

低魚粉飼料の有効性評価試験-II

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。

そこで本試験では、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）をニジマスに給餌し、飼料効率の比較や低魚粉飼料のコスト指数の算出等を行うことにより、低魚粉飼料の有効性を評価することを目的とした。なお、本試験は平成 28 年度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、平成 27 年度に引き続き実施した¹⁾。

材料及び方法

供試飼料は、低魚粉飼料として魚粉 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 %を含有する EP3 号飼料を使用し、対照飼料として従来型の魚粉 50 %、大豆油かす 4.6 %を含有する EP3 号を使用した（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、全雌二倍体のニジマス *Oncorhynchus mykiss* 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、約 500 尾の母集団に対し、平成 29 年 1 月 26 日から 2 月 21 日まで供試飼料である EP3 号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²⁾。この際、週に 1 度母集団の総重量を測定し、給餌量を補正した。その後、2 月 24 日に母集団の総重量を測定し、おおよそ均等に 2 群に分けた。さらに、2 月 24 日から同月 28 日まで、それぞれの群に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、3 月 3 日に各群の個体別測定を行い、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 20 尾とした。各試験区の 1 個体の平均体重は低魚粉区①、②、対照区①、②の順に、 32.11 ± 1.13 , 32.13 ± 1.22 , 32.06 ± 1.18 , 32.10 ± 1.30 g（平均 \pm 標準偏差、以下、平均 \pm SD）であった。試験期間は平成 29 年 3 月 3 日から 5 月 29 日までの 88 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、重量測定の際には、水槽の設置位置による影響を無くするため、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 \times W \times H：170 \times 45 \times 45 cm、水量 183 L）を用い、水温 12.5 °C の井水を 0.2 L/s で注水した。照明は 8:00 から 17:00 の間点灯した。なお、両飼料区の比較項目は、連絡試験における必須項目である飼料効率及びコスト指数のほか、養殖業者が低魚粉飼料を使用する際の懸念材料である糞量の 2 点とした。

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	100	74.9

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

飼料効率とコスト指数

飼料効率とコスト指数は試験開始から 1 ヶ月後、2 ヶ月後及び 3 ヶ月後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」。また、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。なお、

コスト指数は試験飼料製造時の原料価格から、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。

糞量

各試験区の水槽から 24 時間で排出された糞を採取し、沈殿量と乾燥重量を求めた。まず採取開始前に、各試験区の水槽内の糞を、先端に内径 1.3 cm の塩化ビニル管を接続したビニールホースを用いて、全て水槽外へ排除した。その後、各試験区の水槽の排水部に網目約 0.3 mm 四方の観賞魚用すくい網 (GX-04, GEX, 以下すくい網) を設置し、排出された糞を採取した。設置から 24 時間後、すくい網を排水部から取り外した。さらに、排出されずに水槽底部に溜まった糞を前述のホースを用いて吸引し、同一のすくい網で採取し、各試験区の糞の総量とした。糞の採取は 3 月 8 日から約 1 週間間隔で行い (ただし 5 月 3 日は除く)、5 月 24 日までの 12 週にわたり実施した。すくい網の設置時刻は 13:30 とした。採取を終えた糞は、各々 50 ml のメスシリンダーに水道水とともに入れ、約 30 分間静置した後に沈殿量を測定した。その後、メスシリンダー内の糞は、予め重量測定をした直径 24 cm の濾紙 (Cat No 1001 240, Whatman) で濾過し、水分を除去した。さらに濾過終了後には、濾紙を 80 °C に温度設定した乾熱滅菌器内で 20 時間以上乾燥させ、糞中の水分を完全に除去した。その後、濾紙を 4 時間放冷した後に計量を行った。そして、その重量から初めの濾紙の重量を減じ、それを乾燥重量とした。さらに、各試験区の糞の沈殿量及び乾燥重量は採取を行った週のそれぞれの 1 日当たりの給餌量で除し、給餌 1 g 当たりの値を算出して、各飼料区の平均値を求めた。

結果及び考察

飼料効率とコスト指数

まず、試験期間を通じ、両飼料区において飼料に対する嗜好性に違いは見られなかった。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、66.25±4.46, 72.94±5.47, 75.06±6.40, 76.02±4.62 g (平均±SD) であり、低魚粉区①とその他 3 区の間にそれぞれ有意差がみられた ($p<0.05$, 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 2.06, 2.27, 2.34, 2.37 倍となった。

