

## 低リン飼料開発委託試験結果報告（平成9年度～12年度）総括集

本総括集は霞ヶ浦における網生簀コイ養殖によるリン負荷量を低減するため、リン利用率の高い「低リン飼料」の開発を目的として、茨城県が霞ヶ浦北浦養殖業等対策事業（平成9～12年度の4ヶ年事業）で東京水産大学（資源育成学科 渡邊 武教授）に開発試験を委託し、提出された4ヶ年の結果報告を以下に掲載した。

渡邊 武教授におかれましては4年間に渡り同開発研究に多大なる御尽力いただき、深く感謝いたします。

### 研究目的及び内容

現在市販されているコイ養殖用飼料について、汚濁負荷の原因となる排泄リンを低減するため、飼料原料組成、試料製法等を検討し、飼料中のリン利用率の高い改善飼料を開発する。なお、開発に当たっては飼料効率及び価格の現状維持が図られるものとする。

## 低リン飼料開発試験

東京水産大学 渡邊 武

### 〔平成9年度報告書〕

#### はじめに

霞ヶ浦コイ養殖による汚濁負荷軽減に関しては、すでに昭和57~62年の6年間に渡り実施された「養魚飼料改善開発試験」によって窒素(N)負荷削減飼料の開発に成功しており、従来の市販飼料によるN負荷量の22~36%の軽減に役立っている。また、同開発試験においてN排泄量と飼料中の有効リン(P)との関係を調べた結果、有効P含量が0.6~0.7%以下になるとN排泄量が1.4~2.0倍増加することことを明らかにした。すなわち、N排泄量が効果的に削減されるためには飼料にコイのP要求量を満たす量の有効Pが含まれる必要がある。さらに、コイに対する飼料中の有効P含量は分別抽出法における水溶性画分に含まれるP量にほぼ匹敵することも報告した。

今回の低P飼料開発試験ではコイ養殖から環境水へ負荷されるP量を低減するための低P負荷飼料の開発を目的としている。その方策としては次の3つの項目が考えられる。

1. 飼料中の総P含量の削減：飼料原料の魚粉などにはコイに利用されないP（主に硬組織由来の第3リン酸カルシウム）が多量に含有されているため、代替タンパク質原料を用いて魚粉の配合率を低減する。
2. 飼料へのリン添加量の削減：各飼料原料中に含まれるコイに対して有効なP量を測定し、配合設計から総有効P量を算出し、P要求量（0.6~0.7%）に不足する分だけ有効Pを添加する。
3. 飼料原料に含まれる各種リン酸化合物中のリンの利用性改善：植物性原料、例えば大豆油粕などに存在す

るフィチン態Pの利用性を改善するため、飼料にフィターゼなどの酵素を添加するあるいはエクストルーダ処理を施す。

平成9年度はこれらの方策による試験を実施する前に、霞ヶ浦コイ養殖による環境水へのP負荷量の実態調査を目的に、市販飼料給餌によるP負荷量の推定を行った。

### 材料及び方法

#### 試験飼料

平成8年度に霞ヶ浦コイ養殖用に使用された市販飼料10種類（飼料メーカー10社分）を茨城県内水面水産試験場に依頼しサンプリングしていただき、そのうちの6飼料を試験に供した。これらの市販飼料をそれぞれ飼料A,B,C,D,EおよびFとした。各市販飼料の一般成分値をTable 1に示した。粗タンパク質含量は6社のうち5社はいずれも35%以下で、霞ヶ浦条例を満足していた。飼料中の総P含量は1.1~2.1%の範囲にあり、飼料間で大きな差がみられた。飼料中Pの吸収率を間接法により測定するため、各飼料を粉碎し、標識物として酸化クロムを約0.5%、粘結剤として $\alpha$ -デンプンを5%添加し、よく混合した後水を加えて練り上げ、ガーリックプレスでペレットに成型し乾燥したものを試験飼料とした。その一般組成をTable 1に示す。元の市販飼料と多少差があるのはデンプンを加えたためと、水分含量が異なるためである。飼料の総エネルギー含量は4.3~4.6kcal/gで、飼料間で大差なかったが、エネルギーの吸収率を80%前後とすればいずれの飼料も可消化エネルギー(DE)含量が340kcal/100gとなり、霞ヶ浦コイ養殖用飼料の規格をクリアするものであった。

## 飼育試験

各市販飼料の栄養価と飼料Pの吸収率ならびに魚体におけるPの蓄積率を調べるため飼育実験を行った。予備飼育した平均体重12.3~13.0gの稚魚を60L容ガラス製水槽に25尾ずつ収容し、各区2水槽を設定した。飼育試験は12週間を予定したが、市販飼料の不足のため4週間とした。給餌は1日3回、週6日とし、毎回ほぼ飽食量を与えた。飼育期間中の水温は23~25℃であった。飼育試験開始後5日目から採糞を開始し、必要量が確保できるまで数日間継続した。採糞装置および採糞法は既報に準じた。

## 分析方法

飼料および魚体のPおよび一般組成の分析ならびに酸化クロムの定量および間接法による消化吸収率の計算方法は既報に準じた。本研究では飼料Pのコイに対する有効性は、1) 分別抽出法における水溶性画分、2) 間接法による吸収率、および3) 魚体におけるP蓄積率から推定した。分別抽出法についてはすでに養魚飼料改善開発試験-IV (1986) にて報告した。

## 結果および考察

### 分別抽出法で測定した飼料中の有効リン含量

分別抽出法において水抽出されるPはコイに吸収されるPとしてみなすことができることはすでに報告したとおりである。各市販飼料中の水溶性P含量はTable 2に記載したように総Pの25.9~35.8%の範囲にあり、総P含量と同様各社で異なり、飼料P含量との相関はみられなかった。飼料中の有効P含有は0.29~0.75%となり、飼料AおよびDのみがコイのP要求量(0.6~0.7%)を満たしており、他の飼料ではいずれも要求量以下で、これらの飼料を給餌したコイでは飼育成績が劣り、N排泄量も増加するものと推察される。

### 間接法で測定した飼料リンの吸収率

飼育開始後5日目から採糞を開始し、採取した糞を用いて測定したP吸収率(25.9~35.8%)をTable 2に示す。

分別抽出法の水抽出から求めた値と比較的近い値が得られており、コイにおけるP吸収率は水溶性画分に含まれるP量から求められることが確認された。今後はコイに対する飼料中の有効Pを調べる場合には水抽出法を採用できるものと考えられる。

### 魚体における飼料リンの蓄積率

各試験飼料を与えたときの魚体におけるP蓄積率はTable 2に示したとおりである。水抽出法および間接法で求めた値より全般に低く、20.3~34.2%の範囲であった。飼料中の有効P含量との相関はみられず、吸収されたPのうち約63~93%のPが体内に保留されたことになる。陸上動物で観察されているように一度吸収されたPが再び消化管内へ排泄されるのか、あるいは鰓を通して排泄される可能性が考えられる。この点に関してはさらに詳細な検討が必要であろう。しかし、吸収されたPのうち体内に保留されなかったPは対外に排泄されるわけで、環境水へのP負荷量の算定には蓄積率の数値を用いるべきであろう。事実、実用的にはNやPの負荷量の算定には総NおよびP給荷量マイナスNおよびP蓄積量が用いられている。

### 飼育成績

試験飼料による4週間の飼育成績をTable 3に示す。増重率(GR)は76.5~146.1%で、有効P含量が0.29%と最も低かった飼料Fで成長が最も劣った。有効P含量がコイの要求量を満足していた飼料AおよびDではそれぞれ127.0%および146.1%と増重率が優れていた。増肉係数(FGR)はいずれも1.4以下であったが、増重率と同様に飼料AおよびDで優れており、それぞれ0.92および0.83であった。また、タンパク質効率(PER)も飼料AおよびDで3.3および3.5と高く、これらの飼料のタンパク質が効率よく利用されていたことが推察される。他の飼料では2.4~2.6と低く、タンパク質の利用効率が劣り、N排泄量も高くなっているものと考えられる。現在、霞ヶ浦コイ養殖において使用されている市販飼料の品質には大きなバラツキがあることを示すものである。

## 魚体の分析結果

飼育終了時の全魚体の一般分析の結果をTable 4に示す。粗タンパク質含量は14.5～15.4%の範囲にあり、試験区間で大差なかった。粗脂肪含量は有効P含量の少なかった飼料EおよびFで、特に飼料Fで7.1%と他区と比べて高く、コイにおけるP欠乏の典型的な症状を示していた。粗脂肪含量の高い分、水分含量が低い値になっていた。

## コイ養殖によるリン負荷量の算定

各飼料の増肉係数と水抽出法による有効P含量、P吸収率およびP蓄積率から算出した総P負荷量(T-P) (kg/t生産量)をTable 5に示した。P吸収率に基づくT-Pは9.1～16.2 (平均12.1)、水溶性画分のPから計算したT-Pは9.0～16.8 (平均12.5)で、両者の値は比較的よく一致した。一方、魚体におけるP蓄積量から算出したT-Pは9.1～18.8 (平均13.6)であり、前者の値より10%程度高い値が測定された。前述したように、給餌した総P

量のうち魚体に蓄積されなかったPは環境水中に負荷されると考えられるので、T-Nの場合と同様、実用的なT-Pの計算にはP蓄積量を用いるべきであろう。

現在、霞ヶ浦で使用されている市販飼料によるT-Pは9.1～18.8 (平均13.6)で、飼料間で大きな差がみられ、正確な負荷量を計算するには各市販飼料の使用量に関するデータが必要である。また、今回試験に使用した市販飼料の増肉係数は0.83～1.26 (平均1.09)でかなり効率の良い飼料であった。茨城県内水面水産試験場の資料では平均増肉係数を1.4とし、飼料中の有効P含量に基づいて算出したT-Pは12.3と報告されている。今回の場合も増肉係数を1.4、飼料の平均P含量を1.7%、平均P蓄積率を24.1%とするとT-Pは18.1でかなり高い負荷量になる。増肉係数の差は主に水槽実験と生け簀飼育による相違と考えられるが、さらに資料の集積が必要である。

以上、今回の試験では霞ヶ浦におけるコイ養殖から負荷される総P量はコイ1トンの生産量当たり9.1～18.8kgの範囲にあり、平均で13.6kgであった。

Table 1. Proximate compositions of commercial and experimental carp diets (%)

	Diet					
	A	B	C	D	E	F
<i>Commercial diets</i>						
Crude protein	34.1	36.6	34.6	34.9	32.4	34.8
Crude lipid	8.6	5.8	7.2	11.3	6.7	9.4
Crude ash	11.0	10.1	9.7	10.0	8.3	7.1
Moisture	9.2	10.0	10.4	8.6	9.1	8.2
<i>Experimental diets</i>						
Crude protein	32.6	32.7	34.6	35.1	37.0	34.5
Crude lipid	8.8	7.6	6.8	10.6	6.4	9.4
Crude ash	10.7	10.2	10.3	10.5	9.3	7.8
Moisture	4.0	4.5	4.5	3.3	3.3	3.4
Phosphorus	2.1	1.9	1.7	1.7	1.5	1.1
Gross energy (kcal/g)	4.3	4.4	4.4	4.6	4.5	4.6

Table 2. Available phosphorus (P) contents in the commercial carp diets based on P in Fr. 1 and absorption and retention of P in carp

Diet	Fr.1		Absorption		Retention	
	% of total dietary P	Av. P (%)	% of total dietary P	Av. P (%)	% of total dietary P	Av. P (%)
A	35.8	0.8	37.3	0.8	25.9	0.5
B	30.0	0.6	31.5	0.6	20.3	0.4
C	25.9	0.5	26.9	0.5	21.0	0.4
D	35.1	0.6	36.7	0.6	34.2	0.6
E	28.5	0.4	30.8	0.5	22.2	0.3
F	27.1	0.3	32.5	0.4	20.4	0.2

Table 3. Four weeks feeding performance of common carp fed experimental diets

Diet	Average body weight (g)		GR <sup>*1</sup>	FGR <sup>*2</sup>	DFC <sup>*3</sup>	PER <sup>*4</sup>
	Initial	Final	(%)		(%)	(%)
A	12.8	29.1	127.0	0.92	3.0	3.3
B	12.6	23.6	87.1	1.22	3.1	2.5
C	12.3	24.1	96.7	1.23	3.3	2.4
D	12.7	31.3	146.1	0.83	2.9	3.5
E	12.5	25.4	103.7	1.05	3.0	2.6
F	12.9	22.7	76.5	1.26	2.9	2.3

\*1 GR = Growth rate.

