水産研究・教育機構 機関リポジトリ
FRA Japan Fisheries Research and Education Agency Institutional Repository

成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2024-08-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 中山, 仁志, 古板, 博文, 天野, 俊二, 奥, 宏海, 村下, 幸司, 松成, 宏之, 田上, 伸治, 鈴木, 伸洋, 山本, 剛史 メールアドレス: 所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010567

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

原著論文

成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性

中山仁志[*1]・古板博文[*2]・天野俊二[*3]・奥　宏海[*2]・村下幸司[*2]・
松成宏之[*2]・田上伸治[*1]・鈴木伸洋[*3]・山本剛史[*2]

Potential of a low-fish-meal diet for growth performance and physiological conditions of ayu *Plecoglossus altivelis*

Hitoshi NAKAYAMA, Hirofumi FURUITA, Shunji AMANO, Hiromi OKU, Koji MURASHITA, Hiroyuki MATSUNARI, Shinji TANOUE, Nobuhiro SUZUKI and Takeshi YAMAMOTO

A feeding experiment was conducted to reduce the fish meal level in the diet of ayu, *Plecoglossus altivelis*. A conventional fish-meal-based control (CFM) diet and a low-fish-meal (LFM) diet were used in this study. Approximately 36% of the fish meal content in the CFM diet was replaced by soybean meal (SBM) and corn gluten meal (CGM). The growth, feed intake, and feed efficiency of fish fed the LFM diet were similar to those of fish fed the CFM diet. These results indicate that some part of the fish meal in ayu diets could potentially be replaced by SBM and CGM. However, the plasma total protein, total cholesterol, and glucose concentration of males fed LFM were slightly but significantly lower than those in the CFM group ($P<0.05$).

キーワード：アユ，養殖，低魚粉飼料
2014年10月10日受付　2015年6月4日受理

魚類養殖は日本における水産業全体の生産量の約21%を占めており，極めて重要な漁業種の一つである（総務省統計局2013）。魚類養殖，特に淡水魚養殖においては，魚粉を主成分とする配合飼料が普及しているが，近年，魚粉単価が高騰しているために飼料価格が上昇し，養殖漁家の経営を逼迫させていることが全国的な問題になっている（出村2010）。解決策の一つとして，価格が比較的安定している植物性タンパク質を用いた低魚粉飼料の開発が望まれている。

大豆油粕（SBM）やコーングルテンミール（CGM）は高タンパク質で安価であり，かつ世界的に流通していることから，有望な植物性タンパク質源として注目されている。また，これらの利用にあたっては，含硫アミノ酸であるメチオニンはSBMに少なくCGMに多い一方で，塩基性アミノ酸のリジンはSBMに比較的多くCGMに少ないことから，SBMとCGMを適切な比率で配合することが提案されている（Watanabe *et al.* 1997）。一方，SBMとCGMを主成分とする無魚粉飼料では，魚粉飼料に比べて不足する量のメチオニンとリジンの補足効果が報告されている（Yamamoto *et al.* 1995）。

アユ *Plecoglossus altivelis* は我が国における代表的な淡水魚の一種であり，これまで内陸部の河川流域を中心

[*1] 和歌山県水産試験場内水面試験地
〒649-6112　和歌山県紀の川市桃山町調月32-3
Freshwater Fisheries Experimental Station, Wakayama Prefectural Fisheries Experimental Station,
32-3 Tsukatsuki, Momoyama-cho, Kinokawa, Wakayama 649-6112, JAPAN
nakayama_h0012@pref.wakayama.lg.jp.
[*2] 国立研究開発法人水産総合研究センター増養殖研究所玉城庁舎
[*3] 東海大学海洋学部水産学科

