市販イカ内臓ミールのクロソイ稚魚用飼料としての有効性

佐藤 敦一,^{1a*} 藤岡 崇,^{1b} 信太 茂春²

(2005年5月12日受付, 2005年11月25日受理)

¹北海道立栽培漁業総合センター, ²北海道立釧路水産試験場

Availability of commercial squid liver meal as diets of fingerling rockfish

NOBUKAZU SATO,^{1a*} TAKASHI FUJIOKA,^{1b} AND SHIGEHARU NOBUTA²¹Hokkaido Institute of Mariculture, Kayabe, Hokkaido 041-1404, ²Hokkaido Kushiro Fisheries Experiment Station, Kushiro, Hokkaido 085-227, Japan

Feeding experiments were conducted to evaluate the growth performance, feed conversion efficiency, total food intake and heavy metal accumulation (Cd and Cu) in fingerling rockfish, *Sebastes schlegeli*, fed extruded pellets containing commercial diets supplemented with 0% (control) to 30% Squid Liver Pellet (SLP) for eight weeks.

Growth performance did not differ significantly in any of the experimental groups, but total food intake increased in response to increased SLP content. Findings also suggested that diets supplemented with SLP promoted fish feeding. However, accumulation of Cd and Cu in the liver of fish was more apparent in experimental groups fed diets containing 20 or 30% SLP. These findings indicate that SLP should only be applied at levels of up to 10% in the diets of fingerling rockfish.

キーワード：EP 飼料, イカ内臓, カドミウム, クロソイ, 飼料転換効率, 成長, 摂餌量, 銅

スルメイカの肝臓には、筋肉部の100倍のカドミウム(Cd)が含まれ(水産庁ホームページ: <http://www.jfa.maff.go.jp/release/15.05.021.html>), 漁業系廃棄物として排出されるイカ内臓(イカゴロ)は、その主体を肝臓が占める。¹⁾ イカゴロは、渡島支庁管内で多く排出され、その量は11,605 tと、道全体の約8割を占める(北海道水産林務部ホームページ: <http://www.pref.hokkaido.jp/srinmu/sr-skeie/cotents/index.htm>)。また、イカゴロは、Cd除去(以下脱Cd)等の中間処理を行わない場合、管理型の産業廃棄物となり、現在その処分場の確保が困難をきたしている。²⁾ このため、民間企業や行政機関からイカゴロの無害化処理と有効利用法の開発に関する要望が強い。

イカゴロと同じ水産系廃棄物であるホタテウロもCdを含有しているが、脱Cd後ミールに加工し、これをクロソイ稚魚で10%、ヒラメ稚魚で20%魚粉を代替できることが明らかとなっている。^{3,4)} また、松田らは^{5,6)}生

のイカ肝臓を用いてブリ、マダイ、ニジマスに対する飼料としての有効性について検討し、ブリやマダイには、魚粉を20~30%まで置換できることを明らかにしている。しかし、この中で試験飼料中および魚体中の重金属蓄積量までは、検討していない。

そこで、2002年度から道立工業試験場(以下道工試)、道立釧路水産試験場(以下道釧路水試)、道立栽培漁業総合センター(以下道栽培センター)が共同で研究を行い、イカゴロの漁業系廃棄物としての排出量削減につなげることを目的として、イカゴロの無害化処理法および有効利用法を検討することとなった。

本試験では、脱Cd処理の施されていない市販イカゴロミール(SLP)を用いて魚粉を0%、10%、20%、30%それぞれ置換した試験飼料および市販配合飼料も1試験区に設定してクロソイ稚魚に給餌し、飼育試験を実施した。あわせて、各試験区における試験期間中の全長・体重、試験終了時における血液性状、総摂餌量、1尾

* Tel : 81-143-22-2320. Fax : 81-143-22-7605. Email : saton@fishexp.pref.hokkaido.jp

^a 現所属：北海道立栽培水産試験場(Hokkaido Mariculture Fisheries Experiment Station, Muroran 051-0013, Japan)

^b 現所属：北海道立函館水産試験場(Hokkaido Hakodate Fisheries Experimental Station, Hakodate, Hokkaido 042-0932, Japan)