\*2 FGR = Feed/gain ratio.

\*3 DFC = Daily feed consumption.

\*4 PER = Protein efficiency ratio.

Table 4. Proximate compositions of whole body of carp fed experimental diets (%)

	Diet						
	Initial	A	B	C	D	E	F
Crude protein	14.1	14.5	14.4	15	15.4	15.4	15.2
Crude lipid	3.2	4.2	3.8	4.5	4.1	5.3	7.1
Crude ash	2.7	2.6	2.4	2.3	2.3	2.4	2.2
Moisture	79.2	78.4	79	78.1	77.4	76.5	75.5

Table 5. Environmental phosphorus loading from carp based on availability of P in the experimental carp diets

Diet	T-P (kg/t production) based on		
	Fr.1	Absorption	Retention
A	12.4	12.1	14.3
B	16.8	16.2	18.8
C	15.8	15.6	16.7
D	9.0	8.8	9.1
E	11.0	10.7	12.0
F	9.8	9.1	10.7

## [平成10年度報告書]

### はじめに

平成9年度は低リン飼料開発に必要な基礎資料の集積を目的に霞ヶ浦におけるコイ養殖から負荷される総リン量の現状把握を行った。そのため霞ヶ浦コイ養殖において平成8年度に使用された市販飼料10種類のうち6種類についてリン負荷量を測定した。その結果、魚休におけるリン蓄積率から算出した総リン負荷量はコイ1トンの生産量当たり9.1~18.8kgの範囲にあり、平均で13.6kgであった。

平成10年度は平成9年度に引き続き市販飼料によるリン負荷量の把握につとめるとともに下記のような低リン飼料開発に必要な基礎的実験を実施した。

#### 1. 市販飼料によるリン負荷量の測定

平成9年度に霞ヶ浦コイ養殖において使用された市販飼料について前年度と同様、リン負荷量の現状を把握する。

#### 2. 各飼料原料中の総リンおよび有効リン含量の測定

コイ用市販飼料に配合されている各種飼料原料（魚粉、大豆油粕、ミートミール、血粉、脱脂米糠、ライムギ、小麦粉、etc）中の総リンおよび有効リン含量を水抽出法により測定し、低リン飼料の配合設計に応用する。

#### 3. 低リン負荷飼料の試作試験

飼料中の魚粉含量とリン負荷量との関係を明らかにするとともに実用原料を用いて試作した低リン飼料で飼育実験を行い、リン負荷量を測定する。

市販飼料によるリンおよび窒素負荷量の測定は現在も継続中なので、平成10年度は実験2および3の結果について報告する。

### 飼料中の魚粉含量がリン負荷量に及ぼす影響

養魚用飼料では現在でも魚粉が主要原料の位置を占めており、平均配合率が約55%と、畜産用飼料の1.1%と比べて著しく高い。市販のコイ用飼料では他の魚種より

は低い、それでも30%前後の配合率と推定される。魚粉には骨などの硬組織由来のヒドロキシリン灰石（主成分は第三リン酸カルシウム）が多量に含まれ、リンとして2~4%に相当する。しかし、無胃魚で胃液の分泌がないコイでは、第三リン酸カルシウムが溶解されず、その吸収率は有胃魚に比べると著しく低く、ほとんど利用されないといえる。そのため、コイでは飼料中の魚粉含量がリンの排泄量を大きく左右することとなる。

現在、市販のコイ用飼料には30%前後の魚粉が配合されていると推定される（飼料メーカー数社からの情報）。そこで、この魚粉含量を低減することによりリンの排泄量をどの程度削減できるか検討することとした。また、リンの排泄量を削減するためには飼料原料に含まれる有効リン量を明らかにし、配合組成からの原料由来の有効リン量を計算し、不足するリンを飼料に添加し、過剰なリンの添加を抑制することが重要である。そこで本実験では試験飼料の作製に必要な原料に含まれる有効リン量も併せて測定した。なお、今回は窒素の負荷量も算出した。

## 材料及び方法

### 試験飼料

試験飼料の作成に使用した各原料（魚粉、血粉、大豆油粕、小麦粉、ライムギ）の一般化学組成、総リン含量および水抽出法によって測定した有効リン含量をTable 1に示した。飼料中の魚粉含量を減少させるため代替タンパク質源として血粉および大豆油粕を用いたが、前者はタンパク質含量が89%と非常に高く、リン含量が0.2%と低い、そのうち有効リンが70%と優れている。後者はタンパク質含量が44%と低く、総リン含量が3%と魚粉並に高く、有効リンが10%と低いのが特徴である。また、血粉はメチオニンとイソロイシンが、大豆油粕はメチオニンが不足している。ライムギも総リン含量が2.6%と魚粉と同じ程度であるが、有効リンは20%と魚粉の2倍となっている。

試験飼料の配合組成と一般成分値および各飼料の有効リン（水抽出法）含量をTable 2に示した。現在、市販

のコイ用飼料の魚粉含量は30%前後と推察されるので、魚粉を30%配合した飼料 (F<sub>30</sub>) を対照区とし、試験飼料では魚粉を25, 20, 15および10% (F<sub>25</sub>, F<sub>20</sub>, F<sub>15</sub>およびF<sub>10</sub>) に低減し、タンパク質含量の調整には血粉および大豆油粕を用いてそれぞれ4.0~12.0%および5.5~12.0%の割合で配合した。その他、小麦粉を45~49%, ライムギを3.5~8.5%配合した。

油脂源にはコイの必須脂肪酸要求を満足する牛脂と大豆油の混合油 (3:2) を用いた。

各飼料原料由来の有効リンではコイの要求量 (0.6~0.7) を下回るため、不足する量を第一リン酸ナトリウムを添加して充足した。なお、タンパク質やリンの消化吸収率を間接法により測定するため酸化クロムを0.5%添加した。

試験飼料はいずれも霞ヶ浦条例 (粗タンパク質35%以下, 可消化エネルギー3.5kcal/g以上) を満足するように調製したので、粗タンパク質含量は約35%, 可消化エネルギー含量は3.8~3.9kcal/gであった。粗脂肪含量にも差がなかったが、粗灰分含量は飼料中の魚粉含量に比例して増加した。飼料の総リン含量も同様で、魚粉10% (F<sub>10</sub>) 区で0.9%, 30% (F<sub>30</sub>) 区で1.4%へ増加した。有効リン含量は0.55~0.75%で、魚粉10%区でコイの要求量をやや下回る値となった。

#### 飼育試験

魚粉含量の異なる試験飼料の性能、リンおよび窒素の排泄量の測定に必要なリンおよび窒素の吸収率および魚体における蓄積率を調べるため、飼育試験を実施した。試験開始前約3ヶ月間市販のコイ用飼料で予備飼育した平均体重 $2.2 \pm 0.3$ gのコイ稚魚を60L容水槽に50尾づつ収容 (1試験区, 2群宛) した。選別した残りの魚から25尾を試験開始時の魚体分析に供した。飼育試験は12週間とし、給餌は1日3回, 週6日とし, 毎回ほぼ飽食量を与えた。飼育期間中の水温は $20.0 \pm 1.6$ °Cであった。各区の魚の体重は4週間毎に測定し, 採糞は飼育開始後8週目から開始し, 分析に必要なサンプル量が確保できるまで数日間継続した。採糞装置および採糞法は既報に

準じた。

#### 分析方法

飼料および魚体のリンおよび一般分析ならびに酸化クロムの定量および間接法によるリン, 窒素およびエネルギーの消化吸収率計算方法は既報に準じた。本研究では, 前回と同様, 飼料リンのコイに対する有効性は, 1) 分別抽出法における水溶性画分, 2) 間接法による吸収率, および 3) 魚体におけるリン蓄積率, から推定した。分別抽出法についてはすでに養魚飼料改善開発試験-VI (1986)にて報告した。

#### 結果および考察

##### 飼育成績

飼育成績および飼育期間中の体重の推移をそれぞれTable 3およびFig.1に示した。試験飼料の摂餌性はいずれも優れており, 血粉および大豆油粕の配合による影響はみられなかった。各区とも順調な成育を示し, 魚粉25%配合のF<sub>25</sub>区で最も高い増重 (2296%) が得られ, 増肉係数も0.96と優れていた。次いで, 魚粉30%および20%のF<sub>30</sub>区, F<sub>20</sub>区ではほぼ同じ飼育成績が得られた。魚粉配合率10%のF<sub>10</sub>区では他区より成績が劣ったが, これは前述したようにF<sub>10</sub>飼料では有効リン含量がコイの要求量を下回っていたためと推察される。しかし, 増重および増肉係数 (1.14) などは市販飼料よりかなり優れていた。飼料のタンパク質効率にも同じ傾向がみられ, F<sub>25</sub>区で2.99, F<sub>10</sub>区で2.51と, 全体に優れた値が得られ, すべての試験飼料の栄養価が高かったことと思われる。しかし, 成長, 増肉係数, タンパク質効率は飼料の魚粉含量に比例しており, 代替タンパク質源として配合した血粉と大豆油粕の栄養価が魚粉より劣ることを示している。その結果, 後述するように窒素の排出量には魚粉含量と逆の相関がみられた。

以上のように, いずれの試験飼料も優れた飼育成績を示したが, 特に魚粉含量を25および20%に削減したF<sub>25</sub>およびF<sub>20</sub>飼料は魚粉の30%のF<sub>30</sub>飼料とほぼ同様の性能



を有することが明らかとなった。これらの結果は、コイ用飼料の魚粉配合率を現状の30%~20%程度に低減できることを示している。また、魚粉代替原料として血粉と大豆豆粕の数%ずつの併用が有効であることがわかった。

#### 飼料中のリンおよび窒素の吸収率および蓄積率

間接法で測定したリンおよびタンパク質の消化吸収率ならびに蓄積率をTable 4に示した。間接法で測定したリンの吸収率は従来通り水抽出法で求めた値と良く一致している。前述したように、吸収率は飼料中の魚粉含量の影響を受け、増加するに従い低下した。魚粉を15%以上配合した飼料ではコイの要求量を充足する有効リンが含まれていたが、魚粉10%飼料では0.54%とやや下回る量であった。この区では吸収率が総リンの61%と高いが、F<sub>30</sub>飼料では46%へ低下した。

リン蓄積率もF<sub>10</sub>飼料区で約41%と高く、吸収したリンの約67%が体内に保留された。他の試験区でも30~36%の吸収率で、そのうち62~70%が保留されている。リン蓄積率は間接法で求めた値より15~20%程度低いが、吸収された後一部は再び消化管へ、あるいは鰓や腎臓から排泄されるものと推察される。そのため、先に報告したようにリン負荷量の算定には蓄積率を採用すべきであろう。

各飼料のタンパク質の消化吸収率は92~94%で、魚粉の配合割合にかかわらず高い値が得られ、血粉および大豆豆粕タンパク質の消化吸収率が魚粉と同様、高いことがうかがわれる。ニジマスやコイで報告されている値と良く一致している。魚体における窒素の蓄積率は、魚粉配合率20~30%区では40~42%で大差なかったが、10~15%配合区ではやや劣り、血粉および大豆豆粕タンパク質の栄養価が魚粉より劣ることを示している。

#### 魚体分析の結果

試験終了時における全魚体の一般分析の結果およびエネルギー含量をTable 5に示した。飼育開始時に比較して、各区とも成長に伴い水分が減少し粗タンパク質および粗脂肪含量が増加している。魚粉含量が10%のF<sub>10</sub>区では有効リンの不足による粗脂肪含量の増加が顕著であ

った。典型的なリン欠乏症の一つである。総リン含量もこの区ではやや低い傾向がみられる。エネルギー含量はF<sub>10</sub>区で粗脂肪含量の増加により他区より高い値となっていた。

#### リンおよび窒素の負荷量

各試験飼料の増肉係数と水抽出法による有効リン含量、リン吸収率およびリン蓄積率から算出した総リン負荷量(T-P)(kg/t生産量)ならびに増肉係数と窒素蓄積率から計算した総窒素負荷量(T-N)(kg/t生産量)をTable 6に示した。