として養殖されてきた。しかし，アユの栄養要求に関する報告はほとんどみられず，健康なアユの血中成分や臓器重量（GBSI 値等）などに関する知見はみあたらない。更に，淡水魚用の養殖飼料を低魚粉化するための研究は，ニジマス *Oncorhynchus mykiss* を中心として行われており（Yamamoto *et al.* 1995, Watanabe *et al.* 1997），アユ用配合飼料の低魚粉化についての報告もほとんどみあたらない。魚粉の一部を SBM や CGM で置換した配合飼料でアユを飼育すると，どのような影響が生じるのか全く不明であった。

本研究においてはアユ人工種苗を供試して，魚粉の一部を SBM と CGM で置換した配合飼料を一定期間給与し，従来の魚粉を主成分とする配合飼料を給与したアユと，成長，体成分や体組織の状態等を比較検討した。それによりアユ用の低魚粉配合飼料の開発に有用な応用的知見を得るとともに，全魚体や筋肉の遊離アミノ酸・脂肪酸組成，血漿化学成分，消化器官の組織像などについても調べ，アユの養成に必要な基礎的知見も得ようとした。

試料および方法

供試魚　和歌山県内水面漁業協同組合連合会により中間育成されたアユ人工種苗を供試した。なお，供試魚は飼育試験開始まで市販のアユ用配合飼料（日本配合飼料製，3C）を給与し，水温 16～18°C で飼育した。飼育試験開始時における体重は 27.1 ± 3.3g（平均値±標準偏差）であった。

飼料　対照飼料（表 1）は，市販のアユ用配合飼料（日本配合飼料製，3C）の配合組成や分析値（粗タンパク質含量，Crude protein(CP)=50%，粗脂質含量，Crude fat(CF)=8%）に準じた魚粉主体の配合飼料（CFM：Conventional fish meal-based control diet）とした。低魚粉飼料（LFM：Low fish meal diet）は CFM に含まれる魚粉の約 36% を SBM(CP=45.6%，CF=1.2%) および CGM (CP=63.0%，CF=4.2%) 混合物で代替した。また，LFM には CFM に比べて不足する必須アミノ酸のうち，メチオニンおよびリジンを添加し，摂餌誘引物質としてベタイン（Ingh *et al.* 1996，Olli and Krogdahl 1995）を添加した。両飼料の糖質源として α - でんぷんおよび小麦粉を，また，脂質源としてタラ肝油および大豆油を配合した。これらの試験飼料は既報の方法により直径 2.0mm のドライペレットに成型した（Yamamoto *et al.* 2002）。CFM および LFM の一般成分と脂肪酸組成では，イコセン酸およびドコセン酸の割合が LFM において高かったことを除いて顕著な差はなかった。

表 1. 試験飼料の配合組成，一般成分および脂肪酸組成

飼料	CFM	LFM
材料 (%)		
アジミール (CP=68.4%)	51.00	32.50
大豆ミール (CP=45.6%)	5.00	27.00
コーングルテンミール (CP=63.0%)	6.00	10.80
小麦粉 (CP=18.0%)	26.00	18.00
タラ肝油	0.93	2.22
大豆油	0.41	0.27
セルロース	3.72	1.01
ビタミンミックス (Yamamoto *et al.* 2002)	0.50	0.50
塩化コリン	0.25	0.25
ミネラルミックス (Takagi *et al.* 2006)	3.00	3.50
α - でんぷん	3.20	2.80
DL- メチオニン	-	0.16
L- リジン塩酸塩	-	0.49
ベタイン (Ingh *et al.* 1996, Olli and Krogdahl 1995)	-	0.65
組成分析値 (乾物飼料 %)		
粗タンパク (N × 6.25)	51.1	51.3
粗脂肪	7.0	7.3
炭水化物	22.6	21.4
灰分	10.1	8.7
脂肪酸組成 (面積 %)		
パルミチン酸 (C16:0)	16.5	15.0
オレイン酸 (C18:1, n-9)	15.4	15.5
リノール酸 (C18:2, n-6)	19.4	20.7
リノレン酸 (C18:3, n-3)	1.6	1.7
イコセン酸 (C20:1, n-9)	2.6	4.4
アラキドン酸 (C20:4, n-6)	1.0	0.7
エイコサペンタエン酸 (C20:5, n-3)	6.3	6.3
ドコセン酸 (C22:1, n-9)	2.4	5.0
ドコサヘキサエン酸 (C22:6, n-3)	13.4	10.3
Σ 飽和脂肪酸	24.7	22.3
Σ 一価不飽和脂肪酸	26.2	30.8
Σ 多価不飽和脂肪酸	46.3	43.8
アミノ酸含量 (乾物飼料 %)		
タウリン	0.38	0.25
メチオニン	1.24	1.26
シスチン	0.50	0.57
リジン	3.28	3.32