試験開始から 1 ヶ月後の飼料効率は低魚粉区平均, 対照区平均でそれぞれ 80.2, 83.6 % と僅差であったため、低魚粉飼料のコスト指数は 78.1 と低かった (図 1, 2)。一方、試験開始 1 ヶ月後から 2 ヶ月後の飼料効率は低魚粉区平均, 対照区平均でそれぞれ 84.8 %, 98.0 % とその差が開いたため、コスト指数は 86.6 となった。同様に、試験開始 2 ヶ月後から 3 ヶ月後の飼料効率は低魚粉区平均, 対照区平均でそれぞれ 75.9 %, 87.6 % となり、コスト指数は 86.4 となった (図 1)。対照区の飼料効率が試験開始 1 ヶ月後から 2 ヶ月後の間に上昇した要因として、通常飼料への馴れが生じた可能性が考えられた。つまり、本試験前に約 1 ヶ月の長期にわたり低魚粉飼料を給餌していたことで、試験開始当初は通常飼料に対する消化吸収能の順応が不十分であった可能性が考えられた。また、試験期間全体の飼料効率は低魚粉区平均, 対照区平均でそれぞれ 79.9 %, 89.9 % となり、低魚粉飼料のコスト指数は 84.2 となった (図 2)。

今回、低魚粉区①の成長が悪く、最終的な飼料効率は反復区である低魚粉区②と比較して 10 % 低かった (表 3)。その要因は明らかでないが、好成績であった低魚粉区②のみの値で対照区の平均値と比較してみると、飼料効率の差は約 5 % まで縮まり、コスト指数は 79.4 と低い値を示した。このことから、本試験で使用した低魚粉飼料は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と考えられる。

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 (リットル)	183	183	183	183	-	-	183	183	183	183	-	-
注水量 (リットル/秒)	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	-	-
飼育開始日	3月3日	3月3日	3月3日	3月3日	-	-	3月3日	3月3日	3月3日	3月3日	-	-
飼育終了日	5月29日	5月29日	5月29日	5月29日	-	-	5月29日	5月29日	5月29日	5月29日	-	-
総飼育日数 (試験開始日と終了日を含む)	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
総給餌日数	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
供試魚尾数	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
試験開始時の平均体重 (g)	32.06±1.18	32.10±1.30	32.10±1.30	32.10±1.30	32.08	32.08	32.11±1.13	32.13±1.22	32.13±1.22	32.13±1.22	32.12	32.12
試験開始時の総重量 (g)	641.2	641.9	641.9	641.9	641.55	641.55	642.1	642.5	642.5	642.3	642.3	642.3
期間中の総給餌量 (g)	961.1	972.5	972.5	972.5	966.8	966.8	913.25	962.05	962.05	937.65	937.65	937.65
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)	75.06±6.40	76.02±4.62	76.02±4.62	76.02±4.62	75.54	75.54	66.25±4.46	72.94±5.47	72.94±5.47	69.59	69.59	69.59
試験終了時の総重量 (g)	1501.1	1520.4	1520.4	1520.4	1510.8	1510.8	1325.0	1458.7	1458.7	1391.9	1391.9	1391.9
生残率 (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
期間中の増重量 (g)	859.9	878.5	878.5	878.5	869.2	869.2	682.9	816.2	816.2	749.55	749.55	749.55
飼料効率 (%)	89.5	90.3	90.3	90.3	89.9	89.9	74.8	84.8	84.8	79.9	79.9	79.9
増肉係数	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.34	1.18	1.18	1.25	1.25	1.25
コスト指数 (対照区を100として)	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	84.2	84.2