先に報告したように、水抽出法と間接法による値は良く一致する。これらの値は蓄積率から求めた値より20~30%程低いが、飼料中の魚粉含量の減少に伴い低下している。蓄積率から算出したT-Pは魚粉30%のF<sub>30</sub>区で9.6、10%のF<sub>10</sub>区で5.9となり、飼料中の魚粉含量の削減により効果的に低減できることがわかった。先に報告(平成9年度)したように、市販飼料ではT-Pが飼料間で大きく変動し、9.1~13.6(平均13.6)の範囲にあり、平成10年度の調査でも同様の結果が得られている。魚粉を代替原料で置換することにより、現在の負荷量を5.9~9.6に軽減できることが明らかとなったが、飼育成績や後述するT-Nなどの観点から当面は魚粉の配合割合が20~25%程度の飼料がT-Pの削減に有効であると判断された。

T-Pは上述した魚体における窒素蓄積率を反映しており、蓄積率の高かったF<sub>25</sub>およびF<sub>30</sub>区では約32、低かったF<sub>10</sub>区では約43であった。魚粉10%のF<sub>10</sub>区では43と高い値が得られたが、霞ヶ浦における平均負荷量(45kg/t生産量)を下回っている。また、この区の増肉係数が1.14であることを考慮すると魚粉10%飼料を使用することも可能であるが、今回の試験結果としては魚粉20~25%程度が適当であると考えられる。

以上のように、コイでは飼料の魚粉含量とT-Pには密接な相関があり、代替タンパク質を利用して魚粉の配合割合を削減することによりT-Pを効果的に軽減できることが明らかとなった。今回は代替原料として血粉と大豆豆粕を併用したが、今後はより安価な原料を探索し、さらにT-Pを減らす努力が必要であろう。

**Table 1.** Nutrient contents of the ingredients used for the experimental diets

Ingredients	Proximate composition (%)				Total P (%)	Water extractable P	
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash		(% in sample)	(% of total P)
Fish meal (Jack mackerel meal)	8.3	68.0	8.7	14.7	2.7	0.3	10.4
Blood meal	7.0	89.0	1.5	2.2	0.2	0.1	70.0
Defatted soybean meal	10.4	44.3	2.6	5.9	3.0	0.3	10.2
Wheat flour	12.0	19.6	5.7	3.1	0.6	0.2	23.4
Rye	8.3	10.6	2.2	1.8	2.6	0.6	21.8

**Table 2.** Composition and nutrient contents of the experimental diets (%)

Ingredients	Diets				
	F <sub>10</sub>	F <sub>15</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>25</sub>	F <sub>30</sub>
Fish meal (Jack mackerel meal)	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
Blood meal	12.0	10.0	8.0	4.0	3.0
Defatted soybean meal	12.0	10.0	5.5	5.5	0.0
Wheat flour	49.0	45.0	45.0	47.0	45.0
Rye	3.5	5.5	7.5	5.0	8.5
Feed oil <sup>*1</sup>	8.0	8.0	7.5	7.5	7.0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	2.1	2.9	2.9	2.8	3.0
Chromium oxide (Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) mix <sup>*2</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
P-free mineral mixture	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Others <sup>*3</sup>	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
<b><i>Nutrient contents (%)</i></b>					
Moisture	4.1	4.0	4.1	4.0	4.0
Crude protein	34.8	34.7	34.7	34.8	34.7
Crude lipid	11.7	11.8	11.6	11.7	11.7
Crude ash	5.0	6.0	6.5	6.9	7.5
Methionine (% of protein)	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6
Gross energy (kcal/g diet)	4.7	4.7	4.6	4.6	4.6
Digestible energy (kcal/g diet)	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8
Total P	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4
Water extractable P					
% of diet	0.55	0.70	0.66	0.65	0.66
% of total dietary P	64.0	61.9	53.7	50.8	46.5

<sup>\*1</sup> Beef tallow : soybean oil = 3 : 2 v/v. <sup>\*2</sup> Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : dextrin = 1 : 1 w/w.

<sup>\*3</sup> Vit. mix: 1.5%, vit. E (50%): 0.1%, choline chloride: 0.5%.

**Table 3.** Results of the 12 week feeding of carp with the experimental diets containing different levels of fish meal<sup>\*1</sup>

	Diet group				
	F <sub>10</sub>	F <sub>15</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>25</sub>	F <sub>30</sub>
Initial body weight (g) <sup>*2</sup>	2.2 ± 0.1	2.3 ± 0.1	2.3 ± 0.2	2.3 ± 0.1	2.2 ± 0.2
Final body weight (g) <sup>*2</sup>	43.4 ± 12.0 <sup>d</sup>	46.1 ± 11.7 <sup>c</sup>	48.1 ± 10.5 <sup>bc</sup>	55.1 ± 10.5 <sup>a</sup>	49.4 ± 12.6 <sup>b</sup>
Percent body weight gain	1872.7 <sup>c</sup>	1904.3 <sup>c</sup>	1991.3 <sup>bc</sup>	2295.7 <sup>a</sup>	2145.5 <sup>b</sup>
Daily feed consumption (%)	2.87 <sup>a</sup>	2.63 <sup>ab</sup>	2.60 <sup>ab</sup>	2.46 <sup>b</sup>	2.46 <sup>b</sup>
Feed / gain ratio	1.14 <sup>a</sup>	1.05 <sup>b</sup>	1.03 <sup>bc</sup>	0.96 <sup>d</sup>	0.97 <sup>cd</sup>
Protein efficiency ratio	2.51 <sup>d</sup>	2.76 <sup>c</sup>	2.80 <sup>bc</sup>	2.99 <sup>a</sup>	2.98 <sup>ab</sup>

<sup>\*1</sup>Data represent the average value of duplicate groups. <sup>\*2</sup>Mean ± SD, n = 50.

Values within the same row not sharing common superscript letters are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 4.** Absorption and retention rates of dietary P and N in carp fed the experimental diets

Diet group	P absorption rate		P retention rate		Digestibility of protein (%)	N retention rate (%)
	% of total dietary P	Available P in diet (%)	% of total dietary P	% of absorbed P		
F <sub>10</sub>	60.5	0.54	40.8	67.4	94.2	36.0
F <sub>15</sub>	58.1	0.67	35.8	61.6	93.7	37.6
F <sub>20</sub>	53.2	0.67	33.0	61.9	92.7	40.0
F <sub>25</sub>	50.0	0.65	35.3	70.5	93.8	42.3
F <sub>30</sub>	46.1	0.66	30.0	65.0	91.9	41.5

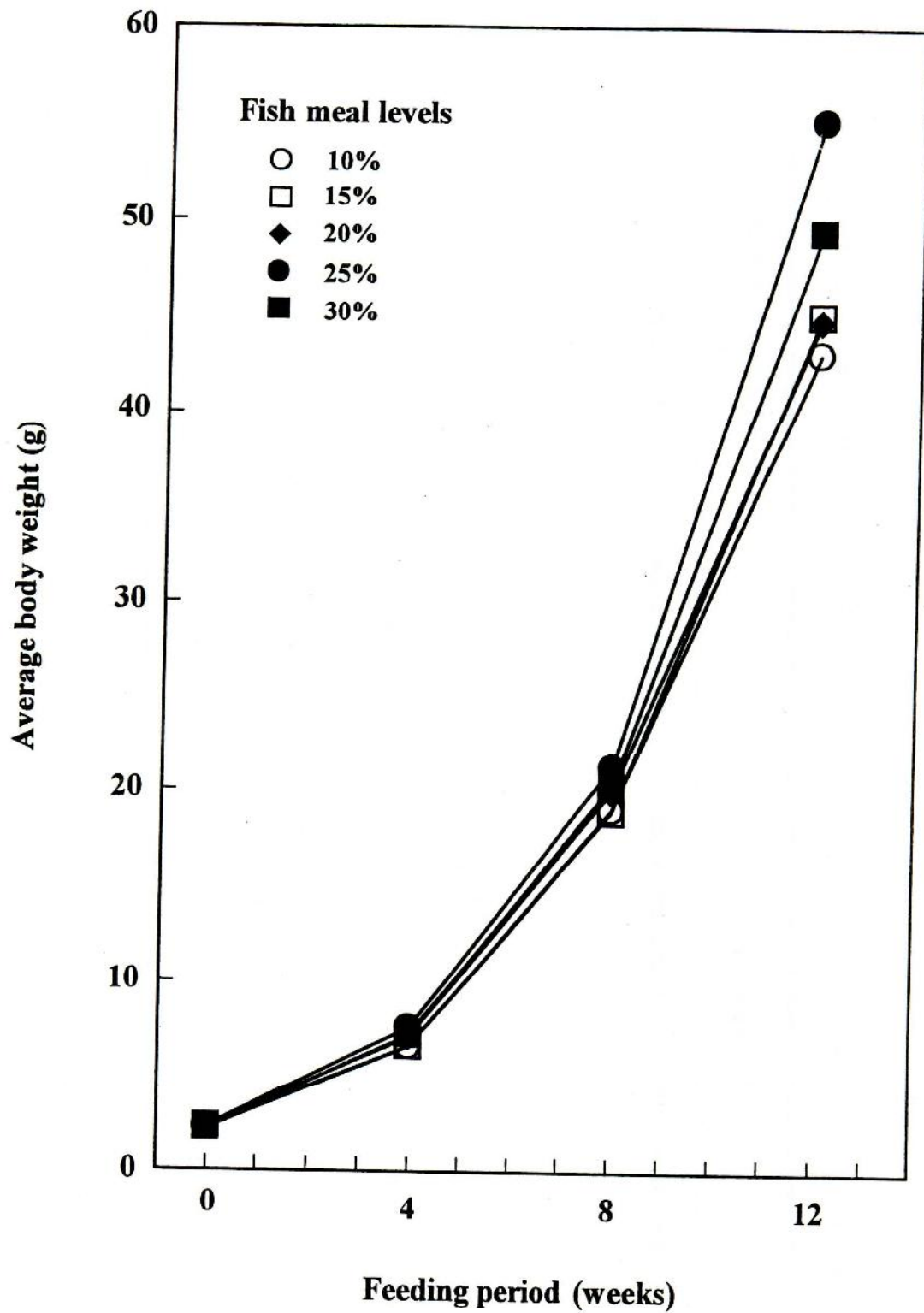
**Table 5. Proximate composition, P, and energy content of carp whole body at the end of the experiment**

	Diet group					
	Initial	F <sub>10</sub>	F <sub>15</sub>	F <sub>20</sub>	F <sub>25</sub>	F <sub>30</sub>
<i>Proximate composition (%)</i>						
Moisture <sup>*1</sup>	79.7	71.1 <sup>b</sup>	75.0 <sup>a</sup>	74.7 <sup>a</sup>	74.2 <sup>a</sup>	74.7 <sup>a</sup>
Crude protein	13.8	14.9	14.2	14.9	14.7	14.5
Crude lipid <sup>*1</sup>	3.5	10.5 <sup>a</sup>	8.3 <sup>b</sup>	7.5 <sup>b</sup>	7.9 <sup>b</sup>	8.2 <sup>b</sup>
Crude ash	2.8	2.4	2.5	2.6	2.8	2.5
Total P (%)	0.47	0.41	0.43	0.42	0.44	0.42
Gross energy (kcal/g)	1.06	1.74	1.53	1.48	1.53	1.52

<sup>\*1</sup> Values within the row, not sharing common superscript letters are significantly different at  $p < 0.05$ .

