

低魚粉飼料の有効性評価試験

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、その普及を図ることにより養殖業者の収益増加に繋がる。

そこで本試験では、低魚粉飼料と魚粉含有率の高い従来型の飼料をニジマスに給餌し、飼料効率やコスト指数等の比較を行うことで、低魚粉飼料の有効性を示すことを目的とした。なお、本研究は平成 27 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実施した。

材料および方法

供試飼料は、低魚粉飼料として魚粉 25 %、チキンミール 10 %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 %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、平成 20 年に米国から当所へ導入したドナルドソン系のニジマス *Oncorhynchus mykiss* を元親に持つ系統を使用した¹⁾。試験に供する前に、まず、使用する飼料の粒径に馴致させるため、約 800 尾の母集団に対し、平成 28 年 1 月 4 日から同月 8 日まで魚粉含量が約 50 %である市販の EP3 号飼料を飽食給餌した。その後、母集団の総重量を測定し、おおよそ均等に 2 群に分けた後、1 月 12 日から同月 16 日まで、それぞれの群に低魚粉飼料もしくは対照飼料を飽食給餌し、各飼料原料に対する馴致を行った。そして、1 月 20 日に各区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、対照飼料区ともに反復区を設け（以下、低魚粉区①、②および対照区①、②とする）、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、 19.37 ± 1.72 , 19.43 ± 1.88 , 19.43 ± 1.63 , 19.43 ± 1.60 g（平均±標準偏差、以下、平均±SD）であった。試験期間は平成 28 年 1 月 21 日から 4 月 21 日の 92 日間とし、給餌は休日を除く平日に行った。給餌量はライトリッツの給餌率表の値に 0.8 を乗じたものとし、1 日の給餌回数は 10:00 と 15:00 の 2 回とした。また、週一回、給餌前に各試験区の総重量測定を行った。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、総重量測定の際には、水槽の設置位置による影響をなくすため、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 °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とコスト指数（1）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（2）、健康状態の指標となるヘマトクリット値（3）の 3 点とした。

表 1 試験に用いた飼料の原材料配合割合 (%) と飼料単価比

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

(1) 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 ヶ月後および 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、各々以下の計算式で求めた。まず、試験開始から 1 ヶ月後に当たる 2 月 17 日の最終給餌後、1 日間餌止めし、同月 19 日に各試験区の個体別重量測定を行った。その後、同月 22 日から給餌を再開し、試験開始から 2 ヶ月後に当たる 3 月 18 日の最終給餌後、3 日間餌止めし、

同月 22 日に各試験区の個体別重量測定を行った。さらに、測定終了後直ちに給餌を再開し、試験開始から 3 ヶ月後に当たる 4 月 18 日の最終給餌後、2 日間餌止めし、同月 21 日に各試験区の個体別重量測定を行った。

試験期間中の飼料効率およびコスト指数の計算式は各々「(増重量 (g) + 総死亡重量 (g)) / (総給餌量 (g) × 100)」および「(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」とした。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、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。

(2) 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 1 月 26 日から約 1 週間間隔で行い、4 月 13 日までの間に計 12 回行った。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投入し、約 30 分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およ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。

(3) ヘマトクリット値

試験終了日である 4 月 21 日の個体別重量測定後、各試験区の供試魚から無作為に 10 尾ずつ選択し、麻酔をかけた後に採血し、ヘマトクリット値を計測した。採血はヘパリン処理をした注射筒を用い尾部血管より行った。その後血液はヘマトクリット管に封入し、各試験区 10 個体分が終わったと同時にヘマトクリット遠心機 (H-1200B, 国産遠心器 (株)) により 11,000 rpm で 5 分間遠心した。その後、全試験区の遠心が終わると同時に、計測盤 (SC-01, 国産遠心器 (株)) を用いて計測した。

