

## 低魚粉飼料の有効性評価試験-IV

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、飼料中の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養魚上問題ないことを示すことができれば、その普及が促進され最終的には養殖業者の収益増加に繋がるだろう。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、魚粉含有率を下げ、代替タンパク質としてチキンミールを使用した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* にそれぞれ3ヶ月間給餌し、低魚粉飼料の有効性評価を行った。その結果、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た<sup>1,2)</sup>。さらに飼育期間を10ヶ月とした場合においても同様の傾向がみられ、その有効性を示すことができた<sup>3)</sup>。この低魚粉飼料については現在一部飼料製造会社より販売が開始され、民間養殖場において普及しつつある。

一方、畜産由来の原料を使用できない飼料製造会社もあり、低魚粉飼料のさらなる普及拡大を目指す上での障壁となっている。これを受け、本試験では魚粉の代替タンパク質として畜産由来の原料を使用せず、植物性原料と油で代替した低魚粉飼料を用いた給餌試験を実施し、その有効性を評価することとした。試験項目はニジマスにおける成長試験のほか、糞量測定、一般成分及び遊離アミノ酸組成の分析、食味試験、伝染性造血器壊死症(IHN)に対する抗病性試験とした。これらは養殖業者にとって低魚粉飼料の使用を躊躇する主たる懸念材料となっており、たとえ低コストでの養鱒が可能であっても糞量の増加や食味の低下、甚大な魚病被害をもたらすIHNに対して脆弱となれば、低魚粉飼料の普及拡大は見込めないからである。

なお、本試験は平成30年度全国養鱒技術協議会養殖技術部会の連絡試験として実施した。

### 材料及び方法

#### 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25.0%、エクストルーダー処理大豆6.2%、大豆油かす20.0%、コーングルテンミール7.0%、濃縮大豆タンパク5.0%、魚油・大豆油混合油13.7%を含有し、対照飼料は魚粉50.0%、大豆油かす13.8%、魚油・大豆油混合油5.1%を含有するEP飼料（粒径3mm）を使用した（表1）。また、低魚粉飼料の方が低タンパク質、高脂肪型の飼料となっているほか（表2）、カロリー値はやや高めに設計されている（表1）。なお、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29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、コンクリート製の飼育池に収容した約730尾の母集団に対し、平成30年12月18日から平成31年2月3日までの間、土日及び祝日を除き、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<sup>4)</sup>。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2月4日に母集団に対し総重量測定を行い、およそ半分量になるように2池に分けた後、5日間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2月15日に各母集団で個体別測定を行い、以下に述べる各試験区の供試魚を選別した。試験

区は低魚粉飼料区及び対照飼料区とし、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、体重は低魚粉区①、②、対照区①、②の順に、123.0±3.2 g, 123.0±3.2 g, 123.0±3.2 g, 123.0±3.3 g（平均±標準偏差、以下、平均±SD）であった。試験期間は平成31年2月15日から令和元年5月13日までの88日間とし、給餌は基本的に土日祝日を除く週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、午前と午後の2回に分けて給餌した。また週1回、午前の給餌を開始する前に各試験区の総重量測定を行い（ただし、うち月1回は個別別測定）、その週に与える給餌量を補正した。さらに、測定の際には水槽の設置位置による影響を回避するため、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×W×H：170×45×45 cm、水量183 L）を用い、水温12.5℃の井水を約180 mL/sで掛け流した。また水槽が置かれた部屋の照明は8時頃から17時頃まで点灯した。

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別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×90.4）／対照飼料区の平均増肉係数。なお、コスト指数の計算式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30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90.4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	対照飼料	低魚粉飼料
魚粉	50.0	25.0
小麦粉	21.8	20.0
エクストルーダー処理大豆	-	6.2
大豆油かす	13.8	20.0
コーングルテンミール	-	7.0
濃縮大豆タンパク	-	5.0
米ぬか	8.0	-
魚油・大豆混合油	5.1	13.7
りん酸カルシウム	-	0.5
食塩	0.5	0.2
タウリン	-	0.1
リジン	-	0.8
メチオニン	-	0.2
ビタミン・ミネラルMIX	0.8	1.3
合計	100.0	100.0
粗タンパク質 設計値	45.50	40.50
粗脂肪 設計値	10.50	18.50
GE (kcal/kg) 設計値	4,598.7	4,852.9
DE (kcal/kg) 設計値	3,468.3	3,734.4
飼料原料価格比	100.0	90.4