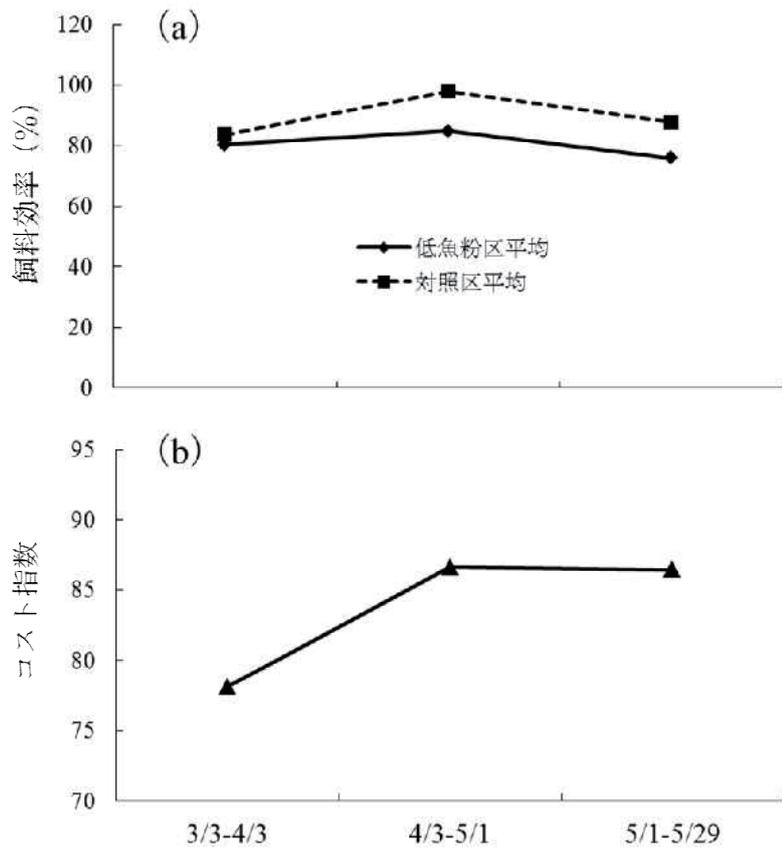


図1 低魚粉区及び対照区の平均飼料効率 (a) と低魚粉飼料のコスト指数 (b) の経時変化

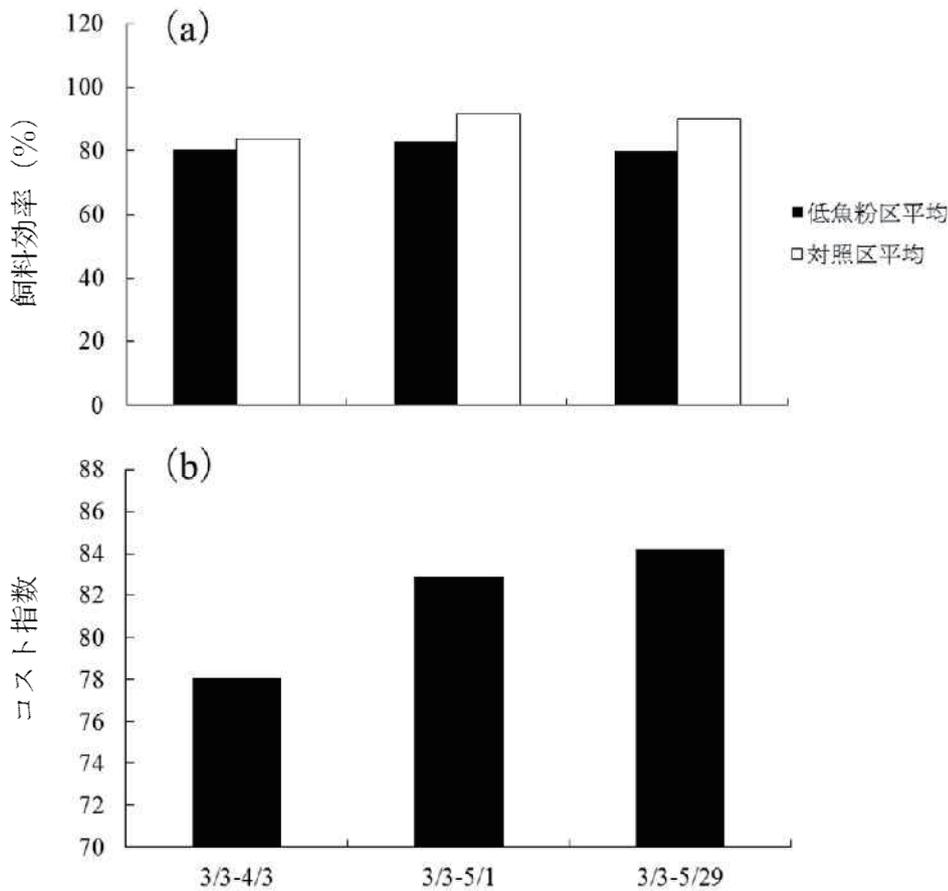


図2 試験開始から1ヶ月間、2ヶ月間及び3ヶ月間の低魚粉区及び対照区の平均飼料効率 (a) と低魚粉飼料のコスト指数 (b)

