コイ稚魚の成長および血液性状に及ぼす飼料の α 化率と可消化エネルギー含量の影響

鄭 寛 植, 竹内俊郎, 岡本信明, 渡邊 武

(1991 年 11 月 6 日受付)

The Effect of Dietary Gelatinized Ratios at Different Dietary Energy Levels on Growth and Characteristics of Blood in Carp Fingerlings

Kwan-Sik Jeong,* Toshio Takeuchi,* Nobuaki Okamoto,*
and Takeshi Watanabe*

In order to investigate the effect of dietary gelatinized ratio (GR) and digestible energy (DE) content on the growth and blood profile of carp, fingerlings (8.5 g on average) were fed low (DE: 253-393 kcal/100 g) or high (DE: 323-448 kcal/100 g) energy diets with different levels of GR adjusted using raw and extruded potato starch at a 40% level.

The growth was highest in fish fed on a low energy diet with 40% GR and a high energy diet with 20% GR. Daily feed consumption was inversely related to the dietary GR levels. Feed efficiency and protein efficiency ratio were improved by elevation of dietary GR at both energy levels.

The apparent digestibility of dietary lipid was not influenced by GR levels at low energy diets, but slightly by elevation of GR in high energy diets. On the other hand, the digestibility of starch and energy increased along with an increase a dietary GR levels in both the energy levels. Blood parameters were also affected by both dietary GR and energy levels.

A mixture of raw and gelatinized starch seemed to be suitable as a carbohydrate source in the diet for carp.

前報¹⁾で、ニジマスの成長および血液性状に及ぼす飼料の可消化エネルギー含量 (以下 DE と略記) と α 化率の影響について調べた結果、 α 化率の上昇に伴い飼料の栄養価が改善され、成長は α 化率が 40-80% の範囲で、飼料効率 40% 以上で最大に達することがわかった。また、各栄養素の消化吸収率および血液性状の結果から α 化率は飼料の消化速度に、さらには摂餌率に深く関与するものと推察された。一方、生 (β 型) デン粉単用飼料では脂質を用いて DE 含量を増加させても成長が改善されず、 β 型デン粉単用による何らかの悪影響が示唆された。

そこで本報では、ニジマスとは消化管の形態や食性の異なるコイを用い、 α 化率を調整した低エネルギーと高エネルギー飼料を作成し、魚の成長および血液性状に及ぼす飼料の DE 含量と α 化率の影響について検討した。さらにニジマスとの比較も行ったのでここに報告する。

実 験 方 法

飼育方法 供試魚のコイ *Cyprinus carpio* は、飼育実験開始前カゼイン飼料で 2 週間予備飼育を行い、正常に発育し健康と思われるものを選別し本実験に用いた。実験開始時に平均体重 8.5 g のコイを各区 20 尾ずつ 40 l ガラス製水槽に収容し、活性炭で残留塩素を除いた水道水を加温し、水温 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ の範囲内で毎分 500 ml 程度注水し、十分に通気しながら 7 週間の飼育試験を行った。給餌は 1 日 3 回 (9:30, 13:30, 17:30) とし、残餌がでないように注意しながら毎回飽食に至るまで与えた。

試験飼料 試験飼料の組成を Table 1 に示す。試験飼料のタンパク質源にはカゼインを用い、コイ用飼料の適正タンパク質含量 (31-32%) を満足するように飼料中に 35% 配合した。脂質源には大豆油を用い、低エネルギー飼料区 (大豆油 6%) と高エネルギー飼料区 (大豆油 13.5%) の 2 種類とし、それぞれに炭水化物源としてバ

* 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).

Table 1. Composition of the experimental diets for carp (%)

