

原著論文

ブリ幼魚用飼料における魚油精製副産物の利用

古板博文*¹・杉田 毅*²・山本剛史*³・風 直樹*⁴・山本浩志*⁴Evaluation of nutritional value of a fish oil by-product in a diet for fingerling yellowtail *Seriola quinqueradiata*Hirofumi FURUITA, Tsuyoshi SUGITA, Takeshi YAMAMOTO,
Naoki KAZE and Hiroshi YAMAMOTO

A 50-day feeding experiment was conducted to evaluate the nutritional value of a fish oil by-product rich in phospholipids, obtained from tuna and bonito processing residue, in low-fish-oil diet (LFO) for yellowtail. Control diet contained fish oil as the sole lipid source (HFO). Fish oil content of HFO was reduced to one-third and substituted by soybean oil to prepare LFO. Fish oil content of LFO diet was replaced with fish oil by-product and squid liver oil to prepare fish oil by-product diet (FOB). As fish oil by-product contained less n-3 highly unsaturated fatty acids (HUFA) than fish oil, squid liver oil was added to satisfy the n-3 HUFA requirement. After the feeding experiment, final body weight, weight gain and specific growth rate of fish fed FOB were comparable to those for fish fed HFO, and higher than for those fed LFO. Feed efficiency showed a similar trend to fish growth. n-3 HUFA levels in liver of fish fed HFO were significantly higher than for those fed LFO and FOB, and were similar between fish fed LFO and FOB. These results suggest that the inclusion of fish oil by-product in a low-fish-oil diet improves growth and feed performance in yellowtail fingerlings.

キーワード：魚油精製副産物, n-3HUFA, 低魚油飼料, ガム質

2014年4月10日受付 2015年1月8日受理

世界的な養殖生産量の増加にともない養魚飼料の主原料である魚粉や魚油の需要が増加しているが、魚粉や魚油の生産量は頭打ちとなっているため、それらの価格が高騰している (Tacon *et al.* 2008, Turchini *et al.* 2009)。今後も養殖生産量は増加していくと予測されており (Tacon *et al.* 2008)、魚粉および魚油の代替原料の開発が急務である。ブリ *Seriola quinqueradiata* は国内における養殖生産量が最も多く、魚粉代替タンパク質の検討は数多くなされているが、魚油代替油脂の検討はわずかである (Watanabe 2002)。多くの魚種で魚油代替油脂として利

用される大豆油やパーム油等は、海産魚の必須脂肪酸 (EFA) である n-3 高度不飽和酸 (n-3HUFA) を含まないため海産魚において魚油の全てを代替することは困難であり (Tocher 2003)、ブリではパーム油、牛脂およびその混合物により魚油の 50% の代替が可能であることが報告されている (Watanabe 2002)。

養魚飼料に配合されている魚油はトリグリセライドが主成分で、n-3HUFA はトリグリセライド型である。しかし、仔魚に対する n-3HUFA 給源としては、トリグリセライド型よりもリン脂質と結合したもの (海洋性リン

*¹ 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所南勢庁舎
〒516-0193 三重県度会郡南伊勢町中津浜浦 422-1

Nansei Laboratory, National Research Institute of Aquaculture, FRA, 422-1 Nakatsuhamaura, Minami-ise, Watarai, Mie 516-0193, Japan
furuita@affrc.go.jp

*² 独立行政法人国際農林水産業研究センター水産部

*³ 独立行政法人水産総合研究センター増養殖研究所玉城庁舎

*⁴ 植田製油株式会社

脂質)の方が優れており (Sargent *et al.* 2002), 海洋性リン脂質はトリグリセライド型の n-3HUFA よりも 20-30% 程度少ない量で EFA 要求を充足できることが知られている (Salhi *et al.* 1999)。しかし, 幼魚あるいは成魚での EFA 要求に及ぼす海洋性リン脂質の効果は不明である。魚油は, 魚粉の製造過程で, あるいは魚介類の内臓を圧搾して得られる粗製油から, 遊離脂肪酸やリン脂質などを取り除く精製工程を経て製品となる。その過程で得られる副産物 (ガム質) は, リン脂質に富む新しい原料である。幼魚においても仔魚と同様に海洋性リン脂質が高い効果を持つならば, 低魚油飼料にガム質を配合することで既報 (Watanabe 2002) の 50% よりもより高い割合で魚油を代替できる可能性がある。本研究では, 魚油の 67% を大豆油で代替した低魚油飼料にガム質を配合することで成長や飼料効率を改善できるかどうか検討した。