飼育条件　和歌山県水産試験場・内水面試験地の屋外の角型コンクリート製水槽（200×500×35 cm，実質水量約 3.0 m^3）に供試魚を 170 尾ずつ収容して各試験区を設けた。所定の飼料を 1 週間に 6 日，1 日 3 回（9 時，13 時および 17 時）に飽食するまで給与し，2013 年 7 月 29 日から 10 月 16 日までの 79 日間飼育した。飼育には地下水を各水槽に 8.3 L/ 分の割合で注水した。試験期間中の水槽内水温は 16～21°C であった。また，アユの性成熟を抑制するため，同年 7 月 29 日から電照（330 W 水銀灯）による長日処理（18 時～22 時）を開始した。なお電照開始後は 2 週間毎に消灯時間を 30 分ずつ遅くした。また，へい死魚は直ちに取り上げ，魚体重を測定した。

サンプリング方法　飼育試験開始時および終了時の体重は 0.01% の *p*- アミノ安息香酸エチル（和光純薬工業）で麻酔して個体別に測定した。飼育期間中の 4 週間毎に

おける体重は，各水槽内の供試魚をまとめて測定した。なお，体重測定前は約36時間絶食させた。

飼育試験終了時には，全魚体の一般成分および遊離アミノ酸を測定するため，各水槽より10尾ずつ取り上げた。また，筋肉の一般成分および脂肪酸組成の分析用に，同様にして各水槽から10尾ずつ採取した。血液性状および血漿化学成分の分析には，各水槽から雌雄5尾ずつサンプリングし，先に示した方法で麻酔し尾柄部よりヘパリン処理したシリンジで採血した。なお，血漿化学成分の分析には全血を3,000×*g*で10分間遠心分離して得られた血漿を分析に供した。また，採血後の供試魚から肝臓および胆のうを摘出して重量を測定した後，胆のうは胆汁酸およびタウロコール酸を分析した。肝臓は5 mm角の組織片を，腸管は後腸部から5 mm長に切り出した組織片を，10%中性緩衝ホルマリン（pH 7.4，和光純薬工業）で固定し，室温で保存した。なお、ホルマリンで固定した組織サンプル以外については分析までの期間，-20°Cで保存した。

分析方法　飼料，全魚体および筋肉の一般成分ならびに全魚体の遊離アミノ酸組成は既報の方法により分析した（Yamamoto *et al.* 2010）。全魚体および筋肉の一般成分ならびに全魚体の遊離アミノ酸組成については，10尾分をホモジェナイズして1検体として分析に供した。血液のヘモグロビン含量は市販のキット（ヘマトロン，エルマ）を用いて測定した。血漿化学成分については自動分析装置SP-4410（アークレイ）を用いて測定した。血漿中のアルブミン含量は市販のキット（BCGアルブミンアッセイキット，バイオチェイン）を用いて測定した。

飼料および筋肉における脂肪酸組成分析は，既報の方法により行った（Furuita *et al.* 2014）。筋肉の脂肪酸組成については，10尾分をホモジェナイズして1検体として分析に供した。