Ingredient	Low energy						High energy					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw potato starch	40	35	30	20	10	0	40	35	30	20	10	0
Extruded potato starch	0	5	10	20	30	40	0	5	10	20	30	40
Casein	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Soybean oil	6	6	6	6	6	6	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5
Vitamin mix.* ¹	1.0	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
Vitamin E (50% pure)	0.1											
Mineral mix.* ²	5.0											
Choline chloride	0.4											
Chromic oxide* ³	1.0	11.5	11.5	11.5	11.5	11.5	0	4	4	4	4	4
Cellulose	7.5											
CMC	4											
	0											
	0											
Nutrient content												
Moisture	6.6	6.1	5.9	6.6	6.8	7.4	7.1	7.0	7.3	10.4	10.4	9.8
Crude protein	33.5	32.3	32.6	32.2	31.5	31.2	33.5	32.8	33.6	31.5	31.0	30.2
Crude lipid	6.2	6.4	6.5	6.3	6.0	5.5	13.5	13.2	12.7	12.7	12.3	12.3
Crude starch	41.3	40.7	41.2	41.1	41.5	42.4	39.3	40.8	40.4	40.7	41.1	41.3
Crude ash	5.1	4.8	4.9	4.8	4.8	4.5	5.3	5.0	4.9	4.6	4.6	4.7
Gross energy* ⁴	470	469	472	472	466	460	510	507	506	491	487	486
Digestible energy* ⁴	253	305	328	353	374	393	323	367	405	399	424	448

*^{1,2} The composition is the same as that reported previously.²⁾*³ Cr₂O₃: Cellulose=1:1.*⁴ kcal/100 g diet.

レイショデンプン粉を用い、その配合割合は前報¹⁾のニジマスよりも10%高い40%レベルで生のβ型原料とエクストルーダー(Ex)処理しα化したα型原料をそれぞれ組み合わせ、6段階のα化率に調整した計12の試験区を設けた。なお、試験飼料の組成割合の調整にはセルロースを用いたがβ型単用飼料区では飼料成型のため、セルロースの替わりに粘結剤としてCMCを4%添加した。なお、その他の飼料原料や調餌方法、飼料および魚体の分析方法は前報²⁾に準じて行った。また、血液の分析には各区から5尾ずつ取り上げ採血し、血漿を用いた。分析項目については前報¹⁾と同様である。

結果および考察

飼育結果 7週間の飼育結果をTable 2およびFig. 1に示す。低エネルギー飼料区の成長はα化率の上昇に伴い改善されたが、α型単用飼料区における成長はむしろβ型単用飼料区よりも劣る結果を示した。また、低エネルギー飼料区と高エネルギー飼料区の成長はそれぞれのα化率が40%および20%までは改善されたが、α化率がそれ以上上昇しても成長が改善されず両エネルギー飼料区の成長は前報¹⁾のニジマスと異なる傾向を示した。しかし、飼料効率およびPERは低エネルギー飼料区のα化率92%区を除きα化率の上昇に伴い増加する傾向がみられた。また、両エネルギー飼料区の日間摂

餌率は、ニジマスと同様にβ型単用飼料区はα型単用飼料区に比較し高い摂餌率を示すとともにα化率の上昇に伴い減少した。先のコイにおける制限給餌の実験²⁾では、αデンプン単用区で優れた成長および飼料効率が得られたが、飽食給餌によりβデンプン単用区の方がαデンプン単用区よりも良い成長を示すことになり、古市ら³⁾の結果と類似していた。このように飼料α化率の違いによる日間摂餌率の増減が魚の成長と飼料効率を大きく左右した。

各栄養素の消化率 試験飼料中の脂質、デンプンおよびエネルギーの間接消化率をFig. 2に示す。低エネルギー飼料区の脂質の消化率は92%以上を示し、α化率による影響は見られなかった。高エネルギー飼料区の低α化率(7, 16, 34%)飼料区ではα化率の上昇に伴い消化率が84.5%から93.1%まで向上したが、α化率68%以上の飼料区では95%前後のほぼ一定の値を示した。このように、高エネルギー飼料区ではα化率の上昇に伴い脂質の消化率が改善されたが、この変動は前報¹⁾のニジマスと類似した結果を示し、飼料中のα化率が飼料の消化速度に深く関与しているものと考えられた。

一方、デンプンの消化率は両エネルギー飼料区ともα型単用飼料区では90%前後の高い値を示したが、α化率の低下に伴い消化率は20%台まで低下し、雑食性のコイにおいても肉食性のニジマスと同様に、β型デンプンの

