

低魚粉飼料で飼育したギンザケ *Oncorhynchus kisutch* の 採卵成績とF1稚魚の飼料効率の改善

野知里 優希*1・松崎 圭佑*2・本田 亮*1・杉本 晃一*2

Reproduction performance of coho salmon *Oncorhynchus kisutch* fed a low fishmeal diet
and improving of feed efficiency ratio of F1 juveniles fed the diet

Yuki NOCHIRI*1, Keisuke MATSUZAKI*2 Ryo HONDA*1 and Koichi SUGIMOTO*2

キーワード：ギンザケ, 低魚粉飼料, 選抜育種, 採卵成績, 飼料効率

水産養殖に用いられる配合飼料は、主原料として魚粉が使用されているが、近年新興国における魚粉需要の拡大を背景に輸入価格が高騰している¹⁾。それに伴い、国内のサケ・マス類用配合飼料の価格も高騰しており、魚粉を減らした低魚粉飼料への移行が期待されている。しかしながら、主に低魚粉飼料に用いられる大豆油粕（以下、SBM）は魚粉と比べると成長に必要な必須アミノ酸が不足しており、また抗栄養因子による生理異常のため飼育成績が劣るとされている²⁾。その一方で、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* に濃縮大豆タンパク質や発酵大豆油粕を使用することで、魚粉主体の飼料と比較して遜色ない飼育成績が得られると報告されている^{3,4)}が、コスト面からこれら原料の積極的な活用は難しい。そのため、十分な飼育成績が期待できる低魚粉飼料の開発だけではなく、低魚粉飼料を給餌しても良好な成長を示す系統作出技術の開発も行われており、アマゴ *Oncorhynchus masou ishikawae* やニジマスで低魚粉飼料に対する摂餌性や飼料効率の改善が確認されている^{5,6)}。

宮城県はギンザケ *Oncorhynchus kisutch* の海面養殖が盛んに行われており、2020年の養殖生産量は約1万5千ト

ンと国内では最大規模を誇る⁷⁾。海面ギンザケ養殖は越夏できないため、7月下旬までに約3kgの出荷サイズまで育成する必要がある。このため、内水面の種苗生産業者は0歳の秋までにおおよそ150gから170gの種苗を育てる必要がある⁸⁾、魚粉含量が50%前後の配合飼料を用いて種苗生産を行っている。ギンザケでもSBMを魚粉の代替原料として利用した研究が行われているが、40g以下のギンザケ稚魚にSBMを12.7%以上用いた低魚粉飼料を給餌すると成長が低下すると報告している。そのため、SBM主体の低魚粉飼料を給餌しても成長が劣らないギンザケが作出できれば、種苗生産現場において、低魚粉飼料の普及が進むものと考えられる。

そこで、本研究では魚粉含量を15%まで減らし、SBMを主体とした低魚粉飼料を給餌したギンザケのうち、成長が良好な大型個体を選抜し、次世代群において、低魚粉飼料への利用性が改善するかを検討した。さらに、低魚粉飼料を長期間給餌しても親魚養成に影響がなければ、種苗生産現場への選抜育種技術の普及が可能であることから、親魚養成時の成熟具合、採卵成績についても報告する。

*1水産業振興課, *2仙台地方振興事務所水産漁港部

材料と方法

試験飼料

試験に用いた低魚粉飼料（以下、LFMD）を表1に示した。配合比率は魚粉を15%、SBMを28%、コーングルテンミールを25%とし、粗タンパク質量が45.6%、粗脂肪が11.4%となる配合飼料を日本農産工業株式会社が製造した。対照飼料は魚粉含量が52%の市販のサケ・マス飼料（品名：ますEP、日本農産工業株式会社）（以下、FMD）を用いた。

表1 試験飼料の原材料割合および成分

	FMD	LFMD
原材料割合 (%)		
魚粉	52.00	15.00
大豆油かす (SBM)	13.00 ^{※1}	28.00
コーングルテンミール		25.00
小麦粉	29.00	17.29
でん粉	6.00 ^{※2}	1.00
魚油		4.50
植物油		2.50
リン酸カルシウム		0.50
塩化コリン		0.25
ベタイン		0.50
タウリン		1.00
リジン		2.50
メチオニン		1.20
ビタミン類		0.36
ミネラル類	0.40	
成分組成 (%)		
粗タンパク質	> 45.00	45.60
粗脂肪	> 8.00	11.40
粗繊維	< 3.00	2.20
粗灰分	< 15.00	5.70
カルシウム	> 2.00	0.72
リン酸	> 1.20	0.75