結果および考察

(1) 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、39.43±3.43, 37.99±3.66, 42.16±4.63, 42.47±5.51 g (平均±SD) であり、低魚粉区②と対照区①, 低魚粉区②と対照区②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および対照区①, ②のそれぞれの増重倍率は 2.04, 1.96, 2.17, 2.19 倍となった。試験開始から 1 ヶ月間の飼料効率は低魚粉区平均, 対照区平均でそれぞれ 78.1 %, 96.2 % となり、その差は約 18 % と大きく、同様に低魚粉飼料のコスト指数も 92.3 と高かった (図 1, 図 2)。一方、試験開始から終了ま

での3ヶ月間の結果をみると、低魚粉区、対照区の飼料効率は各々78.0%、87.0%であり、その差は9%と縮まり、低魚粉飼料のコスト指数は83.5となった(表3, 図2)。これは低魚粉区の飼料効率が試験期間を通じて一定であったのに対し、対照区の飼料効率が経時的に低下したことが要因であり、それに伴い両飼料区の飼料効率の差が縮小したため、低魚粉飼料のコスト指数の低下に至った(図1, 図2)。実際、試験開始2ヶ月後から3ヶ月後の1ヶ月間の飼料効率は、低魚粉区が75.7%、対照区が78.3%と拮抗したものとなっており、この期間の低魚粉飼料のコスト指数は77.5と低い値を示した(図1)。

対照区の飼料効率が初めに高かったものの、その後低下した要因の一つとして、対照区の供試魚の母集団が馴致期間中に十分に栄養を蓄積していたことが考えられた。もともと、粒径に対する馴致前の母集団に対しては給餌量が不足していたことが考えられ、成長が抑制されていた可能性があった。一方で、馴致期間中には飽食量の給餌を行ったことで、十分に栄養が蓄積されたため、試験開始時には良好な成長を示し、そのため飼料効率が上昇した可能性がある。しかし、試験期間に入ると制限給餌となったことから、徐々に蓄積されていた栄養を消費していったことで、飼料効率が経時的に低下したと考えられた。試験開始2ヶ月後から3ヶ月後までの1ヶ月間でみると、対照区の飼料効率は低魚粉区と近い値になったが(図1)、この値が試験開始時の栄養状態に影響されない対照区の本来の飼料効率なのかもしれない。

一方、低魚粉区においては試験開始から1ヶ月後の飼料効率が対照区のように上がらなかった。その要因として、低魚粉区は馴致期間の約半分が、かつて摂餌経験のない低魚粉飼料であったことから、体内の生理的順応が及ばず、十分な摂餌量であったものの、顕著な栄養蓄積には至らなかった可能性が考えられた。このことから、馴致期間中における各飼料区の飼料に対する馴れの有無が初期の飼料効率の差に繋がったと考えられた。

また、対照区の飼料効率が経時的に低下した一方で、低魚粉区の飼料効率は試験期間を通じて安定していたが、その要因として次のことが考えられる。まず、低魚粉区においても対照区と同様、馴致期間中は試験期間中や馴致以前の期間に比べると給餌量が多かった。そのため、低魚粉区でも馴致期間中に多少の栄養蓄積ができていたと考えれば、対照区と同様に試験開始直後の飼料効率は高いが、試験期間が進むにつれ、飼料効率が低下する傾向がみられたはずだった。それにも関わらず、低魚粉区の飼料効率が一定を示したことは、つまり馴致期間中から摂餌する低魚粉飼料に対する馴れが試験期間中に徐々に生じ始め、それに伴い体内の消化吸収能が向上していったことで、制限給餌という飼料効率低下の要因を相殺した可能性が考えられた。