Table 2. Results of a 7-week feeding trial in carp

Diet no.	Low energy						High energy					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Raw/Extruded Gelatinized ratio (%)	40/0	35/5	30/10	20/20	10/30	0/40	40/0	35/5	30/10	20/20	10/30	0/40
	9	11	32	58	78	92	7	16	34	68	78	92
Av. body wt. (g)* ¹												
Initial	8.5	8.5	8.6	8.5	8.7	8.5	8.6	8.6	8.5	8.5	8.5	8.6
±S.D.	±1.0	±1.2	±0.9	±1.1	±0.9	±0.8	±0.9	±1.5	±1.2	±1.3	±1.3	±1.0
Final	23.4	24.7	27.1	25.9	24.3	19.4	22.9	27.1	23.4	21.3	21.8	21.1
±S.D.	±4.7	±5.2	±6.3	±8.0	±9.8	±6.3	±6.2	±6.9	±5.8	±6.6	±8.3	±6.9
Gain (%)	173.9	191.2	213.2	205.9	180.4	129.1	166.7	215.1	174.3	151.8	154.8	152.7
FE (%) ^{*2}	73.8	72.6	81.2	90.6	93.8	78.0	69.6	80.6	85.2	80.6	87.1	88.5
PER ^{*3}	1.3	1.3	1.5	1.7	1.7	1.5	1.1	1.4	1.5	1.5	1.6	1.7
DE intake ^{*4}	39.7	49.6	45.9	45.2	45.3	56.3	53.3	53.5	55.9	56.2	56.0	60.3
DFC (%) ^{*5}	2.5	2.7	2.5	2.2	2.0	2.0	2.6	2.6	2.2	2.1	2.0	2.0

*¹ Mean ± S.D. (n=20).*² Feed efficiency (g gain/g feed).*³ Protein efficiency ratio.*⁴ kcal/100 g b.w. daily.*⁵ Daily feed consumption.

Fig. 1. Effect of the gelatinized ratio of low and high energy diets on percent gain, feed efficiency, and daily feed consumption in carp.

消化率は劣ると報告した邱・荻野⁴⁾の結果を裏付けた。また、両エネルギー飼料区のエネルギー消化率は脂質およびデンプンの消化率を反映し α 化率の上昇に伴い改善された (Fig. 2)。

飼料 DE 含量と成長および飼料効率との関係 飼料 DE 含量と成長および飼料効率との関係を Fig. 3 に示す。低エネルギー飼料区では 253 から 353 kcal/100 g まで、高エネルギー飼料区では 323 から 367 kcal/100 g まではそれぞれ α 化率の上昇に伴い DE 含量が増加し成長が改善されたが、その後は α 化率が上昇し DE 含量が増加すると成長はかえって低下した。一方、飼料効率は高エネルギー飼料区では DE 含量の増加に伴い改善される傾向を示した。このように、両エネルギー含量の飼料区においても、魚の成長および飼料効率は飼料 α 化

率に大きく左右され、低エネルギー飼料区の場合は α 化率が 40% 前後、高エネルギー飼料区の場合は 20% 前後で、また飼料 DE 含量としてはそれぞれ 320 および 360 kcal 前後で優れた成長を示すことが明らかになった。これらの結果はすでに竹内⁵⁾によって報告されているコイ用飼料の至適 DE 含量 (310-360 kcal) とほぼ一致している。また、ニジマスと同様に、同じ 320 kcal の飼料でも β デンプン単用飼料は成長、飼料効率が劣り、 β デンプンはコイに対しても悪影響をもたらすと推察された。

血液性状の変動 飼料 α 化率と摂餌 1 および 5 h 後のヘマトクリット値 (Ht)、血糖値 (Glu)、血中トリグリセリド値 (TG) およびコレステロール値 (T-CHO) との関係を図 4、5、6 および 7 にそれぞれ示す。摂餌 1

Fig. 2. Relationships between the gelatinized ratio of low and high energy diets and apparent digestibility of nutrients in carp.

Fig. 3. Relationships between the digestible energy contents of the diets and percent gain and feed efficiency.

