コイ用飼料におけるエネルギー源としての炭水化物と脂質^{*1}

竹内俊郎・渡辺 武・荻野珍吉

(1979 年 3 月 9 日受理)

Availability of Carbohydrate and Lipid as Dietary Energy Sources for Carp

Toshio TAKEUCHI^{*2}, Takeshi WATANABE^{*2}, and Chinkichi OGINO^{*2}

Feeding experiments were conducted in order to compare the availability of carbohydrate with that of lipid as dietary energy sources for carp. The fish were fed various diets containing different amounts of carbohydrate and lipid at a fixed protein level of 32%. The results showed that carp utilize effectively both carbohydrate and lipid as dietary energy sources. The enrichment of the digestible energy (DE) content from 320-460 kcal/100 g diet by the addition of lipid at levels of 5% to 15% to diets resulted in no improvement in growth, feed conversion, or the value for NPU. The digestibility of protein and carbohydrate was as high as 95% and 85%, respectively, regardless of the contents of carbohydrate, lipid, and energy in the diets. The lower the lipid content or the higher the carbohydrate content in the diets, the higher the retention rate of lipid was obtained.

It has thus been shown that both carbohydrate and lipid have good food value for carp as dietary energy sources. The growth and the value for NPU were not affected by the DE contents, even enriched by using carbohydrates or lipids, when the dietary protein levels remained around 32%.

先に、炭水化物利用能の低いニジマスでは、必須脂肪酸を適量含む脂質を添加し、飼料の可消化エネルギー含量を高めると、飼料タンパク質の利用率が向上し、かなりのタンパク質を節約できることを明らかにした¹⁻³⁾。一方、雑食性のコイは消化管のアミラーゼ活性が強く^{4,5)}、炭水化物をエネルギー源として利用する能力がニジマスより優れていることが知られている⁶⁾。また、脂質は多くの魚で高い消化率を示す⁷⁾。このことから、コイにおいては炭水化物も脂質もエネルギー源としてよく利用されるものと考えられる。そこで今回は、コイにおけるエネルギー源としての炭水化物と脂質の有効性を調べるとともに、ニジマスの場合と同様に、脂質の添加により、タンパク質の利用率を向上できるかどうかを実験した。このことは魚類のエネルギー要求の相違を知る上にも重要であると考えられる。

実験方法

Table 1 に飼料の組成を示した。実験は 2 回行い、それぞれ実験 I および II とした。実験 I では平均体重 5.8 g のコイを各区 25 尾とし、飼育は 26 日間行つた。実験 II では平均体重 3.4 g のコイを各区 35 尾とし、飼

育は 27 日間行つた。飼育期間中の水温は 22~25°C (実験 I) および 24~25°C (実験 II) に調節した。

試験飼料のタンパク質含量はコイの最低タンパク質要求量付近 (31-32%)^{8,9)} にした。実験 I および II において、飼料の脂質含量は 5% と 15% とし、各々に炭水化物を 20-50% 加え飼料の可消化エネルギー (DE) 含量を増加させた。なお、実験 I の 2 区と 4 区、3 区と 5 区および実験 II の 8 区と 12 区、9 区と 13 区、10 区と 14 区は、DE 含量が同じになるように炭水化物を加えた。炭水化物と脂質の増減にともなう飼料組成の調整にはセルロースを用いた。

タンパク効率 (PER)、消化率の測定、DE の計算方法、飼料、魚体およびふんの分析方法は既報³⁾ に準じた。タンパク正味利用率 (NPU) は既報²⁾ と同様 BENDER および MILLER の方法⁹⁾ を改変した方法 (Table 3) により求めた。炭水化物の測定はソモギーネルソン法¹⁰⁾ によつた。

結果および考察

飼育結果 実験 I および II の平均体重、増重率、飼料効率および全内臓重量比を Table 2 に、増重率と飼料

^{*1} Studies on Nutritive Value of Dietary Lipids in Fish-XVI.

^{*2} 東京水産大学水産養殖学科水族栄養学講座 (Laboratory of Fish Nutrition, Tokyo University of Fisheries, Konan 4, Minato-ku, Tokyo 108).