※1 両原材料の割合は非公表

※2 原材料の種類および割合は市販飼料のため非公表

F1の作出

F1の作出はYamamoto *et al*¹⁰⁾の選抜手法を参考に実施した。2016年12月1日に宮城県水産技術総合センター内水面水産試験場で作出したギンザケ稚魚に市販のサケ・マス稚魚育成用飼料（品名：EXますLPS、日本農産工業株式会社）を給餌し、2017年7月20日まで育成した。育成した稚魚をできるだけ体重が揃うよう300尾ずつの2群（平

均体重10.0g ± 1.1）に選別し、FMDとLFMDを給餌した。飼育には河川水と伏流水を混合して掛け流し（水温3.0-13.2℃）、平均体重が50gになるまでは、黒色のポリエチレン製500L円形水槽を用い、それ以降は、屋内のコンクリート製角型水槽（縦5.8m×横1.2m×深さ1.0m）で飼育した。給餌率はライトリッツの給餌率表を基準とした制限給餌とし、概ね2ヶ月に1回、各群の個体毎に体重を測定し、1日あたりの給餌量を決定した。給餌は1日に2回から4回を目安に、土日祝日を除く概ね週5日間行った。

2018年8月23日に両群について個体毎に体重を測定し、FMD給餌群は、体重の中央値に近い60尾を、LFMD給餌群は、上位62尾を選抜し、河川水と伏流水を混合で掛け流した（水温2.6-14.4℃）屋外のコンクリート製角型水槽（縦5.3m×横1.2m×深さ1.2m）で飼育した。給餌は飽食とし、1日に2回から3回を目安にそれぞれの餌を引き続き給餌した。

2019年11月8日に両飼料群から排卵および排精が確認された雌雄各11尾の卵と精子をプールして授精を行った。次に、プールした11尾分の卵から30gを取り出し、1粒当たりの平均卵重を求め、個体毎の孕卵数を算出した。採卵に使用した個体については、生殖腺の状態から、排卵・排精直前の個体を成熟、その他を未成熟とした。受精卵は、アトキンス式孵化水槽に全量収容・育成し、発眼率および孵化率を求めた。

給餌試験

FMD給餌群から作出した稚魚（以下、FMD-F1）とLFMD給餌群から作出した稚魚（以下、LFMD-F1）は、両群ともFMDで餌付けし、育成した。2020年7月27日からは、LFMDに馴致させるため、両群ともLFMDを2週間給餌した。同年8月12日に体重が揃うよう両群からそれぞれ30尾ずつの4群を選別し、黒色ポリエチレン製200L円形水槽8台に収容した。試験区として、FMD-F1とLFMD-F1にFMDを給餌させた試験区と、FMD-F1とLFMD-F1にLFMDを給餌させた試験区の4試験区×2（反復区）を設けた。全試験区の平均体重は21.4g ± 0.29であった。同年8月18日から同年11月2日の77日間（給餌日数：55日間）飼育を行い、飼育49日目と、77日目に日間成長率と飼料効率、飼育77日目に平均体重を求めた。給餌率はライトリッツの給餌率表を基準とした制限給餌とし、原則として

表 2 選抜前後における各給餌群の成長と生存率

	FMD給餌群	LFMD給餌群	P-value
選抜前 (2017年7月20日～2018年8月23日)			
開始時尾数	300	300	-
開始時平均体重 (g)	10.0 ± 1.1	10.0 ± 1.1	ns
終了時尾数	299	297	-
終了時平均体重 (g)	107.1 ± 30.3	90.8 ± 43.2	< 0.01
生残率 (%)	99.7	99.0	ns
選抜後 (2018年8月23日～2019年11月8日)			
開始時尾数	60	62	-
開始時平均体重 (g)	112.1 ± 4.3	149.1 ± 28.0	< 0.01
終了時尾数	56	45	-
終了時平均体重 (g)	746.2 ± 160.0	684.7 ± 232.1	ns
生残率 (%)	93.3	72.6	< 0.01