糞量

各飼料区の給餌 1 g 当たりの糞の平均沈殿量及び平均乾燥重量を求めた (図 3)。昨年度の結果と同様、平均沈殿量は 3 ヶ月間の試験期間を通じて低魚粉区の方が多かった一方で、平均乾燥重量は対照区が重い傾向にあった。

養殖業者が低魚粉飼料を使用することに抵抗を持つ要因の一つに、糞量が増加するという懸念がある。しかし本試験の結果から、低魚粉区の糞は植物性原料由来の食物繊維の割合が高く密度が低いため、水中では見かけ上多く感じるが、重量からみれば少ないことがいえる。

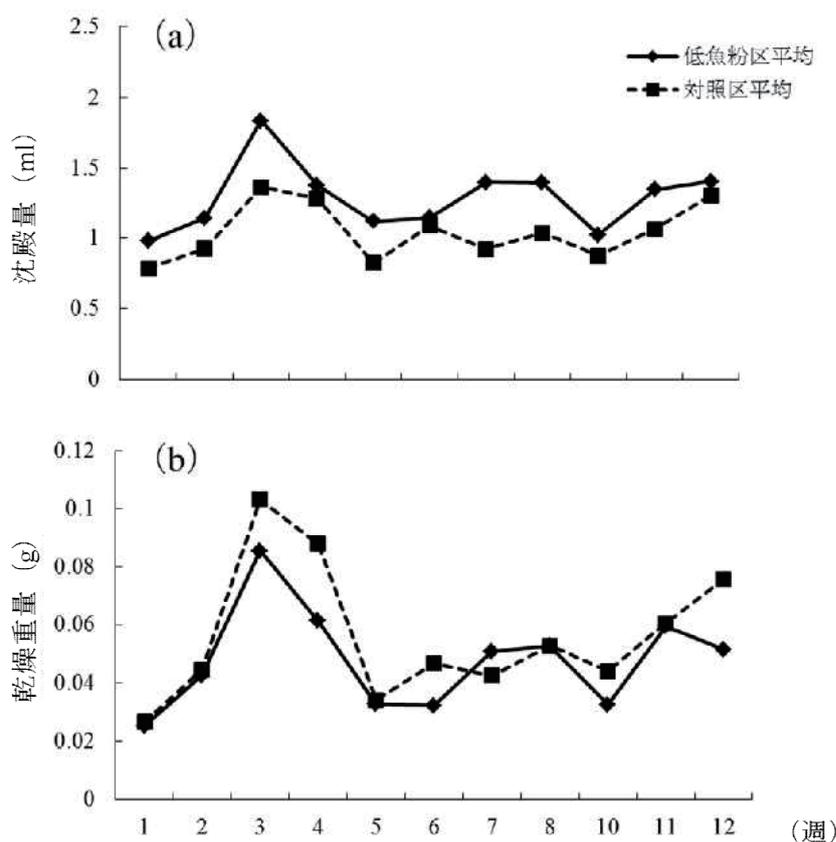


図 3 給餌 1 g 当たりの糞の沈殿量 (a) と乾燥重量 (b)

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、飼料効率及びコスト指数、糞量を比較した。今回試験を実施するにあたり平成 27 年度からの実験方法の主な変更点として、①試験飼料 (低魚粉飼料) に対する馴致期間をより長期にした、②粒径に対する馴致の飼料を低魚粉飼料とした、③給餌量を馴致期間から本試験まで一貫してライトリッツの給餌率表に準じたものとしたことが挙げられる。これは、平成 27 年度に得られた結果から馴致期間中の飼料原料の相違や馴れ、それに伴う栄養蓄積の差が本試験中の飼料効率に影響を与える可能性が考えられたので、このような要因を排除するために行った。

最終的な結果として、試験期間を通じた飼料効率は低魚粉区、対照区で各々 79.9%、89.9%となり、低魚粉飼料のコスト指数は 84.2 となった。さらに、低魚粉区においては、より好成績を示した反復区のみで対照区の平均と比較してみると、コスト指数は 79.4 となった。このことから、本試験で使用した低魚粉飼料は原料価格比のみで考えれば魚粉含量 50%の通常飼料よりも 2 割近くのコスト削

減が期待できる。実際にこの飼料が販売された際には、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ことが予想されるが、生産原価の大半を飼料コストが占める一部の養殖業者にとっては、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。