胆汁酸濃度および抱合胆汁塩組成の分析は，既報の方法により行った（Mashige *et al.* 1981，Goto *et al.* 1996）。

組織標本の作製　ホルマリン固定した組織片は常法に従いエタノール系列で脱水後，パラフィン包埋し，5 μm切片を作製した。切片はマイヤーのヘマトキシリン・エオシン染色を施して光学顕微鏡で観察した。また，肝臓組織は顕微鏡デジタルシステムMoticam2000（島津理化）を用いて肝細胞の核長径（1個体あたり150細胞）と細胞質長径（同100細胞）を計測した。なお，核長径および細胞質長径は核および核を通る細胞質の最長部分をそれぞれ計測した。

統計処理　試験区相互間の平均値の差はStudentの*t*-検定を用い有意水準5%で検定した。

結　果

飼育成績　飼育試験終了時の平均体重は，LFM区の方がCFM区よりも有意に重かった。日間成長率，増重率，飼料効率，摂餌率およびタンパク質効率の値には両試験区間で顕著な差はなかった（表2）。なお，試験が終了する約30日前からへい死がみられるようになり，期間中の生残率はいずれの区でも約90%であった。

表2. 試験期間中の供試魚の成長および飼育成績

飼料	CFM	LFM
供試個体数	170	170
開始時魚体重 (g/個体)	26.9±3.0	27.3±3.5
終了時魚体重 (g/個体)	67.7±9.7	69.9±9.7*1
日間成長率 (% BW/日)*2	1.17	1.19
増重率 (%)*3	151.3	156.4
飼料効率 (%)*4	62.9	65.0
日間摂餌率 (% BW/日)*5	1.71	1.69
タンパク質効率*6	1.11	1.13
生残率 (%)	89.4	90.6

*1 CFM区との間に有意差あり ($P<0.05$)

*2 日間成長率=100×[ln(終了時魚体重)-ln(開始時魚体重)]/飼育日数

*3 増重率=100×(終了時魚体重-開始時魚体重)/開始時魚体重

*4 飼料効率=100×(終了時魚体重-開始時魚体重)/総摂餌量

*5 日間摂餌率=100×総摂餌量/[(開始時魚体重+終了時魚体重+死亡魚体重)×0.5給餌日数]

*6 タンパク質効率=(終了時魚体重-開始時魚体重)/(総摂餌量×飼料粗タンパク質含有率)

表 3. 試験終了時における供試魚全魚体の一般成分および遊離アミノ酸組成

飼料	CFM	LFM
一般成分組成 (% 湿重量)		
水分	66.1	66.2
粗タンパク	15.3	15.4
粗脂肪	14.8	14.6
灰分	3.0	3.1
遊離アミノ酸組成 (mg/g 湿重量)	0.41	0.27
タウリン	1.87	1.88
スレオニン	0.17	0.14
セリン	0.24	0.20
アスパラギン酸	0.15	0.11
グルタミン酸およびグルタミン	0.54	0.45
グリシン	0.21	0.20
アラニン	0.44	0.40
バリン	0.19	0.16
メチオニン	0.19	0.15
イソロイシン	0.17	0.13
ロイシン	0.40	0.29
チロシン	0.29	0.20
フェニルアラニン	0.26	0.17
トリプトファン	0.07	0.08
リジン	0.51	0.41
ヒスチジン	0.50	0.39
アンセリン	0.92	0.81
アルギニン	0.49	0.41
プロリン	0.29	0.28