表3 試験結果の詳細

	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
魚種	ニジマス	ニジマス	-	ニジマス	ニジマス	-
用水の種類	井水	井水	-	井水	井水	-
平均水温 (°C)	12.5	12.5	-	12.5	12.5	-
飼育容量 (尾)	183	183	-	183	183	-
注水量 (ℓ/秒)	0.2	0.2	-	0.2	0.2	-
飼育開始日	1月21日	1月21日	-	1月21日	1月21日	-
飼育終了日	4月21日	4月21日	-	4月21日	4月21日	-
飼育日数 (試験開始日と終了日を含む)	92	92	92	92	92	92
総給餌日数	60	60	60	60	60	60
供試魚尾数	20	20	20	20	20	20
試験開始時の平均体重 (g)	19.43±1.63	19.43±1.60	19.43	19.37±1.72	19.43±1.88	19.40
試験開始時の総重量 (g)	388.5	388.6	388.6	387.3	388.6	388.0
期間中の総給餌量 (g)	519.5	532.5	526.0	500.0	488.5	494.3
期間中の総死亡尾数	0	0	0	0	1	0.5
期間中の総死亡重量 (g)	0	0	0	0	36.8	18.4
試験終了時の平均体重 (g)	42.16±4.63	42.47±5.51	42.31	39.43±3.43	37.99±3.66	38.71
試験終了時の総重量 (g)	843.2	849.3	846.3	788.6	721.8	755.2
生残率 (%)	100	100	100	100	95.0	97.5
期間中の増重量 (g)	454.7	460.7	457.7	401.3	333.2	367.3
飼料効率 (%)	87.5	86.5	87.0	80.3	75.7	78.0
増肉係数	1.14	1.16	1.15	1.25	1.32	1.28
コスト指数 (対照区を100として)	-	-	100	-	-	83.5

