テラピア *Oreochromis niloticus* 用飼料の可消化エネルギー含量と 適正エネルギー・タンパク質比との関係

雍 文 岳, 竹内俊郎, 渡辺 武

(1988 年 10 月 28 日受付)

Relationship Between Digestible Energy Contents and Optimum Energy to Protein Ratio in *Oreochromis niloticus* Diet

Wen-Yue Yong,^{*1,2} Toshio Takeuchi,^{*1} and Takeshi Watanabe^{*1}

Two feeding experiments were conducted to determine an optimum digestible energy (DE) level in *Oreochromis niloticus* (Tilapia) diets with the same DE/protein (P) ratio of 140. Fish were fed on five kinds of albumin diets containing three levels of DE (340, 400, and 470 kcal) and protein (25, 29, and 34%). Among five diets with the same DE/P {P/E (g protein/MJ): 17} ratio of 140, the diet containing DE of 400 kcal/100 g was the highest in the total DE and protein intake, resulting in the highest growth and nitrogen retention. The cellulose content in diet seemed to reduce feed intake and it is suggested to be less than 4.5% of cellulose in order to keep normal feed consumption.

From these experiments, optimum protein and DE levels in the diet were found to be 28-30% and 400 kcal/100 g diet, respectively.

先に、*Oreochromis niloticus* (以下、テラピアと略記) 用飼料の至適可消化エネルギー・タンパク質比 (DE/P) は 140-150 で、その時のタンパク質 (CP) 含量は給餌率により異なるが、給餌率が 3.5% 前後ならば、CP 含量を 25% にすることも可能であることを明らかにした。¹⁾ また、飼料中のセルロース含量を増加すると、摂餌率のみならず、炭水化物の消化率にも影響を及ぼすことが分かった。このように、テラピアはニジマス²⁾と同様に比較的高い DE/P 比を示すが、高 CP 飼料および高セルロース飼料では、摂餌率が著しく低下するために、飼料の適正 CP および DE 含量を求めるのはかなりむずかしいと判断された。一方、Cho and Kaushik³⁾ は、魚の場合は、DE/P 比がよく使われ飼料中のエネルギー量よりタンパク量が摂餌率をコントロールしているように思われがちであるが、魚もやはり他の動物と同様に、エネルギー要求を満足するために摂餌すると述べ、DE/P 標示でなくタンパク・エネルギー比 {P/E (g Protein/MJ)^{*3}} 比を用いて研究結果を論じている。このことは、たとえ DE/P 比を満足していても、飼料の DE の量的変化によ

り成長や摂餌率に差を生じることを示唆している。

そこで、本報ではタンパク源に卵アルブミンを用い、DE/P 比をテラピアにとって適正值である 140 前後とし、その上で CP と DE の含量が異なる 5 種類の飼料を用いてテラピアを飼育し、飼料中の DE, CP, およびセルロース含量と成長や摂餌率との関係、窒素 (N) や DE の取り込みを調べ、適正飼料の開発を計ることを目的とした。

実験方法

供試魚のテラピアには本学水族養殖学研究室の育種用親魚から産出した仔魚の一部を供用し、本研究室の飼育室で市販飼料、ついで、Table 1 の予備飼育飼料で 2 週間飼育し 2 回ほど選別を繰り返したものをを用いた。飼育試験は 2 回行い、それぞれ予備試験および本試験とした。予備試験および本試験ともそれぞれ各区平均体重 14 g の供試魚を 20 尾および平均体重 34 g のものを 15 尾ずつ用いた。予備試験では 30×30×45 cm のガラス製水槽を、本試験では 21.5×26.5×35 cm のポリビニル製水

^{*1} 東京水産大学資源育成学科 (Department of Aquatic Biosciences, Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

^{*2} 中国水産科学研究院長江水産研究所 (Yangtse River Fisheries Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shashi, Hubei, China).

^{*3} 1MJ=239 kcal.

Table 1. Compositions of the experimental diets for *Oreochromis niloticus* (%)