材料と方法

試験飼料 試験に使用した魚油精製副産物 (ナイスマリニリビッド KW, 植田製油株式会社製) は, カツオおよびマグロの頭部から抽出した粗製油の精製過程で得られたもので, その組成を表 1 に示した。ガム質は水分約 77%, 脂質が 22% で, 脂質のうち極性脂質が 16% であった。極性脂質として, ホスファチジルコリンおよびスフィンゴミエリンが主成分であった。脂肪酸組成は n-3HUFA が約 14% であり, 通常の魚油 (約 20%) に比べてやや n-3HUFA が少なかった。

表 1. ガム質の一般成分 (%) および脂肪酸組成

水分	77.0
タンパク質	1.0
総脂質	22.0
中性脂質	5.5
遊離脂肪酸	3.7
その他	1.8
極性脂質	16.5
ホスファチジルコリン	8.0
スフィンゴミエリン	5.0
その他	3.5
脂肪酸	(脂肪酸組成中 %)
16:0	34.5
16:1	3.3
18:0	12.9
18:1	17.6
20:4n-6	2.9
20:5n-3	2.2
22:5n-3	1.4
22:6n-3	10.1
n-3 HUFA*	13.7

*n-3 HUFA=20:4n-3+20:5n-3+22:5n-3+22:6n-3

タンパク質源として魚粉, 大豆油粕, コーングルテンミールを用い, 粗タンパク質 46% で, 異なる油脂を配合した 3 種の試験飼料を作製した (表 2)。対照区 (高魚油区) は魚油のみを添加し, 低魚油区およびガム質区は魚油の 2/3 を大豆油で代替した。低魚油区の飼料中 n-3HUFA 含量は, ブリ幼魚の n-3HUFA 要求量 (2%) (Takeuchi 1997) を満たすように設計した。ガム質区ではガム質に含まれる n-3HUFA が少ないため, n-3HUFA 含量の高いイカ肝油を配合し, n-3HUFA 要求を満たすように設計した。各飼料原料をよく混合した後, ディスクペレッターで成形し, 乾燥機で乾燥させた。魚のサイズに合わせてふるい分けした後, 給餌まで冷凍保存した。

試験魚 天然のモジャコを市販飼料で約 2 ヶ月間育成した後, 対照飼料で 8 日間馴致した平均体重 46 g のブリ幼魚を 200L 水槽に 11 尾ずつ収容 (2 反復区) した。平均水温 $25.2 \pm 1.1^\circ\text{C}$ のもとで 1 日 2 回飽食給餌し, 8 月から 10 月まで 50 日間の飼育を行った。注水量は約 3.2L/

表 2. 試験飼料の組成および分析値 (%)

原料	対照区	低魚油区	ガム質区
アジ魚粉	40.0	40.0	40.0
大豆油粕	14.7	14.7	14.7
コーングルテンミール	10.0	10.0	10.0
小麦粉	10.0	10.0	10.0
アルファー澱粉	1.95	1.95	1.95
タラ肝油	13.8	4.6	-
大豆油	-	9.2	9.2
魚油精製副産物*1	-	-	3.1
イカ肝油	-	-	1.5
ミネラルミックス*2	1.25	1.25	1.25
リン酸カルシウム	2.0	2.0	2.0
ビタミンミックス*3	1.5	1.5	1.5
ベタイン	0.5	0.5	0.5
グアガム	0.3	0.3	0.3
セルロース	4.0	4.0	4.0
分析値 (乾物)			
タンパク質	45.9	45.8	45.9
総脂質	22.1	23.1	25.9
中性脂質	19.3	20.4	20.4
極性脂質	2.8	2.7	5.5
飼料中 n-3HUFA	4.4	2.3	2.4
灰分	9.2	9.5	9.2