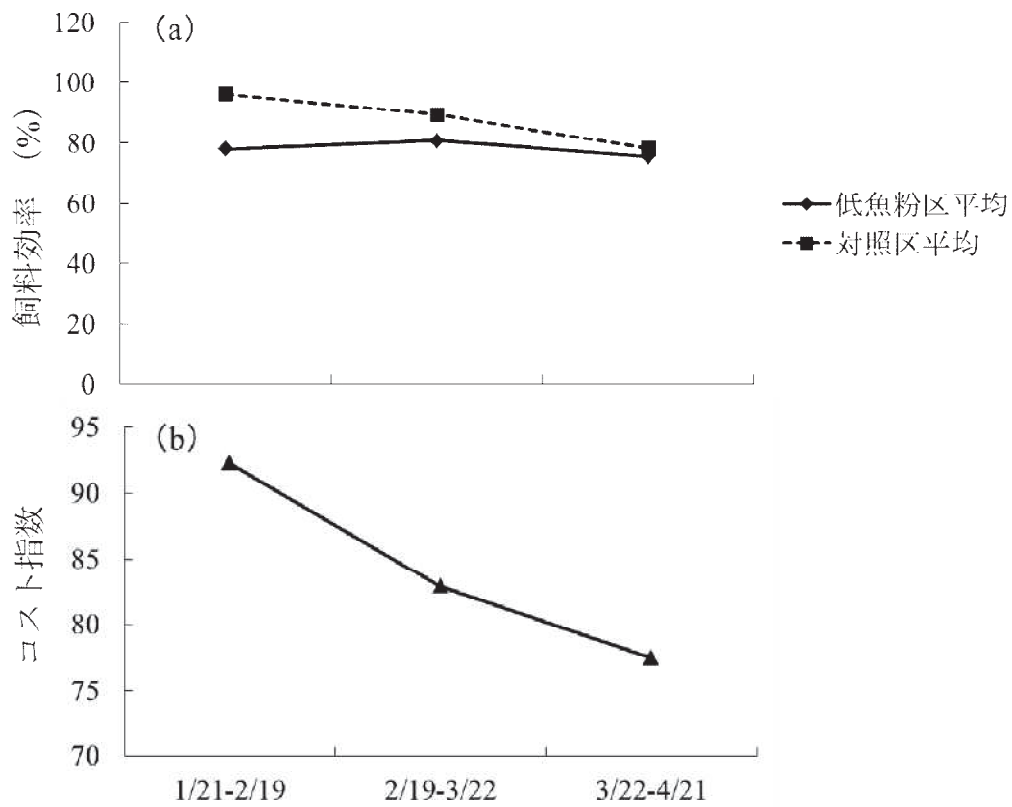


図1 低魚粉区および対照区の平均飼料効率 (a) と低魚粉飼料のコスト指数 (b) の経時変化

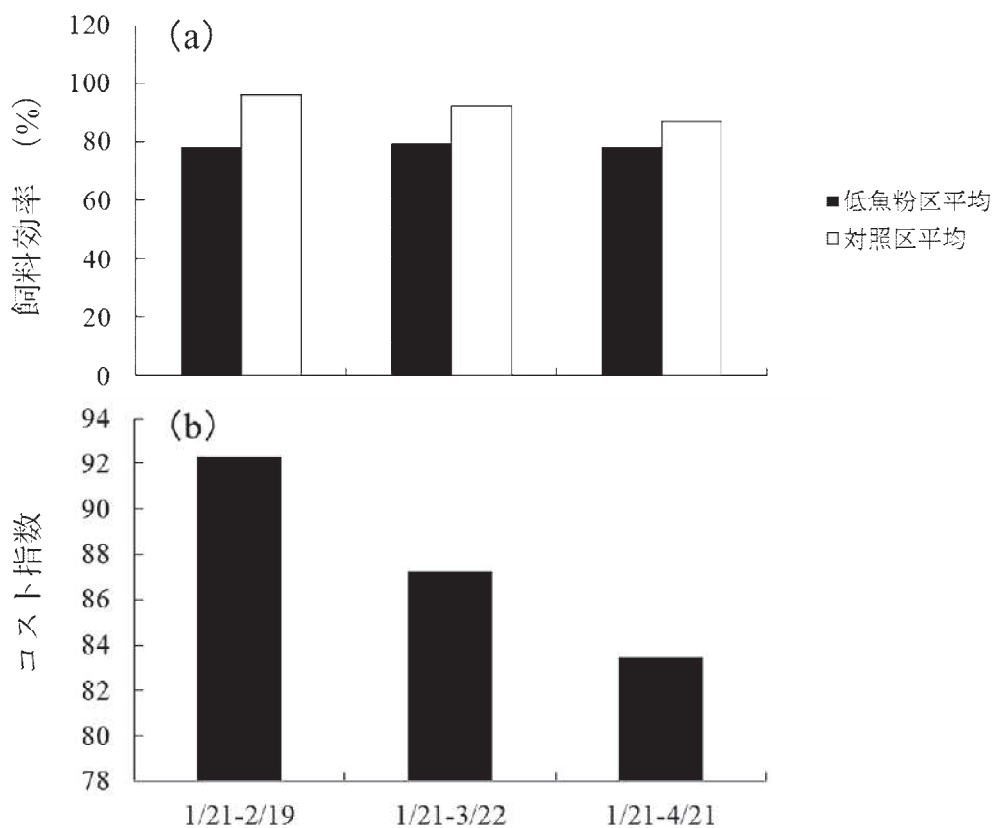


図2 試験開始から1ヶ月間、2ヶ月間および3ヶ月間の低魚粉区および対照区の平均飼料効率 (a) と低魚粉飼料のコスト指数 (b)

(2) 糞量

各飼料区の給餌 1 g 当たりの糞の平均沈殿量および平均乾燥重量を求めた (図 3)。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一方で、平均乾燥重量は試験開始から約 1 ヶ月間は低魚粉区が上回ったものの、それ以降は対照区が逆転する傾向にあった。このことから、低魚粉区の個体は試験開始から約 1 ヶ月で、低魚粉飼料に対する馴れが生じ始め、消化吸収能が向上したことにより、それ以降の糞の平均乾燥重量が減少したと考えられた。