10 尾のアユを 1 検体として分析を行った

表 4. 試験終了時における供試魚筋肉部分の一般成分および脂肪酸組成

飼料	CFM	LFM
一般成分組成 (% 湿重量)		
水分	74.9	73.0
粗タンパク	18.1	18.5
粗脂肪	5.1	6.9
炭水化物	0.7	0.4
灰分	1.2	1.2
脂肪酸組成 (面積 %)		
パルミチン酸 ($C_{16:0}$)	28.9	28.2
オレイン酸 ($C_{18:1}$,n-9)	21.5	22.0
リノール酸 ($C_{18:2}$,n-6)	12.2	12.3
リノレン酸 ($C_{18:3}$,n-3)	2.0	1.9
イコセン酸 ($C_{20:1}$,n-9)	1.5	2.2
アラキドン酸 ($C_{20:4}$,n-6)	0.8	0.6
エイコサペンタエン酸 ($C_{20:5}$,n-3)	2.5	2.4
ドコセン酸 ($C_{22:1}$,n-9)	0.6	1.1
ドコサヘキサエン酸 ($C_{22:6}$,n-3)	8.4	7.4
Σ 飽和脂肪酸 (%)	39.2	38.1
Σ 一価不飽和脂肪酸 (%)	31.7	34.1
Σ 多価不飽和脂肪酸 (%)	29.1	27.7

10 尾のアユから採取した筋肉を 1 検体として分析を行った

魚体成分　全魚体の一般成分および遊離アミノ酸組成に顕著な区間差はみられなかった（表 3）。全魚体における遊離アミノ酸の含量は，LFM 区の方が CFM 区よりもやや少ない傾向にあった。タウリン含量は両試験区で同等の値であった。

筋肉の一般成分については，LFM 区の粗脂肪が CFM 区よりも僅かに多かったが，他の成分と同様に顕著な区間差ではなかった（表 4）。筋肉の脂肪酸組成にも顕著な区間差はみられなかった。

血液性状および血漿化学成分組成　血液中のヘモグロビン含量と血漿中のアルブミンおよび中性脂質の含量に有意な区間差や性差は見られなかった（表 5）。血漿の総タンパク質，総コレステロールおよびグルコース含量は，LFM 区の雄が CFM 区の雄よりも有意に低かった。しかし，雌個体には，有意な区間差は見られなかった。なお，雌雄ともに中性脂質は，CFM 区が LFM 区より高い傾向にあった。

表 5. 試験終了時における供試魚の血液性状および血漿化学成分

	CFM		LFM	
	雄	雌	雄	雌
ヘモグロビン (g/100mL)	8.3±1.1	8.9±0.8	7.4±1.3	8.9±0.8
総タンパク (g/100mL)	4.0±0.1*	3.5±0.6	3.5±0.3*	3.3±0.2
アルブミン (g/100mL)	0.95±0.10	1.13±0.18	0.94±0.18	1.08±0.18
中性脂質 (mg/100mL)	210±24	237±62	193±56	174±9
総コレステロール (mg/100mL)	442±82*	398±87	331±59*	345±34
グルコース (mg/100mL)	93±19*	78±14	61±6*	64±7

表中の数値は，5 個体分の平均値±標準偏差を示す
各分析項目について，飼料区の同性間で比較を行った
有意差があった項目についてはアスタリスクを付した ($P<0.05$)

胆のう，肝臓および組織解析　体重に対する胆のう重量比（GBSI 値），総胆汁酸濃度および胆汁中のタウロコール酸の割合には有意な区間差が見られなかった（表 6）。体重に対する肝臓重量比（HSI 値）および肝臓細胞の核長径にも有意な区間差が見られなかったが，細胞質長径は CFM 区の方が LFM 区の個体よりも有意に長かった（表 7）。

肝細胞や腸管後部の組織では，両試験区間とも空胞変性や核濃縮（肝臓）あるいは崩壊壊死や粘膜上皮細胞の

剥離（腸管）などが見られる個体が多かったが，飼料の違いに起因すると考えられる差異は認められなかった（データ未記載）。

表 6. 試験終了時における供試魚の胆のう重量比および胆汁成分

飼料	CFM	LFM
GBSI * (%)	0.22 ± 0.10	0.25 ± 0.15
総胆汁酸濃度 (μM)	254 ± 41	260 ± 40
総胆汁酸量 (μmol/fish)	0.60 ± 0.34	0.77 ± 0.51
タウロコール酸 (%)	97.3 ± 0.6	97.7 ± 0.7

