

低魚粉飼料の有効性評価試験-Ⅲ

～長期飼育における成長試験，IHNV に対する感受性試験，食味試験～

小澤 諒・三浦正之・岡崎 巧

近年の魚粉価格の高騰は、養殖業者にとって飼料コストの増大を招くなど、経営を圧迫しうるものである。一方、魚粉の一部を安価な別の原料に置き換えた低魚粉飼料であっても遜色なく養鱒に利用できることを示すことができれば、その普及が図られ最終的に養殖業者の収益増加に繋がる。

そこで山梨県水産技術センター忍野支所（以下、当支所）では、平成 27 年度及び 28 年度に全国養鱒技術協議会養殖技術部会における連絡試験として、低魚粉飼料及び魚粉含有率の高い従来型の飼料（通常飼料）をニジマス *Oncorhynchus mykiss* に 3 ヶ月間給餌した際の飼料効率やコスト指数を算出し、低魚粉飼料の有効性の評価を行ってきた。その結果、本試験で使用した低魚粉飼料を給餌した場合、通常飼料と比較して魚の成長はやや劣るものの、原料価格比のみで算出すると 2 割近くの飼料コストの削減が期待できると考えられ、低魚粉飼料の有効性を示すことができた^{1,2)}。

一方、低魚粉飼料の使用がニジマスの抗病性や食味に与える影響についての知見を得ることもまた重要である。養殖サケ科魚類に甚大な被害をもたらす伝染性造血器壊死症（IHN）は養殖業者にとって脅威であるほか、たとえ低コストでの養殖が可能であっても食味が低下するとなれば低魚粉飼料の流通拡大は難しくなるからである。

今回の試験では低魚粉飼料のさらなる有効性を評価するため、平成 28 年度連絡試験のプロトコルに則った上で、給餌期間をさらに伸ばし低魚粉区及び対照区における供試魚の成長（飼料効率とコスト指数）を比較した。さらに、IHN ウイルス（IHNV）に対する感受性及び食味に関しても併せて比較し、長期飼育における低魚粉飼料の有効性を検討した。

材料及び方法

①成長試験（飼料効率とコスト指数）

供試飼料として、低魚粉飼料は魚粉 25 %，チキンミール 10 %，大豆油かす 23 %，コーングルテンミール 4 % を含有し、対照飼料は従来型の魚粉 50 %，大豆油かす 4.6 % を含有する EP 飼料（粒径 3 mm）を使用した（表 1，2）。原材料とした魚粉は両飼料ともに同一ロットのものを使用した。

供試魚は、当支所で平成 27 年の秋に作出した全雌二倍体のニジマスを使用した。試験に供する前に、本試験で使用する低魚粉飼料とその粒径に馴致させるため、FRP 製の餌付け水槽 2 つに収容した約 200 尾ずつの母集団に対し、平成 29 年 3 月 6 日から 6 月 20 日までの間、供試飼料の低魚粉飼料をライトリッツの給餌率表に従って給餌した³⁾。この際、適宜母集団の総重量を測定し、給餌量を補正した。さらに、6 月 21 日にそれぞれの水槽の母集団に対し総重量測定を行い、21 日から 23 日及び 26 日から 27 日の 5 日間にかけて、各母集団に対し低魚粉飼料もしくは対照飼料をライトリッツの給餌率表に従って給餌し、試験期間に給餌する各飼料原料に対する馴致を行った。そして、6 月 30 日に各母集団に対し個体別測定を行い、以下に述べる各試験区の供試魚を選別した。試験区は低魚粉飼料を給餌する低魚粉飼料区および対照飼料区とし、ともに反復区を設けた（以下、低魚粉区①、②及び対照区①、②とする）。また、各試験区の供試魚尾数は 30 尾とした。各試験区の供試魚の平均

