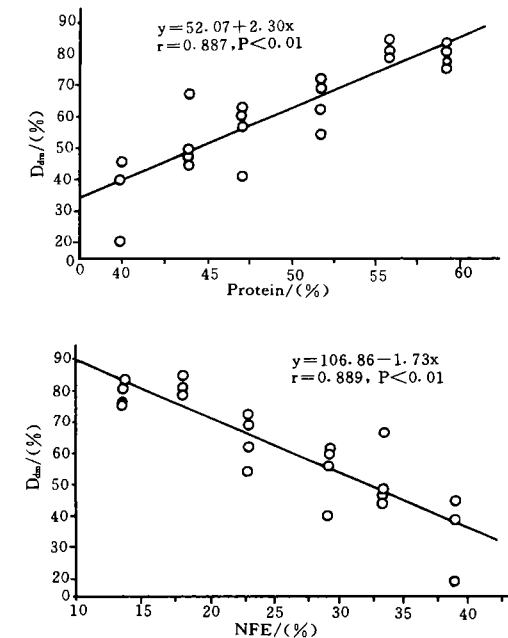


图 1 南方鲇对干物质的表观消化率(D_{dm})与饲料蛋白质含量(P)及无氮浸出物含量(NFE)之间的关系

Fig.1 The correlation of apparent digestibility of dry matter with the level of protein and nitrogen free extract in diet for in *Silurus meridionalis* Chen

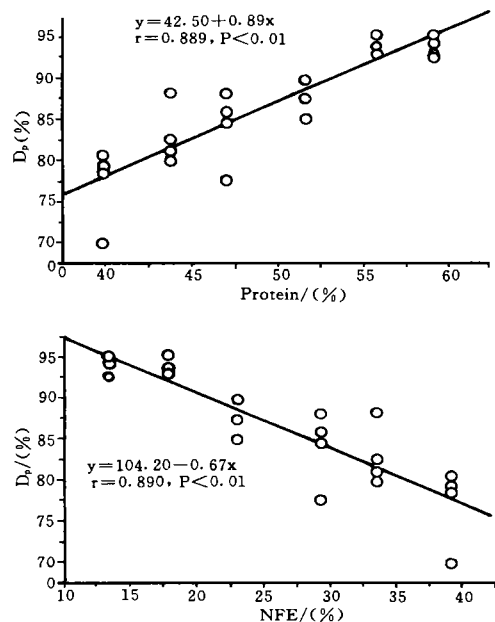


图 2 南方鲇对蛋白质的表观消化率(D_p)与饲料蛋白质含量(P)及无氮浸出物含量(NFE)之间的关系

Fig.2 The correlation of apparent digestibility of protein with the level of protein and nitrogen free extract in diet in *Silurus meridionalis* Chen

表3 各处理组南方鲇的生长状态参数及消化率(平均值±标准差)

Tab.3 The growth performances and digestibilities of 6 groups in *Silurus meridionalis* Chen (Mean±SD, n=4)

蛋白质水平 Protein level (%)	处理组 Groups of treatment						F值	P值
	Diet-1	Diet-2	Diet-3	Diet-4	Diet-5	Diet-6	F of ANOVA	P of ANOVA
生长率SGR(%)	2.63±0.13 ^b	2.49±0.17 ^b	3.15±0.17 ^a	3.32±0.18 ^a	3.21±0.17 ^a	3.10±0.11 ^a	14.02	0.00
摄食率RL(%)	2.45±0.05	2.34±0.10	2.34±0.07	2.37±0.03	2.30±0.10	2.22±0.05	1.32	0.29
蛋白效率PER	2.43±0.05 ^a	2.47±0.31 ^a	1.84±0.15 ^b	1.56±0.19 ^b	1.52±0.13 ^b	1.56±0.11 ^b	3.38	0.03
生物价BV	47.26±4.12 ^a	41.47±1.52 ^b	46.57±1.64 ^a	41.60±1.93 ^b	35.28±1.03 ^c	34.17±1.92 ^c	24.93	0.00
粪便蛋白质质量(%)								
Protein in faeces	9.12±1.67 ^a	7.45±1.36 ^b	7.50±1.82 ^b	6.20±1.00 ^c	3.22±0.50 ^d	3.58±0.53 ^d	39.42	0.00
干物质消化率D _{dm} (%)	36.68±9.60 ^c	52.51±8.72 ^b	54.95±8.08 ^b	64.76±6.70 ^b	82.46±2.47 ^a	79.54±3.12 ^a	18.49	0.00
蛋白质消化率D _p (%)	77.13±4.18 ^c	82.97±3.11 ^b	84.02±3.87 ^b	87.97±1.94 ^b	94.22±0.90 ^a	93.95±0.90 ^a	19.98	0.00
脂肪消化率D _f (%)	77.13±3.46 ^d	84.52±2.84 ^c	84.77±2.73 ^c	89.79±1.94 ^b	94.96±0.71 ^a	95.14±0.74 ^a	20.88	0.00
能量消化率D _e (%)	71.43±4.33 ^d	79.70±3.73 ^c	82.27±3.18 ^c	86.00±2.66 ^b	93.56±0.91 ^a	93.07±1.05 ^a	24.76	0.00
无氮浸出物消化率D _{nfe} (%)	55.94±6.68 ^d	71.28±5.27 ^{bc}	66.25±6.05 ^c	68.80±5.94 ^{bc}	84.96±2.12 ^a	78.82±3.22 ^{ab}	11.55	0.00