Table 1. Compositions of the experimental diets for carp in Experiments I and II (%)

Diet no.	Experiment I					
	1	2	3	4	5	6
Casein	35	35	35	35	35	35
α -Starch	15	15	15	15	15	15
Dextrin	15	25	35	5	15	25
Lipid* ¹	5	5	5	15	15	15
Cellulose	25	15	5	25	15	5
Mineral mix.* ²	4	4	4	4	4	4
Vitamin mix.* ³	1	1	1	1	1	1
Chromic oxide	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nutrient content						
Crude protein	32.3	32.5	32.6	31.9	31.6	31.5
Carbohydrate	26.6	34.8	42.4	17.6	24.9	33.0
Crude lipid	5.3	5.1	5.0	15.3	15.1	14.7
Calorie* ⁴ (kcal/100g)	479	475	476	529	524	526
Digestible energy* ⁵ (kcal/100g)	323	360	405	364	412	452

Diet no.	Experiment II									
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Casein	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
α -Starch	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Dextrin	15	25	30	35	0	5	10	15	25	15
Lipid* ¹	5	5	5	5	15	15	15	15	15	10
Cellulose	25	15	10	5	35	25	20	15	5	20
Mineral mix.* ²	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Vitamin mix.* ³	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Chromic oxide	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Nutrient content										
Moisture	3.2	3.0	3.6	2.7	2.3	2.4	3.0	3.0	5.1	3.1
Crude protein	32.0	31.5	32.3	32.3	31.3	31.5	31.0	31.0	30.4	31.0
Crude lipid	5.3	5.4	5.4	5.4	15.4	15.1	14.8	14.9	14.6	10.4
Calorie* ⁴ (kcal/100g)	479	474	475	487	538	531	526	523	523	512
Digestible energy* ⁵ (kcal/100g)	321	362	386	419	338	364	375	411	457	378

*¹ Soybean oil: Pollock liver oil=3:2.*² Mccollum Salt mixture no. 185 fortified with trace element.¹⁴⁾*³ Composition is the same as that reported previously.⁸⁾*⁴ Total calorie (gross energy) measured by bomb calorimeter.*⁵ Digestible energy is calculated by the following formula.

$$DE = \text{Energy of diet} - \left(\text{Energy of feces} \times \frac{\text{mg Cr}_2\text{O}_3/\text{g diet}}{\text{mg Cr}_2\text{O}_3/\text{g feces}} \right)$$

効率を Fig. 1 に示した。実験 I では、増重率および飼料効率とも脂質 5% 添加区よりも 15% 添加区が多少優れていたが、各脂質レベルで炭水化物を加えて DE を増加させても成長、飼料効率は改善されなかった。実験 II においても増重率は実験 I と同様脂質 5% 添加区に比べ 15% 添加区でやや優れていたが、飼料効率には差がなかった。一方、タンパク質と炭水化物を一定にし、脂質を 5~15% の範囲で添加し、DE 含量を増減させ

た区 (diet 7, 14, 16) を比較すると、増重率は 15% 添加区で多少優れていたが、飼料効率および内臓重量比には大きな差は認められなかった。すなわち、コイでは飼料の主なエネルギー源に炭水化物あるいは脂質のどちらを用いても成長、飼料効率にほとんど差がないことがわかった。

各栄養素の蓄積率と利用率(消化吸収率) タンパク質と脂質の蓄積率, PER, NPU およびタンパク質と炭水

Table 2. Results of 26 days of the feeding in Experiment I and of 27 days in Experiment II

	Number of fish	Av. body wt (g)		Growth rate (%)	Feed conversion (g gain/g feed)	Whole viscera /Body wt (%)
		Initial	Final			
Experiment I* ¹						
1	25	5.80	10.63	83	0.98	—
2	25	5.84	10.83	85	1.01	—
3	25	5.94	11.18	88	1.04	—
4	25	5.89	11.41	94	1.11	—
5	25	5.80	10.98	89	1.06	—
6	25	5.85	11.09	89	1.10	—
Experiment II* ¹						
7	35	3.45	8.41	144	0.92	10.0±1.50* ²
8	35	3.43	8.08	136	0.87	10.9±1.01
9	35	3.49	8.31	138	0.93	10.8±1.02
10	35	3.44	8.18	138	0.90	10.9±0.80
11	35	3.54	8.81	149	0.93	12.0±1.26
12	35	3.47	8.62	148	0.91	10.9±0.64
13	35	3.54	8.68	145	0.95	12.0±1.17
14	35	3.42	8.67	154	0.93	11.6±0.80
15	35	3.48	8.53	145	0.90	11.5±1.15
16	35	3.43	8.34	143	0.95	11.2±1.40

*¹ Water temperature was 22-25°C in Experiment I and 24.5±0.5°C in Experiment II, respectively.*² Mean± standard deviation of 5 fish.