**Table 6.** T-P and T-N from carp fed the experimental diets containing different levels of fish meal for 12 weeks

Diet group	T-P (kg/t carp production) based on			T-N (kg/t carp production) based on		
	Water extractable P	P absorption rate	P retention rate	Water extractable P	P absorption rate	P retention rate
F <sub>10</sub>	3.6	3.9	5.9	42.6		
F <sub>15</sub>	4.5	5.0	7.6	37.7		
F <sub>20</sub>	5.9	5.9	8.5	35.8		
F <sub>25</sub>	6.2	6.2	8.0	32.1		
F <sub>30</sub>	7.4	7.4	9.6	32.7		



**Fig. 1. Growth of carp fed the experimental diets containing different levels of fish meal for 12 weeks**



## 〔平成11年度報告書〕

はじめに

平成9年度は低リン飼料開発に必要な基礎資料の集積を目的に霞ヶ浦におけるコイ養殖から負荷される総リン量の現状把握を行った。そのため霞ヶ浦コイ養殖において平成8年度に使用された市販飼料10種類のうち6種類についてリン負荷量を測定した。その結果、魚体におけるリン蓄積率から算出した総リン負荷量はコイ1トンの生産量当たり9.1-18.8kgの範囲にあり、平均で13.6kgであった。

平成10年度は平成9年度に引き続き市販飼料によるリン負荷量の把握につとめるとともに、飼料中の魚粉含量とリン負荷量との関係を明らかにするとともに実用原料を用いて試作した低魚粉飼料で飼育実験を行い、リン負荷量を測定した。その結果、コイでは飼料の魚粉含量とリン負荷量には密接な相関があり、血粉、脱脂大豆粕などの代替タンパク質を利用して魚粉の配合割合を低減することにより、市販飼料(平成9年度)によるリン負荷量9.1~18.8 kg/tを5.9~9.6 kg/tにまで軽減できることを明らかにした。

平成11年度は、市販飼料によるリンおよび窒素負荷量の測定を継続するとともに、飼料のコスト低下を計るため代替タンパク質の有効利用による低魚粉飼料を開発し、リン負荷量の削減を目指した。

### 飼料中の魚粉含量がリン負荷量に及ぼす影響— II

養魚用飼料では現在でも魚粉が主要原料の位置を占めており、平成11年度の平均配合率は51%と、畜産用飼料の0.9%と比べて著しく高い。市販のコイ用飼料では他の魚種よりは低いですが、それでも30%前後の配合率と推定される。魚粉には骨などの硬組織由来のヒドロキシリン灰石(主成分は第三リン酸カルシウム)が多量に含まれ、リンとして2~4%に相当する。しかし、無胃魚で胃液の分泌がないコイでは、第三リン酸カルシウムが溶解され

ず、その吸収率は有胃魚に比べると著しく低く、ほとんど利用されないといえる。そのため、コイでは飼料中の魚粉含量がリンの排泄量を大きく左右する要因といえる。

現在、市販のコイ用飼料には30%前後の魚粉が配合されていると推定される(飼料メーカー数社からの情報)。そこで、この魚粉含量を低減することによりリンの負荷量をどの程度削減できるか検討することとした。平成10年度は血粉、脱脂大豆粕を代替タンパク質として利用したが、平成11年度は、血粉より低廉なフェザーミールを併用配合し、飼料のコストダウンを計った。また、リンの排泄量を削減するためには飼料原料に含まれる有効リン量を明らかにし、配合組成から原料由来の有効リン量を計算し、不足するリンを飼料に添加し、過剰なリンの添加を抑制することが重要である。そこで昨年に引き続き飼料原料に含まれる有効リン量も併せて測定した(最終年度に一括報告する予定である)。

なお、各飼料給餌による窒素の負荷量についても算出した。

## 材料および方法

### 試験飼料

試験飼料の作成には魚粉、フェザーミール、血粉、大豆油粕、小麦粉および脱脂米糠を使用した。各飼料の配合組成および一般化学組成、総リン含量および水抽出法によって測定した有効リン含量をTable 1に示した。飼料中の魚粉含量を減少させるため代替タンパク質源としてフェザーミール、血粉および大豆油粕を用いたが、フェザーミールはタンパク質含量が約82%と高く、リン含量が0.2%と低い点は血粉と似ているが、有効リン含量は40%で、血粉の70%より劣っている。脱脂大豆油粕はタンパク質含量が44%と低く、総リン含量が3%と魚粉並に高いが、有効リンが10%と低いのが特徴である。また、フェザーミールは多くの必須アミノ酸が不足しており、他の代替原料に比べタンパク質の栄養価は劣っている。血粉はメチオニンとイソロイシンが、大豆油粕はメチオニンが不足している。脱脂米糠は粗タンパク質

18%、総リン含量が0.26%、有効リンが約35%、小麦粉はそれぞれ18%、0.64%、23%であった。

平成10年度の試験において最も優れた飼育成績が得られた魚粉25%、血粉5%および脱脂大豆油粕8%を配合した飼料を対照区(Control)とし、試験飼料は魚粉20%および15%区をそれぞれ2種類および10%区の計5種類作製した。タンパク質含量の調整にはフェザーミール(5および10%)、血粉(5~7%)および大豆油粕(4~9%)を用いた。その他、小麦粉を40~45%、脱脂米糠を3~10%配合した。油脂源にはコイの必須脂肪酸要求を満足する牛脂と大豆油の混合油(3:2)を用いた。

各飼料原料由来の有効リン(0.12~0.15%)のみではコイの要求量(0.6~0.7%)を下回るため、不足する量は第一リン酸ナトリウムを添加して充足した。なお、タンパク質やリンの消化吸収率を間接法により測定するため酸化クロムを0.5%添加した。

試験飼料はいずれも霞ヶ浦条例(粗タンパク質35%以下、可消化エネルギー3.5kcal/g以上)を満足するように調製したので、粗タンパク質含量は約35%、可消化エネルギー含量は3.8~3.9kcal/gであった。粗脂肪含量にも差がなかったが、粗灰分含量は飼料中の魚粉含量に比例して増加した。飼料の総リン含量も同様に、魚粉10%区で1.04%、25%(Control)区で1.35%へ増加した。水抽出法による有効リン含量は0.68~0.71%で、各飼料ともコイの要求量を充足していた。なお、飼料4および5ではメチオニン含量がやや低い値であった。

#### 飼育試験

魚粉含量の異なる試験飼料の性能、リンおよび窒素の排泄量の測定に必要なリンおよび窒素の吸収率および魚体における蓄積率を調べるため、飼育試験を実施した。試験開始前約5ヶ月間市販のコイ用飼料で予備飼育した平均体重 $4.6 \pm 0.7$ gのコイの稚魚を60L容水槽に50尾づつ収容(1試験区、2群宛)した。選別した残りの魚から25尾を試験開始時の魚体分析に供した。飼育試験は12週間とし給餌は1日3回、週6日とし、毎回ほぼ飽食量を与えた。飼育期間の水温は $23.7 \pm 1.9^\circ\text{C}$ であった。

各区の魚の体重は4週間毎に測定し、採糞は飼育開始後8週目から開始し、分析に必要なサンプル量が確保できるまでは数日間継続した。採糞装置および採糞法は既報に準じた。

#### 分析方法

飼料および魚体のリン、窒素および一般分析ならびに酸化クロムの定量および間接法によるリン、窒素およびエネルギーの消化吸収率計算方法は既報に準じた。本研究では、前回と同様、飼料リンのコイに対する有効性は、1) 分別抽出法における水溶性画分、2) 間接法による吸収率、および3) 魚体におけるリン蓄積率、から推定した。分別抽出法についてはすでに養魚飼料改善開発試験-IV(1986)にて報告した。

## 結果および考察

#### 飼育成績

飼育成績および飼育期間中の体重の推移をそれぞれTable 2およびFig.1に示した。試験飼料の摂餌性はいずれも優れており、フェザーミール、血粉および大豆油粕の配合による影響はみられなかった。日間摂餌率は、前回の試験と同様、魚粉含量の低下、すなわち代替タンパク質配合率の増加に伴い増加する傾向がみられた。各区とも順調な成育を示したが、平成10年度の試験で最も優れた成績が得られた魚粉25%配合の対照区(Control)で最も高い増重(2007%)が得られ、増肉係数も0.99と優れていた。次いで、魚粉20%の飼料1および2区でほぼ同じ飼育成績が得られた。すなわち、飼料1区のフェザーミール5%および血粉5%をフェザーミール10%に置換しても同等の成績が得られた。魚粉配合率15および10%の飼料3~5区では増重率に差がなく、他区より成績がやや劣る結果となった。しかし、増重および増肉係数(1.17~1.22)などは市販飼料よりかなり優れていた。飼料のタンパク質効率および正味タンパク質利用率にも成長と同じ傾向がみられ、魚粉25~10%区でそれぞれ2.96~2.39および54.3~43.0で、魚粉含量の低下に伴い減少

したが、全般に優れた値が得られた。成長、増肉係数、タンパク質の利用効率が飼料の魚粉含量に比例して低下したことは、代替タンパク質源として配合したフェザーミール、血粉および大豆油粕の栄養価が魚粉より劣ることを示している。その結果、後述するように窒素の排出量には魚粉含量と逆の相関が見られた。

以上のように、いずれの試験飼料も優れた成績を示したが、魚粉含量を20%に削減した飼料1および2は魚粉25%飼料よりはやや劣るものの、実用的に使用できる性能を有するものと考えられる。同様に魚粉15%飼料も市販飼料と比較した場合、十分に利用できるものと推察される。これらの結果は、コイ用飼料の魚粉含量を現状の30%から20~15%程度まで低減できることを示唆している。魚粉10%飼料区で飼育成績が劣ったのは飼料のメチオニン含量がやや不足していたことによるものと考えられる。このように、魚粉代替原料として今回使用したフェザーミール、血粉および大豆油粕はそれぞれ数%ずつ併用することが効果的であることがわかった。

#### 飼料中のリンおよび窒素の吸収率および蓄積率

間接法で測定したリンおよびタンパク質の消化吸収率ならびに蓄積率をTable 3に示した。間接法で測定したリンの吸収率は従来どおり水抽出法で求めた値と良く一致している。前述したように、吸収率は飼料中の魚粉含量の影響を受け、増加するに従い低下する傾向を示し、魚粉25%飼料では45.4%、魚粉10%飼料では60.2%であった。

リン蓄積率は飼料4の魚粉15%区で約30%と低かったが、他区では33~36%の範囲にあった。吸収したリンの約60~76%が体内に保留された。前回の試験結果とほぼ同様であった。リン蓄積率は間接法で求めた値より10~24%程度低いが、吸収された後一部は再び消化管へ、あるいは鰓や腎臓から排泄されるものと推察される。そのため、先に報告したようにリン負荷量の算定には蓄積率を採用すべきであろう。

各飼料のタンパク質の消化吸収率は87~90%で、魚粉の配合割合にかかわらず高い値が得られ、フェザーミール、血粉および大豆油粕タンパク質の消化吸収率が魚粉

と同様、高いことがうかがわれる。ニジマスやコイで報告されている値と良く一致している。魚体における窒素の蓄積率は、魚粉配合率20~25%区では40~43%で大差なかったが、10~15%配合区ではやや劣り、フェザーミール、血粉および大豆油粕タンパク質の栄養価が魚粉より劣ることを示している。

#### 魚体分析の結果

試験終了時における全魚体の一般分析の結果およびリン含量をTable 4に示した。飼育開始時に比較して、各区とも成長に伴い水分が減少し粗脂肪含量が増加している。魚体のリン含量は0.5%程度で、試験区間に大差なかった。

#### リンおよび窒素の負荷量

各試験飼料の増肉係数と水抽出法による有効リン含量、リン吸収率およびリン蓄積率から算出した総リン負荷量(T-P) (kg/t生産量)ならびに増肉係数と窒素蓄積率から計算した総窒素負荷量(T-N) (kg/t生産量)をTable 5に示した。

先に報告したように、水抽出法と間接法による値は良く一致する。これらの値は蓄積率から求めた値よりかなり低いが、リン蓄積率の低かった飼料4区を除き飼料中の魚粉含量の減少に伴い低下する傾向を示している。しかし、蓄積率から算出したT-Pは飼料4区を除き9~10の範囲にあり、飼料間で大差なかった。飼料4区ではリンの低蓄積率を反映して11.7と最も高い負荷率となった。これらの値は平成10年度の結果(5.9~9.6)と比較すると全般に高くなっている。有効リン含量の低いフェザーミールの影響も考えられる。先に報告(平成9年度)したように、市販飼料ではT-Pが飼料間で大きく変動し、9.1~18.8(平均13.6)の範囲にあり、平成10年度(T-P:14.8~26.4)・11年度(T-P:19.1~25.0)の調査でも同様に変動幅のある高い値が得られている。魚粉を代替原料で置換することにより、現在の負荷量を平成10年度の配合設計では5.9~9.6に、今年度の試験では8.9~10.1に軽減できることが明らかとなったが、飼育成績や後述