*Gallbladder somatic index=100 ×胆のう重量 / 魚体重

表中の数値は，20 個体分（雄 10 尾，雌 10 尾）の平均値±標準偏差を示す

飼料試験区間に有意差（$P<0.05$）は認められなかった

表 7. 試験終了時における供試魚の肝臓重量比，肝臓細胞の核長径および細胞質長径

飼料	CFM	LFM
HSI *1 (%)	1.06 ± 0.20	1.02 ± 0.18
核長径 (μm)	3.06 ± 0.16	3.00 ± 0.14
細胞質長径 (μm)	9.55 ± 0.60 *2	9.06 ± 0.54 *2

表中の数値は，20 個体分（雄 10 尾，雌 10 尾）の平均値±標準偏差を示す

*1 Hepatosomatic index=100 ×肝臓重量 / 魚体重

*2 試験区間に有意差があることを示す ($P<0.05$)

考　察

飼育試験終了時における平均体重は LFM 区の方が CFM 区より有意に重かったが，飼料効率をはじめとする飼育成績に顕著な差異はなかったことから（表 2），アユではメチオニンやリジンの補足とタラ肝油の配合割合を調整することで，魚粉の 36%を SBM・CGM に代替できることが明らかとなった。著者ら（未発表）は本研究の予備実験として，市販アユ用配合飼料（魚粉含量 49%，日本配合飼料，3C）とウグイ用市販飼料（魚粉含量 33%，日清丸紅，2C）による飼育を行ったところ，市販アユ用配合飼料区の飼育成績が顕著に優れていた。当該アユ用市販飼料では粗タンパク質含量（メーカー保証値）が 46% 以上，ウグイ用市販飼料では粗タンパク質含量（同）が 34% 以上であり，その差が成長に影響したと推察された。この結果を踏まえて，本試験では CFM および LFM の粗タンパク質含量を同程度に揃えることに留意した（表 1）。その結果，飼料中の粗タンパク質量が十分であった場合，低魚粉含量でもアユを十分育成できたことから，アユ用飼料の低魚粉化を図る際には粗タンパク質含量を低減させないことが重要であると考えられる。

一方，アミノ酸補足に注目すると，LFM 区の全魚体における遊離のメチオニンおよびリジンの含量が CFM 区に比べて僅かに低かったが，全体的に大きな区間差はなかった。植物タンパク質の多くはメチオニンやリジンを制限アミノ酸とすることから，魚粉の代替率を SBM および CGM を用いてさらに高める場合には，それらアミノ酸の補足量について十分な検討が必要である。

含硫アミノ酸より生合成されるタウリンを CFM および LFM に添加しなかったが，両試験区の全魚体に含まれる遊離タウリン量に顕著な差がなかった。アユは飼料に含硫アミノ酸が十分量含まれる場合，タウリンを生合成できることが推察される。魚粉にはタウリンが比較的多く含まれていることから，低魚粉飼料の開発では対象魚のタウリン要求性についても考慮しなければならない。タウリンの合成能力が低いマダイ *Pagrus major* では，SBM を多量に含む配合飼料を給与すると，タウリン欠乏による緑肝症を発症する（天野ら 2012）。一方，数種の淡水魚は一定のタウリン生合成能を有することが報告されている（後藤 2002）。アユについては，本研究で調整した LFM に含まれる程度の植物性素材ではタウリンの添加は必要ないと思われる。

血液中のヘモグロビン含量や血漿中のアルブミンおよび中性脂質含量では，CFM 区と LFM 区との間に有意差が見られなかった（表 5）。血漿アルブミンは動物の栄養状態や肝機能の指標と考えられている（渡邉 2009b）。試験区間で雌雄を問わず血漿アルブミン含量に顕著な差が見られなかったことは，両試験区のアユの栄養状態に差がないことを示唆する。