Ingredient	Prefeeding diet	Protein-free	Diet no.				
			1	2	3	4	5
Egg albumin*	35	0	28	33	33	38	38
α -Starch	20	25	20	20	20	20	20
Dextrin	25	35	32	27	15	15	3
Corn oil	5	25	2	8	14	19	25
Mineral mix.	5	5	5	5	5	5	5
Vitamin mix.	2	2	2	2	2	2	2
Cellulose	8	8	10.5	4.5	10.5	0.5	6.5
Cr ₂ O ₃	—	—	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nutrient content							
Preliminary experiment							
Moisture		9.8	5.1	5.5	6.5	7.0	5.8
Crude ash		3.7	5.1	5.2	5.2	5.3	5.4
Crude protein (CP)		0.6	25.6	30.0	29.6	33.1	33.6
Crude starch (CS)		62.3	50.3	47.4	34.4	31.9	22.1
Crude lipid (CL)		23.5	1.9	6.0	13.2	17.2	23.9
Cr ₂ O ₃		—	0.49	0.50	0.49	0.45	0.50
Gross energy (kcal/100 g)			420	460	490	510	550
(MJ/kg)			17.6	19.2	20.5	21.3	23.0
Experiment							
Moisture			6.9	7.0	10.1	8.7	8.7
Crude ash			5.2	6.2	6.3	6.1	5.1
Crude protein (CP)			24.6	28.5	29.5	33.2	34.3
Crude starch (CS)			51.1	45.6	36.9	35.7	22.4
Crude lipid (CL)			2.0	7.2	12.9	17.3	24.7
Cr ₂ O ₃			0.46	0.45	0.46	0.46	0.45
Gross energy (kcal/100 g)			410	440	460	490	530
(MJ/kg)			17.2	18.4	19.2	20.5	22.2

* Egg albumin was denatured by boiling with ethyl alcohol for 5h.

槽を用い、通気しながら流水式 (流量 250–300 ml/min) で飼育した。飼育期間は予備試験では 22 日間、本試験では 21 日間とした。なお、飼育水温は予備試験では 15–27°C、本試験では 25–28°C の範囲であった。

試験飼料の組成およびその分析値を Table 1 に示す。試験飼料のタンパク源にはアルコールで 5 時間煮沸し、熱変性させた卵アルブミンを用い、飼料中の CP 含量を 25, 30 および 35% (実測値: 25, 29 および 34%) になるように調整した。エネルギー源には α -でん粉およびデキストリン (炭水化物源) とコーン油 (脂質源) を用い、既報¹⁾で明らかにした各栄養素の DE 仮定値 (タンパク質: 4.5, 炭水化物: 4.0, 脂質: 9.0 kcal/g) を用いて、各飼料の DE/P 比が 140 程度になるように調節した。さらに、エネルギーレベルとしては DE 含量 (kcal/100 g) を実測値で 340 (1 区), 400 (2 および 3 区), 470 (4 および 5 区) になるように調整した。なお、2 および 3 区と 4 および 5 区は炭水化物と脂質の配合比率を換えて同じ DE 含量に調整したため、2 区および 4 区のセルロース含量が 3 および 5 区に比べそれぞれ 6% 前後低くなった。なお、タンパク正味利用率 (NPU) を測定するた

めに、予備試験では無タンパク質飼料区を設けた。また、各栄養素の消化吸収率および DE を実測するため、本試験の飼料には酸化クロムを加え飼育期間中採糞を行った。

各試験飼料は 1 日 4 回、飽食給餌した。なお、飼育終了 2 日前から魚を絶食し、胃および腸に残存する未消化物をできるだけ排除した。飼料および魚体の分析方法および増重率、飼料効率、タンパク効率 (PER), NPU などの測定方法は既報^{1,4)}に準じて行った。

実験結果および考察

飼育結果 予備試験の飼育結果を Table 2 に示す。まず、無タンパク飼料区におけるテラピアの日間体 N 減少量を調べた結果、1 日魚体重 100 g 当り 12.5 mg の値を得た。この値は既報^{1,4)}の 9.3 mg (実験開始時平均体重 3.7 g, 飼育水温 23–24°C) および 10.5 mg (実験開始時平均体重 9.0 g, 飼育水温 21–25°C) と比較すると多少高かった。これは魚の日間体 N 減少量、すなわち代謝性糞便 N (代謝性 N) および内因性 N 排せつ量が飼育水温の影響を受けたためと考えられる。⁶⁾ 増重率をみると 2 区が

Table 2. Results of 22 days feeding in the preliminary experiment

Diet no.	Number of fish	Av. body weight (g)		Percent gain
		Initial	Final	
Protein free	20	14.1±2.2	13.3±2.1	-6.0
1	20	14.4±2.2	22.7±4.6	57.6
2	20	14.4±1.0	29.5±5.2	104.9
3	20	14.1±2.1	22.4±3.3	58.9
4	20	14.1±2.2	20.5±3.5	45.4
5	20	14.1±2.2	19.8±4.8	41.9

Table 3. Results of 21 days feeding in experiment

Diet no.	Number of fish	Av. body weight (g)		Percent gain	Feed efficiency (g gain/g feed) (%)	Total diet consumed (g)	Daily intake of 100 g body wt.		
		Initial	Final				Diet (g)	Nitrogen (mg)	DE (kcal)
1	15	34.2±4.2	58.0±8.8	69.6	98	364.7	2.9	115.2	9.9 (414)*
2	15	34.0±4.3	65.5±7.9	92.6	117	403.7	3.0	136.9	12.0 (502)
3	15	34.0±3.7	52.3±9.1	53.8	106	260.1	2.2	105.4	9.2 (385)
4	15	34.0±3.9	48.5±5.3	41.8	107	200.1	1.8	95.2	8.3 (347)
5	15	33.8±4.4	46.4±9.7	37.3	104	183.2	1.7	92.9	8.1 (339)

* KJ/kg body wt.