平均値 ± 標準偏差

生残率 = 100 × 終了時尾数 / 開始時尾数

not significant (ns) : P-value > 0.05

月曜日に試験区毎に個体重量を測定し、1日の給餌量を決定した。給餌は1日に2回から6回に分け、土日祝日を除く概ね週5日間のみ行った。ただし、試験区のいずれかで、残餌が見られた場合や1日分の給餌ができなかった場合は、その試験区の給餌を止め、翌日以降に全ての試験区の給餌率を下げた。飼育水は河川水と伏流水を時期で使い分け、毎分12Lで掛け流しとした(飼育水温7.9-15.6℃)。水棲昆虫の混入を防ぐため、水槽の注水口にストッキングをくくりつけた。また、水槽の位置が飼育に与える影響を最小限にするために、毎週個体重量測定後に水槽をローテーションさせた。なお、日間成長率および飼料効率率は以下の計算式より算出した。

日間成長率 (%) = 100 × (ln 終了時平均体重 (g) - ln 開始時平均体重 (g)) / 飼育日数 (days)

飼料効率率 = (終了時総重量 (g) - 開始時総重量 (g)) / 総給餌量 (g)

データ解析

データの解析は統計分析ソフトR (<http://www.r-project.org>)を用いた。群間比較はWilcoxonの順位和検定で行い、割合の比較はFisherの直接確率法で行った。

結 果

親魚養成までの飼育成績と生残状況

選抜前後における両給餌群の成長と生残率を表2に示した。300尾の供試魚におおよそ13カ月間わたり、FMD又はLFMDを給餌したところ、LFMD給餌群の平均体重はFMD給餌群に比べ、有意に小さかった ($p < 0.01$)。なお、両給餌群の生残率に差は認められなかった。

FMD給餌群から体重の中央値に近い60尾、LFMD給餌群から上位の62尾を選抜したところ、平均体重は後者が大きかった ($p < 0.01$)。選抜した各給餌群をおおよそ15カ月にわたり飼育したところ、両給餌群の平均体重に差は認められなかったが、生残率はLFMD給餌群が72.6%、FMD給餌群が93.3%と、LFMD給餌群が有意に低かった ($p < 0.01$)。

親魚の成熟割合と採卵成績

飼育3年目親魚の成熟割合と採卵成績を表3に示した。未成熟個体の割合は、LFMD給餌群がFMD給餌群に比べて高かった ($p < 0.05$)。また、両給餌群の未成熟個体の平均体重に差は認められなかった。1尾あたりの孕卵数はLFMD給餌群が少なく ($p < 0.01$)、魚体重1gあたりの抱卵数も少なかった ($p < 0.01$)。両給餌群の発眼率、孵化率に差は認められなかった ($p > 0.05$)。

表3 飼育3年目親魚の成熟割合と採卵成績

	FMD給餌群	LFMD給餌群	P-value
採卵時の尾数	56	45	-
成熟雄(尾)	29	18	-
成熟雄の平均体重(g)	717.6 ± 121.3	688.4 ± 140.9	ns
成熟雌(尾)	22	15	-
成熟雌の平均体重(g)	848.4 ± 91.7	865.5 ± 156.7	ns
未成熟(尾)	5	12	-
未成熟の割合(%)	9	27	< 0.05
未成熟の平均体重(g)	462.6 ± 202.6	453.2 ± 224.6	ns
交配させた雄(尾)	11	11	-
交配させた雄の平均体重(g)	738.5 ± 67.1	670.0 ± 145.1	ns
交配させた雌(尾)	11	11	-
交配させた雌の平均体重(g)	851.5 ± 86.4	844.4 ± 91.2	ns
1尾あたりの抱卵数の平均(粒)	1308.8 ± 225.7	899.1 ± 128.5	< 0.01
体重1gあたりの抱卵数平均(粒)	1.55 ± 0.28	1.06 ± 0.09	< 0.01
1粒あたりの卵重量(mg)	125	183	-
発眼率(%)	83.3	84.8	ns
孵化率(%)	89.1	87.0	ns