あたりの摂餌量の推移, 飼料転換効率 (総増重量/総摂餌量), 総摂取エネルギー量, 各試験区の一般組成および脂肪酸組成, クロソイ魚体中の重金属蓄積量について検討し, SLP の飼料としての有効性を調査したので報告する。

試料および方法

試験飼料の作成と飼料組成 試験飼料の原料は, イワシミール (釧路ハイミール[®]製) および市販イカ内臓飼料 (以下 SLP) を用いた。試験区は, 魚粉に対する SLP への置換割合から 0%, 10%, 20%, 30% の置換区を設定した。さらにヒラメ用の市販飼料 (ヒガシマル[®]製 P1 = ϕ 3.2 mm, P2 = ϕ 4.2 mm) 給餌区を試験区に加えた (Table 2)。試験飼料の作成は, まず原料を粉体にし, 2 軸型エクストルーダー (株式会社製鋼所製エクセルダー TVC-50L 型, L/D=24, スクリュー直径 = 50 mm) に二種の成型ダイを装着し, 飼育試験の対照区に用いた市販品と同様の ϕ 3.2 mm (長さ 4.8 mm), および ϕ 4.2 mm (長さ 4.9 mm) に調製した。二軸押し機に装着したスクリュー・エレメントは, 原料供給口から押し出し方向に向かって, 次第にピッチが狭くなるように長さ 50~150 (mm) のスペーサーとフォワード・スクリューを使用した。また, ϕ 3.2 mm および ϕ 4.2 mm の各ペレット飼料を調製する際のダイの口数をそれぞれ 3 穴および 2 穴することにより, スクリュー回転数 (20~25 rpm), バレル温度 (ホッパーバレル; 水冷, バレル; 80, 95, 105°C, ダイ; 80°C) に設定した。時

間当たりの給水量や原料供給量は, それぞれ 2 L/h, 9.3 kg/h に設定し, ほぼ一定に保った。各飼料中には, フィードオイル (理研ビタミン[®]製) 6.1%, α -デンプン (マツノリン M-22; マツタニ化学[®]製) 10.3%, ビタミン類 (ビタミックス C; マリンプロジェクト[®]製) 4.7%, ミネラル混合物 (荻野処方⁷⁾) 3.3% をそれぞれ添加した (Table 1)。

供試魚と給餌 2002 年 7 月 5 日に^①北海道栽培漁業振興公社瀬棚事業所で種苗生産された平均全長 36.5 mm のクロソイ稚魚 5,000 尾を搬入し, 8 t 円形 FRP 水槽に収容した。この稚魚に市販配合飼料を給餌し, 飼育

Table 1 Proximate composition of the ingredient

Proximate composition (%)	Sardine meal ^{*1}	Squid liver meal ^{*2}
Moisture	5.9	7.5
Crude protein	66.3	54.6
Crude lipid	12.2	26.7
Crude ash	15.6	7.7
Crude starch	0.0	3.5
Total energy (kcal/kg) ^{*3}	3959.5	4691.0
Cd (mg/kg diet)	0.0	34.0
Cu (mg/kg diet)	5.7	240.4

^{*1} Sardine meal (CP: 65%) produced by Kushiro-high-meal Co., Ltd.

^{*2} SLP produced by Nippon Kagakushiryou Co., Ltd.

^{*3} Metabolizable energy of dry matter based on a caloric density of 4.5 kcal/g for protein, 8 kcal/g for lipid and 2.8 kcal/g for starch.

Table 2 Composition of experimental diets

Ingredient	Commercial		Test diets			
	P1	P2	0%	10%	20%	30% ^{*5}
Sardine meal			75.6	68	60.5	52.9
Squid liver meal			—	7.6	15.1	22.7
Feed oil ^{*1}			6.1	6.1	6.1	6.1
α -Starch ^{*2}			10.3	10.3	10.3	10.3
Vitamin mixture ^{*3}			4.7	4.7	4.7	4.7
Mineral mixture ^{*4}			3.3	3.3	3.3	3.3
Proximate composition (%)						
Moisture	9.1	12.7	12.3	12.2	13.8	13.7
Crude protein	53.4	51.8	45.1	44.8	43.6	43.2
Crude lipid	14.4	14.8	16.9	17.4	17.5	17.9
Crude ash	12.2	11.3	15.0	14.7	13.2	13.1
Crude starch	10.9	9.4	12.3	12.2	13.8	13.7
Total energy (kcal/kg)	3860.2	3778.2	3725.9	3749.6	3748.4	3759.6

^{*1} Feed oil Ω produced by Riken vitamin co., ltd.