するT-Nなどの観点から当面は魚粉の配合割合が15～20%程度の飼料がT-Pの削減に有効であると判断された。

魚体における窒素蓄積率は、飼料の魚粉含量を反映しており、魚粉25%の対照区の30.7から魚粉10%区の43.9まで順次増加傾向を示した。すなわち、飼料タンパク質の栄養価が高く、成長の良かった区で低い窒素負荷量が得られた。これらの魚粉含量に対応した値は平成10年度の結果と良く一致した。魚粉10%区では43.9と高い値が得られたが、霞ヶ浦における平均負荷量（45kg/t生産量）を下回っている。また、この区の増肉係数が1.22で

あることを考慮すると魚粉10%飼料を使用することも可能であるが、今回の試験結果としては魚粉15～20%程度が適当であると考えられる。

以上のように、コイでは飼料の魚粉含量とT-Pには密接な相関があり、代替タンパク質を利用して魚粉の配合割合を削減することによりT-Pを効果的に軽減できることが明らかとなった。今回は魚粉代替原料として平成10年度に利用した血粉および大豆油粕に加えてフェザーミールを併用した場合の有効性を試験したが、今後はさらに原料の多様化を図り、T-P削減に有効な飼料の配合設計を検討する必要がある。

**Table 1. Composition and nutrient contents of the experimental diets**

Ingredients	Diets					
	Control	1	2	3	4	5
Fish meal (Jack mackerel)	25	20	20	15	15	10
Poultry feather meal	-	5	10	5	10	10
Blood meal (Spray dried)	5	5	0	7	5	6
Defatted soybean meal	8	6	6.5	9	4	9
Wheat flour	40	40	42	45	40	45
Defatted rice bran	6	8	6	3	10	4
<i>Available P from the ingredients (%)</i> <sup>*1</sup>	0.15	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Feed oil <sup>*2</sup>	9.5	9.5	9.0	9.5	9.5	9.5
P-free mineral mix	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Others <sup>*3</sup>	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
<b>Nutrients (%)</b>						
Moisture	6.4	6.4	5.5	5.6	7.9	7.5
Crude protein	34.3	34.1	34.6	34.1	33.3	34.1
<i>Methionine (% of protein)</i>	1.97	1.77	1.72	1.61	1.56	1.33
<i>Cystine (% of protein)</i>	1.12	1.59	1.98	1.56	1.96	1.47
<b>Crude lipid</b>	13.8	13.5	13.6	12.9	13.0	12.6
Crude ash	7.2	7.0	6.9	6.1	6.5	5.5
Gross energy (kcal/g diet)	4.2	4.2	4.3	4.3	4.2	4.2
Digestible energy (kcal/g diet)	3.9	3.9	3.9	3.8	3.8	3.8
<b>Total P</b>	1.35	1.30	1.32	1.14	1.28	1.04
<b>Water extractable P <sup>*4</sup></b>						
% in diet	0.68	0.69	0.71	0.68	0.66	0.69
% of total P	50.4	53.1	53.8	59.6	51.6	66.3

<sup>\*1</sup> Calculated from the water extractable P of each ingredient. <sup>\*2</sup> Beef tallow : soybean oil = 3 : 2 v/v.

<sup>\*3</sup> Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> mix (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : dextrin = 1 : 1 w/w): 1%, Vit. mix: 1.5%, Vit. E (50%): 0.1%, Choline chloride (100%): 0.5%.

<sup>\*4</sup> Measured by the water extraction method (Sato et al. 1996).

**Table 2 Feed performance of carp fed the experimental diets for 12 weeks<sup>1</sup>**

	Diet group					
	Control	1	2	3	4	5
Initial body weight (g) <sup>2</sup>	4.6 ± 0.6	4.6 ± 0.7	4.6 ± 0.7	4.6 ± 0.7	4.6 ± 0.7	4.6 ± 0.8
Final body weight (g) <sup>2</sup>	96.9 ± 23.3 <sup>a</sup>	86.8 ± 26.7 <sup>b</sup>	86.6 ± 25.6 <sup>b</sup>	80.5 ± 22.6 <sup>bc</sup>	79.7 ± 21.3 <sup>bc</sup>	78.1 ± 25.2 <sup>c</sup>
Percent body weight gain	2007.2 <sup>a</sup>	1786.1 <sup>b</sup>	1782.6 <sup>b</sup>	1650.9 <sup>c</sup>	1632.4 <sup>c</sup>	1596.7 <sup>d</sup>
Daily feed consumption (%)	2.49 <sup>c</sup>	2.62 <sup>bc</sup>	2.67 <sup>b</sup>	2.90 <sup>ab</sup>	2.96 <sup>a</sup>	3.03 <sup>a</sup>
Feed gain ratio	0.99 <sup>b</sup>	1.05 <sup>b</sup>	1.08 <sup>b</sup>	1.17 <sup>ab</sup>	1.19 <sup>a</sup>	1.22 <sup>a</sup>
Protein efficiency ratio	2.96 <sup>a</sup>	2.80 <sup>b</sup>	2.69 <sup>bc</sup>	2.51 <sup>c</sup>	2.51 <sup>c</sup>	2.39 <sup>d</sup>
Net protein utilization (%)	54.3 <sup>a</sup>	50.2 <sup>ab</sup>	50.2 <sup>ab</sup>	46.7 <sup>b</sup>	45.3 <sup>bc</sup>	43.0 <sup>c</sup>

<sup>1</sup> Data represents the average values of duplicate groups. <sup>2</sup> Mean ± SD, n=30.

Values within the same row, not sharing common superscript letters are significantly different at P < 0.05.

Water temperature was at an average 23.7 ± 1.9°C

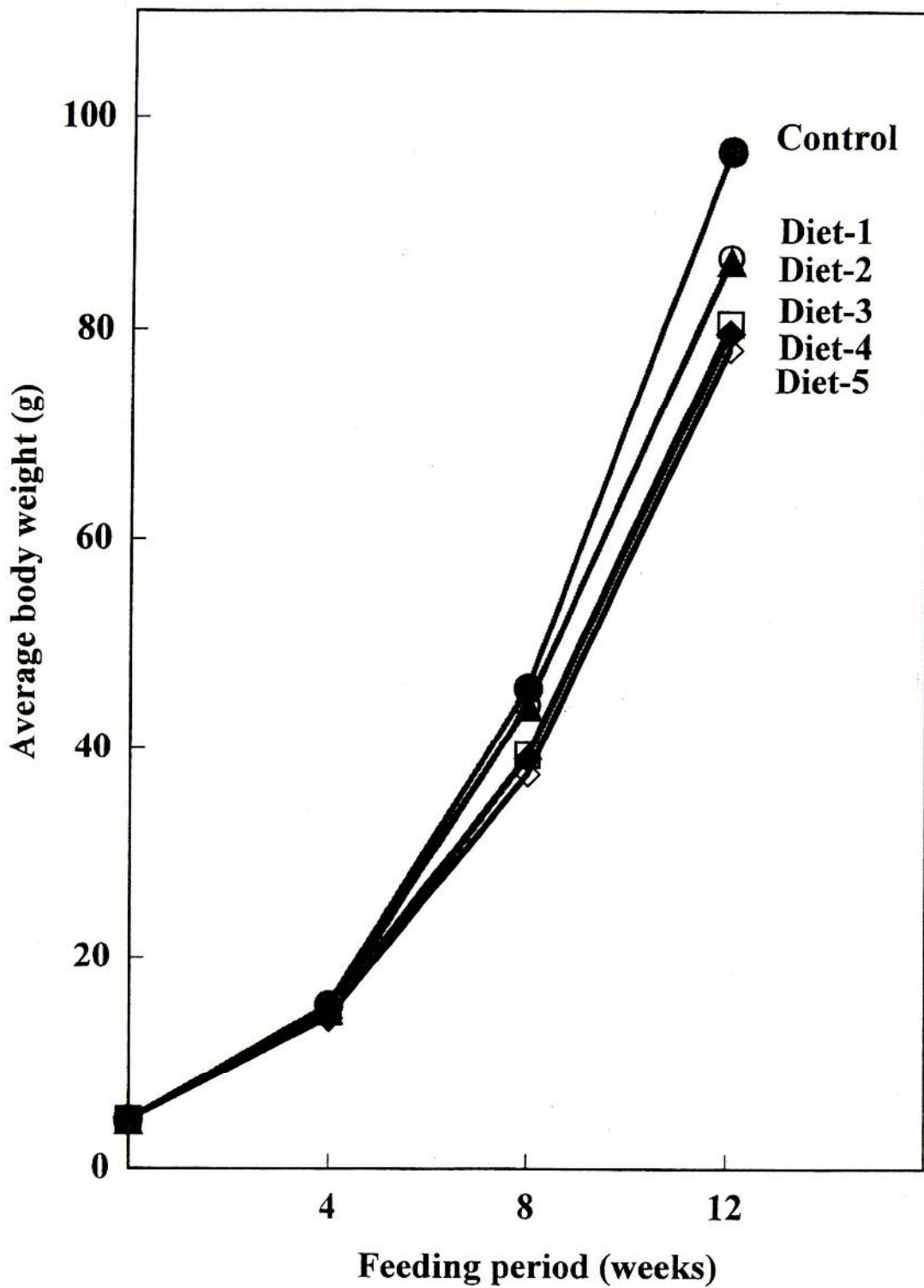
**Table 3. Absorption and retention rates of dietary P and N in carp fed the experimental diets**

Diet group	P absorption rate		P retention rate		Digestibility of protein (%)	N retention rate (% of dietary N)
	% of total dietary P	Available P in diet (%)	% of total dietary P	% of absorbed P		
Control	45.4	0.66	34.7	76.4	86.9	43.2
1	48.0	0.67	33.0	68.8	86.8	40.3
2	47.8	0.66	33.1	69.2	86.5	40.0
3	55.7	0.67	35.9	64.5	89.4	37.2
4	47.9	0.67	29.6	61.8	86.9	36.8
5	60.2	0.68	35.9	59.6	89.9	34.4

**Table 4. Whole body composition of carp after the 12 week feeding experiment<sup>\*1</sup>**

	<i>Initial</i>	Diet group					
		Control	1	2	3	4	5
<b><i>Proximate composition (%)</i></b>							
Moisture	77.2	73.5	73.8	72.4	73.6	72.8	72.4
Crude protein	15.4	14.7	14.5	14.9	14.9	14.7	14.5
Crude lipid	3.0	8.4	8.0	9.4	8.2	8.8	8.7
Crude ash	2.9	2.8	2.6	2.7	2.5	2.5	2.7
Total P (%)	0.54	0.50	0.49	0.50	0.51	0.50	0.50

<sup>\*1</sup>Data represent the average value of duplicate group.