平均値 ± 標準偏差

未成熟の割合(%) = $100 \times \text{未成熟(尾)} / (\text{成熟雄(尾)} + \text{成熟雌(尾)} + \text{未成熟(尾)})$

not significant (ns) : $P\text{-value} > 0.05$

給餌試験

F1を77日間(給餌日数:55日)飼育し、飼育49日目、77日目での日間成長率および飼料効率を図1,2に示した。飼育77日目でのFMDを給餌した両群の平均体重はFMD-F1が38.4g ± 5.99 (n = 60), LFMD-F1が40.8g ± 5.96 (n = 60), LFMDを給餌した両群の平均体重はFMD-F1が35.4g ± 6.62 (n = 60), LFMD-F1が38.4g ± 6.93 (n = 60)であった。

考 察

ギンザケ稚魚に12.7%以上のSBMを用いたLFMDを給餌すると、対照飼料に比べて成長が劣ることが報告されている⁹⁾。本研究では、当場で継代飼育しているギンザケ稚魚に、28%のSBMを含むLFMDを給餌させたところ、FMD給餌群と比べて、平均体重が有意に小さくFowler⁹⁾と同様の結果が得られた。

長期間にわたる低魚粉飼料の給餌が親魚の採卵成績に影響がなければ、種苗生産現場への低魚粉飼料に対する

高成長選抜育種技術の普及が可能となる。選抜したギンザケに引き続きLFMDを給餌し、おおよそ15カ月間飼育したところ、LFMD給餌群はFMD給餌群に比べ、生残率が低下した ($p < 0.01$) (表2)。斃死した個体の一部を観察したところ、成熟した雄個体が観察された。当场では成長の良い雄個体の多くは2+で成熟し、斃死する。そのため、大型個体を選抜したLFMD給餌群の中に、早熟する雄が含まれていたことが、生残率が低下した要因の1つと考えられる。一方、LFMD給餌群中の未成熟個体の出現割合がFMD給餌群に比べて有意に高かった ($p < 0.05$) (表3)。成熟は魚のサイズに関係しており¹⁾、両給餌群の未成熟個体の平均体重は、成熟した雌雄個体の平均体重に比べて小さい傾向がみられた(表3)。さらに、選抜時の平均体重はLFMD給餌群がFMD給餌群より大きかった ($p < 0.01$) (表2) もの、15カ月間飼育した後の平均体重は、両飼料群ともに差は認められなかった ($p > 0.05$) (表2)。したがって、LFMDの給餌による成長の低下が未成熟個体の割合を増加させたものと考えられる。

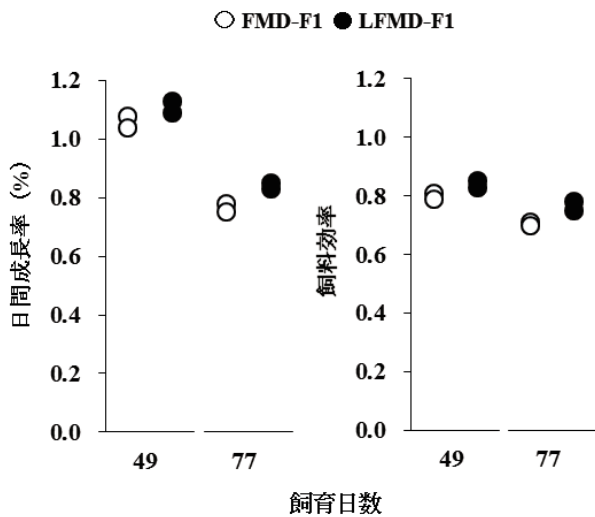


図 1 FMD を給餌した時の日間成長率および飼料効率プロットは各試験区の平均値を示す (n=2)