胆のうおよび肝臓の体重に占める割合を示す GBSI 値および HSI 値には，CFM 区と LFM 区との間に有意差が見られなかった（表 6 および 7）。肝臓や腸管後部の組織像でも試験区間で顕著な差が見られなかった（データ未記載）。これらのことから，LFM 区の飼料において含量を増やした SBM や CGM がアユのこれら組織に及ぼす影響は小さいようである。ただし，本研究では空胞変性（肝臓）や粘膜上皮細胞の剥離（腸管）など，これまでマス類で報告されている低・無魚粉飼料の影響（粘膜上皮細胞の空胞変性など）（Takagi *et al.* 2006）とは異なる組織異常を観察した。異常組織の出現において区間差は認められなかったことから，成熟あるいは加齢によるものと推察された。長日処理により成熟は抑えられていたが，年魚であるアユでは分析時期において注意が必要と考えられる。一方，肝臓細胞の核長径については区間差がなかったものの，細胞質長径については区間差が見られた（表 7）。このことは低魚粉飼料がアユの肝臓に何らかの影響を与えていることを示唆し，今後の研究において着目すべき項目の一つである。

血漿中の総タンパク質，総コレステロールおよびグルコースの含量は，雌個体では有意差がなかったものの，雄個体では LFM 区の方が CFM 区よりも有意に低かっ

た（表 5）。肉眼で生殖腺により雌雄が判別できる程度に成長したアユでは，性別によって低魚粉飼料の影響が異なる可能性が示唆された。アユ養殖においては，全雌集団を養成する子持ちアユ養殖も盛んに行われていることから，雌雄間での栄養要求性の違いは，今後に残された興味深い検討課題である。

筋肉の脂肪酸組成を試験区間で比べると，LFM 区は CFM 区に比べ，一価不飽和脂肪酸のうちドコセン酸およびイコセン酸が多く，多価不飽和脂肪酸のうちアラキドン酸およびドコサヘキサエン酸が少ない傾向にあった（表 4）。この傾向は各々の飼料に含まれる脂肪酸組成と類似しており（表 1），他魚種で報告されているように（Sargent *et al.* 1999），アユにおいても飼料の脂肪酸組成が筋肉の脂肪酸組成に反映されるようである。低魚粉飼料では魚粉に豊富に含まれる DHA や EPA 等の n-3 系の多価不飽和脂肪酸の含量が低下するため，それらの減少分を補填するために魚油を添加することが望ましい。アユ稚魚の必須脂肪酸は n-3 系のリノレン酸とともに大豆油などに豊富に含まれる n-6 系のリノール酸であり，その要求量はそれぞれ飼料中に 1% である（渡邉 2009a）。なお本研究では，アユの必須脂肪酸要求を考慮してタラ肝油および大豆油の配合率を調整した。

本研究では，魚粉の約 36% を植物性タンパク質源である SBM や CGM で代替した低魚粉配合飼料がアユにおいて高い利用性があることを確認した。また，アユの栄養要求性を明らかにするための生化学的な基礎的知見も得られた。今後，さらに低魚粉化を進めたアユ用飼料の開発に向けて研究を進めたい。

謝　辞

本研究は和歌山県農林水産業競争力アップ技術開発事業および水産総合研究センター運営費交付金により実施した。アユの飼育においてご協力頂いた和歌山県水産試験場・内水面試験地の職員に感謝致します。

文　献

天野俊二・鈴木伸洋・松成宏之・岩下恭朗・山本剛史（2012）マダイにおける大豆油粕主体無魚粉飼料へのタウリン添加効果の組織学的検討．水産増殖，**60**，459-467.

出村雅晴（2010）魚粉価格の動向と養殖漁業への影響．農林金融，農林中金総合研究所，東京．**63**，601-605.

Furuita H., Murashita K., Matsunari H., Yamamoto T., Nagao J., Nomura K., Tanaka H. (2014) Decreasing dietary lipids improves larval survival and growth of Japanese eel *Anguilla japonica*. *Fisheries Science*, **80**, 581-587.