**Fig. 1. Growth of carp fed the diets with various alternate protein sources for 12 weeks**



## 〔平成12年度報告書〕

はじめに

平成9年度は、低リン飼料開発に必要な基礎資料の集積を目的に、霞ヶ浦におけるコイ養殖から負荷される総リン量の現状把握を行った。そのため、霞ヶ浦のコイ養殖において平成8年度に使用された市販飼料10種類のうち6種類についてリン負荷量を測定した。その結果、魚体におけるリン蓄積率から算出した総リン負荷量はコイ1トンの生産量当たり9.1~18.8kgの範囲にあり、平均で13.6kgであった。

平成10年度は、前年度に引き続き市販飼料によるリン負荷量の把握に務めるとともに、飼料中の魚粉含量とリン負荷量との関係を調べた。さらに、実用原料を用いて試作した低魚粉飼料でリン負荷量を測定した。その結果、コイでは飼料の魚粉含量とリン負荷量には密接な相関があり、血粉、大豆油粕などの代替タンパク質を利用して魚粉の配合割合を低減することにより、市販飼料（平成9年度）によるリン負荷量9.1~18.8kg/tを5.9~9.6kg/tにまで軽減できることを明らかにした。

平成11年度は、市販飼料によるリンおよび窒素負荷量の測定を継続するとともに、飼料のコスト低下を計るため代替タンパク質として血粉より低廉なフェザーミールを併用配合した低魚粉飼料の開発を目指した。その結果、総リンおよび窒素負荷量はそれぞれ8.9~10.1および30.7~43.9kg/tであった。これらの結果から、飼料中の魚粉配合率は15~20%程度が適正と判断された。

平成12年度は、平成11年度の成果に基づき飼料中の魚粉含量を20%以下とし、魚粉削減原料としてミートミールの利用性について検討した。また、リン排泄量と魚体サイズとの関連を明らかにするため、コイの成長と魚体のリン蓄積率との関連について調べた。

なお、引き続き市販飼料についてもリンおよび窒素の負荷量を測定した。

## 飼料中の魚粉含量がリン負荷量に及ぼす影響—Ⅲ

現在、市販のコイ用飼料には30%前後の魚粉が配合されていると推定される。魚粉には骨などの硬組織由来のヒドロキシリン灰石（主成分は第三リン酸カルシウム）が多量に含まれるが、無胃魚で胃液の分泌がないコイでは、第三リン酸カルシウムが溶解されず、その吸収率は有胃魚に比べると著しく低く、ほとんど利用されないといえる。そのため、コイでは飼料中の魚粉含量がリンの排泄量を大きく左右する要因といえる。

そこで、本開発試験では、飼料中の魚粉含量の削減によるリン負荷量の軽減について検討を加えてきた。平成10年度は血粉、脱脂大豆油粕を代替タンパク質として利用したが、平成11年度は、血粉より低廉なフェザーミールを併用配合し、飼料のコストダウンを計った。平成12年度は同じ観点から魚粉削減原料としてミートミールの利用性について調べた。また、リンの排泄量と魚体サイズとの関係を明らかにするため、コイの成長に伴うリン蓄積率の変動について測定した。市販飼料によるリンおよび窒素の負荷量については引き続き資料の集積に務めた。

## 材料及び方法

### 試験飼料

試験飼料の作成には魚粉、ミートミール、血粉、大豆油粕、小麦粉および脱脂米糠を使用した。各飼料の配合組成および一般化学組成、総リン含量および水抽出法によって測定した有効リン含量をTable 1に示した。飼料中の魚粉含量を減少させるため主たる代替タンパク質源としてミートミールを用い、血粉および大豆油粕を併用した。ミートミールは粗タンパク質含量が約71%と高く、リン含量が0.85%、そのうち有効リン含量は32%で、血粉の70%より劣っている。脱脂大豆油粕は粗タンパク質含量が44%と低く、総リン含量が3%と魚粉並に高いが、有効リンが10%と低いのが特徴である。また、ミートミールは必須アミノ酸のうちメチオニンとイソロイシンが

不足しているが、他の代替原料に比べタンパク質の栄養価は優れている。血粉はミートミールと同じく、メチオニンとイソロイシンが、大豆油粕はメチオニンが不足している。脱脂米糠は粗タンパク質18%、総リン含量が0.26%、有効リンが約35%、小麦粉はそれぞれ18%、0.64%、23%であった。

平成9～11年度に霞ヶ浦で使用された市販飼料の中で最も優れた飼育成績が得られた飼料を対照区(Control)とした。平成11年度の試験の結果、飼料中の魚粉含量は15～20%程度に低減できることが明らかとなったので、今回の試験では魚粉含量を20%および15%とした飼料をそれぞれ2種類および10%とした飼料の計5種類を作製した。タンパク質含量の調整にはミートミール(5, 10および15%)、血粉(1～7%)および大豆油粕(4～10%)を用いた。その他、小麦粉を40および43%、脱脂米糠を5～10%配合した。油脂源にはコイの必須脂肪酸要求を満足する牛脂と大豆油の混合油(3:2)を用いた。

各飼料原料由来の有効リン(0.14および0.15%)のみではコイの要求量(0.6～0.7%)を下回るため、不足する量は第一リン酸ナトリウムを添加して補足した。なお、タンパク質やリンの吸収率を間接法により測定するため酸化クロムを0.5%添加した。

試験飼料はいずれも霞ヶ浦条例(粗タンパク質35%以下、加消化エネルギー3.5kcal/g以上)を満足するように調製したので、粗タンパク質含量は約35%、可消化エネルギー含量は3.9～4.1kcal/gであった。粗脂肪含量にも差がなかったが、粗灰分含量は飼料中の魚粉含量に比例して増加した。その結果、飼料の総リン含量も、魚粉10%区の1.19%から20%区の1.40～1.44%へ増加した。市販飼料(Control)区では1.72%と最も高かった。水抽出法による有効リン含量は0.66～0.82%で、各飼料ともコイの要求量を充足していた。なお、diet 5ではメチオニン含量がやや低い値であった。

#### 飼育試験

魚粉含量の異なる試験飼料の性能、リンおよび窒素の排泄量の測定に必要なリンおよび窒素の吸収率および魚

体における蓄積率を調べるため、飼育試験を実施した。試験開始前約5ヶ月間市販のコイ用飼料で予備飼育した平均体重 $3.9 \pm 0.4$ gのコイ稚魚を60L容水槽に50尾ずつ収容(1試験区, 2群宛)した。選別した残りの魚から25尾を試験開始時の魚体分析に供した。飼育試験は12週間行い、給餌は1日3回、週6日とし、毎回ほぼ飽食量を与えた。飼育期間中の平均水温は $23.9 \pm 2.4$ °Cであった。各区の魚の体重は4週間毎に測定し、採糞は飼育開始後8週目から開始し、分析に必要なサンプル量が確保できるまで数日間継続した。採糞装置および採糞法は既報に準じた。

#### 分析方法

飼料および魚体のリンおよび一般分析ならびに酸化クロムの定量および間接法によるリン、窒素およびエネルギーの消化吸収率計算方法は既報に準じた。本試験では、従来と同様、飼料リンのコイに対する有効性は、1) 分別抽出法における水溶性画分、2) 間接法による吸収率、および3) 魚体におけるリン蓄積率、から推定した。分別抽出法についてはすでに養魚飼料改善開発試験-IV(1986)にて報告した。

#### 結果および考察

##### 飼育成績

飼育成績および飼育期間中の体重の推移をそれぞれTable 2およびFig.1に示した。試験飼料の摂餌性はいずれも優れており、ミートミール、血粉および大豆油粕の配合による影響はみられなかった。日間摂餌率は、有意差はなかったものの、従来の試験と同様、魚粉含量の低下、すなわち代替タンパク質配合率の増加に伴い増加する傾向がみられた。各区とも順調な成育を示したが、魚粉20%、ミートミール5%、血粉5%、大豆油粕6%を配合したdiet 1で最も高い増重(2219%)が得られ、増肉係数も1.00と優れていた。この飼料区のミートミールの含量を5%から10%へ増加したdiet 2区では、魚粉含量が同じ20%であるにもかかわらず、増重率が2187%へ低下したことから、魚粉20%飼料におけるミートミールの適正

配合率は5%程度と推察された。市販飼料の対照区では、diet 2区とはほぼ同じ増重が得られたが、有意差はないものの増肉係数にはやや劣る傾向がみられた。魚粉15%のdiet 3およびdiet 4は、ミートミールの配合割合がそれぞれ10%および15%と高かったが、増重率、増肉係数、タンパク質効率、タンパク質正味利用率などの飼育成績において両区で差がなかった。両飼料区の成績がdiet 2区より劣ったのは、魚粉含量の差によるものと推察された。魚粉10%のdiet 5区は飼育成績が最も劣った。今回の飼育試験では、成長に差がみられたが、増肉係数(1.00~1.09)は試験区間で有意差がなく、いずれも優れていた。飼料のタンパク質効率および正味タンパク質利用率はdiet 1区で3.00及び56.2と最も優れていたが、その他の区ではほとんど有意差が認められなかった。成長、増肉係数、タンパク質の利用効率が飼料の魚粉含量に比例して低下する傾向を示したことは、代替タンパク質源として配合したミートミール、血粉および大豆油粕の栄養価が魚粉より劣ることを示している。このことは、後述するように窒素の排出量と魚粉含量に逆の相関がみられることから伺われる。

以上のように、いずれの試験区も優れていたが、今回使用した市販飼料に匹敵する成績を示したのは魚粉含量20%のdiet 1およびdiet 2であるが、飼育成績から判断してミートミール5%配合のdiet 1の方が適していると評価された。すなわち、フェザーミール、血粉および大豆油粕をそれぞれ数%ずつ併用した平成11年度の結果と異なり、ミートミールを主たる代替原料として用いた場合には魚粉の適正配合率は20%前後と推察され、15%にまで低減するにはやや難があると考えられる。魚粉10%飼料区で飼育成績が劣ったのは前回同様、飼料のメチオンin含量がやや不足していたことによるものと考えられる。

#### 魚体分析の結果

試験終了時における全魚体の一般分析の結果およびリン含量をTable 3に示した。飼育開始時に比較して、各区とも成長に伴い水分が減少し粗脂肪含量が増加している。魚体のリン含量は0.5%程度で、試験区間に大差な

かった。

#### 飼料中のリンおよび窒素の吸収率および蓄積率

間接法で測定したリンおよびタンパク質の消化吸収率ならびに蓄積率をTable 4に示した。間接法で測定したリンの吸収率は従来通り水抽出法で求めた値と良く一致している。前述したように、吸収率は飼料中の魚粉含量の影響を受け、増加するに従い低下する傾向を示し、魚粉20%のdiet 1およびdiet 2では41.6%および45.4%、魚粉10%のdiet 5で52.0%であった。市販飼料のControl区では42.6%であった。

リン蓄積率はControl区で27.6%と低かったが、他区では前回の魚粉飼料と同じく32~36%の範囲にあった。吸収したリンの保留率も前回の試験結果とはほぼ同様(65~75%)であった。リン蓄積率は間接法で求めた値より10~15%程度低いが、吸収された後一部は再び消化管へ、あるいは鰓や腎臓から排泄されるものと推察される。そのため、先に報告したようにリン負荷量の算定には蓄積率を採用すべきであろう。

各飼料のタンパク質の消化吸収率は88~93%で、魚粉の配合割合にかかわらず高い値が得られ、ミートミール、血粉および大豆油粕タンパク質の消化吸収率が魚粉と同様、高いことがうかがわれる。ニジマスやコイで報告されている値と良く一致している。市販飼料についても92.5%と高い値が得られた。魚体における窒素の蓄積率は、市販飼料区と魚粉20%でミートミールを5%配合したdiet 1区で最も優れており、それぞれ41.2%および41.7%であった。しかしミートミールを10%へ増加すると38.5%へ低下し、増重の結果とよく一致した。魚粉10%配合区では34.7%と最も劣り、ミートミール、血粉および大豆油粕タンパク質の栄養価が魚粉より劣ることを示している。

#### リンの負荷量

各試験飼料の増肉係数と水抽出法による有効リン含量、リン吸収率およびリン蓄積率から算出した総リン負荷量(T-P)(kg/t生産量)をTable 5に示した。先に報告した

ように、水抽出法と間接法による値は良く一致する。これらの値は蓄積率から求めた値よりかなり低い。リン蓄積率の低かった市販飼料区を除き魚粉飼料区では9.1～10.7の範囲にあり、飼料間で大差なかったが、魚粉10%区が最も低い値を記録した。市販飼料区では低いリン蓄積率を反映して負荷量が最も高く、13.9であった。これらの値は平成10年度の結果(5.9～9.6)と比較すると全般に高くなっているが、平成11年度の結果(9～10)とはほぼ同じである。

先に報告(平成9年度)したように、市販飼料ではT-Pが飼料間で大きく変動し、9.1～18.8(平均13.6)の範囲にあり、平成10年度(T-P:14.8～26.4)・平成11年度(T-P:19.1～25.0)の調査でも変動幅のある高い値が得られている。平成12年度は2種類の市販飼料について調べたが、それぞれ21および22であった。魚粉を代替原料で置換することにより現在の負荷量を平成10年度の配合設計では5.9～9.6に、平成11・12年度の試験では9～10程度に軽減できることが明らかとなったが、飼育成績や後述するT-Nなどの観点から当面は魚粉の配合割合が15～20%程度の飼料がT-Pの削減に有効であると判断された。

#### 窒素の負荷量

各試験区の増肉係数と窒素蓄積率から計算した総窒素負荷量(T-N)(kg/t生産量)をTable 5に示した。魚体における窒素蓄積率は、上述したように、飼料の魚粉含量を反映しており、魚粉20%区(diet 1)の41.7から魚粉10%区(diet 5)の34.7まで順次減少傾向を示した。すなわち、飼料タンパク質の栄養価が高く、成長の良かった区で窒素蓄積率が高く、その結果、窒素負荷量が低くなった。市販飼料区とdiet 1区では有意差がなく、それぞれ35.6および34.6で、diet 5区では43.1へ増加した。これらの魚粉含量に対応した値は平成10、11年度の結果とよく一致した。昨年同様、魚粉10%区では43.1と高い値が得られたが、霞ヶ浦における平均負荷量(45kg/t生産量)を下回っている。また、この区の増肉係数が1.09であることを考慮すると魚粉10%飼料を使用することも可能であるが、今回のミートミールを使用した試験の結果として