今回の試験では、低魚粉飼料による長期の馴致期間を設けたため、その間ニジマスは成長を抑制された状態であったと考えられる。このことから、本試験中に対照区の魚は通常飼料を摂餌することで急激な成長を示す可能性があった。この点では対照区有利ともいえる条件下の試験であったが、一方で馴致期間中に低魚粉飼料を長期にわたり給餌し続けたことで、対照区が試験開始当初に通常飼料に適応できなかった可能性も考えられた。実際、対照区の飼料効率を期間別にみると、試験開始から1ヶ月後では83.6%であったのに対し、試験開始1ヶ月後から2ヶ月後では98.0%と大幅に上昇した。このことから試験開始から2ヶ月後には対照区が通常飼料への適応に至ったと推測することができ、それ以降は急激な成長を示す可能性があったが、このような条件下であっても低魚粉飼料の有効性を示すことができた。

一般的に、ニジマスに対し低魚粉飼料を給餌した場合、植物性原料の抗栄養因子によってその成長が阻害される可能性があるが^{3,4)}、一方で長期的に給餌を続けることで飼料に対する馴れの効果によって飼料効率が改善するとの報告もある⁵⁾。このことから低魚粉飼料を実際の養殖現場で用いる際は、養殖魚に対する抗栄養因子の影響も考慮しつつ、長期的かつ継続的な給餌によって、その有効性を判断していく必要がある。また、低魚粉飼料に対して選抜育種を重ねることで、摂餌性が改善されたとの報告もあることから⁶⁾、長期的な給餌による馴れの効果と同様に、選抜育種もまた成長改善に有効な手段であると考えられる。

また、ニジマスはマダイ *Pagrus major* と比較すると配合飼料中の窒素の吸収割合が低いいため、給餌量に対する環境への負荷量が大きいとされる^{7,8)}。このため、ニジマスに窒素やリンの含有率が低い低魚粉飼料を給餌することは環境への負荷量を減少させる意味でも価値がある。さらに、本試験の結果から低魚粉飼料を給餌した場合、糞の重量が少なくなることが明らかになったことから低魚粉飼料は環境に配慮された飼料といえる。

本試験で得られた結果は昨年度と同様の傾向にあり、低魚粉飼料は通常飼料と同様に養鱒に利用することができ、かつ飼料コストの削減に有効であることを示した。

要約

1. 養鱒において低魚粉飼料が、通常飼料と比較して遜色なく利用できることを示すことを目的とした。
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、両区で飼料効率とコスト指数、糞量を比較した。
3. 試験期間を通じた飼料効率は低魚粉区平均、対照区平均で各々79.9%、89.9%となり、低魚粉飼料のコスト指数は84.2となった。
4. 低魚粉区で好成績を示した反復区のみで対照区平均と比較すると、飼料効率の差は約5%でコスト指数は79.4となった。
5. 対照区では試験開始1ヶ月後から2ヶ月後にかけて飼料効率が上昇したが、これは通常飼料に対する馴れの影響が考えられた。
6. 糞の平均沈殿量は試験期間を通じて低魚粉区の方が多かったが、平均乾燥重量は対照区の方が重い傾向にあった。
7. 本試験で使用した低魚粉飼料は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と考えられ、低魚粉飼料の有効性を示すことができた。

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) 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.
- 3) 岩下恭朗・鈴木伸洋・松成宏之・杉田毅・山本剛史 (2009): 飼料に添加したタウロケノデオキシコール酸がニジマスの肝臓組織に及ぼす影響. 水産増殖, 57, 3, 507-512.
- 4) 岩下恭朗・鈴木伸洋・松成宏之・古板博文・杉田毅・天野俊二・山本剛史 (2010): カゼイン主体飼料へのコレステラミン添加及び濃縮大豆タンパク質主体飼料への大豆のサポニンとイソフラボンの添加がニジマスの肝臓組織に及ぼす影響. 58, 3, 411-419.
- 5) Refstie, S., Korsoen, O.J., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I. and Roem, A.J. (2000): Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture.*, 190, 49-63.
- 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.
- 7) 渡邊武 (2009): 改訂 魚類の栄養と飼料. 恒星社厚生閣, 10, 389-403.
- 8) 奥山芳生・高橋芳明・芳養晴雄・木村創 (2009): マダイの給餌に伴う窒素・リンの排泄. 和歌山水研報, 2, 1-7.