および 5 h 後の Ht に対する飼料の α 化率あるいは飼料 DE 含量の影響は見られなかったが、両エネルギー飼料区の摂餌 5 h 後は摂餌 1 h 後より高い値を示した (Fig. 4)。

摂餌 1 h 後の血糖値は α 化率の上昇に伴い増加し、60% 前後で最大に達した後、多少低下した。一方、両エネルギー飼料区とも α 型単用飼料区の血糖値は摂餌 5 h 後でも高い値を示した (Fig. 5)。このようにコイの血糖値の変化はニジマスの場合と異なり、摂餌 1 h 後に著しく増加したが、これはコイが無胃魚であるためと、消化

管内のアミラーゼ活性が強く、速やかにデンプンが消化吸収されるためであると推察された。なお、両エネルギー飼料区とも高 α 化率飼料区 (78, 92%) では摂餌 1 h 後の血糖値は α 化率 40-60% 区に比べ低く、反対に 5 h 後で高くなった。これは後述するように高 α 化率飼料は消化管内での滞留時間が長くなる結果の現れであると推察された。

摂餌 1 h 後の血中 TG は両エネルギー飼料区とも α 化率による影響は認められなかった。しかし、摂餌 5 h 後の血中 TG は α 化率の上昇に伴い増加した。特に α 型単用飼料区での増加は顕著であった (Fig. 6)。

T-CHO の変動を見ると、低エネルギー飼料区の摂餌 1 h および 5 h 後の値は α 化率の上昇に伴い増加する傾向を示した。さらに、摂餌 5 h 後の値は α 型単用飼料区で高く TG と類似した結果を示した (Fig. 7)。

血中 TG はコレステロール、リン脂質、遊離脂肪酸とともに血中脂質の主体をなしており、経口的に摂取された脂質は腸から吸収された後、門脈から肝臓に入り、その後血液を通じ脂肪組織、末梢組織へそれぞれ運ばれて行くので、このような経時的な血中 TG および T-CHO の変動は飼料 α 化率に起因するものと考えられた。すなわち、 α 型飼料は β 型飼料に比べ消化管内の滞留時間が長いので、消化吸収時間が長くなることを示しているものと判断された。また、このことが高 α 化率飼料区での摂餌率が低かった原因の一つでもあると推察された。

一般に陸上哺乳動物の摂食行動は脳内の神経細胞の活動から、満腹感を感じさせ摂食を中止するのは単に胃の膨満感によるものでなく、基本的に脳の視床下部に存在する摂食中枢および満腹中枢と呼ばれる相反する二つの中枢により調節されていることが知られている。この摂

Fig. 4. Effect of the gelatinized ratio of diets on hematocrit (Ht) values 1 and 5 h after feeding.

Fig. 5. Effect of the gelatinized ratio of diets on plasma glucose (Glu) levels 1 and 5 h after feeding.

Fig. 6. Effect of the gelatinized ratio of diets on plasma triglyceride (TG) levels 1 and 5 h after feeding.

Fig. 7. Effect of the gelatinized ratio of diets on total plasma cholesterol (T-CHO) levels 1 and 5 h after feeding.

Table 3. Proximate composition of the whole body and muscle in carp (%)

Diet no.	Initial	Low energy						High energy					
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Whole body*													
Moisture	77.2	79.9	78.1	76.6	77.6	77.3	76.0	75.1	75.6	75.3	72.2	75.7	73.0
Crude protein	16.9	15.3	15.5	15.4	14.6	14.4	14.4	15.3	15.2	15.3	15.8	15.2	13.5
Crude lipid	4.7	3.6	3.6	5.8	6.1	6.3	6.3	5.3	7.4	8.4	9.4	7.2	10.7
Muscle*													
Moisture	80.7	81.3	81.5	80.6	80.7	79.9	79.8	80.1	80.3	80.4	80.3	80.0	80.6
Crude protein	18.3	17.6	17.9	17.8	17.9	18.2	18.2	18.4	17.3	18.1	18.0	17.7	17.7
Crude lipid	1.0	0.8	0.9	1.0	1.1	1.5	1.3	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4	1.2

* Pooled sample (n=5).

食中中枢興奮の化学機構として糖定常説, 脂肪定常説, リン酸化定常説があり, それぞれグルコース, 脂肪, タンパク質が関与しているとするもので, 現在のところ摂食調節の説明には糖定常説が有力とされている。その糖定常説とは視床下部内側核には糖受容細胞があり, グルコースの濃度を監視し, 血糖値が大きくなれば興奮し満腹感を味わせ, 摂食を抑制するというもの⁶⁾で, 魚類においても哺乳動物とはほぼ同様な調節機構が存在しているらしいことが報告⁷⁾されている。前回のニジマスおよび今回のコイの実験結果から, 摂餌後の血糖値および血中 TG の変動は魚の摂餌率に影響を及ぼしている可能性の強いことが示唆された。