は魚粉20%程度が適当であると考えられる。

#### 実用飼料の配合設計および実証試験

以上のように、コイでは飼料の魚粉含量とT-Pには密接な相関があり、代替タンパク質を利用して魚粉の配合割合を低減することによりT-Pを効果的に削減できることが明らかとなった。そこで、最終的には平成10～12年の3年間の試験で利用性が明らかにされた魚粉代替原料を組み合わせて配合設計した実用飼料を製造し、網生け養殖において実証試験を実施する必要がある。しかし、最近、欧州における狂牛病に端を発した動物性原料の輸出入禁止措置が問題となっており、本開発試験で今までに使用してきた原料の手当や飼料への配合が困難となる可能性が考えられる。そのため、当面は植物性原料を主体とした配合設計で飼料を作製することとした。

植物性タンパク質原料としては大豆油粕やコーングルテンミールが考えられるが、前者はタンパク質含量が低く、難消化性炭水化物の含量が高いため、多量に配合することは困難である。後者は原料中に含まれるカロテノイド色素ルテインのため多量に配合すると体表が黄色に着色し、商品価値が低下すると言われている。そこで大豆油粕から難消化性炭水化物を除去しタンパク質含量を高めた濃縮大豆タンパク質(Soy Protein Concentrate, SPC)を主たる代替原料として利用することとした。SPCを用いた試験飼料の配合設計をTable 7に示した。従来の飼育試験で最も成績の優れていた市販飼料を対照区(Control)とし、試験飼料は魚粉とSPCの配合量の異なる5種類を作製した。なお、霞ヶ浦の小割網生け養における実証試験ではdiet 3が適していると考えられる。網生け養飼育と水槽飼育の結果をみて、再度最適な配合設計を決めることとした。

本開発試験では平成12年度が最終年度であるが、水槽試験と実証試験の成果は平成13年度に報告する。

最近の飼料原料の需給動向に鑑み、今後はさらに原料の多様化を図り特に植物性原料を主体としたT-P削減に有効な飼料の配合設計を検討する必要がある。

**Table 1** Composition and nutrient contents of the diets

Ingredients (%)	Diets					
	C	1	2	3	4	5
Fish meal (Jack mackerel)		20	20	15	15	10
Meat meal		5	10	10	15	10
Blood meal (Spray dried)		5	2	5	1	7
Defatted soybean meal	Commercial	6	4	6	6	10
Wheat flour	diet <sup>1</sup>	43	40	40	43	43
Defatted rice bran		6	10	9	6	5
<i>Available P from ingredients (%)</i> <sup>2</sup>		0.14	0.15	0.14	0.15	0.14
P-free mineral mix	-	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	-	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Feed oil <sup>3</sup>	-	8.0	7.5	8.0	7.5	8.0
Chromium oxide mix <sup>4</sup>	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
α-starch	5.0	-	-	-	-	-
Others <sup>5</sup>	-	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
<i>Nutrients (%)</i>						
Moisture	3.6	6.5	6.5	7.7	7.4	7.8
Crude protein	33.9	34.5	34.9	34.6	34.7	34.7
Methionine (% of protein) <sup>6</sup>	-	1.9	1.8	1.7	1.8	1.6
Cystine (% of protein) <sup>6</sup>	-	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Crude lipid	10.8	13.4	13.4	13.5	13.4	12.8
Crude ash	9.3	8.5	8.9	8.2	8.2	7.5
Gross energy (kcal/g)	4.6	4.7	4.7	4.6	4.6	4.7
Digestible energy (kcal/g)	4.1	4.0	4.0	4.1	3.9	4.1
Total P (%)	1.72	1.40	1.44	1.31	1.36	1.19
<i>Water extractable P</i> <sup>7</sup>						
% in diet	0.82	0.66	0.67	0.68	0.70	0.71
% of total P	47.7	47.1	46.5	51.9	51.5	59.7

<sup>1</sup> Used in Lake Kasumigaura during 1999.

<sup>2</sup> Calculated from the water extractable P of each ingredient.

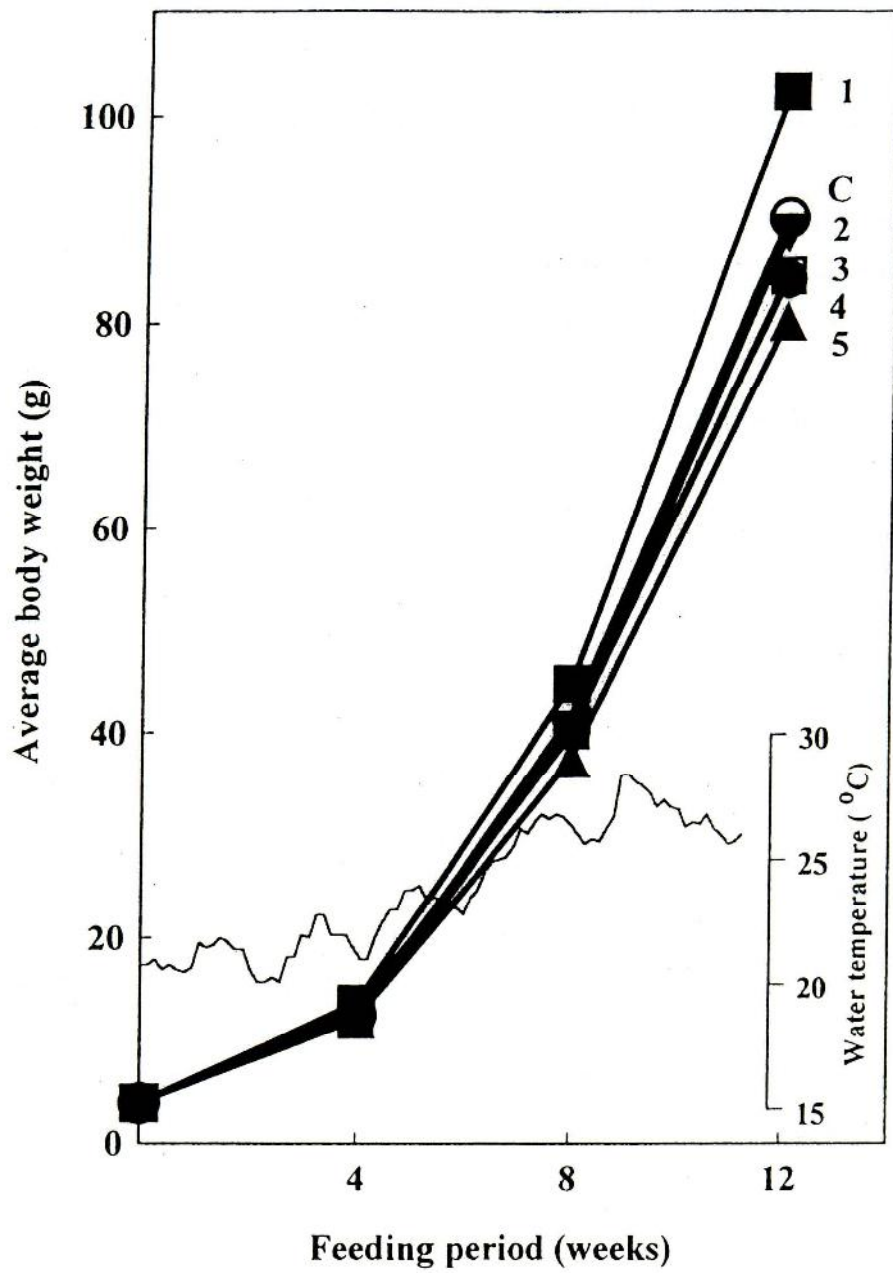
<sup>3</sup> Beef tallow : soybean oil = 3 : 2 v/v.

<sup>4</sup> Chromium oxide mix = (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : dextrin = 1 : 1 w/w).

<sup>5</sup> Vit. Mix = 1.5%, Vit. E (50%) = 0.1%, Choline chloride (100%) = 0.5%.

<sup>6</sup> Calculated value.

<sup>7</sup> Measured by the water extraction method (Satoh *et al.* 1996).



**Fig. 1** Growth of carp fed the experimental diets for 12 weeks

**Table 2** Growth performance of carp fed the experimental diets for 12 weeks

	Diet group					
	Control	1	2	3	4	5
Initial body weight (g)	3.9±0.39	3.9±0.38	3.9±0.35	3.9±0.36	3.9±0.37	3.9±0.37
Final body weight (g)	90.2±26.9 <sup>c</sup>	102.4±29.9 <sup>d</sup>	88.7±20.0 <sup>c</sup>	84.2±24.5 <sup>b</sup>	84.6±26.6 <sup>b</sup>	80.2±26.6 <sup>a</sup>
Percent body weight gain	2219 <sup>c</sup>	2539 <sup>d</sup>	2187 <sup>c</sup>	2065 <sup>b</sup>	2074 <sup>b</sup>	1961 <sup>a</sup>
Daily feed consumption (%)	2.70 <sup>a</sup>	2.49 <sup>a</sup>	2.57 <sup>a</sup>	2.68 <sup>a</sup>	2.67 <sup>a</sup>	2.71 <sup>a</sup>
Feed gain ratio	1.08 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup>	1.01 <sup>a</sup>	1.06 <sup>a</sup>	1.05 <sup>a</sup>	1.09 <sup>a</sup>
Protein efficiency ratio	2.78 <sup>ab</sup>	3.00 <sup>b</sup>	2.88 <sup>ab</sup>	2.75 <sup>a</sup>	2.76 <sup>ab</sup>	2.69 <sup>a</sup>
Net protein utilization rate	53.0 <sup>ab</sup>	56.2 <sup>b</sup>	51.0 <sup>ab</sup>	49.0 <sup>ab</sup>	49.4 <sup>ab</sup>	47.6 <sup>a</sup>

Values within a row not sharing same superscripts are significantly different ( $P < 0.05$ ).

**Table 3** Results of the whole body composition after the 12 week feeding experiment

	Initial	Diet group					
		C	1	2	3	4	5
<b>Proximate composition (%)</b>							
Moisture	79.4	74.2 <sup>a</sup>	74.2 <sup>a</sup>	75.3 <sup>b</sup>	74.8 <sup>ab</sup>	75.3 <sup>b</sup>	75.4 <sup>b</sup>
Crude protein	13.5	15.5 <sup>b</sup>	15.4 <sup>b</sup>	14.5 <sup>a</sup>	14.5 <sup>a</sup>	14.6 <sup>a</sup>	14.4 <sup>a</sup>
Crude lipid	3.9	7.5 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	7.5 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>	7.4 <sup>a</sup>
Crude ash	2.8	2.7 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	2.5 <sup>a</sup>	2.7 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>	2.6 <sup>a</sup>
Total P (%)	0.50	0.53 <sup>a</sup>	0.50 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.53 <sup>a</sup>	0.49 <sup>a</sup>	0.51 <sup>a</sup>

Values within the same row, not sharing common superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$ .

**Table 4** Absorption and retention rates of dietary P and N in carp

Diet group	P absorption rate		P retention rate		N absorption rate (% of dietary N)	N retention rate (% of dietary N)
	% of total dietary P	Available P in diet (%)	% of total dietary P	% of absorbed P		
Control	42.6 <sup>a</sup>	0.76 <sup>b</sup>	27.6 <sup>a</sup>	64.8 <sup>a</sup>	92.5 <sup>b</sup>	41.2 <sup>b</sup>
1	44.6 <sup>a</sup>	0.67 <sup>ab</sup>	33.6 <sup>b</sup>	75.3 <sup>b</sup>	89.4 <sup>ab</sup>	41.7 <sup>b</sup>
2	41.6 <sup>a</sup>	0.64 <sup>a</sup>	31.4 <sup>ab</sup>	75.4 <sup>b</sup>	88.0 <sup>a</sup>	38.5 <sup>ab</sup>
3	47.2 <sup>ab</sup>	0.67 <sup>ab</sup>	35.3 <sup>b</sup>	74.7 <sup>b</sup>	90.5 <sup>ab</sup>	36.6 <sup>ab</sup>
4	45.2 <sup>ab</sup>	0.66 <sup>ab</sup>	31.5 <sup>ab</sup>	69.7 <sup>ab</sup>	89.9 <sup>ab</sup>	37.1 <sup>ab</sup>
5	52.0 <sup>b</sup>	0.67 <sup>ab</sup>	35.7 <sup>b</sup>	68.6 <sup>ab</sup>	91.2 <sup>ab</sup>	34.7 <sup>a</sup>

Values within the same column, not sharing common superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$ .