* 表中同一行数值具不同上标的数表示差异显著(P<0.05)
The values in the same row with different upper letters are significantly different (P<0.05)

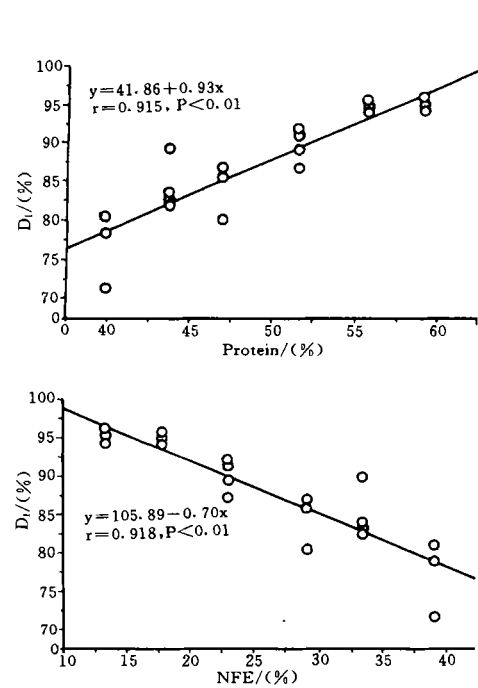


图3 南方鲇对脂肪的表现消化率(D_f)与饲料蛋白质含量(P)及无氮浸出物含量(NFE)之间的关系
Fig.3 The correlation of apparent digestibility of lipid with the level of protein and nitrogen free extract in diet in *Silurus meridionalis* Chen

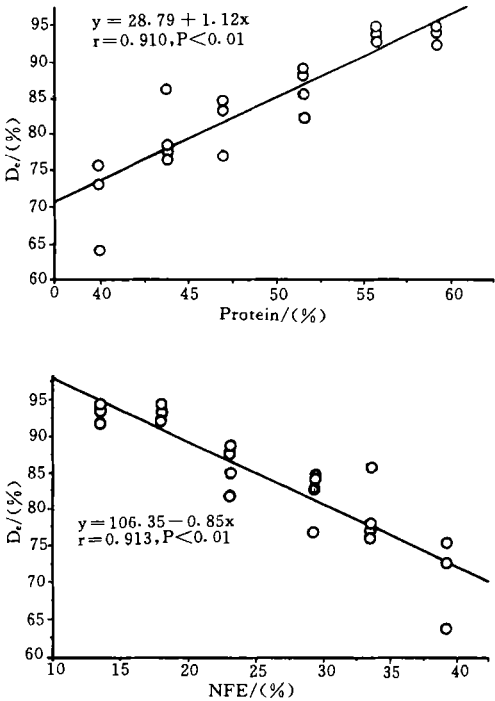


图4 南方鲇对能量的表现消化率(D_e)与饲料蛋白质含量(P)及无氮浸出物含量(NFE)之间的关系
Fig.4 The correlation of apparent digestibility of energy with the level of protein and nitrogen free extract in diet in *Silurus meridionalis* Chen

表4 饲料蛋白质含量(P%)和初始体重(W₀)影响南方鲇消化率的协方差分析表

Tab.4 Analysis of covariance on the effect of protein in diet and fish weight on digestibilities in *Silurus meridionalis* Chen. (Covariate: initial weight (g))