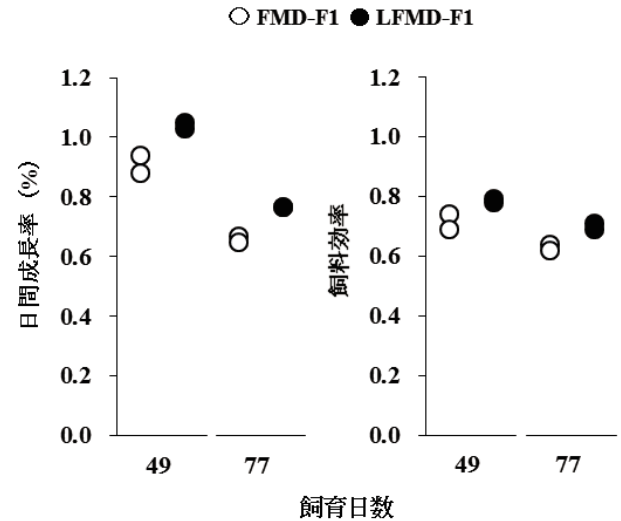


図 2 LFMD を給餌した時の日間成長率および飼料効率プロットは各試験区の平均値を示す (n=2)

ニジマスに無魚粉飼料またはSBM主体の魚粉5%飼料を長期間給餌しても、発眼率、孵化率ともに対照区との差は認められないことが報告されており^{12,13)}、本研究でも発眼率、孵化率ともにLFMD給餌群とFMD給餌群に差は認められなかった ($p > 0.05$) (表3)。一方でLFMD給餌群の雌親魚の体重1gあたりの孕卵数はFMD給餌群に比べて少なく ($p < 0.01$)、1粒あたりの卵重量は大きい傾向がみられた (表3)。SBM主体の魚粉5%飼料で飼育したニジマスの雌親魚では、体重1gあたりの孕卵数、卵重量に差は認められず¹³⁾、無魚粉飼料で飼育したニジマス雌親魚の卵サイズは対照飼料と比べて小さいと報告されている¹²⁾。一概にニジマスとギンザケを比較することは難しいが、魚種、飼料組成の違いが、孕卵数と卵サイズに影響を与えるものと考えられる。以上のことから、低魚粉飼料を用いて、ギンザケの親魚養成を行う場合は、一般的な魚粉含量が50%以上の飼料での親魚養成に比べて、成熟する親魚数および孕卵数が減少する可能性を考慮する必要がある。

山梨県が継代飼育しているニジマスはSBM主体の魚粉5%飼料を用いて選抜を1回行ったところ、制限給餌下において次世代群の低魚粉飼料に対する飼料効率が改善したと報告している⁶⁾。ギンザケにおいては、LFMDを給餌したLFMD-F1はFMD-F1比べ、特に飼育77日目において、飼料効率がやや改善する傾向がみられた。(図2)。今回の

給餌試験では、77日間の飼育を行ったが、49日目以降は水温低下に伴い餌食いが悪化してしまい、日間成長率及び飼料効率ともに値が低下した(図1,2)。しかしながら、残餌が見られた際は、全ての試験区の給餌率を下げている、摂餌率の低下に伴い、飼料効率も低下する¹⁴⁾ことから、結果への影響は少ないものと考えられる。

本研究は種苗生産現場への低魚粉飼料の普及のため、低魚粉飼料を給餌した大型個体を選抜することにより、次世代群の低魚粉飼料に対する利用性が改善されるかどうかを検討し、さらに低魚粉飼料の長期間の給餌による親魚養成への影響について調べた。その結果、本研究で用いたLFMDを用いて1回の選抜を行うことで、F1稚魚のLFMDへの利用性がやや改善される傾向がみられた。また、LFMDを長期間給餌した際の親魚の成熟尾数および抱卵数は少なくなるものの、発眼率、孵化率に影響がないことが明らかになった。したがって、アマゴ⁵⁾やニジマス⁶⁾と同様に、低魚粉飼料を用いたギンザケの選抜育種が可能であることが示され、作出した次世代群を用いることで、ギンザケ種苗生産現場において、低魚粉飼料の普及につながるものと思われる。

一方で、本研究で選抜に使用したギンザケは、当場で40年以上継代飼育した家系であり、ゲノム解析により遺伝的な多様性の低下と、これ以上の選抜育種は容易ではないことが指摘されている¹⁵⁾。天然ギンザケは国内に生

息せず、また、現行の法律では天然ギンザケの発眼卵を輸入することは難しい。民間のギンザケ種苗生産場が保有している親魚も同様に、長年継代飼育した家系であると考えられ、遺伝的な多様性の低下が懸念される。そのため、種苗生産現場で選抜を行う際は、使用する親魚数を増やすなど、遺伝的な多様性に配慮した選抜を行うことが望まれる。