^{*2} Matsunorine M-22 produced by Matsutani kagaku co., ltd.

^{*3} VitamixC produced by Marine project co., ltd.

^{*4} Modification of Ogino's recipe⁷⁾.

^{*5} Rate of sardine meal replaced by squid liver meal.

試験開始時まで予備育成した。育成終了後、2002年8月27日に全長測定を行い、平均全長79 mmの稚魚を試験魚とした。そして、500 L パンライト水槽を試験水槽に用い、各試験区1水槽とし、稚魚を1水槽あたり220尾収容した。飼育水温は、16~17℃に設定し、換水量は4.0~5.0 L/min、通気量は1.8~2.0 L/minで行い、8週間飼育した。水槽間の稚魚の状態のばらつきを少なくするため、収容は10尾ずつ複数回に分けて行ったが、収容時においてミスがあり、10%置換区と20%置換区がそれぞれ240尾、200尾であった (Table 2)。

給餌は、1日2回行い、各試験区の稚魚が飽食に達するまで給餌した。給餌後、残餌を回収して残餌量を測定し、給餌量からその残餌量を差し引き、各水槽における群摂餌量および1尾あたりの摂餌量を求めた。また、飼料効率は、一般的には、総増重量を総給餌量で除した割合であるが、⁸⁾ 本試験では、総増重量を総摂餌量で除して求めた。なお、総増重量および総摂餌量は、標本抽出による損失分を考慮し、2週間ごとの測定間の結果について合計して1尾あたりに換算し、8週までの値を総計し求めた。

試験飼料および魚体分析 測定は2週間ごとにを行い、項目は全長、体重とした。測定尾数は50尾とし、試験終了時には、全尾数測定した。また測定を行った稚魚の一部は、体成分分析用サンプルとして、-20℃のフリーザーに保存した。試験期間中に各区からサンプリングした稚魚数は、測定1回目50尾、測定2回目20尾、測定3回目40尾であった。試験飼料および魚体の一般組成・脂肪酸組成 (イニシャルのみ20尾、その他10尾をそれぞれプール)、肝臓中の重金属蓄積量 (Cd, Cu, 20尾をプール) を分析した。粗タンパク質はケルダール法、総脂質はブライ・ダイアー法、灰分は灰化法、水分は105℃での常圧加熱乾燥法で行った。脂肪酸組成は、抽出した総脂質をけん化・メチル化し、ガスクロマトグラフ (株式会社日立製作所 G-3900) を用いて分析した。クロソイ魚体中の Cd および Cu 含量は、原子吸光度計 (株式会社日立製作所 Z-6000 型) を用いて分析した。試験終了時、稚魚の血液性状を比較するために、各区のそれぞれ5~10尾について、血液中のヘマトクリット値 (Ht%) を測定した。

試験飼料の総エネルギー含量は、タンパク質 4.5 kcal/g、脂質 8 kcal/g、糖質 2.8 kcal/g として計算した。^{9,10)}

統計処理 試験区間の平均値の比較では、チューキーの多重比較検定 (有意水準 5%) を行った。また、飼料中の SLP 置換率と総摂餌量、飼料転換効率、試験飼料中の重金属蓄積濃度、クロソイ肝臓中の重金属蓄積濃度それぞれとの関係については、線形回帰分析を行い、回帰係数の有意性について危険率 5% で検定を行った。

Fig. 1 Changes in the average total length and body weight of rock fish test diets for 56 days. Symbols and vertical bars represent means and standard deviation.

Fig. 2 Comparison of hematological characteristics (Ht %) at the end of the experiment. Vertical bars represent standard deviation.