*1 魚油精製副産物の値は乾物で表示

*2 ミネラルミックスの組成 (g/kg) : NaCl, 40; MgSO₄·7H₂O, 600; Fe citrate, 100; Ca lactate, 140; ZnSO₄·7H₂O, 1.41; MnSO₄·4H₂O, 0.65; CuSO₄·5H₂O, 0.13; CoCl₂·6H₂O, 0.004; KIO₃, 0.012; セルロース, 117.8

*3 ビタミンミックスの組成 (g/kg) : チアミン硝酸塩, 0.86; リボフラビン, 0.70; ピリドキシン塩酸塩, 0.83; ニコチン酸, 2.50; パントテン酸カルシウム, 2.71; イノシトール, 30.00; ビオチン, 0.03; 葉酸, 0.15; シアノコバラミン, 0.001; アスコルビン酸カルシウム, 10.8; メナジオン, 0.3; 塩化コリン, 115.31; 酢酸トコフェロール, 6; セルロース, 829.8

分であった。試験終了時には48時間絶食した後、サンプリングを行った。サンプルは分析まで-80℃で保存した。

飼育成績は下記の数式により計算した。

増重率 (%) = (終了時平均体重 - 初期平均体重) × 100 / (初期平均体重)

日間成長率 (% / 日) = (ln (終了時平均体重) - ln (初期平均体重)) × 100 / (飼育日数)

日間摂餌率 (g/kg 体重 / 日) = 摂餌量 (g) × 1000 / [(初期平均体重 + 終了時平均体重) / 2 × (収容尾数 + 生残尾数) / 2] / (飼育日数)

飼料効率 (%) = (終了時平均体重 × 生残尾数 - 初期平均体重 × 収容尾数 + Σ死亡魚体重) × 100 / (摂餌量)

タンパク質効率 = (終了時平均体重 × 生残尾数 - 初期平均体重 × 収容尾数 + Σ死亡魚体重) × 100 / (タンパク質摂取量)

分析方法 全魚体、肝臓および筋肉は各水槽で4個体をブールしてホモジナイズし、1サンプルとして各試験区2サンプルを分析した。飼料および魚体の粗タンパク質含量は、セミマイクロケルダール法により窒素を定量して求めた。水分は105℃で10時間乾燥し、灰分は600℃で5時間灰化して、それぞれ測定した。粗脂肪はクロロホルム：メタノール混液で抽出し (Folch *et al.* 1957)、シリカカートリッジを用いて中性脂質と極性脂質に分離した (Juanda and Rocquelin 1985)。ガム質の脂質組成はイヤトロスキヤン (MK-6, 株式会社三菱化学ヤترون) で定量した。各脂質を三フッ化ホウ素によりメチル化した後、ガスクロマトグラフ (株式会社島津製作所 GC-2010) で脂肪酸組成を調べた (Furuita *et al.* 2014)。

結 果

飼料の分析値 飼料の一般成分を表2に、脂肪酸組成を表3にそれぞれ示した。タンパク質含量は各飼料とも約46%であったが、脂質含量はガム質区が他の区よりもやや高かった。飼料中n-3HUFA含量は対照区、低魚油区、ガム質区の順に、4.4、2.3、2.4%であり、全ての区でブリのn-3HUFA要求量(2%) (Takeuchi 1997) を満たし

表3. 試験飼料の脂肪酸組成 (総脂肪酸中%)

脂肪酸	対照区	低魚油区	ガム質区
14:0	4.4	1.9	1.3
16:0	13.7	12.9	15.2
16:1n-7	5.6	2.4	1.6
18:0	2.8	3.5	4.4
18:1n-9	13.3	19.3	20.5
18:1n-7	3.1	2.6	1.8
18:2n-6	6.4	32.7	37.5
18:3n-3	1.1	3.0	3.3
20:1	9.5	3.3	0.9
20:4n-6	0.5	0.4	0.6
20:5n-3	8.4	3.6	2.7
22:1	12.1	3.5	0.7
22:5n-3	1.5	0.7	0.4
22:6n-3	9.5	5.4	5.9
n-6	8.1	33.6	38.7
n-3	21.5	13.3	12.6
n-3 HUFA*	20.0	10.0	9.1
n-6/n-3	0.38	2.53	3.07
20:4n-6/20:5n-3	0.06	0.10	0.22
22:6n-3/20:5n-3	1.13	1.49	2.23