变差来源	自由度	F值	F值显著性
Source of Variation	DF	F	Sig. of F
对D _{dm} 的影响			
蛋白质(P)	5	17.52	0.00
初始体重(W ₀)	1	0.08	0.78
对D _p 的影响			
蛋白质(P)	5	16.02	0.00
初始体重(W ₀)	1	0.07	0.80
对D _l 的影响			
蛋白质(P)	5	25.55	0.00
初始体重(W ₀)	1	0.04	0.84
对D _e 的影响			
蛋白质(P)	5	23.21	0.00
初始体重(W ₀)	1	0.08	0.78
对D _{nfe} 的影响			
蛋白质(P)	5	10.93	0.00
初始体重(W ₀)	1	0.05	0.83

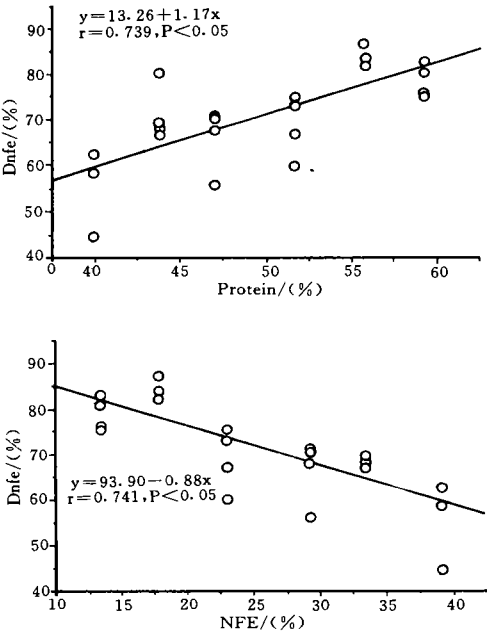


图5 南方鲇对无氮浸出物的表观消化率(D_{nfe})与饲料蛋白质含量(P)及无氮浸出物含量(NFE)之间的关系

Fig.5 The correlation of apparent digestibility of nitrogen free extract with the level of protein and nitrogen free extract in diet in *Silurus meridionalis* Chen

D_l、D_e显著高于其余5组(p < 0.05); Diet-1组的无氮浸出物表观消化率(D_{nfe})显著低于其余5组, Diet-3组的D_{nfe}显著低于Diet-5及Diet-6这2组的值, Diet-5组的D_{nfe}显著高于Diet-1至Diet-4等4组的值(p < 0.05); 其余测定值之间无显著差异。

以饲料蛋白质水平作分组变量, 以实验鱼初始体重(W₀)为协变量进行协方差分析, 结果表明实验鱼30—55g的初始体重的差异对D_{dm}、D_p、D_l、D_e及D_{nfe}均无显著影响(表4)。

以饲料中蛋白质含量及无氮浸出物含量为自变量, 分别以D_{dm}、D_p、D_l、D_e及D_{nfe}为因变量进行一元线性回归分析(n = 24, 图1—5), 表明饲料干物质、蛋白质、脂肪、能量及无氮浸出物的表观消化率均与饲料蛋白质含量呈显著线性正相关、与饲料中无氮浸出物含

量呈显著线性负相关。

3 讨论

3.1 体重对消化率的影响

Rajamani 等报道体重较大的越南鱼的消化率较高^[7], 沈晓民等也发现体重为 6g 的异育银鲫对蛋白质的消化率明显低于体重大于 13g 的鱼, 并认为这是由于体重为 6g 的鱼其肠组织结构发育不全, 蠕动能力较差所致^[8]。而 Kelso 报道大眼鲈的消化率随体重的上升而下降^[9]。但更多的研究者却发现体重对消化率没有明显影响^[5, 11, 12]。本实验通过协方差分析表明 30—60g 初始体重差异对南方鲇的消化率无显著影响。就目前的资料, 还难于对体重影响消化率的机制作出解释。

3.2 饲料蛋白质水平与消化率

De Silva 等报道随着饲料蛋白质水平的上升, 蛋白质消化率呈一个先上升再下降的过程^[13]。但大多数研究却表明, 蛋白质表观消化率与饲料中蛋白质水平呈线性正相关^[9, 14, 15]。本研究表明蛋白质含量在 39%—60% 范围内, 蛋白质表观消化率与蛋白质含量亦呈显著线性正相关 ($P < 0.05$)。