結 果

各試験区における試験期間中の全長、体重 試験期間中のクロソイ稚魚の全長、体重は、各試験区とも同じ傾向で推移した (Fig. 1)。試験終了時における各区の全長は 114.3~117.6 mm、体重は 29.5~32.1 g と試験区間で有意差は認められなかった。

試験終了時における血液性状の比較 各試験区の試験終了時での血液性状を把握するため、ヘマトクリット値 (Ht%) を測定したが、34.9~39.8% と各試験区間で有意差は認められなかった (Fig. 2)。なお、試験期間中

死亡した個体は20%置換区で1尾のみであった。なおこの死亡魚は、底掃除の際における事故が原因で死亡した。

各試験区の一般組成 原料ミールの一般組成を Table 1 に示した。SLP は、飼料用魚粉と比較し、粗タンパク質は10%程低く、粗脂肪は約15%高かった。Cd および Cu 濃度は、飼料用魚粉よりも高い傾向を示した。

試験飼料の一般組成は、市販区の粗タンパク質および

総脂質が53.9% および23.2% と他区よりも高い傾向がみられた (Table 2)。しかし、魚体中の一般組成は試験区間ではほぼ同様に推移し、終了時における魚体中の EPA (エイコサペンタエン酸) 含量3.1~3.5% (乾燥重量換算), DHA (ドコサヘキサエン酸) 含量3.3~4.4% (乾燥重量換算) も試験区間に顕著な差は認められなかった (Table 3, 4)。

総摂餌量, 1尾あたりの摂餌量の推移, 飼料転換効率, 総摂取エネルギー量 Table 5 に総摂餌量, 1尾あたりの摂餌量の推移, 飼料転換効率, タンパク効率, 総摂取エネルギー量の結果を示した。SLP の置換割合と総摂餌量との関係は、回帰係数に有意性は検出されなかったものの ($P=0.1822$), SLP を添加した各区が23.1~27.2 g/尾と、市販区 (21.3 g/尾) および対照区 (22.4 g/尾) よりも多かった。さらに1尾あたりの摂餌量の推移でも、SLP 置換区が他の試験区より高い傾向が認められた (Fig. 3)。各試験区の総増重量は、SLP 置換区が21.5~23.2 g と市販区 (20.2 g/尾) および対照区 (20.1 g/尾) よりも多かった。

飼料転換効率は、市販区, 0%置換区, 10%置換区

Table 3 Approximate composition of the whole body of rockfish fed on experimental diets (%)

	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Crude ash
Initial	71.1	15.8	9.2	3.9
Final				
Commercial	68.3	16.3	11.6	3.9
0%	67.9	15.8	12.3	3.9
10%	68.6	15.9	12.4	3.1
20%	67.3	16.1	12.7	3.8
30%	67.3	15.8	13.1	3.7

Table 4 Fatty acid composition of test diets and whole body rockfish fingerlings

Fatty acids	Test diets					Whole body of rock fish fingerlings.					
	Commercial	Replacing rate for SLP (%)				Initial	Final				
		0%	10%	20%	30%		Commercial	0%	10%	20%	30%
14 : 0	5.5	4.3	4.2	4.5	4.5	4.4	4.5	4.6	3.9	3.8	3.7
14 : 1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.2
15 : 0	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3
16 : 0	17.5	12.6	13.0	13.4	13.9	16.6	17.6	16.8	15.2	15.1	15.3
16 : 1	6.8	6.8	6.6	6.6	6.5	8.0	8.5	8.9	7.9	7.6	7.8
16 : 2	0.4	ND	ND	ND	ND	—	—	—	—	—	—
17 : 0	1.8	1.1	1.2	1.2	1.2	1.5	1.4	1.1	1.1	1.1	1.1
18 : 0	5.2	2.8	2.7	2.7	2.7	4.0	3.7	2.9	3.1	3.0	3.1
18 : 1	16.8	17.8	17.9	18.0	18.1	23.1	25.0	25.2	24.6	24.6	25.0
18 : 2	3.5	1.5	2.0	2.4	2.8	3.1	3.0	1.8	2.2	2.8	2.4
19 : 0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
18 : 3	1.6	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	0.8	0.9	1.0	0.9
18 : 4	2.0	2.4	2.3	2.2	2.1	1.8	1.6	1.9	2.0	1.9	1.9
20 : 0	ND	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
20 : 1	3.7	10.0	9.8	9.6	9.3	2.1	2.3	6.7	7.1	6.9	7.0
20 : 4	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	1.1	1.0	0.8	0.9	1.0	0.9
20 : 5(EPA)	10.4	10.0	10.1	10.0	10.0	10.4	9.0	8.0	8.8	9.1	8.7
22 : 1	4.2	11.0	10.4	10.0	9.3	1.4	1.6	5.2	5.7	5.3	5.6
22 : 6(DHA)	11.9	10.1	10.2	10.0	10.2	12.8	11.9	8.7	9.8	10.1	9.8
24 : 1	1.6	1.2	1.3	1.0	1.1	0.9	0.6	0.8	0.9	0.7	0.8
others	4.8	5.8	5.6	5.6	5.4	6.9	6.3	5.1	5.3	5.3	5.1
Total lipids (%d.b.*1)	25.0	17.2	18.2	18.6	19.4	31.8	36.6	38.3	39.5	38.8	40.1
EPA (%d.b.)	2.6	1.7	1.8	1.9	1.9	3.3	3.3	3.1	3.5	3.5	3.5
DHA (%d.b.)	3.0	1.7	1.9	1.9	2.0	4.1	4.4	3.3	3.9	3.9	3.9