*表1参照

ていた。

飼育結果 終了時の平均体重はガム質区が最も高く、ついで対照区であり、低魚油区は最も低かった。増重率、飼料効率、タンパク質効率も同様の傾向であったが、ガム質区の飼育成績は他の試験区よりも水槽間で大きく変動した。日間摂餌率は試験区間で差はなかった(表4)。

魚体の分析結果 全魚体の水分は低魚油区がガム質区に比べて高く、脂質含量はガム質区が低魚油区よりも高かった。タンパク質、灰分は試験区間で差はなかった(表5)。肝臓中の脂質含量は低魚油区が最も高く、ついでガム質区、対照区の順であった。筋肉の脂質含量に試験区間で差はなかった。

肝臓および筋肉の脂肪酸組成は、飼料の脂肪酸組成をよく反映しており、低魚油区、ガム質区ともに肝臓、筋肉の中性脂質では、リノール酸(18:2n-6)が最も多くなっていた(表6、7)。n-3HUFAは肝臓、筋肉ともに中性脂

表4. 試験飼料を50日間給餌したブリの飼育結果

	対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2
生残率 (%)	100	100	100	82	91	100
終了時平均体重 (g)	192.4	196.9	179.0	171.2	226.3	203.5
増重率 (%)	318.1	328.0	290.0	271.2	391.5	342.5
日間成長率 (% / 日)	2.86	2.91	2.72	2.62	3.19	2.97
日間摂餌率 (g/kg 体重 / 日)	27.1	26.6	26.3	26.8	25.5	27.3
飼料効率 (%)	90.6	93.3	90.0	86.5	103.0	92.6
タンパク質効率	1.97	2.03	1.96	1.89	2.24	2.02

表 5. 全魚体の一般成分および肝臓、筋肉の脂質含量 (%)

	対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2
全魚体						
水分	70.8	71.2	71.5	72.3	70.3	69.2
タンパク質	19.3	19.1	19.2	18.7	19.2	19.6
総脂質	6.4	6.3	5.9	5.0	6.9	7.8
灰分	3.2	3.1	3.2	3.5	3.2	3.1
肝臓						
総脂質	7.8	9.4	12.3	12.5	9.0	10.3
中性脂質	5.6	6.2	9.9	9.3	6.9	8.1
極性脂質	2.2	3.2	2.4	2.1	2.2	2.2
筋肉						
総脂質	1.4	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5
中性脂質	0.6	0.7	0.8	0.6	0.7	0.6
極性脂質	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8

質および極性脂質において対照区が他の2区よりも高かった。低魚油区とガム質区の間では n-3HUFA 含量に大差なかったが、ガム質区の方がドコサヘキサエン酸 (DHA, 22:6n-3), アラキドン酸 (20:4n-6) が高く、エイコサペンタエン酸 (EPA, 20:5n-3) が低く、飼料組成と同様の傾向がみられた。

考 察

今回の試験では、これまでブリで報告されている魚油代替率 (50%) (Watanabe 2002) よりも高い割合 (67%) で魚油を大豆油で代替した。大豆油のみで代替した低魚油区は飼育成績が最も劣ったことから、魚油の 67% を