Fig. 1. Effect of dietary digestible energy (DE) levels on growth rate and feed conversion in Experiments I and II.

Curves with marks of ○ and ● in the figures indicate those obtained from dietary lipid levels of 5% and 15%, respectively.

In Experiment I when comparing in the same dietary DE level growth rate and feed conversion in the fish fed diets containing 15% lipid were slightly better than those in the fish received 5% lipid. The same tendency was observed in the growth rate in Experiment II. However, the elevation of dietary DE levels by the addition of carbohydrate in each lipid level resulted in no improvement in growth and feed conversion.

化物の間接消化率を Table 3 に示した。飼育期間中の各区の摂餌量には大きな差はなかつた。PER と NPU の値をみると、PER は先に示した増重率の結果と同様、脂質 5% 添加区に比べ 15% 添加区でわずかに高い値が得られたが、NPU は実験 I および II において飼料の脂質含量あるいは DE 含量に関係なくほぼ同じ値を示した (Fig. 2)。このように、飼料の主なエネルギー源に炭水化物あるいは脂質のどちらを用いても DE が 320 から 460 kcal/100 g の範囲では成長、飼料効率および NPU に大きな差がないことがわかつた。脂質をそれぞれ 5%、10% および 15% 添加した実験 II の 7 区、14 区および 16 区の脂質の蓄積率を比較すると低脂質区ほど脂質の蓄積率が高く、ニジマスと同じ傾向²⁾ がみられた。しかし、PER、NPU あるいは飼料効率には差がなく、脂質の添加効果はあまり顕著でなかつた。先のニジマスの実験では脂質を添加し、飼料の DE 含量を高めると成長、飼料効率および NPU が著しく改善され、脂質の至適添加量は 18% 前後となつたが、この点、コイはニジマスと異なり、炭水化物をエネルギー源として利用する能力がニジマスより優れていることがうかがわれる。なお、大前¹³⁾は北洋魚粉、トラル酵母、デンプンなどより成るコイ用配合飼料ヘフィードオイルを 20-25% 添加し、50 g 前後のコイを飼育した結果、タンパク質含量を 40% から 30-35% へ減らしても、コイの成長はわずかしか低下せず、PER は著しく向上したと報告している。今回の実験とは魚の大きさや水温も異なるが、内臓に脂質が蓄

Table 3. Protein and lipid retained in the bodies, apparent digestibility of protein, carbohydrate and energy, protein efficiency ratio (PER) and net protein utilization (NPU)

Diet no.	Diet consumed (g)	Protein* ¹ retained (%)	Lipid* ¹ retained (%)	PER	NPU* ²	Apparent digestibility (%)		
						Protein	Carbo-hydrate	Energy
Experiment I* ³								
1	123.7	40.1	73.4	3.0	51.4	96.5	85.4	67.5
2	123.8	38.6	123.8	3.1	50.4	96.1	89.4	75.8
3	126.0	39.3	164.1	3.2	51.1	95.3	89.6	85.0
4	124.8	43.6	64.8	3.5	55.9	98.6	86.2	68.9
5	122.6	39.8	65.4	3.4	52.1	96.5	87.8	78.7
6	118.5	38.6	77.0	3.5	51.7	97.0	91.5	87.8
Experiment II* ³								
7	186.3	42.6	137.5	2.9	50.9	—	—	67.1
8	187.7	40.8	156.6	2.8	48.4	—	—	76.4
9	180.9	40.8	158.3	2.9	49.1	—	—	81.3
10	183.6	41.9	149.6	2.8	50.0	—	—	87.7
11	198.0	42.9	61.7	3.0	51.2	—	—	62.8
12	194.9	41.9	64.0	2.9	50.1	—	—	68.
13	193.0	41.5	68.0	3.1	49.9	—	—	71.2
14	194.4	39.5	74.0	3.0	47.8	—	—	78.5
15	197.0	40.2	82.1	3.0	48.5	—	—	87.4
16	181.5	38.9	94.5	3.1	47.5	—	—	73.9