*1 % dry basis.

Table 5 Growth performance of rockfish in the 8-week feeding trials

	Experimental lot				
	Commercial	Replacing rate for SLP (%)			
		0%	10%	20%	30%
Average total length (mm)					
Initial	79.0±5.5 ^{*1}	80.0±5.4	79.0±5.3	79.0±5.3	79.0±5.2
Final	115.0±9.0	114.3±9.5	116.2±8.3	117.6±9.4	115.7±13.2
Average body weight (g)					
Initial	9.4±1.8	9.4±1.8	9.0±1.8	8.9±1.7	9.2±1.9
Final	29.6±6.6	29.5±7.4	30.5±6.6	32.1±7.7	30.8±6.8
Total food consumption (g/fish)	21.3	22.4	23.1	27.2	25.8
Total increased body weight (g/fish)	20.2	20.1	21.5	23.2	21.6
Gross Energy (total Kcal/fish)	81.3	83.5	86.6	102.0	97.0
FCR (%) ^{*2}	94.8	89.7	93.1	85.3	83.7

^{*1} mean ± SD^{*2} Feed conversion ratio (total increased body weight×100/total food consumption) **Fig. 3** Changes in the food intake of commercial (◆) and experimental; 0% (■), 10% (△), 20% (×), 30% (○) diet per fish.

で89.7～94.8%と約90%でありほぼ同一であった。一方、20%置換区および30%置換区は、それぞれ85.3%、83.7%と、これら3区よりやや低かった。飼料転換効率と飼料中のSLP置換率には、回帰係数に有意性は検出されなかった ($P=0.2198$)。

各試験区の総摂餌量と試験飼料中のエネルギー含量 (kcal/kg) (Table 1) を基に算出した総摂取エネルギー量 (Gross Energy: 以下Iとする。) は、10～30%置換区が0%置換区および市販区よりも高くなった。

クロソイ魚体中の重金属蓄積度合い Fig. 4に試験飼料およびクロソイ魚体中の重金属含有量を示した。試験飼料の重金属 (Cd, Cu: mg/kg) は、0%置換区ではCdが0.3, Cuが27.4と市販区より若干多いものの、SLP置換区より少なかった。SLP置換区では、SLPの置換割合が高くなるほど、Cdが6.6～17.4, Cuが53.6～110.6へと増加し、飼料中のSLP置換率と重金属濃度との間に有意な正の関係が認められた。(Cdの $R=$

Fig. 4 Heavy metal contents (Cd and Cu) in test diets (A) and in the fish liver (B).