Ogino 和 Chen 探讨了关于蛋白质表观消化率与蛋白质含量呈正相关的原因, 提出真消化率随饲料蛋白质含量改变的变化并不大, 他们假定鱼摄食不同蛋白含量的饲料后所排出的内源性粪氮量相同, 并认为饲料中蛋白质含量较低时, 粪便中未消化的食物残渣中的含氮量较少, 因内源性粪氮比例相对升高, 导致表观消化率下降^[14]。这一观点已为较多研究者采用^[9, 16, 17]。按 Ogino 和 Chen^[13]所提出的机制可推论粪便的总含氮量也会随饲料蛋白质水平的下降而下降(图 6A)。但本研究结果表明, 当饲料蛋白质水平由 59.1% 下降为 39.9% 时, 南方鲇粪便含氮总量却由 3.58% 上升到 9.12%, 且差异达到统计学显著性(表 3)。如果本研究也采用鱼摄食不同蛋白含量的饲料后所排出的内源性粪氮量相同的假定, 即认为 6 个处理组实验鱼的内源性粪含氮量是一定值, 粪便中排除内源性氮后的氮量应为尚未消化的食物残渣所含的氮量, 那么, 6 个呈上升趋势的值(粪便总含氮量)分别减去一个定值(内源性粪氮)后所得到的 6 个差值(未消化食物残渣含氮量)其变化趋势仍未改变, 即随着饲料蛋白质含量的降低, 粪便中未消化的食物残渣的含氮量呈上升趋势(图 6B), 由此得到的结论应当是饲料蛋白质含量较低时粪便中内源性粪氮所占的比例并未相对升高而是相对降低了, 所以作者认为对蛋白质表观消化率随着饲料蛋白质含量的降低而显

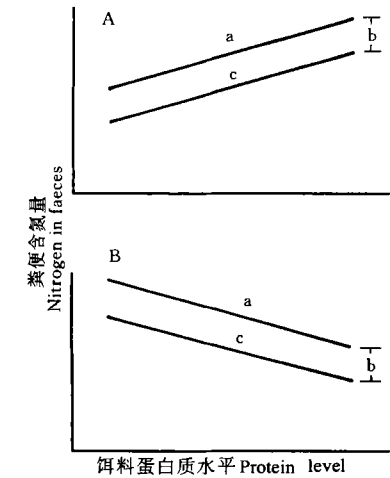


图 6 粪便内氮含量与饲料蛋白质水平的关系
Fig.6 The relationship between nitrogen in faeces and protein level in diet
A. Ogino 和 Chen 模式图 B. 本研究结果模式图
The diagram based on Ogino and Chen The diagram based on this study
a. 粪便内总氮量 Total nitrogen in faeces;
b. 内源性粪氮量 Endogenous nitrogen in feces c. 未消化食物残渣含氮量 Nitrogen of undigested feed in faeces

著下降的趋势的现象只可能由几种机制产生: (1)蛋白质真消化率随着饲料蛋白质含量的降低而下降的结果; (2)鱼类摄食不同蛋白质水平的饲料后其内源性粪氮量不同所致; 或者 (3)二者兼而有之。因此, Ogino 和 Chen 的观点值得进一步磋商。

3.3 消化率与饲料营养价值的评定

饲料营养成分的消化率及可消化能较营养成分含量或总能值更能反映饲料营养价值的实质^[1]。由本研究的结果可看出, 随着饲料蛋白质水平的上升, 饲料营养成分的消化率及可消化能值逐渐上升, 相应地生长率和食物转化率也逐渐上升, 显示出饲料的营养价值在提高。但是, 当饲料蛋白质含量从 Diet-4 的 51.57% 继续升至 Diet-5 的 55.73% 时, 虽然营养成分消化率及饲料可消化能继续在上升, 但生长率已不再上升并稍有下降, 同时蛋白质效率稍有下降, 蛋白质生物价显著降低 (表 3)。这表明从生长状态参数反映出蛋白质水平较高的 Diet-5 号饲料的营养价值已不及 Diet-4 号饲料。因此作者认为虽然饲料营养成分的消化率及可消化能较营养成分含量或总能更能反映饲料营养价值的实质, 但仅用营养成分的消化率或可消化能作为评价配合饲料营养价值的指标也是不全面的, 还必须结合鱼摄食该饲料后的生长状态参数加以评价。

参考文献:

- [1] 杨诗兴等. 饲料营养价值的评定方法 [M]. 兰州: 甘肃人民出版社. 1980, 1—53
- [2] Halyer J E. Fish nutrition (2nd) [M]. San Diego: Academic press. 1989, 332—421
- [3] De Silva S S, Anderson T A. Fish nutrition in Aquaculture [M]. London: Chapman & Hall. 1995, 103—142
- [4] 谢小军、孙儒泳. 嘉陵江南方大口鲶的年龄和生长的初步研究 [J]. 生态学报, 1987, 7(4): 359—367
- [5] 谢小军、孙儒泳. 南方鲶的排粪量及消化率同日粮、体重和温度的关系 [J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(6): 627—632
- [6] 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
- [7] 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
- [8] Rajamani M, Job S V. Food utilization by *Tilapia mossambica* (Peters): function on size [J]. *Hydrobiologia*, 1976, 50: 71—74
- [9] 沈晓民、刘永发、唐瑞英. 异育银鲫的蛋白质消化率研究 [J]. 水产学报, 1995, 19(1): 52—57
- [10] Kelso J R M. Conversion, maintenance, and assimilation for walleye, *Stizostedion vitreum vitreum*, as affected by size, diet, and temperature [J]. *J. Fish Res. Bd Can.*, 1972, 29: 181—192
- [11] Cui Y, Wootton R J. Bioenergetics of growth of a cyprinid, *Phoxinus phoxinus*: the effect of ration, temperature and body size on food consumption, faecal production and nitrogenous excretion [J]. *J. Fish Biol.*, 1988, 33: 431—443
- [12] Du Preez H H, Cockcroft A C. Nonfaecal losses of marine teleost, *Lichia amia* (Linnaeus, 1958), feeding on live southern mullet, *Liza richardsonii* (Smith, 1846) [J]. *Comp. Biochem. physiol* 1988, 90A: 63—70
- [13] De Silva S S, Perera M K. Digestibility in *Sarotherodon niloticus* fry: effects of dietary protein level and salinity with further observations on variability in diary digestibility [J]. *Aquaculture*, 1984, 38: 293—306.
- [14] Ogino C, Chen M S. Protein nutrition in fish. 3. Apparent and true digestibility of dietary protein by young carp [J]. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 1973 39: 649—651.
- [15] 桥本芳郎 (蔡完其译). 养鱼饲料学 [M]. 北京: 农业出版社. 1980, 27—58
- [16] Nose T. Recent advances in the study of fish digestion [J]. *EIFAC Tech. Pap.* 1967, 3: 83—94.

- [17] Hossain M A, Nahar N, Kamal M, Nutrient digestibility coefficients of some plant and animal protein for rohu (*Labeo rohita*)[J]. *Aquaculture*, 1997. **151**:37—45.

STUDIES ON THE NUTRITION OF *SILURUS MERIDIONALIS*: I. DIGESTIBILITIES OF THE ARTIFICIAL DIETS

DENG Li and XIE Xiao-jun

(Department of Biology, Southwest China Normal University, Chongqing, 400715)

Abstract: The southern catfish (*Silurus meridionalis* Chen) were fed with artificial diets in a recirculated filtered rearing system maintained at 27.5°C ($\pm 0.2^\circ\text{C}$) for 6 weeks. Using the chromic oxide as an indicator, nutrient apparent digestibilities of six isoenergetic (20kJ / g) diets containing 35%—60% protein at 5% increments were determined. With the increase from 39.86% to 55.73% in dietary protein level, the apparent digestibilities of dry matter (D_{dm}), protein (D_{p}), lipid (D_{l}), energy (D_{e}) and nitrogen free extract (D_{nfe}) increased from 36.68%, 77.13%, 77.13%, 71.43% and 55.94% to 82.46%, 94.22%, 94.96%, 93.56%, and 84.96%, respectively ($p < 0.05$). The analysis of linear regression indicated that D_{dm} , D_{p} , D_{l} , D_{e} , and D_{nfe} were correlated positively with protein level, negatively with nitrogen free extract level. It is suggested that the correlation of apparent digestibility of protein in the fish with dietary protein level might come from three sources as follows: a) True digestibility of protein which decreases with the decrease of protein level. b) Endogenous nitrogen in faeces which may change with the protein level of diet. c) The two mechanisms occurred simultaneously. It is argued that the hypothesis by Ogino and Chen (1973) as to the relationship between protein digestibility and protein level in diet should be invalid.

Key words: *Silurus meridionalis* Chen; Fish nutrition; Digestibility; Artificial diet