体重は低魚粉区①, ②, 対照区①, ②の順に, 75.4±5.0, 75.4±5.1, 75.4±4.8, 75.4±5.3 g (平均±標準偏差, 以下, 平均±SD)であった。試験期間は平成29年6月30日から平成30年4月9日までの284日間とし, 給餌は土日を除く週5日間行った。1日の給餌量はライトリッツの給餌率表に準じたものとし, 2回(10時と15時)に分けて給餌した。また, 週1回, 給餌前に各試験区の総重量測定を行った(ただし月1回は個体別測定とした)。その後, 給餌量を補正し, その日のうちに給餌を再開した。さらに, 測定の際には水槽の設置位置による影響を無くすため, 各試験区に収容した魚のローテーションを併せて行った。実験水槽はFRP製の餌付け水槽(L×W×H:170×45×45 cm, 水量183 L)を用い, 水温12.5℃の井水を約200 mL/sで掛け流した。照明は8:00から17:00の間点灯した。

飼料効率とコスト指数は試験開始日から終了日まで1ヶ月毎に各試験区に対し個体別重量測定を行った後に, 各々次の計算式で求めた。飼料効率 = 「(増重量(g) + 総死亡重量(g)) × 100 / 総給餌量(g)」, コスト指数 = 「(低魚粉飼料区の平均増肉係数 × 74.9) / 対照飼料区の平均増肉係数」。なお, コスト指数の計算式中にある増肉係数の計算式は「総給餌量(g) / (増重量(g) + 総死亡重量(g))」とした。また, コスト指数は試験飼料製造時(平成27年10月)の原料価格から, 原料価格比を対照飼料100に対し, 低魚粉飼料74.9として計算した(表1)。

表1 試験に用いた飼料の

原材料配合割合(%)と飼料原料価格比

原材料名	低魚粉飼料	対照飼料
魚粉	25.0	50.0
チキンミール	10.0	-
小麦粉	25.0	28.0
米ぬか	8.5	13.0
大豆油かす	23.0	4.6
コーングルテンミール	4.0	-
魚油	2.0	2.0
炭酸カルシウム	-	1.0
タウリン	0.4	-
食塩	0.1	1.0
リジン	0.5	-
メチオニン	0.2	-
ビタミン・ミネラルMIX	1.3	1.3
飼料原料価格比	74.9	100

※飼料原料価格比は平成27年10月時点

表2 試験に用いた飼料の分析結果(%)

分析項目	低魚粉飼料	対照飼料
粗タンパク質	44.42	44.78
粗脂肪	8.15	8.32
水分	8.16	7.57
粗灰分	9.86	12.14
粗繊維	1.80	1.61
リジン	3.28	3.32
メチオニン	1.13	1.19
シスチン	0.54	0.51
アルギニン	2.75	2.68
ヒスチジン	1.19	1.25
イソロイシン	1.89	1.94
フェニルアラニン	2.01	1.95
トレオニン	1.84	1.90
バリン	2.15	2.25
トリプトファン	0.54	0.56
ロイシン	3.53	3.40
グリシン	2.64	2.50
チロシン	1.44	1.31
セリン	2.13	1.87
アスパラギン酸	4.06	4.05
グルタミン酸	7.12	6.57
アラニン	2.59	2.64
プロリン	2.41	2.03

②IHNV に対する感受性試験

成長試験が終了した低魚粉区及び対照区のニジマスに対し、引き続きライトリッツの給餌率表に基づく給餌を5月5日まで行った。給餌量は週に一度総重量測定を行った後に補正した。給餌は土日及び一部の祝日を除き行い、5月8日に各区の供試魚を選別した。供試魚の平均体重は低魚粉区、対照区で各々 385.1 ± 23.8 g, 385.3 ± 24.5 g (平均 \pm SD)であり、供試尾数は各区20尾とした。また、選別時には各区の供試魚が識別できるよう各個体の背鰭下にタグ打ちした。選別した各区の供試魚は直ちにFRP製の飼育水槽(容量700L)に移し、混泳させた。飼育水槽には水温12.5℃の井水を約200mL/sで掛け流し、水中にはエアーストーンを入れ曝気した。

供試ウイルスは当県の民間養魚場で飼育されていた平均体重20.8gのニジマスから分離したIHNV YFTV1505株を用いた。攻撃実験に用いるウイルス液の作製のため、EPC細胞を175cm²プラスチックフラスコにて20℃で培養後、供試ウイルスを接種し、その後15℃で培養した。そしてCPEが細胞全体に広がったところでフラスコごと-80℃で凍結した。その後急速解凍したものを試験に供した^{4,5)}。この際併せてウイルス力価をEPC細胞を用いてTCID₅₀法により測定した。