魚体の分析結果 実験開始時および終了時における魚体の分析結果を Table 3 に示す。高エネルギー飼料区では 12 区を除き飼料 α 化率による全魚体および筋肉の水分, 粗タンパク質含量には明らかな変動は認められず, 前報¹⁾ のニジマスと同様な傾向がみられた。一方, 低エネルギー飼料区では全魚体で α 化率の上昇に伴い, 水分と粗タンパク質含量の低下がみられた。また, 粗脂肪含

量は両エネルギー飼料区とも全魚体で飼料 α 化率の上昇に伴い増加するとともに, 特に高エネルギー飼料区で顕著であった。筋肉の粗脂肪含量は一般に低いことから全魚体ほど顕著ではないが, 飼料 α 化率の上昇に伴い, 低エネルギー飼料区でわずかに増加した。このような粗脂肪含量の増加は α 化率の上昇による DE 含量の増加に起因するものと考えられた。

以上, β 型単用飼料区では飼料エネルギー含量を増加させてもコイの成長および飼料効率は改善されなかった。飼料効率は α 化率の上昇に伴う飼料 DE 含量の増加により改善されたが, 高 α 化率飼料区では α 化率が増加しても摂餌率が低下したために成長はかえって低下する傾向がみられた。このように α 化率の上昇による飼料の栄養価改善は, 前報^{1,3)} のニジマスやマダイと多少異なっていた。すなわち, マダイの場合, 飼料 α 化率が 50% 付近で成長および飼料効率がほぼ最大に達しているのに対し, コイの場合には低エネルギー飼料で 40% 前後 (DE 含量 320 kcal/100 g), 高エネルギー飼料で 20% 前後 (DE 含量 360 kcal/100 g) で最大の成長を示す放物

線を描いていた。さらに、ニジマス¹⁾では両魚種の間
の関係を示し、魚種間で差のあることが示唆された。こ
このことからコイの場合には飼料中のデンプンの形態は α
と β 型の混合が望ましいことがわかった。さらに無胃魚
のコイと有胃魚のニジマスでは消化管の形態および食性
が異なるにもかかわらず、両魚種において α 化率は消化
管内における飼料の滞留時間に大きな影響を及ぼしてい
ることがわかった。すなわち、 α 、 β 型デンプンの形態の違
いが、摂餌によって薄くなった消化管壁に物理的あるい
は化学的に異なった刺激を与え、消化管内の移動速度に
差を生じさせ、その結果、飼料の滞留時間および摂餌率
に影響を及ぼすものと推察される。この点については今
後さらに検討する必要がある。

文 献

- 1) 鄭 寛植, 竹内俊郎, 岡本信明, 渡邊 武: ニジマスの成長お

- よび血液性状に及ぼす飼料 α 化率と飼料エネルギー含量の影
響. 日本誌, 58, 937-944 (1992).
- 2) 竹内俊郎, 鄭 寛植, 渡邊 武: エクストルーダー処理した炭
水化物原料のニジマスおよびコイに対する有効性. 日本誌, 56,
1839-1845 (1970).
- 3) M. Furuichi, G. Ito and Y. Yone: Effect of β -starch on
growth, feed efficiency, and chemical components of liver,
muscle, and blood of carp and red sea bream. *Nippon*
Suisan Gakkaishi, 53, 1437-1442 (1987).
- 4) 邱 景雲, 荻野珍吉: コイにおけるでん粉の消化率について.
日本誌, 41, 465-466 (1975).
- 5) 竹内俊郎, 渡邊 武, 荻野珍吉: コイ用飼料の至適エネ ルギ
ー・タンパク質比. 日本誌, 45, 983-987 (1979).
- 6) 大村 裕, 山辺和俊: 現代の行動生物学 2, 摂食行動のメカニ
ズム (森田弘道, 久保田競編). 産業図書, 東京, 1982, pp. 1-
25.
- 7) R. E. Peter: The brain and feed behavior. in "Fish
Physiology" (eds. by W. S. Hoar, D. J. Randall, and J.
R. Brett), Vol. 8, Academic Press, N. Y., 1979, pp. 121-
159.
- 8) 鄭 寛植, 竹内俊郎, 渡邊 武: エクストルーダー処理した炭
水化物原料のマダイに対する栄養価. 日本誌, 57, 1543-1549
(1991).