また、2 月 25 日の平均沈殿量および平均乾燥重量が各飼料区で減少したことに関しては、同月 18 日から 21 日にかけて 4 日間絶食した影響が考えられた。

養殖業者が抱く低魚粉飼料の給餌に対する懸念の一つとして、養殖魚の糞量の増加が挙げられ、その使用を妨げている。しかし、本試験の結果をみると、低魚粉区は対照区と比較して糞の沈殿量が多いことから、糞の量は見た目上は多いのだが、重量からみれば少ないといえる。また、低魚粉区で糞の沈殿量が多くなったことは、糞中に植物原料由来の食物繊維が多いため、水分を含みやすく膨張しやすいからであろう。

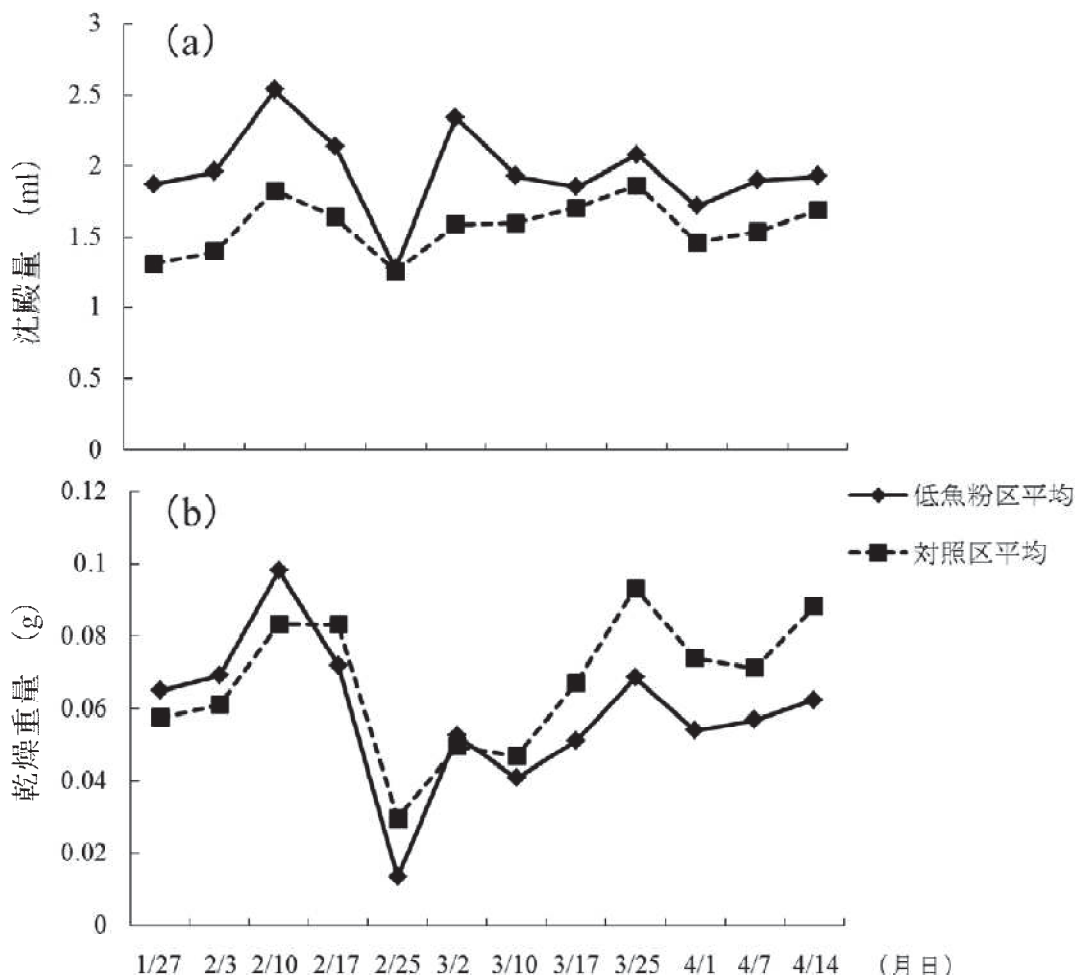


図 3 給餌 1 g 当たりの沈殿量 (a) と乾燥重量 (b)