5月11日に飼育水槽から供試魚を取り出しFA100(DSファーマアニマルヘルス株式会社)による麻酔後、ウイルス攻撃を行った。攻撃は 10^6 TCID₅₀/mLに調整したウイルス液を1尾当たり0.2mLずつ腹腔内注射する方法で行い、攻撃後は直ちに飼育水槽へ戻した。ウイルス攻撃後の経過観察は5月12日から6月1日までの21日間とし、飼育中は無給餌とした。死亡魚は毎日取り上げ個別にウイルス分離を行った。ウイルス分離には脾臓を用い、EPC細胞のCPEの形態からIHNによる死亡を判断した。

③食味試験

成長試験が終了した低魚粉区及び対照区のニジマスに対し、引き続きライトリッツの給餌率表に基づく給餌を6月4日まで行った。給餌量は週に一度総重量測定を行った後に補正し、給餌は土日及び一部の祝日を除き行った。6月7日に各区5尾を即殺し、脱血した後食味試験に供した。食味は低魚粉区及び対照区のニジマス(魚体重約370g)を三枚に下ろした後、背部肉のみを抽出し、味付けせずに焼いた状態で評価した。パネラーは当支所職員の6人とし、ブラインドで各試験区の焼き魚の旨味、脂の乗り、魚臭さ、パサパサ感、黄色味、総合的な美味しさの6項目について比較した。この試験を5検体分実施した。

結果及び考察

①成長試験(飼料効率とコスト指数)

まず、試験期間を通じて両飼料区の供試魚に飼料に対する嗜好性の違いは認められなかった。また、どの試験区においても残餌が出ることはなかった。試験結果の詳細を表3に示した。試験終了時の各試験区における1個体の平均体重は低魚粉区①, ②, 対照区①, ②の順に、 292.0 ± 34.9 , 339.5 ± 33.9 , 380.4 ± 41.7 , 356.2 ± 50.3 g (平均 \pm SD)であり、低魚粉区①とその他3区の間それぞれ有意差がみられたほか、対照区①と低魚粉区②においても有意差がみられた($p < 0.05$, ANOVA followed by Tukey-kramer test)。また、低魚粉区①, ②及び対照区①, ②のそれぞれの増重倍率は3.87, 4.50, 5.04, 4.72となった。

試験開始から3ヶ月間の各区の平均飼料効率を比較すると著しく低魚粉区が劣り、コスト指数は最も高いときで100を超えた(図1)。この原因として低魚粉区①の成長が極めて悪かったことが挙げられる。一方、3ヶ月目以降では両区の飼料効率は拮抗したものとなり、コスト指数は最も低いときで70台前半まで下降した。

表3 試験結果の詳細

魚種	対照区①		対照区②		対照区平均		低魚粉区①		低魚粉区②		低魚粉区平均	
	ニジマス	井水	ニジマス	井水	-	-	ニジマス	井水	ニジマス	井水	-	-
用水の種類												
平均水温 (°C)	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-
飼育容量 (ℓ/秒)	183	183	183	183	-	-	183	183	183	183	-	-
注水量 (ℓ/秒)	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-
飼育開始日	6月30日	6月30日	6月30日	6月30日	-	-	6月30日	6月30日	6月30日	6月30日	-	-
飼育終了日	4月9日	4月9日	4月9日	4月9日	-	-	4月9日	4月9日	4月9日	4月9日	-	-
総飼育日数 (試験開始日と終了日を含む)	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
総給餌日数	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
供試魚尾数	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
試験開始時の平均体重 (g)	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4	75.4
試験開始時の総重量 (g)	2,262.3	2,262.3	2,262.0	2,262.0	2,262.2	2,262.2	2,261.8	2,262.8	2,262.8	2,262.8	2,262.3	2,262.3
期間中の総給餌量 (g)	12,613.8	12,613.8	12,088.6	12,088.6	12,351.2	12,351.2	10,310.4	11,554.2	11,554.2	11,554.2	10,932.3	10,932.3
期間中の総死亡尾数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
期間中の総死亡重量 (g)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
試験終了時の平均体重 (g)	380.4	380.4	356.2	356.2	368.3	368.3	292.0	339.5	339.5	339.5	315.7	315.7
試験終了時の総重量 (g)	11,411.2	11,411.2	10,686.5	10,686.5	11,048.9	11,048.9	8,759.0	10,184.1	10,184.1	10,184.1	9,471.6	9,471.6
生残率 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
期間中の増重量 (g)	9,148.9	9,148.9	8,424.5	8,424.5	8,786.7	8,786.7	6,497.2	7,921.3	7,921.3	7,921.3	7,209.3	7,209.3
飼料効率 (%)	72.5	72.5	69.7	69.7	71.1	71.1	63.0	68.6	68.6	68.6	65.9	65.9
増肉係数	1.38	1.38	1.43	1.43	1.41	1.41	1.59	1.46	1.46	1.46	1.52	1.52
コスト指数 (対照区を100として)	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	80.8