最も優れ、次いで3区と1区の順となり、高CP、高DEの5区が最も低かった。このように、同じDE/P比の飼料でもテラピアの成長はかなり異なることが分かった。

本試験の飼育結果をTable 3および4に示す。増重率、飼料効率および日間体N蓄積量ともCP 28.5%、DE 400 kcal/100 g 飼料 (DE/P: 140) の2区が最も優れ、増重率 92.6% および飼料効率 117% と最大になった。この区の魚の日間NおよびDE摂取量はそれぞれ体重 100 g 当り 136.9 mg (タンパク質量に換算すれば 0.856 g) および 12.0 kcal (502 kJ/kg 体重) に達した。また、日間体N蓄積量は体重 100 g 当り 88.4 mg となった (Table 4)。この値は荻野⁹⁾がコイおよびニジマスで示した値、それぞれ 80.3 mg および 81.5 mg に比べやや高かった。2区に比較してDEおよびCP含量が低い1区および両含量が高い4および5区では、増重率および飼料効率が2区の値より低く、特に高DE含量の4および5区は摂餌量が著しく減少し、極めて低い成長を示した。また、2区とはほぼ同じDE含量の3区 (CP: 29.5%, DE: 410 kcal/100 g 飼料) は2区と比較し増重率が著しく劣った。これは飼料中のセルロース含量の増加に伴う摂餌率の低下が原因と推察された (後述)。同様の傾向が4区と5区の間にもみられた。なお、増重率に関しては、予備試験と本試験で極めて類似する傾向が認められた。また、PER および NPU の値は既報¹⁾と同様に高く、テラピアは他の魚類に比較しカゼインや卵アルブミンタンパクを極めて有効に利用していることを裏付けた (Table 4)。さらに、今回の結果から、飼料中のセルロース含量は

PER および NPU の値にも多少影響を及ぼし、ほぼ同じCPおよびDE含量の2および3区と4および5区を比較するとそれぞれセルロース含量が高い3および5区でPERおよびNPUが低くなる傾向がみられた。これも摂餌率の低下と関連していると考えられた。予備試験および本試験において、1区を除き、総摂餌量および日間摂餌率は飼料中のCPおよびDE含量と逆の相関があり、両者が高くなると低くなったが、CPおよびDE摂取量は同じDE/P比においても一致せず、両者を最大にする適正CPおよびDE含量があると推察された。このように、テラピアの成長は飼料中のDE含量に大きく左右されたが、この原因は日間NおよびDE摂取量に差があるためである。さらに、日間NおよびDE摂取量と成長との関係をみると、増重率および日間体N蓄積量は日間NおよびDE摂取量の増加に伴い増加することが明らかになった。しかし、今回の実験は各区間のDE/P比がほぼ一定の飼料で、飼料中のタンパク質の含量も既報の結果に基づいて、25%–35%の適正量の範囲内で設けたわけで、飽食させると各区の摂餌率は荻野⁹⁾が提示した飼料タンパク質含量と給餌率の関係で求めた値と一致あるいは近接するはずである。そこで、魚体のタンパク質蓄積を最大にする飼料中のCP含量と給餌率 (摂餌率) の関係により計算した摂餌率 (理論摂餌率) と実際摂餌率を比較すると (Table 4)、最大増重に達した2区だけが理論摂餌率に一致していることが明らかになった。すなわち、テラピアに適正DE/P比の飼料を与えても荻野の計算値に合致した摂餌率は飼料のDEレベルが400

Table 4. PER and NPU of egg albumin and daily nitrogen budget in *Oreochromis niloticus*

Diet no.	CP (%)	DE		Total diet consumed (g)	PER	Total N increased (g)	NPU	Daily N intake (mg/100 g body wt.)	Daily N increase (mg/100 g body wt.)	Daily N retention (mg/100 g body wt.)	Feeding rate (%)	
		(kcal/100 g)	(MJ/kg)								Calculated* ¹	Determined* ²
1	24.6	340	14.2	364.7	4.0	8.75	72	115.2	70.2	82.7	3.5	2.9
2	28.5	400	16.7	403.3	4.1	10.21	65	136.9	75.9	88.4	3.0	3.0
3	29.5	410	17.2	260.1	3.6	6.06	61	105.4	52.0	64.5	2.9	2.2
4	33.2	460	19.2	200.1	3.2	5.29	63	95.2	47.4	59.9	2.6	1.8
5	34.3	480	20.1	183.2	3.0	4.69	60	92.9	43.3	55.8	2.5	1.7

*¹ Calculated feeding rate to give a maximum N retention.*² The feeding rate of satiation in the experiment.