*¹ $\frac{\text{Protein or Lipid increased}}{\text{Protein or Lipid intake}} \times 100.$

*² $\text{NPU} = \frac{(\text{Initial} + \text{Final}) / 2 (\text{Body weight g}) \times 14 \times 10^{-5} \times \text{days} + \text{Carcass-N increased (g)}}{\text{Protein-N consumed}} \times 100.$

*³ See the footnote of Table 2.

Fig. 2. Effect of dietary DE levels on the values for PER and NPU in Experiments I and II.

The signs of ○ and ● are the same as those illustrated in Fig. 1.

The value for PER was superior in the fish fed diets containing 15% lipid, but the value for NPU was almost constant, regardless of the lipid or DE contents in the diets, indicating that carp utilize effectively both carbohydrate and lipid as the dietary energy source.

積したことによる PER の向上とも考えられるので今後さらに検討する必要がある。また、最近 Channel catfish では魚のサイズによって DE/P 比が異なるとい

Fig. 3. Effect of dietary DE levels on the retention of protein and lipid in Experiment I.

The signs of ○ and ● are the same as those illustrated in Fig. 1.

The retention rate of protein in fish bodies was not affected by lipid or DE contents in the diets, but that of lipid significantly increased by elevating the DE content using carbohydrate in the fish receiving 5% lipid, suggesting the high rate of conversion of carbohydrate to body lipids in carp.

う報告¹²⁾もなされている。

実験 I におけるタンパク質と脂質の蓄積率を Fig. 3 に示した。タンパク質の蓄積率は先の NPU の値からも

Table 4. Proximate compositions of the experimental fish (%)

Diet no.	Whole body					Visceral lipid (%)
	Moisture	Protein	Lipid	Ash	Calorie (kcal/100g)	
Experiment I*						
Initial	78.5	13.8	5.3	2.4	—	—
1	77.9	13.5	4.7	2.7	—	—
2	77.7	13.2	5.8	2.6	—	—
3	76.5	13.1	6.5	2.4	—	—
4	76.2	13.2	7.1	2.4	—	—
5	75.6	12.9	7.2	2.4	—	—
6	75.4	12.5	7.6	2.5	—	—
Experiment II*						
Initial	80.8	13.6	2.9	—	102	—
7	77.9	14.2	5.8	—	128	10.5
8	76.7	14.3	6.7	—	141	12.9
9	76.9	13.9	6.5	—	139	12.9
10	76.3	14.4	6.4	—	139	14.4
11	76.4	14.1	7.2	—	142	15.4
12	75.3	14.0	8.5	—	146	19.2
13	75.5	13.7	7.6	—	143	16.9
14	74.9	13.2	8.2	—	148	20.7
15	75.1	13.6	9.1	—	152	19.0
16	76.7	13.1	7.3	—	141	15.4

* See the footnote of Table 2.

Fig. 4. Effect of dietary DE levels on proximate compositions of whole bodies in Experiments I and II.

The signs of ○ and ● are the same as those illustrated in Fig. 1.

Protein content of the whole bodies slightly decreased with an increase in the dietary DE content, but there was no difference in protein content between two groups fed diets containing respectively 5% or 15% lipid due to the difference of DE content. In the same dietary DE level the higher lipid content reflected by the lower moisture content was observed in the fish fed diets containing 15% lipid.