試験期間を通じた飼料効率は低魚粉区平均，対照区平均でそれぞれ 65.8 %，71.1 %となり，有意差は認められなかった ($p>0.05$, Welch's t-test, 図 2)。また，低魚粉区のコスト指数は 80.8 となった (図 2)。このことから，本試験で使用した低魚粉飼料を使用することにより原料価格比のみで算出すると 2 割近くのコスト削減が期待できると考えられた。この結果は平成 27 年度及び 28 年度に行った連絡試験の結果と同様の傾向にあるため，本試験で使用した低魚粉飼料は長期飼育にも問題なく使用できることが明らかとなった。

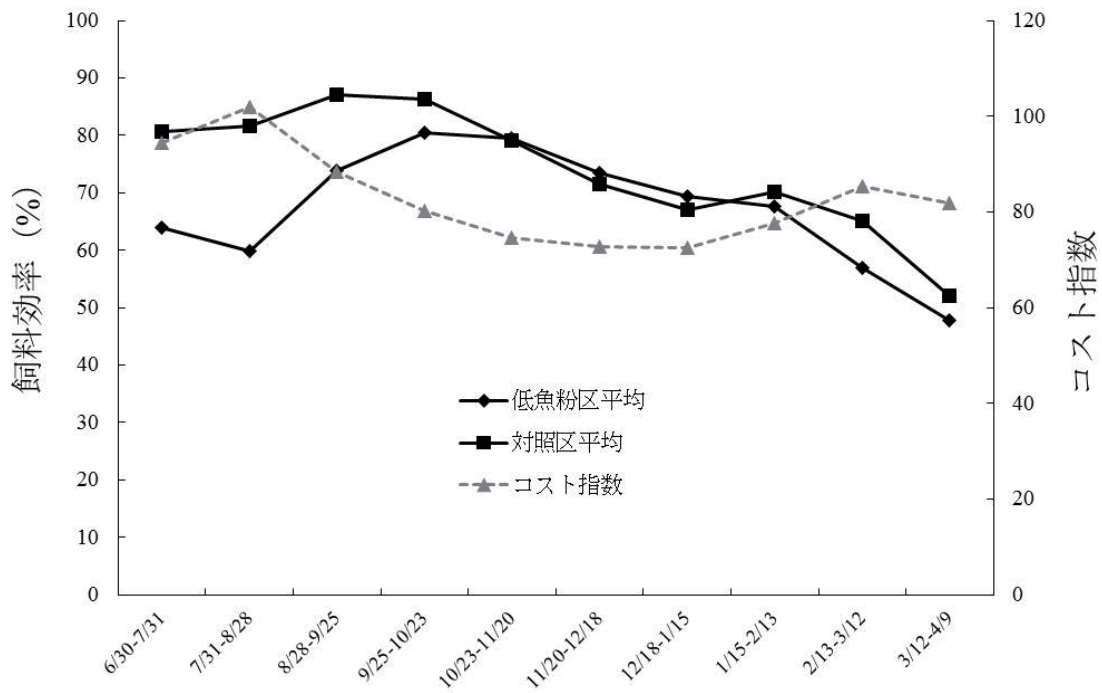


図 1 低魚粉区及び対照区の平均飼料効率とコスト指数の推移

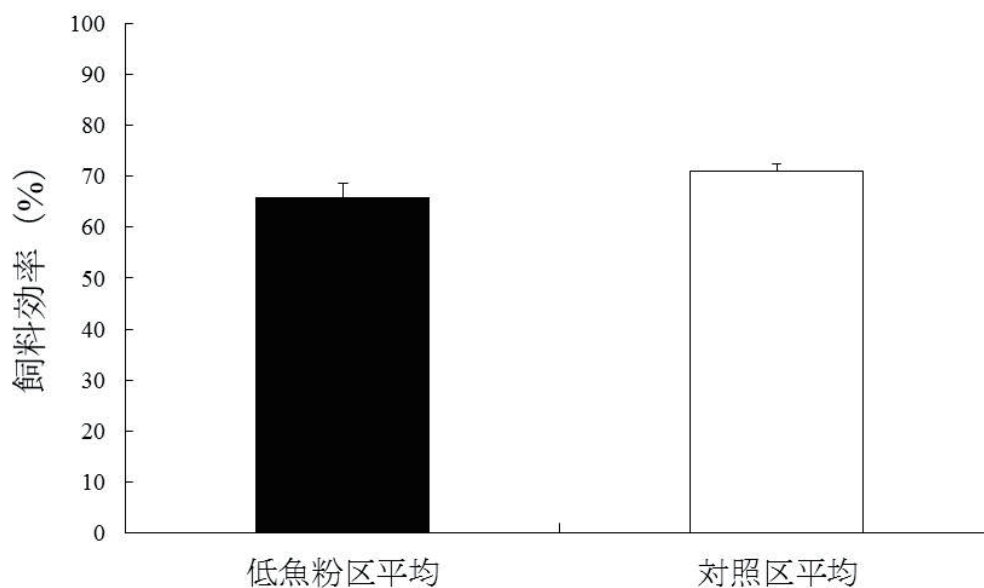


図 2 飼育期間を通じた低魚粉区及び対照区の平均飼料効率

②IHNV に対する感受性試験

飼育期間中の水槽排水部の日中の水温は平均 13.5 °C だった。累積死亡率は低魚粉区 50 % (10 尾/20 尾), 対照区 85 % (17 尾/20 尾) となり低魚粉区の方が有意に低かった ($p=0.04$, Fisher's exact test, 表 4, 図 3)。ウイルス分離の結果, 全死亡魚から IHNV 特有の CPE が確認されたため全て IHNV による死亡と判断した。死亡魚の外観的特徴として眼球突出や鰓の貧血が確認された。さらに, 解剖所見として脂肪の (点状) 出血, 肝臓の貧血, 体腔内壁及び鰓の出血, 筋肉の出血, 腸管の肥大及び出血が確認された。また, 死亡は低魚粉区ではウイルス攻撃後 5 日目から 14 日目まで確認され, 対照区では 7 日目から 15 日目まで確認された。低魚粉区の方が死亡開始までの日数は短かったが, その後の死亡率の上昇は緩やかだった。このことから, 本低魚粉飼料の給餌によって IHNV に対する抗病性が少なくとも低下する可能性はないと考えられる。

表 4 試験結果 (攻撃濃度 10^6 TCID₅₀/mL)

飼料区	体重 (g)	供試尾数	死亡尾数	累積死亡率 (%)
低魚粉区	385.1 ± 23.8	20	10	50.0
対照区	385.3 ± 24.5	20	17	85.0*

※体重の表記は平均±SD

※* $p<0.05$ (Fisher's exact test)