後藤孝信（2002）魚類のタウリン生合成の多様性．化学と生物，**30**，635-637.

Goto T., Ui T., Une M., Kuramoto T., Kihira K., Hoshita S. (1996) Bile salt composition and distribution of the D-cysteinolic acid conjugated bile salts in fish. *Fisheries Science*, **62**, 606-609.

Ingh, T. S. G. A. M. van den, Olli J. J., Krogdahl A. (1996) Alcohol-soluble components in soybeans cause morphological changes in the distal intestine of Atlantic salmon, *Salmo* salar L. J. *Fish Dis.*, **19**, 47-53.

Mashige F., Tanaka N., Maki A., Kamei S., Yamanaka M. (1981) Direct spectrometry of total bile acids in serum. *Clinical Chemistry*, **27**, 1352-1356.

Olli J. J., Krogdahl A. (1995) Alcohol soluble components of soybeans seem to reduce fat digestibility in fish-meal-based diets for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquacult. Res.*, **26**, 831-835.

Sargent J., Bell G., McEvoy L., Tocher D., Estevez A. (1999) Recent developments in the essential fatty acid nutrition of fish. *Aquaculture*, **177**, 191-199.

総務省統計局（2013）平成 25 年漁業・養殖業生産統計．http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001129478，平成 27 年 5 月 31 日（閲覧日）

Takagi S., Murata H., Goto T., Ichiki T., Endo M., Hatate H., Yoshida T., Sakai T., Yamashita H., Ukawa M. (2006) Efficacy of taurine supplementation for preventing green liver syndrome and improving growth performance in yearling red sea bream *Pagrus major* fed low-fishmeal diet. *Fisheries Science*, **72**, 1191-1199.

渡邉武（2009a）魚類の栄養と栄養素に対する要求．魚類の栄養と試料（改訂），恒星社厚生閣，東京．60-168.

渡邉武（2009b）魚類の栄養と健康．魚類の栄養と試料（改訂），恒星社厚生閣，東京．251-269.

Watanabe T., Verakunpiriya V., Watanabe K., Kiron V., Satoh S.(1997) Feeding of rainbow trout with non-fish meal diets. *Fisheries Science*, **63**, 258-266.

Yamamoto T., Unuma T., Akiyama T. (1995) The effect of combined use of several alternative protein sources in fingerling rainbow trout diet. *Fisheries Science*, **61**, 915-920.

Yamamoto T., Shima T., Furuita H., Suzuki N. (2002) Influence of feeding diets with and without fish meal by hand by self-feeders on feed intake, growth and nutrient utilization of juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **214**, 289-305.

Yamamoto T., Iwashita Y., Matsunari H., Sugita T., Furuita H., Akimoto A., Okamatsu K., Suzuki N. (2010) Influence of fermentation conditions for soybean meal in a non-fish meal diet on the growth performance and physiological condition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, **309**, 173-180.

本号掲載論文要旨

成長と生理状態から見たアユの養殖用飼料としての低魚粉飼料の可能性

中山仁志・古板博文・天野俊二・奥　宏海・村下幸司・松成宏之・田上伸治・鈴木伸洋・山本剛史

アユ用飼料の低魚粉化を進めるため，魚粉主体飼料（CFM）およびCFMの魚粉含量の約36%を大豆油粕（SBM）やコーングルテンミール（CGM）で置換した低魚粉飼料（LFM）を調整して給与し，アユの成長等に与える影響を調べた。LFM区におけるアユの成長，摂餌量および飼料効率はCFM区に比べて遜色なかった。これらの結果から，魚粉の一部をSBMやCGMに代替した低魚粉飼料でも，アユ養殖に利用できることが示唆された。ただし，LFM区の雄個体はCFM区の雄個体より，血漿中の総タンパク質，総コレステロールおよびグルコース含量がやや低下する傾向にあった。

水産技術，**8**（**1**），19-24，2015