大豆油で代替するとブリの EFA 要求を満たしていない可能性が考えられた。低魚油区の飼料 n-3HUFA 含量は要求量 (2%) (Takeuchi 1997) よりも高くなるように設計した。しかし、n-3HUFA 要求量は飼料脂質量に左右され、ブリにおける脂肪酸組成中の n-3HUFA の適正量は 15-20% とされている (Takeuchi 1997)。低魚油区の脂質中 n-3HUFA は 10% と、この適正值よりも低いことから (表 3), 低魚油区は n-3HUFA 要求量を満たしていなかったものと考えられた。さらに、低魚油区の肝臓の脂質含量は、対照区よりも高くなっていった。肝臓の脂質含量の増加は EFA 欠乏の初期の指標とされ (Torstensen and Tocher 2011), 大西洋サケ *Salmo salar* では低水温下で代替油脂を給与した場合に見られている (Torstensen

表 6. ブリ肝臓の中性脂質および極性脂質の脂肪酸組成 (総脂肪酸中%)

脂肪酸	中性脂質						極性脂質					
	対照区		低魚油区		ガム質区		対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
14:0	3.8	3.7	1.4	1.4	0.8	0.9	1.2	1.3	0.5	0.6	0.4	0.4
16:0	14.5	15.0	11.7	11.4	9.4	11.4	21.4	21.3	20.6	20.3	21.2	22.0
16:1n-7	5.3	5.0	2.0	2.1	1.3	1.3	1.6	1.6	0.5	0.7	0.7	0.4
18:0	2.7	2.7	2.6	2.8	2.6	3.4	6.7	6.5	8.6	7.8	9.5	9.3
18:1n-9	20.9	20.7	24.2	24.4	21.8	22.4	7.0	7.4	7.5	8.5	6.5	6.8
18:1n-7	4.2	4.1	2.4	2.5	2.1	2.1	2.5	2.6	2.0	1.9	1.4	1.4
18:2n-6	7.6	7.1	38.2	38.0	44.0	41.5	2.6	2.7	15.8	18.1	14.6	15.6
18:3n-3	0.8	0.8	2.2	2.2	2.7	2.5	0.4	0.4	0.9	1.1	0.8	0.9
20:1	11.0	10.4	3.0	3.2	1.1	1.2	1.5	1.4	0.6	0.8	0.3	0.4
20:4n-6	0.7	0.7	0.3	0.3	1.0	0.9	3.0	2.9	2.6	2.5	3.7	3.4
20:5n-3	4.8	4.8	1.8	1.6	1.8	1.7	7.4	7.2	5.1	4.9	2.7	2.8
22:1	8.8	8.1	2.0	2.0	0.3	0.4	1.1	1.0	0.4	0.5	0.1	0.0
22:5n-3	1.7	1.8	0.6	0.8	0.9	0.8	2.0	1.8	1.7	1.9	1.5	1.5
22:6n-3	5.4	6.6	2.5	2.3	4.6	4.1	34.4	35.0	28.5	25.8	29.4	30.6
n-6	9.3	8.7	39.4	39.4	46.7	44.1	7.5	7.4	19.8	22.3	20.5	21.2
n-3	13.7	15.2	7.6	7.4	10.7	9.6	13.7	45.2	36.7	34.1	34.9	36.2
n-3 HUFA *	12.6	14.0	5.1	4.9	7.6	6.7	12.6	44.3	35.6	32.8	33.8	35.0

*表 1 参照

表 7. ブリ筋肉の中性脂質および極性脂質の脂肪酸組成 (総脂肪酸中%)