**Table 5** Estimation of T-P and T-N from carp during the 12 week feeding experiment

Diet group	T-P (kg/t production) based on			T-N (kg/t production) based on
	Water ex.	Absorption	Retention	N retention rate
Control	10.1 <sup>d</sup>	11.0 <sup>c</sup>	13.9 <sup>c</sup>	35.6 <sup>a</sup>
1	7.7 <sup>c</sup>	8.3 <sup>ab</sup>	10.0 <sup>ab</sup>	34.6 <sup>a</sup>
2	8.1 <sup>c</sup>	8.9 <sup>b</sup>	10.7 <sup>b</sup>	37.1 <sup>ab</sup>
3	6.9 <sup>b</sup>	7.9 <sup>ab</sup>	9.7 <sup>ab</sup>	40.3 <sup>ab</sup>
4	7.5 <sup>bc</sup>	8.5 <sup>ab</sup>	10.6 <sup>b</sup>	39.8 <sup>ab</sup>
5	5.6 <sup>a</sup>	6.8 <sup>a</sup>	9.1 <sup>a</sup>	43.1 <sup>b</sup>

Values within the same column, not sharing common superscript letters are significantly different at  $P < 0.05$ .



Table 6 Nutrient and available phosphorus contents of the feed ingredients

Ingredients	Proximate composition (%)				Total P (%)	Available P (water extractable) <sup>5</sup>	
	Crude protein	Crude lipid	Crude ash	Moisture		(% in ingredient)	(% of total P)
Fish meal <sup>1</sup>	68.0	8.7	14.7	8.3	2.68	0.28	10.4
Blood meal <sup>2</sup>	89.0	2.0	2.2	7.0	0.20	0.14	70.0
Poultry feather meal <sup>3</sup>	81.7	10.0	1.6	6.4	0.20	0.08	40.0
Meat meal	71.2	13.1	7.9	6.9	0.85	0.27	31.8
Defatted soybean meal <sup>4</sup>	44.3	2.6	5.9	10.4	0.68	0.20	29.4
Defatted rice bran	18.1	1.4	12.2	11.2	0.26	0.09	34.6
Wheat flour	18.2	5.7	3.1	12.0	0.64	0.15	23.4
Rye	10.6	2.2	1.8	8.3	0.29	0.12	41.4

<sup>1</sup> Chilean jack mackerel meal.

<sup>2</sup> Spray dried (AP301, American protein corporation, USA).

<sup>3</sup> Heat-dried powder (Japan Farm).

<sup>4</sup> Kanematsu Co. Ltd.

<sup>5</sup> Measured by the water extraction method (Satoh *et al.* 1996).

**Table 7** Composition of the experimental diets

Ingredients (%)	Diets						
	Control	1	2	3	4	5	
Fish meal (Jack mackerel)		15	15	10	10	5	
Soy protein concentrate (Aquafeed grade)		10	15	15	20	20	
Corn gluten meal		5	3	5	3	5	
Defatted soybean meal	COMMERCIAL FEED	8.5	2.5	8.0	2.0	7.5	
Wheat flour (Low grade)		40.0	41.0	41.0	40.0	42.0	
Defatted rice bran		6.1	8.0	5.1	9.0	4.2	
Oil mix <sup>1</sup>		9.0	9.1	9.5	9.6	9.9	
P-free mineral mix		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O		2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Chromium oxide mix <sup>2</sup>		1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	
Others <sup>3</sup>		3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	
<i>Nutrients (%)</i>		<i>C4*</i>	<i>P6*</i>				
Crude protein (CP)		43.0	34.0	34.3	34.3	34.3	34.3
<i>Methionine (% of CP)</i>	-	-	2.1	1.8	1.7	1.7	
<i>Cystine (% of CP)</i>	-	-	1.7	1.5	1.5	1.5	
Crude lipid	4.0	10.0	12.4	12.4	12.3	12.4	
Crude ash	15.0	12.0	4.9	5.0	4.3	4.6	
Total P	1.70	1.50	1.20	1.19	1.08	1.07	
<i>Water extractable P</i>							
% in diet	-	-	0.61	0.61	0.61	0.61	
% of total P	-	-	50.8	51.3	56.5	57.0	

<sup>1</sup> Beef tallow : soybean oil = 3 : 2 v/v.

<sup>2</sup> Chromium oxide : dextrin = 1 : 1 w/w.

<sup>3</sup> Vit. mix: 1.5%, Vit. E (50%): 0.1%, Choline chloride: 0.5%.

\* Diet size (Crumble, C4 and pellet, P6).

## 低リン飼料開発試験要約

熊丸 敦郎

本誌に掲載された低リン飼料開発委託試験結果報告書について以下のとおり年度毎に要約した。なお、本結果報告に基づき平成14年、15年の2ヶ年事業で湖内網生簀での実証試験が行われる予定である。

### 〔平成9年度〕

コイ養殖による湖内環境へのリン負荷量の実態把握を目的に現在使用されている市販飼料（6社）についてリン負荷量を測定した。

#### 1) 市販飼料成分分析結果

- ・粗タンパク含量：1社を除いて35%未満であった。
- ・総リン含量：1.1~2.1%で飼料間に大差がみられた。
- ・有効リン含量：0.29~0.75%で総リン同様各社間に大差があり、コイの要求量（0.6~0.7%）を満たさないものが多かった。
- ・可消化エネルギー含量：いずれも概ね340kcal/100gであった。

#### 2) 市販飼料による飼育試験結果

- ・飼料中リンの魚体への蓄積率：63~93%であった。ただし、飼料中有効リン含量との相関は見られなかった
- ・飼育(4週間)成績：増重率は76.5~146.1%、増肉係数は0.83~1.4で有効リン含量の低い飼料で成長が悪く、リン要求量を満たした飼料は成長が優れていた。
- ・魚体分析結果：粗タンパク含有量は14.5~15.4%で飼料による差がなかったが、粗脂肪含有率は5.8~11.3%で有効リン含量の少なかった飼料で高く、典型的なリン欠乏症を示していた。

#### 3) コイ養殖によるリン負荷量の算定

- ・魚体リン蓄積量（給餌飼料リン-魚体蓄積リン）から算定した総リン負荷量は9.1~18.8kg/t（平均

13.6kg）となった。

### 〔平成10年度〕

9年度に引き続き、市販飼料によるリン負荷量の算定を行うとともに、低リン飼料開発に必要な飼料中の魚粉含量がリン負荷量に及ぼす影響について基礎実験を実施した。すなわち、現在の市販コイ用飼料には30%前後の魚粉が配合されているが、魚粉には骨組織由来のヒドロキシリン灰石（主成分：第三リン酸カルシウム）が多く含まれ、無胃魚であるコイはこれをほとんど吸収利用しないため、飼料中の魚粉含量がリン排泄量を大きく左右することになる。したがって、魚粉含量を低減することによりどの程度リン排泄量が削減できるかについて検討を行った。

#### 1) 試験飼料による飼育（12週間）試験結果

- ・試験飼料は魚粉含量を減少させるための代替タンパク質源として血粉、大豆油粕を用いた。

血粉：高タンパク（89%）、低リン（0.2%、有効リン70%）

大豆油粕：低タンパク（44%）、高リン（3%、有効リン10%）

代替タンパク質原料配合比を変えた各試験飼料とも優れた飼育成績を示したが、特に魚粉含有量を25%及び20%に削減した飼料は対照区（現市販飼料と同等区）とほぼ同様な性能を有することがわかった。

#### 2) 飼料中リン、窒素の魚体への蓄積率

- ・リン蓄積率：30~41%（蛋タンパク原料：魚粉10%、血粉12%、大豆油粕12%、小麦粉49%の試験区においてリン蓄積率が41%と最も高かった。）

- ・窒素蓄積率：魚粉配合率20~30%区では40~42%で大差がなかったが、10~15%配合区ではやや劣り、

血粉、大豆油粕のタンパク質栄養価が魚粉より劣ることを示した。

### 3) リン及び窒素負荷量

- ・魚粉を代替原料で置換することにより、現在の総リン負荷量 (kg/t 生産量) 9.1~13.6を5.9~9.6に軽減できることがわかったが、現在の湖内飼育成績や総窒素負荷軽減をも考慮し、魚粉配合割合20~25%程度の飼料が総リン負荷量の削減に有効であると判断された。

#### [平成11年度]

前年度に引き続き市販飼料によるリン及び窒素負荷量の測定を継続するとともに、飼料コストの削減を図るため、代替タンパク原料として血粉より安価なフェザーミールの併用を検討した。

#### 1) 試験飼料による飼育(12週間)試験結果

- ・魚粉含有量15%区、20%区とも25%区に比べるとやや劣るが、現市販飼料と比較して充分使用できるものと推察され、フェザーミール、血粉、大豆油粕を代替タンパクとしてそれぞれ数%ずつ併用することがリン負荷削減に有効であることがわかった。

#### 2) 飼料中リン、窒素のコイへの蓄積率

- ・リン蓄積率：飼料4の魚粉15%区で30%と低かったが、他区では33~36%の範囲であった。
- ・窒素蓄積率：魚粉配合率20~25%区では40~43%で大差がなかったが、10~15%配合区ではやや劣り、フェザーミール、血粉、大豆油粕の栄養価が魚粉より劣ることを示した。

### 3) リン及び窒素負荷量

- ・魚粉を上記代替タンパク原料で置換することにより、現市販飼料でのリン負荷量 (kg/t) 9.1~13.6を8.9~10.1に軽減できることがわかったが、現在の湖内飼育成績や総窒素負荷の軽減を考慮すると魚粉配合割合15~20%程度の飼料が総リン負荷量の削減に有効であると判断された。

#### [平成12年度]

11年度の結果に基づき、飼料中の魚粉含量を20%以下とし、魚粉削減原料としてミートミールの利用性について検討するとともにリン排泄量と魚体サイズとの関連を明らかにするため、コイの成長と魚体のリン蓄積率との関連について調べた。

#### 1) 低リン含有率飼料とするためのタンパク質原料配合比

タンパク質原料として魚粉20%、ミートミール5%、血粉5%、大豆油粕6%の配合比飼料で最も高い成長(増肉係数:1.00)が得られ、ミートミールを代替タンパク質原料として用いた場合には魚粉の適正配合率は20%前後と推察された。

#### 2) 飼料中のリン、窒素の吸収率および蓄積率

リン吸収率は上記配合比試験飼料で44.6%、市販飼料対照区で42.6%、リン蓄積率は試験飼料で33.6%、市販飼料対照区で27.6%となり、試験飼料のリン利用率が高いことが示された。タンパク質消化吸収率は魚粉の配合割合にかかわらず、ミートミール、血粉、大豆油粕ともに比較的高く、窒素の蓄積率は試験飼料で41.7%となり、市販飼料41.2%と比較して若干ではあるが優れていた。ただし、ミートミール配合割合をさらに増加するとこれらの結果が劣ることがわかった。

#### 3) リンおよび窒素の負荷量 (T-P,T-Nkg/t 生産量)

リンの負荷量：現在使用されている市販飼料については製品によって9~26と大差があるが、試験飼料では9~10程度に軽減できることが明らかになった。

窒素の負荷量：現市販飼料平均で45kg/t、試験飼料では41.7kg/tとなり、良好な成績であった。

#### 4) 実用飼料の配合設計

これまでの試験結果から実用的低リン飼料におけるタンパク質原料配合比として、魚粉20%、ミートミール5%、血粉5%、大豆油粕6%が推奨されるが、最近生じた欧州における狂牛病に端を発した動物性原料輸入の禁止処置により、ミートミールの使用が困難となり、本開発試験は平成12年度が最終年度であるが、現状に応じた配合設計について今後さらに検討を行う必要がある。