(3) ヘマトクリット値

低魚粉区①, ②および対照区①, ②のヘマトクリット値は各々 42.5 ± 3.3 , 45.4 ± 2.8 および 48.5 ± 2.1 , 43.3 ± 2.8 (平均 \pm SD) となり、低魚粉区①と対照区①, 対照区①と対照区②の間にそれぞれ有意差が

みられた ($p < 0.05$, ANOVA followed by Tukey's HSD test; 図 4)。一方、低魚粉区①, ②および対照区①, ②をプールした場合のヘマトクリット値の平均は、各々 44.0 ± 3.6 , 45.9 ± 3.6 (平均 \pm SD) となり、両飼料区に差はみられなかった ($p > 0.05$, Welch's t-test)。

ニジマスのヘマトクリット値は Denton and Yousef (1975) では $34.8-56.9^2)$, McCarthy et al. (1973) では $30-49^3)$ との報告がある。本研究におけるヘマトクリット値は、一部有意差がみられた試験区間があったものの、両飼料区で比較するのみでは差はみられなかった。また、各試験区の数値も正常値の範囲内と考えられた。このことから、ヘマトクリット値に関しては低魚粉飼料で育てた魚においても、通常飼料で育てた魚と比較して遜色ないと考えられる。

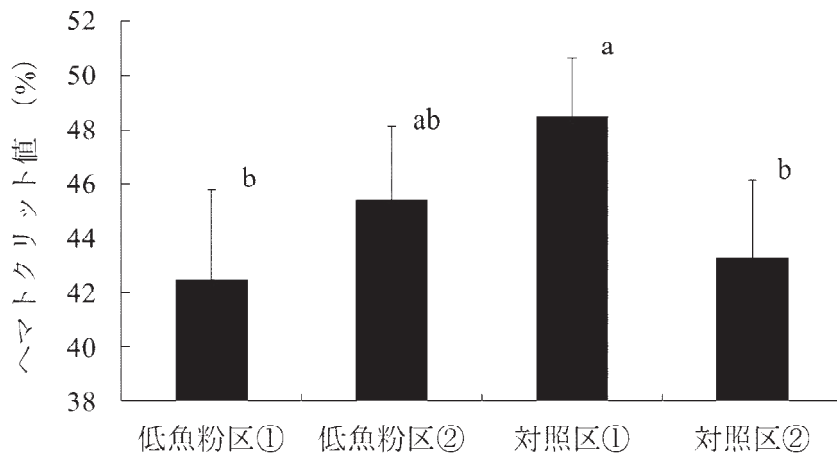


図 4 各試験区のヘマトクリット値

異なるアルファベットは各区間におけるヘマトクリット値に有意差のあることを示す。

総合考察

本試験では、低魚粉区と対照区を設定し、飼料効率およびコスト指数、糞量、ヘマトクリット値を比較した。その結果、魚粉含量 25%、チキンミール含量 10% の低魚粉飼料であっても魚粉含量 50% の通常飼料と同様に養鱒に利用できることを示した。特に、最終的な飼料効率の結果として、低魚粉区と対照区の差は 9%、低魚粉飼料のコスト指数は 83.5 となった。一般的に、低魚粉飼料をニジマスに給餌した場合、植物性原料の抗栄養因子によって成長や飼料効率が低下することが報告されている⁴⁻⁵⁾。本試験の供試魚においても、試験開始時の低魚粉区の飼料効率は対照区と比較して低かったが、これは抗栄養因子の影響を強く受けた可能性がある。しかし、最終的な低魚粉区の飼料効率は対照区とさほど劣らぬものであった。低魚粉飼料に対する馴れの効果によって、飼料効率が改善されたと推測される例もあることから⁶⁾、本試験における低魚粉区の供試魚もまた、馴れの効果とそれに伴う消化吸収能の向上が飼料効率に影響を与えたかもしれない。また、今回供試魚とした系統が比較的最近に米国から当所へ導入したものであることから、既に低魚粉飼料で良く育つ魚が選抜されていた可能性もあり⁷⁾、このことが多少なりとも低魚粉区に有利な結果をもたらしたとも考えられる。