要 約

ギンザケ種苗生産現場への低魚粉飼料の普及のため、当場で継代飼育しているギンザケに、魚粉含量が15%のSBMを主体とする低魚粉飼料を給餌し、得られた大型個体を親魚とすることにより、次世代群において低魚粉飼料の利用性が改善されるのかどうかを検討した。その結果、親魚に長期間低魚粉飼料を給餌した場合、成熟尾数

や孕卵数が減少するものの、発眼率および孵化率に影響はみられなかった。また、F1稚魚は、対照区と比べて低魚粉飼料に対する飼料効率がやや改善する傾向がみられた。このことから、低魚粉飼料を用いたギンザケの選抜育種が可能であることが示され、作出した次世代群を用いることで、ギンザケ種苗生産現場にて、低魚粉飼料の普及につながるものと思われる。

謝 辞

本研究で用いた試験飼料の相談・製造を行って頂いた、日本農産工業株式会社の鶴見忠生氏、井出伸一郎氏には深く感謝申し上げます。また、飼育管理や実験のサポートをして頂いた内水面水産試験場の職員の皆様には心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 水産庁 (2021) 令和2年度水産白書. 東京, 89-90.
- 2) 渡邊武 (2009) 改訂魚類の栄養と飼料. 東京, 恒星社厚生閣, 359-362.
- 3) Kaushik J.S, Cravedi P.J, Lalles P.J, Sumpter J, Fauconneau B, Laroche M (1995) Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, **133**, 257-274.
- 4) Yamamoto T, Iwashita H, Matsunari H, Sugita T, Furuita H, Akimoto A, Okamoto H, 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.
- 5) Yamamoto T, Murashita K, Matsunari H, Oku H, Furuita H, Okamoto H, Amano S, Suzuki N (2016) Amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* juveniles selectively bred for growth on a low fishmeal diet exhibit a good response to the low fishmeal diet due largely to an increased feed intake with a particular preference for the diet. *Aquaculture*, **465**, 380-386.
- 6) Miura M, Yamamoto T, Ozawa R, Okazaki T, Murashita K, Oku H, Matsunari H, Furuita H, Mano N, Suzuki N (2019) A preliminary study toward the improvement of low fishmeal diet utilization in a Yamanashi strain of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aqua.sci*, **67** (2), 127-138.
- 7) 農林水産省 (2021) 農林水産統計 令和2年年漁業・養殖業生産統計. 38-39.
- 8) 黒川忠英 (2017) 国内におけるサーモン海面養殖について. *SALMON情報*, **11**, 23-25.
- 9) Fowler G.L (1980) Substitution of soybean and cottonseed products for fish meal in diets fed to Chinook and coho salmon. *The Progressive Fish-Culturist* **42**, 87-91.
- 10) Yamamoto T, Okamoto H, Furuita H, Murashita K, Matsunari H, Iwashita Y, Amano S, et al. (2014) Growth performance and physiological condition of F1 amago salmon *Oncorhynchus masou ishikawae* juveniles obtained from broodstock with

- selective breeding for growth on a low fish-meal diet. *Fish Sci*, **80**, 569-579.
- 11) 田代文男・立川亘・鎌田淡紅郎・田村栄治・青江弘・矢辺芳治 (1974) 養魚講座第10巻ニジマス, 東京, 緑書房, 49-50
 - 12) Lazzarotto V, Corraze G, Leprevost A, Quillet E, Dupont-Nivet M, Médale F (2015) Three-year breeding cycle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant-based diet, totally free of marine resources: consequences for reproduction, fatty acid composition and progeny survival. *PLoS ONE*, 10.
 - 13) Miura M, Nagura J, Okazaki T, Oohama H, Suzuki N, Furuita G, Yamamoto T (2019) Reproduction performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed an extremely low fish meal diet for a long term. *Aqua. Sci*, **67**, 171-174.
 - 14) 山本剛史 (2017) 栄養学の立場からみた育種による効率改善の可能生. 月刊アクアネット, **8**, 35-39.
 - 15) 細谷将 (2019) 3. ギンザケ – 高成長系統の作出と救出. 日本水産学会誌, **85**, 210.