脂肪酸	中性脂質						極性脂質					
	対照区		低魚油区		ガム質区		対照区		低魚油区		ガム質区	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
14:0	1.8	2.6	1.2	0.9	0.9	0.9	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
16:0	18.8	16.5	14.6	16.5	16.7	16.3	19.4	20.3	18.5	18.1	18.5	19.5
16:1n-7	8.6	8.3	5.3	5.1	3.4	5.5	0.8	0.8	0.4	0.4	0.3	0.2
18:0	4.1	3.5	4.1	4.7	5.0	4.9	7.9	8.4	9.9	9.8	10.1	10.2
18:1n-9	10.3	11.7	17.2	14.4	16.7	16.6	7.8	7.4	9.2	9.2	7.8	7.9
18:1n-7	2.6	2.8	2.0	2.1	1.7	1.9	3.3	3.1	2.8	3.0	2.2	2.3
18:2n-6	4.7	4.9	28.0	25.3	29.3	29.5	3.1	2.9	16.4	16.7	16.8	16.5
18:3n-3	0.5	0.6	1.8	1.7	1.8	1.9	0.2	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5
20:1	6.1	6.6	2.9	2.4	1.1	1.0	2.7	2.5	1.0	1.0	0.5	0.4
20:4n-6	1.1	0.9	0.6	0.8	1.1	1.2	1.6	1.6	1.3	1.3	2.2	2.1
20:5n-3	6.5	6.9	3.0	3.5	2.5	2.5	6.2	6.1	3.3	3.2	2.6	2.6
22:1	5.6	7.5	2.4	1.6	0.4	0.2	1.3	1.3	0.4	0.4	0.4	0.2
22:5n-3	1.6	1.6	1.0	1.0	0.8	0.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9
22:6n-3	21.1	17.6	11.7	16.3	13.8	13.9	37.2	37.0	29.9	30.2	31.7	31.5
n-6	7.2	7.4	29.5	27.3	31.7	31.7	6.2	6.0	18.7	19.2	20.8	20.3
n-3	30.2	27.5	18.0	22.9	19.4	19.0	45.5	45.1	35.3	35.4	36.2	35.8
n-3 HUFA*	29.5	26.6	16.0	21.1	17.2	16.8	44.9	44.7	34.4	34.7	35.4	34.9

*表 1 参照

and Tocher 2011)。本実験の魚体の分析値からも低魚油区は n-3HUFA が不足していたものと推察された。

一方、ガム質区は低魚油区とほぼ同じ n-3HUFA 含量であったが、成長や飼料効率などが低魚油区に比べて改善され、対照区と同等の飼育成績を示したことから、ガム質とイカ肝油を添加することで魚油の 67% を大豆油で代替できることが示された。また、肝臓の脂質含量も低魚油区と異なり、ガム質区は対照区と差異がないことから、EFA 欠乏の症状を呈していないものと考えられた。魚粉由来のものを除けば、低魚油区は n-3HUFA 源が魚油のみであるのに対して、ガム質区にはガム質に由来する海洋性リン脂質が含まれており、飼料中の n-3HUFA の約半分が極性脂質由来の n-3HUFA であった。これらのことから、仔魚で知られているように、ブリ幼魚においても海洋性リン脂質が n-3HUFA 供給源として通常の魚油よりも優れた効果をもっているものと考えられた。飼料の脂肪酸組成 (表 3) はガム質区が、低魚油区に比べて DHA およびアラキドン酸がやや高く、EPA が低かった。肝臓および筋肉の脂肪酸組成もこれらの飼料の組成を反映し、ガム質区は低魚油区に比べて DHA およびアラキドン酸の割合が高く、EPA が低い傾向があった。これらの脂肪酸はエイコサノイド等生理活性物質の前駆体であり、魚体内で重要な役割を演じていると考えられており、互いに拮抗作用をもっているため、飼料中の含量だけでなく、それらの比率も重要であると考えられている (Sargent *et al.* 1999)。そのため、ガム質飼料の DHA/EPA 比およびアラキドン酸/EPA 比が低魚油飼料に比べて高かったことも、ガム質区の飼育成績を向上させた要因である可能性もある。ブリあるいは他魚種の仔稚魚に

おいては、DHA が EPA よりも高い EFA 効果を持つことが知られている。しかし、幼魚期においてはマダイ *Pagrus major* で EPA と DHA の間で EFA 効果に差がないことが示されているが、ブリでは不明である (竹内 2009)。海水魚におけるアラキドン酸の必要性に関する研究は n-3HUFA に比べて少ないが、ターボット *Scophthalmus maximus* 稚魚やヨーロッパヘダイ *Sparus aurata* 仔魚において飼料中にアラキドン酸を添加することで成長やストレス耐性などが改善することが示されている (Bell and Sargent 2003)。飼料へのアラキドン酸添加量の増加に伴う飼育成績改善効果のメカニズムは不明であるが、先に述べたようにアラキドン酸はエイコサノイドの前駆体であることから、飼料中のアラキドン酸/EPA 比の変化に伴い魚体中でエイコサノイド産生量が影響を受け、その結果として成長に影響を与えているのではないかと推察されている (Bell and Sargent 2003)。今後、低魚油飼料におけるこれらの脂肪酸含量および割合の影響についても調べる必要があるであろう。