Table 5. Apparent digestibility of dietary protein, lipid, and energy

Diet no.	Apparent digestibility (%)			
	Protein	Starch	Lipid	Energy
1	96	93	93	84
2	96	94	96	91
3	96	94	96	87
4	96	94	95	94
5	96	94	95	92

kcal/100 g (2 区) の時に得られるが, DE レベルが 340 kcal/100 g (1 区) および 460 kcal/100 g 以上 (4 および 5 区) の場合には得られなかったわけである。また, 2 区とはほぼ同じ DE を有する 3 区の場合にも一致しない。これは DE が高い場合には摂餌率が低下し, DE が低い場合あるいは同じ場合にはエネルギー含量との関係だけではなく, 摂餌率に対するセルロースの影響もある為と考えられた。

各区の各栄養素の消化率の測定結果を Table 5 に示す。各区ともタンパク質, 炭水化物 (粗デンプン) および脂質の消化吸収率に大差なくいずれも高い値を示していた。エネルギーの吸収率では 1 および 3 区が多少低い値を示したが, これは飼料中のセルロース含量が高い為である。なお, 炭水化物の消化率はセルロースの多少にかかわらず高い値を示し, 既報¹⁾の結果と異なっていたが, これはセルロース含量が既報の 14.5% に比べ 10.5% と 4% 程低かったためと推察された。

飼料中のセルロース含量と摂餌率 テラピア用飼料のセルロース含量と日間摂餌率との関係を見ると, 既報¹⁾では低タンパク質含量の飼料の場合にセルロースの影響を受けたが, 今回は飼料中の CP 含量が 30% 程度の場合にも摂餌率に影響がみられた。例えば, セルロースを 10.5% 含む 3 区と 4.5% 含む 2 区とでは飼料中の DE および CP 含量がほぼ同じであるが, 3 区の摂餌率は著しく低下した (Table 5)。また, セルロース含量を 10.5%

含む 1 区 (CP 25% 程度) は前述のように日間摂餌率も理論摂餌率より低い値になった (Table 5)。このように, 飼料中の CP 含量の多少にかかわらず, セルロースを 10.5% 添加すると, 摂餌率の低下を引き起こすことが明らかになった。なお, Teshima ら²⁾も, *T. nilotica* を用いて, 飼料中のセルロース含量を 2 から 7% 以上に増加すると摂餌率, 増重率, PER 等が低下することを明らかにしている。

現在までに, テラピアの脂質利用能は炭水化物と同様に高い¹⁾あるいは炭水化物は高く脂質のそれは低い* という相反する報告がなされているが, テラピアの成長や摂餌率が飼料中のセルロース含量に大きく影響されることを考慮すると上述のことが理解できる。すなわち, 飼料中のエネルギー含量を一定にするために炭水化物を減らして脂質を増加させた場合, 各々 1 g に含まれる代謝エネルギー含量の違いによりセルロース含量も増加しなければならない。コイとニジマスの場合には摂餌率が飼料のセルロース含量によって左右されないの, 脂質の消化率が高いとその利用能も高いと判断することができる。一方, テラピアの場合には摂餌率はセルロース含量の増加に伴い低下し, 成長も低下するので, 脂質の消化率が高くても, 脂質の利用能が低いとする結論も引き出せる。したがって, セルロースの摂餌率に及ぼす影響を避けるためには, 飼料中の至適 DE 含量を満足するように, エネルギー源として脂質と炭水化物の割合を考慮す

Table 6. Proximate composition of the experimental fish (%)

Diet no.	Moisture	Crude ash	Crude protein	Crude lipid
Initial	74.7	4.7	15.8	5.3
1	73.4	4.7	15.6	6.7
2	74.2	4.0	14.7	7.3
3	74.2	4.1	15.1	7.3
4	74.0	4.1	15.7	7.5
5	71.7	4.1	15.7	8.7

* 示野貞夫, 段 存明, 田畑敏実, 竹田正彦: 昭和 63 年度日本水産学会春季大会講演要旨集, p. 249.