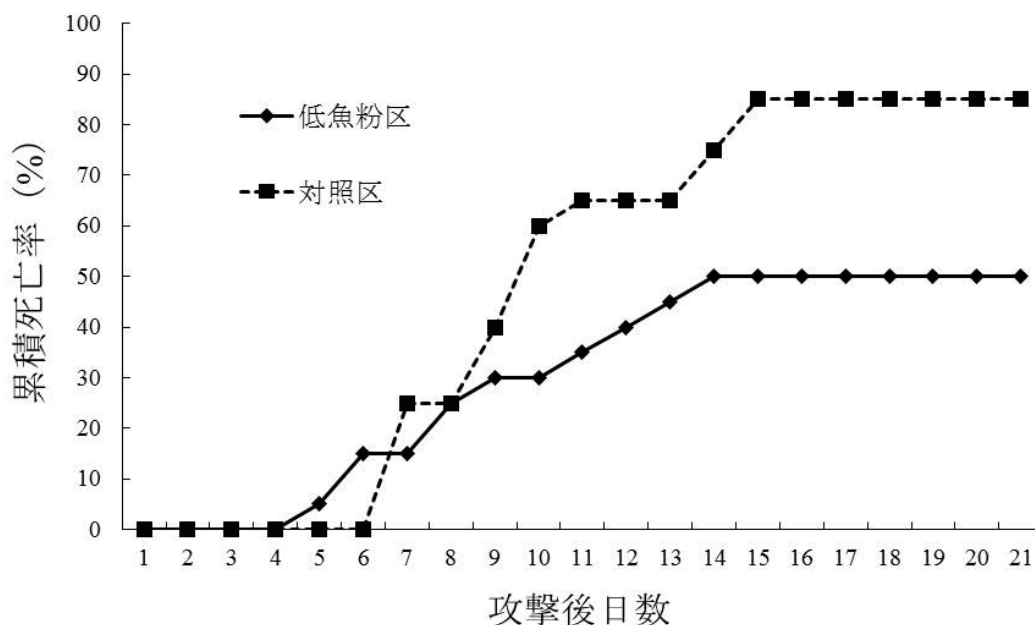


図 3 攻撃後 21 日間の累積死亡率の推移

③食味試験

パネラーによる評価は, 食味に関する 6 項目についてそれぞれ低魚粉区と対照区のどちらの方が当てはまるか, もしくは同等なのかを選択する方式で行った。評価の集計は, 低魚粉区 (または対照区) を選択した場合 3 点を加算し, 反対に選択されなかった対照区 (または低魚粉区) には 1 点を加算した。一方で同等を選択した場合は, 低魚粉区及び対照区にそれぞれ 2 点ずつを加算した。その結果を表 5 に示す。食味に関する 6 項目についてパネラーによってはその差が指摘されたものの, 統計的に

は低魚粉区と対照区の違いは認められなかった ($p>0.05$, t-test)。このことから低魚粉飼料で育てたニジマスは通常飼料で育てたニジマスと比較して食味に関しては遜色ない可能性が高い。

表 5 食味に関する 6 項目の集計結果 (点数)

	低魚粉区	対照区
旨味が強い	64	56
脂の乗りが良い	60	60
魚臭い	60	60
パサパサしている	58	62
黄色味が強い	63	57
総合的な美味しさ	63	57

総合考察

本試験ではニジマスに対して、魚粉 25%、チキンミール 10%、大豆油かす 23%、コーングルテンミール 4%含有の飼料を給餌する低魚粉区と、魚粉 50%、大豆油かす 4.6%含有の飼料を給餌する対照区を設定し、長期飼育後の飼料効率及びコスト指数を算出したほか、併せて IHNV に対する感受性及び食味に関しても各区で比較した。本試験における給餌期間は馴致期間を含めると 1 年以上に上り、低魚粉飼料による長期飼育がニジマスに与える影響について検討することを目的とした。

成長試験では、試験期間である 10 ヶ月間を通じた平均飼料効率は低魚粉区及び対照区で各々 65.8%、71.1%となり、低魚粉区のコスト指数は 80.8 となった。このことから、本低魚粉飼料を使用することで、原料価格比のみで考えれば 2 割近くのコスト削減が期待できることが示された。ただし、本低魚粉飼料が実際に市場で販売される際は、原料費以外の経費も加味されるため、通常飼料との販売価格差はその分小さくなる。しかし生産原価の大半を飼料費が占める一部の養殖業者にとって、本低魚粉飼料の使用はコスト削減を図る上で大いに有効であると考えられる。実際に本低魚粉飼料を養殖場で使用した場合、魚の成長については通常飼料を与えた場合よりもやや劣ると考えられるため、急速に成長させたいロットへの給餌は適さないかもしれない。一方で、例えば用水に河川水を使用する養殖業者においては、魚の成長があまり見込めない低水温期にのみ安価な低魚粉飼料を給餌することで飼料費を抑え、反対に高水温期には通常飼料を与えて育成を図る方法も考えられるなど、各養殖業者の経営実態に合わせて効率的に使用していくことも重要であると考えられる。