以上、低魚油飼料にガム質とイカ肝油を配合することによって、ブリ幼魚の成長や飼料効率を魚油のみを配合した飼料と同等にまで改善できることが示唆された。しかしながら、今回の試験ではガム質区の飼育成績の水槽間の変動が大きかったことから、追試を行って効果を再確認する必要がある。また、今回使用したガム質は複数の主要成分から構成されていたことから、その中の有効成分を明らかにすることで、魚油精製副産物の有効利用および魚油使用量の低減化を進められるものと考えられる。

謝 辞

天然モジャコの入手にご協力いただいた愛媛県農林水産研究所水産研究センターの山下浩史博士に深く感謝する。この研究は、(独)水産総合研究センター運営費交付金によって行われた。

文 献

- BELL J. G. and J. R. SARGENT (2003) Arachidonic acid in aquaculture feeds: current status and future opportunities. *Aquaculture*, **218**, 491-499.
- FOLCH J., M. LEES and G. H. SLOANE-STANLEY (1957) A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**, 497-509.
- FURUITA H., K. MURASHITA, H. MATSUNARI, T. YAMAMOTO, J. NAGAO, K. NOMURA and H. TANAKA (2014) Decreasing dietary lipids improves larval survival and growth of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fish. Sci.*, **80**, 581-587.
- JUANEDA P. and G. ROCQUELIN (1985) Rapid and convenient separation of phospholipids and non phosphorous lipids from rat heart using silica cartridges. *Lipids*, **20**, 40-41.
- SALHI M., C. M. HERNÁNDEZ-CRUZ, M. BESSONART, M. S. IZQUIERDO and H. FERNÁNDEZ-PALACIOS (1999) Effect of different dietary polar lipid levels and different n-3 HUFA content in polar lipids on but and liver histological structure of gilthead seabream (*Sparus aurata*) larvae. *Aquaculture*, **179**, 253-263.
- SARGENT J. R., D. R. TOCHER and J. G. BELL (2002) The lipids. in "Fish nutrition (3rd edn)" (ed. by J. E. HALVER and R. W. HARDY), Academic Press, San Diego, 181-257pp.
- SARGENT J., L. MCEVOY, A. ESTEVEZ, G. BELL, J. HENDERSON and D. TOCHER (1999) Lipid nutrition of marine fish during early development: current status and future directions. *Aquaculture*, **179**, 217-229.
- TACON A. J. G. and M. METIAN (2008) Global overview on the use of fish meal and fish oil in industrially compounded aquafeeds: Trends and future prospects. *Aquaculture*, **285**, 146-158.
- TAKEUCHI T. (1997) Essential fatty acid requirement of aquatic animals with emphasis on fish larvae and fingerlings. *Rev. Fish. Sci.*, **5**, 1-25.
- 竹内俊郎 (2009) 脂質. 「改訂魚類の栄養と飼料」(渡邊武編), 恒星社厚生閣, 東京, 115-135pp.
- TOCHER D. R. (2003) Metabolism and functions of lipids and fatty acids in teleost fish. *Rev. Fish. Sci.*, **11**, 107-184.
- TORSTENSEN B. E. and D. R. TOCHER (2011) The effects of fish oil replacement on lipid metabolism. in: Fish oil replacement and alternative lipid sources in aquaculture feeds (ed. by G. M. TURCHINI, W.-K. NG, and D. R. TOCHER). CRC Press, Boca Raton, 405-437pp.
- TURCHINI G. M., B. E. TORSTENSEN and W.-K. NG (2009) Fish oil replacement in finfish nutrition. *Rev. Aquac.*, **1**, 10-57.
- WATANABE T. (2002) Strategies for further development of aquatic feeds. *Fish. Sci.*, **68**, 242-252.