0.9991, $P=0.0009$, 回帰方程式: $Y=278.17X+26.757$), (Cuの $R=0.9998$, $P=0.0002$, 回帰方程式: $Y=56.55X+0.565$)

試験区のクロソイ肝臓中のCdは、SLPの置換割合と有意な正の相関が認められた ($R=0.9964$, $P=0.0036$, 回帰方程式: $Y=2.39X+0.099$)。Cuは、0%置換区と10%置換区がそれぞれ2.7と同一であり、20%、30%とSLPの置換割合が増加するにつれて4.3～5.1へと増加した。飼料中のSLP置換率との間で回帰係数に有意性は検出されなかった ($P=0.0562$)。

市販区の肝臓中 Cd および Cu 濃度と比較すると, 0 % 置換区および 10 % 置換区は低いかもしくは変わらなかったが, 20 % 置換区および 30 % 置換区は高かった。さらに, 試験開始時よりも肝臓中の Cd および Cu 含有量が高くなった試験区は, 20 % 置換区および 30 % 置換区であった。

考 察

各試験区における試験期間中の全長, 体重 SLP 置換飼料をクロソイ稚魚に給餌しても魚粉 100 % 飼料 (0 % 置換区), 市販飼料と同様に順調に成長することが確認された。イカ生肝臓は, 本試験とは試験対象魚種が異なるものの, プリ稚魚に対して魚粉を 20~30 % 置換できることが示されている。⁶⁾ 本試験では, 30 % 置換区までは成長差が認められていないことから, 市販イカゴロミールは, イカ生肝臓に匹敵する飼料原料であると考えられる。これらは, SLP 置換飼料が, 魚粉代替飼料として利用できる可能性が非常に高いことを示している。

試験終了時におけるヘマトクリット値の比較 ヘマトクリット値では, 差が認められなかった。Cd や Cu などの重金属は, 中毒症状として貧血を起こすことが一般的に知られており, 貧血状態になると正常な状態の時と比較し, ヘマトクリット値は低くなる。¹¹⁾ このことから, 30 % まで SLP で魚粉を置換してもクロソイ稚魚は貧血状態になっていないと考えられた。

各試験区の一般組成, 総摂餌量, 1 尾あたりの摂餌量の推移, 飼料転換効率, 総摂取エネルギー量 総摂餌量および 1 尾あたりの摂餌量の推移の結果から, SLP 置換区は市販区および 100 % 魚粉区より摂餌量が多くなることが明らかとなった。このことから, イカゴロにはクロソイ稚魚の摂餌を誘起する何らかの有効成分が含まれている可能性が示唆された。カサゴに対する摂餌促進物質として, イノシン, L-アラニン, L-メチオニン, L-セリン, L-プロリンが同定されている。¹²⁾ また, マダイに対する摂餌促進物質として, イカゴロ中にはグリシン, リジン, グリシン, アラニン, α -アミノ酪酸, アスタキサンチンが含まれていると報告されている。⁷⁾ 今後, クロソイの摂餌を誘起するイカゴロ中の摂餌促進物質の特定が望まれる。

飼料エネルギーは市販区が SLP 置換区よりも高い傾向を示したが, 総摂取エネルギー I は市販区と SLP 置換区では, SLP 置換区の方が市販区より高い傾向を示した。これは, SLP 置換区は, 市販区より摂餌量が多かったことにより, I を市販区よりも多く獲得できたことを示唆している。

20 % および 30 % 置換区は, 10 % 置換区, 0 % 置換区, 市販区より飼料転換効率がわずかに低かったことから, 魚粉に対する SLP の置換割合が 20 % 以上となる

と I の体成長への利用効率がやや劣ると考えられる。しかし, I について市販区や 0 % 置換区よりも多く獲得できたために, 同利用効率の差を補ない, 市販区や 0 % 置換区と成長差が認められなかったと思われる。

これらのことから, SLP は, 魚粉よりも利用効率の点では劣るものの, クロソイ稚魚の摂餌を誘起する点では魚粉よりも有利であると考えられる。

なお, 20 % 置換区の稚魚 1 尾あたりの総摂餌量および総増重量が, 両者とも, 10 % 置換区や 30 % 置換区より多かった点については, 収容個体数がこれらの区より少なかったことが影響した可能性が考えられる。

クロソイ肝臓中の重金属蓄積度合い Cd は有害重金属の 1 つであり, 家畜用飼料として飼料中に 2.5 ppm 以下であることが飼料安全法により定められている。また, Cd が多量に含まれる飼料をニジマスが摂取すると餌の吐き戻しが観察される。¹³⁾ 本試験では, 10 % 置換区までは市販区と肝臓中の Cd 濃度が変わらなかったことは, 肝臓中での代謝が 10 % 置換区は市販区と同様に行われたためと考えられた。20 % 置換区および 30 % 置換区は, 摂餌性への影響は認められなかったものの, 代謝能力を超えた量の Cd を摂取した可能性が考えられた。