一方で、対照区の飼料効率が試験開始当初は高かったがその後低下したことや、低魚粉区の糞重量が試験期間中に減少傾向を示したことから、試験開始前の母集団に対する給餌量や飼料原料への馴れの程度が結果に影響を与えた可能性が考えられる。

このことから、今後、低魚粉飼料を用いた成長比較試験を行う際は馴致期間や試験期間を長期にすることや、試験期間以前の給餌量を調整することで、各飼料区における飼料原料に対する馴れや栄養

蓄積の差といった因子を平等とする、もしくは排除する必要があるだろう。また、試験期間を長期にすることで、個体の増重量はより大きくなるので結果の再現性も向上するだろう。

低魚粉飼料が普及に至るまでには、抗病性や食味への影響等さらなる試験が必要であるが、本試験の結果が示すように、低魚粉飼料は養殖業者の飼料コストを大幅に下げる可能性があると考えられる。

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. 低魚粉飼料区には魚粉含量 25 %，チキンミール含量 10 %の飼料を、対照飼料区には魚粉含量 50% の飼料を給餌し、両飼料区で飼料効率とコスト指数、糞量、ヘマトクリット値を比較した。
3. 試験期間を通じた飼料効率は低魚粉区、対照区で各々 78 %，87 %となり、低魚粉飼料のコスト指数は 83.5 となった。
4. 対照区の飼料効率は実験開始当初は高く低魚粉区に大きな差をつけたが、その後経時的に低下したことで、両飼料区の飼料効率の差が縮小し、それに伴い低魚粉飼料のコスト指数は低下した。
5. 実験開始当初の飼料効率に両飼料区で差が出たことに関しては、馴致期間中における各飼料に対する馴致の程度の差が影響したと考えられた。
6. 対照区の飼料効率が経時的に低下した要因として、実験開始時は馴致期間中の栄養蓄積が十分にあったが、その後徐々に蓄積した栄養を消費したことや制限給餌の影響を受けたことが考えられた。
7. 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、平均乾燥重量は実験開始当初は低魚粉区が大きかったものの、試験開始から 1 ヶ月後には対照区よりも小さくなった。
8. 低魚粉区は試験開始 1 ヶ月後辺りから、飼料に対する馴れが生じ始め、消化生理機能が向上したと考えられた。
9. 低魚粉区の飼料効率は対照区と同様経時的に低下する可能性もあったが、実際は消化生理機能の向上により飼料効率が上昇傾向にあった可能性があり、そのため双方の作用が相殺され、低魚粉区の飼料効率が終始一定したと考えられた。
10. ヘマトクリット値に関しては両飼料区ともに正常値の範囲内であった。
11. 低魚粉飼料は養殖業者における飼料コストを大幅に下げる可能性があることを示した。

文献

- 1) 高橋一孝 (2012): 新しいドナルドソン系ニジマスの飼育について. 山梨県水産技術センター事業報告書, 39, 34-37.
- 2) Denton, J. E. and M. K. Yousef (1975): Seasonal changes in hematology of rainbow trout, *salmo gairdneri*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 51A, 151-153.
- 3) McCarthy, D. H., J. P. Stevenson and M. S. Roberts (1973): Some blood parameters of the rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) I. The Kamloops variety. *J. Fish. Biol.*, 5, 1-8.
- 4) 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.
- 5) 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およ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.
- 6) 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.

7) 青江優夫 (1963): 米国におけるニジマス飼料研究の現状. 水産増殖, 11, 65-74.