また、最終的な平均飼料効率の区間差は約 5%となったが、この差の主たる要因は試験開始当初に低魚粉区①の飼料効率が著しく落ち込んだためである。その後低魚粉区①の飼料効率は回復したが、当初生じた差が大きかったため、試験終了後までその差を埋めることができなかった。低魚粉区の平均飼料効率の推移 (図 1 参照) から推察すると、本試験では低魚粉飼料に対する馴致期間を 3 ヶ月以上設けたが、これを半年程度まで伸ばしていればこの差はそもそも生じなかった可能性がある。一方、低魚粉飼料による選抜育種を重ねることで魚の摂餌性が改善され、それに伴い飼料効率が向上したとの報告があることから⁹⁾、低魚粉飼料の長期的な給餌と同様に、継代を重ねていくことも飼料効率の改善に有効な手段と考えられる。

IHNV の攻撃試験では、低魚粉区の方が対照区に比べ IHNV に対する感受性が低いという結果になった。ただし、試験における供試尾数が少ないことから、低魚粉区の方が IHNV に対する抗病性に優れているとは明確に言い切れないものの、少なくとも劣っている可能性はないと考えられた。IHNV に対する抗病性については今後の検討課題とし、再現性の確認を行いたい。

また、養殖業者が低魚粉飼料の使用を躊躇する要因の一つに、通常飼料で育成したときに比べて魚

の味が劣るかもしれないという懸念がある。しかし本試験の結果、食味に関して、低魚粉飼料で育成したニジマスは通常飼料で育成したものと同等であることが分かった。

これらの結果から、本低魚粉飼料を使用することで飼料コストの削減が期待でき、さらに1年以上の長期にわたる給餌においても、ニジマスの育成、IHNVに対する抗病性、食味に関して通常飼料を給餌した場合と遜色がないことが示された。

要約

1. 低魚粉飼料の長期的給餌がニジマスに与える影響を検討するため、成長試験、IHNVに対する感受性試験及び食味試験を行った。
2. 低魚粉区には魚粉25%、チキンミール含量10%の飼料を、対照区には魚粉含量50%の飼料を給餌した。
3. 試験期間を通じた平均飼料効率率は低魚粉区で65.8%、対照区で71.1%となり、低魚粉区のコスト指数は80.8となった。
4. IHNVの攻撃試験における累積死亡率は低魚粉区50%(10尾/20尾)、対照区85%(17尾/20尾)と、低魚粉区の方が有意に低く、低魚粉飼料で育成した場合においてもIHNVに対する抗病性に問題ないことが示された。
5. 食味に関して低魚粉飼料で育成したニジマスは通常飼料で育成したものと同等であることが分かった。
6. これらの結果から、本低魚粉飼料を使用することで飼料コストの削減が期待でき、かつ長期的給餌においてもニジマスの育成、IHNVに対する抗病性、食味に関して通常飼料を使用した場合と遜色ないことが分かった。

文献

- 1) 小澤諒・三浦正之・岡崎巧 (2017) : 低魚粉飼料の有効性評価試験. 山梨県水産技術センター事業報告書, 44, 20-29.
- 2) 小澤諒・三浦正之・岡崎巧 (2018) : 低魚粉飼料の有効性評価試験-II. 山梨県水産技術センター事業報告書, 45, 5-12.
- 3) 長野県水産指導所 (1963) : ますとさけの養殖: 訳本. 長野県水産指導所, 長野, 107.
- 4) 中居裕 (1994) : 伝染性造血器壊死症 (IHN) に関する研究-I 大型魚由来分離株のニジマスに対する病原性. 岐阜県水産試験場研究報告, 39, 37-44.
- 5) 中居裕 (1999) : 伝染性造血器壊死症 (IHN) に関する研究-II 大型魚由来 IHNV 分離株のアマゴに対する病原性. 岐阜県水産試験場研究報告, 44, 19-23.
- 6) Yamamoto, T., Murashita, K., Matsunari, H., Oku, H., Furuita, H., Okamoto H., Amano, S. and Suzuki, N. (2016) : Amago salmon *Oncorhynchus masou isikawae* 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.