ニジマスでは, Cd のステアリン酸塩が飼料 1 kg 中乾燥重量換算で 1~100 mg 含まれるものを給餌すると, 魚体中の Cd 濃度は濃度依存的に増加し, 10 mg/kg 給餌区ではある時期まで蓄積濃度が増加するものの, 以降は減少する傾向が認められ, 100 mg/kg 給餌区では, 試験終了時まで増加した。¹⁷⁾ 本試験では, 各試験区のクロソイ肝臓中の Cd は, SLP の置換割合が高くなるほど有意に増加したが, 10 % 置換区までは市販区と同レベルであった。しかし, 20 % 以上の置換割合では, 同濃度が試験開始時よりも増加した。このことも, 20 % 置換飼料中の Cd 濃度では, クロソイ稚魚の代謝能力を超える濃度であることを示すと思われた。

一方, Cu は, 鉄分の吸収と関係しており, ヘモグロビン合成で役割を果たす。¹⁴⁾ しかし, 過剰に Cu を摂取すると負の影響が生じることがニジマス,¹⁵⁾ チャンネルキャットフィッシュ¹⁶⁾ で報告され, 前者は 730 mg/kg, 後者は 32 mg/kg で低成長等の毒性が観察された。本試験では, 10 % まで SLP で置換しても市販区と変わらず, 20 % 以上置換すると市販区より高くなった。これは, 市販飼料の Cu 含量 19.6 mg/kg から 10 % SLP 置換飼料の 53.6 mg/kg までは, クロソイの Cu 要求量の範囲内であり, クロソイ魚体内で代謝されたためであると考えられた。

本試験は, 漁業系廃棄物の 1 つであるイカゴロを飼料として有効利用を図ることを目的として行っているが, 魚粉の代替タンパク源としてのイカゴロミールの有効性という面からの検討でもある。魚粉の代替タンパク

源に関する研究は、折からのマイワシ漁獲量の激減から、コーングルテンや大豆タンパク質といった植物タンパク源やフェザーミール等の動物タンパク源を用いて精力的に行われている。¹⁸⁻²¹⁾ 本試験の結果から、SLPで魚粉を30%まで置換しても成長差が認められないことが明らかとなった。また、SLP試験飼料中には、クロソイの摂餌を誘起する物質が含まれていると思われる。一方、20%以上SLPで魚粉を置換すると飼料中の重金属濃度が代謝能力を超える濃度となっている可能性が考えられた。これらのことから、SLPで魚粉を置換できる割合は10%と推察された。

今後、置換割合の上限を見極めるには、稚魚肝臓中のCdやCu濃度を指標とした代謝について詳細に検討しつつ研究を進める必要がある。

Cd等の重金属の魚体蓄積についての不安要素は、重金属を除く処理を施したミールを使用することで大きく軽減されることが考えられる。現在、本試験で用いた手法と同様にして、道工試にて脱重金属処理（特許出願中）が施されたイカゴロミール²²⁾で置換された試験飼料を用いて飼育試験を行っており、知見が得られつつある。