わかるように、脂質およびDE含量に関係なくほぼ同じ値を示した。一方、脂質の蓄積率は脂質5%添加区で、炭水化物を用いてDE含量を高めると著しく増加した。このことから、コイにおいては炭水化物から脂質へ転換がかなり行われるものと考えられる。

間接法で測定したタンパク質の消化率は飼料の脂質あるいは炭水化物の含量に関係なくいずれも95%以上と高い値を示した。炭水化物の消化率も飼料中の炭水化物含量に左右されず85%以上と高く、邱および荻野¹³⁾の報告とよく一致する。ニジマス³⁾と異なり、コイは炭水化物をよく利用することがわかる。なお、炭水化物含量が高い区で多少高い消化率が得られたが、これは用いたα-デンプンとデキストリンの消化率の違いによるものと思われる。なお、エネルギーの利用率は飼料中のセルロース含量に大きく左右された。

魚体の分析結果 全魚体の一般分析と内臓の脂質含量をTable 4およびFig. 4に示した。実験IおよびIIにおいて、全魚体のタンパク含量は飼料のDE含量の増加にともないわずかに減少したが、脂質5%と15%添加区に間に差はなかつた。脂質と水分含量をみると、脂質5%添加区に比べ15%添加区の方が魚体に脂質を多く蓄積し、水分含量は減少した。しかし、脂質5%および15%添加区とも飼料のDEが360 kcalまでは脂質含量の変化が比較的大きかつたが、その後460 kcal

まではあまり変化しなかつた。魚体 100 g 当りのエネルギー含量は魚体の脂質含量と同じ傾向を示し、蓄積脂肪の増加にともない増加した。なおコイは、ニジマスに比べ、水分含量が高く、タンパク質と脂質含量が低いため、魚体のエネルギー含量も低い値を示した。内臓の脂質含量も全魚体の場合と同様、飼料の DE 含量が同じならば脂質 15% 添加区の方が高かつた。

以上、飼料のタンパク質含量を一定にし、炭水化物あるいは脂質を用いて DE 含量を調整し、同じ DE 含量における炭水化物と脂質のエネルギー源としての有効性について検討したが、コイではどちらを主なエネルギー源に用いても成長に対する効果に差のないことが明らかとなった。また、コイはニジマスと異なり飼料に 5% から 15% の脂質を添加し、DE 含量を高めても成長、飼料効率および NPU はほとんど改善されず、脂質の添加効果は認められなかつた。さらに、DE 含量を 320 から 460 kcal に増加させても成長、飼料効率および各栄養素の利用率は改善されなかつた。なお、同じ DE 含量においてはエネルギー源として炭水化物よりも脂質を用いた方が全魚体および内臓に脂質を多く蓄積する傾向が認められた。

今回の結果より、コイ用飼料ではエネルギー源として脂質よりも炭水化物を用いた方が経済的であり、飼料の取扱いも容易であると考えられる。また、飼料の DE 含量もニジマスほど高める必要がないと推察された。今後、コイ用飼料における至適エネルギー含量および至適

エネルギー・タンパク質比を明らかにする予定である。

文 献

- 1) 竹内俊郎・渡辺 武・荻野珍吉: 日水誌, **44**, 677-681 (1978).
- 2) 竹内俊郎・渡辺 武・荻野珍吉: 日水誌, **44**, 683-688 (1978).
- 3) 竹内俊郎・横山雅仁・渡辺 武・荻野珍吉: 日水誌, **44**, 729-732 (1978).
- 4) 北御門 学・立野新光: 日水誌, **26**, 679-684 (1960).
- 5) S. KAWAI and S. IKEDA: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **37**, 333-337 (1976).
- 6) C. OGINO, J.Y. CHIOU, and T. TAKEUCHI: *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **42**, 313-218 (1976).
- 7) 竹内晶昭: 養魚と飼料脂質 (日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1978, pp. 112-122.
- 8) 荻野 珍吉・斉藤 邦男: 日水誌, **36**, 250-254 (1970).
- 9) A. E. BENDER and D. S. MILLER: *Biochem. J.*, **53**, vii (1953).
- 10) 福井作蔵: 還元糖の定量, 東京大学出版会, 東京, 1969, pp. 10-12.
- 11) 大前浩美: 魚類飼料研究報告書, (養魚飼料油脂研究会) pp. 1-31 (1974).
- 12) D. L. GARLING, JR. and R. P. WILSON: *J. Nutrition*, **106**, 1368-1375 (1976).
- 13) 邱 景雲・荻野 珍吉: 日水誌, **41**, 465-466 (1975).
- 14) J. E. HALVER and J. A. COATS: *Prog. Fish-Culturist*, **19**, 112-118 (1957).