Table 7. Dietary protein, energy and cellulose levels which gave the maximum growth and N retention in *Oreochromis niloticus*

Diet no.	Nutrient content in diet (%)				DE		DE/P	P/E	PER	NPU	Daily intake per 100 g body wt.			
	CP	CL	CS	Cellulose	(kcal/100 g)	(MJ/kg)					Diet (g)	Nitrogen (mg)	DE (kcal)	
Protein source: Egg albumin														
2	28.5	7.2	45.6	4.5	400	16.7	140	17.0	4.1	65	3.0	137	12.0(502)*	
Protein source: Casein ⁽¹⁾														
5	29.0	8.1	50.0	4.5	410	17.2	141	16.9	4.0	69	3.2	148	13.0(544)	
6	28.5	12.5	42.4	4.5	430	18.0	151	15.8	4.3	69	3.0	137	12.8(536)	

* KJ/kg body wt.

べきである。

魚体の分析結果 全魚体の分析値を Table 6 に示す。各区の魚とも水分および灰分の含量にはほとんど差がなかったが、粗脂肪の含量は飼料中のエネルギー含量の増加に伴い増加する傾向が認められた。また、タンパク質含量は成長が最も優れた2区の魚が他区の魚よりやや低い値を示していた。

今回および既報¹⁾の結果を比べると、最大成長を得た区の飼料組成は Table 7 に示したように、お互いに極めて一致していた。しかも、摂餌率、日間NおよびDE摂餌量にもほとんど差がなかった。また、タンパク源として用いた卵アルブミンとカゼインはいずれもテラピアには高い栄養価を有し、両者の差はほとんどなかった。しかし、Teshima ら⁸⁾は数種のタンパク質の栄養価を比較しカゼイン-ゼラチン (3:1) およびカゼインはゼラチン、アルブミン、カゼイン-アミノ酸混合物 (1:1) よりも高い栄養価を示したと述べており、今回の結果と多少異なっていた。

以上の結果から、テラピアの至適 DE/P 比の範囲 (140-150) すなわち 140 における適正 DE レベルは 400 kcal/100 g となることが明らかになった。なお、飼料中のセルロース含量は 4.5% 程度あるいはそれ以下が望ましいと判断された。DE/P 比を一定とした場合に飼料中の適正タンパク質含量は DE に応じて決まるので、結果として 28.5% となった。また、理論的には飼料中の適正タンパク質含量は給餌率を調節することによって変化させることができるが、テラピアの実際摂餌率はニジマスおよびコイ⁹⁾と異なり、飼料中の粗繊維含量に強く制約されるために、給餌率の調節によって飼料中のタンパク質含量を変動する幅は狭いようである。また、飼料中の

DE を増加すると摂餌率が著しく低下することが確かめられた。このように摂餌率は飼料中の DE とセルロース含量に左右されることから、テラピアの場合の最適飼料組成を決める因子は飼料中の DE、DE/P 比およびセルロース含量であると判断された。なお、最適 DE/P 比 140 を P/E 比に換算すると 17 となり、この値はヒナ³⁾で得られている値と近似していた。しかし、*Tilapia aurea*^{8,10)}の値、26 とは大きく異なっていた。この原因としては、種類や水温の違いあるいは魚の大小の差が考えられる。今後検討する必要がある。

文 献

- 1) 王 基焯, 竹内俊郎, 渡辺 武: 日水誌, **51**, 141-146 (1985).
- 2) 竹内俊郎, 横山雅仁, 渡辺 武, 荻野珍吉: 日水誌, **44**, 729-732 (1978).
- 3) C. Y. Cho and S. J. Kaushik: In "Nutrition and Feeding in Fish" (ed. by C. B. Cowey, A. M. Mackie, and J. G. Bell), Academic Press, London, 1985, pp. 95-117.
- 4) 王 基焯, 竹内俊郎, 渡辺 武: 日水誌, **51**, 133-140 (1985).
- 5) 荻野珍吉: 魚類の栄養と飼料, 恒星社厚生閣, 東京, 1980, pp. 111-139.
- 6) 荻野珍吉: 日水誌, **46**, 171-174 (1980).
- 7) S. Teshima, A. Kanazawa, and S. Koshio: *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, **36**, 7-15 (1987).
- 8) S. Teshima, A. Kanazawa, and Y. Uchiyama: *Nippon Suisan Gakkaishi*, **52**, 525-530 (1986).
- 9) 荻野珍吉: 日水誌, **46**, 385-388 (1980).
- 10) R. A. Winfree and R. R. Stickney: *J. Nutr.*, **111**, 1001-1012.