謝 辞

試験魚クロソイ稚魚の搬入時に、多大なる御協力頂いた北海道栽培漁業振興公社瀬棚事業所の西村 勉所長並びに関係職員の皆様に深謝致します。

引用文献

- 1) 奥積昌世, 藤井建夫. 「イカの栄養・機能成分」成山堂書店, 東京. 2000; 1-24.
- 2) 財団法人日本産業廃棄物処理振興センター. 「特別管理産業廃棄物管理責任者講習会テキスト」財団法人日本産業廃棄物処理振興センター, 東京. 1998; 170-187.
- 3) 麻生真悟, 北川雅彦, 齊藤節雄, 森 立成. クロソイ稚魚用飼料におけるホタテガイ副産物ミールの利用. 北水試研報 1999; **56**: 143-147.
- 4) 麻生真悟, 北川雅彦, 齊藤節雄, 森 立成. ヒラメ稚魚飼料におけるホタテガイ副産物ミールの利用. 北水試研報 2000; **57**: 9-13.
- 5) 松田吉央, 林 昭彦, 吉富文司, 竹内俊郎. ニジマスの飼料中各栄養素の消化吸収率および成長に及ぼすエクストルーダー飼料への生イカ肝臓添加の影響 (予報). 水産増殖 2001; **49**: 377-381.
- 6) 松田吉央, 林 昭彦, 吉富文司, 金澤昭夫, 竹内俊郎. プリおよびマダイの成長および飼料中各栄養素の消化吸収率におよぼすエクストルーダー飼料への生イカ肝臓配合の影響. 水産増殖 2001; **49**: 483-488.
- 7) 荻野珍吉, 竹内レビエン, 武田 博, 渡邊 武. コイおよびニジマスにおける飼料磷の有効性について. 日本誌 1979; **45**: 1527-1532.
- 8) 能勢建嗣. 魚類のエネルギー代謝. 「魚類の栄養と飼料」(荻野珍吉編) 恒星社厚生閣, 東京. 1971; 61-79.
- 9) 竹田正彦, 示野貞夫, 細川秀毅, 梶山英俊, 会所健志. ハマチの成長, 飼料効率および体成分に及ぼす飼料のカロリー・蛋白質比の影響. 日本誌 1975; **41**: 443-447.
- 10) 示野貞夫, 細川秀毅, 竹田正彦, 梶山英俊. 配合飼料のカロリー・タンパク質比がハマチの成長, 飼料効率および体成分に及ぼす影響. 日本誌 1980; **46**: 1083-1087.
- 11) 池田弥生, 尾崎久雄, 瀬崎啓次郎「魚類血液図鑑」緑書房, 東京, 1986; 290-291.
- 12) 高岡 治, 滝井健二, 中村元二, 熊井英水, 竹田正彦. カサゴに対する 摂餌促進物質の同定. 日本誌 1990; **56**: 345-351.
- 13) Handy R. The effect of acute exposure to dietary Cd and Cu on organ toxicant concentrations in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquatic Toxicology*. 1993; **27**: 1-14.
- 14) Lovell T. Dietary requirements. In: Lovell T (ed) *Nutrition and feeding of fish, second edition*. Kluwer Academic Publishers, Massachusetts. 1998; 13-70.
- 15) Lanno R, Slinger S, Hilton J. Maximum tolerable and toxicity levels of dietary copper in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture*. 1985; **49**: 257-268.
- 16) Gatlin D, Wilson R. Dietary copper requirement of fingerling channel catfish. *Aquaculture*. 1986; **54**: 277-285.
- 17) Kumada H, Kimura S, Yokote M. Accumulation and biological effects of Cadmium in Rainbow Trout. *Nippon Suisan Gakkaishi*. 1980; **46**: 97-103.
- 18) 山本剛史, 鞍本裕子, 古板博文, 鈴木伸洋, 神原 淳. 大豆粕およびコーングルテンミール主体ニジマス稚魚用無魚粉飼料の有効性. 水産増殖 2003; **51**: 211-217.
- 19) 渡邊 武, 青木秀夫, V ウイヤカーン, 舞田正志, 山形陽一, 佐藤秀一, 竹内俊郎. プリ用ソフトドライペレットにおける魚粉代替タンパク質の併用配合による利用性. 水産増殖 1995; **43**: 511-520.
- 20) 細川秀毅, 木下浩樹, 益本俊郎, 示野貞夫, 阪本禮一郎. プリのコーングルテンおよび大豆タンパク質に及ぼすアミノ酸補足の影響. 水産増殖 2001; **49**: 369-375.
- 21) 中川平介, 古橋 真, 海野徹也, 近藤郁子, 酒本秀一. アユ用飼料に対するトウモロコシ粉の有効性. 水産増殖 2004; **52**: 45-50.
- 22) 若杉郷臣, 富田恵一, 長野伸泰, 簗嶋祐典, 鎌田樹志, 松嶋景一郎, 作田庸一. イカ内臓の処理・利用技術の開発 (第2報)―脱脂工程の大規模処理に向けた検討―. 北海道立工業試験場報告. 2003; **3**: 33-39.