※飼料原料価格比は平成30年10月時点

表2 試験に用いた飼料の分析結果（%）

分析項目	対照飼料	低魚粉飼料
粗タンパク質	46.28	44.12
粗脂肪	12.07	18.51
水分	3.68	3.27
粗灰分	10.05	8.56
粗繊維	2.43	2.54
リジン	3.42	3.26
メチオニン	1.08	1.05
シスチン	0.48	0.49
アルギニン	2.84	2.52
ヒスチジン	1.72	1.57
イソロイシン	1.92	1.79
フェニルアラニン	2.02	1.99
トレオニン	1.95	1.78
バリン	2.37	2.14
ロイシン	3.57	3.56
グリシン	2.86	2.40
チロシン	1.65	1.61
セリン	2.00	1.91
アスパラギン酸	4.32	3.99
グルタミン酸	6.93	6.95
アラニン	2.98	2.76
プロリン	2.43	2.10

## 糞量測定

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。採取を始めるにあたり、まず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。続いて、各試験区の水槽から排出される糞を採取するため、排水部に観賞魚用すくい網（以下、すくい網）を設置した。設置から24時間経過後、すくい網を排水部から取り外すとともに、水槽外へ排出されず底部に溜まった糞を前述のホースを用いて採取し、同一のすくい網で受けたものを各試験区の糞の総量とした。すくい網の設置時刻は13時半頃とし、糞の採取は成長試験期間中の88日間のうち毎週または隔週で計8回実施した。採取した糞は、各々メスシリンダーに入れ水道水で200 mlまでメスアップし、約30分間静置した後に沈殿量を目視で判定した。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）で濾過した後に、濾紙ごと80℃に温度設定した乾熱滅菌器内で20時間以上乾燥させ、水分を完全に除去した。乾熱滅菌器から取り出した濾紙及び糞は約4時間放冷した後に計量した。そして、その重量から初めの濾紙の重量を減じ、糞の乾燥重量とした。なお、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当たりの値を算出後、各飼料区の平均値を求めた。

## 一般成分及び遊離アミノ酸組成の分析

成長試験が終了した翌日の5月14日に低魚粉区及び対照区のニジマス各5尾の体重を測定した後内臓を摘出し、内臓重量を測定した。また、内臓重量（g）を体重（g）で除したものを100倍して内臓重量比を求めた。その後これらの内臓部及び可食部は国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所に依頼し一般成分及び遊離アミノ酸組成分析に供した。

## 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7日まで行った。その間給餌量は週1回総重量測定を行った後に補正し、給餌は土日及び祝日を除き行った。その後6月10日に各区5尾（平均体重は低魚粉区258.4 g、対照区242.8 g）を即殺、脱血した後に三枚に下ろし背部肉のみを抽出した。そして各検体の背部肉の皮を剥ぎ、味付けはせずフィッシュロースターで10分間加熱した後、検体毎の提供部位が均一になるようにほぐして軽く混合したものを食味試験に供した。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魚の旨味、脂の乗り、魚臭さ、パサパサ感、肉色の黄色味、総合的な美味しさの6項目について評価した。この試行を5検体分繰り返した。

なおパネラーによる評価は、前述の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、もしくは同等かを選択する方式で行った。評価の集計は、選択された区に3点、選択されなかった区に1点、同等であった場合には両区に2点加算した。

## IHN ウイルスに対する感受性試験

供試 IHN ウイルスは当県の民間養魚場で飼育されていたニジマス（平均体重55.3 g）から平成28年11月に分離した YFTV1618 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175 cm<sup>2</sup>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。そして細胞変性（以下CPE）が細胞全体に広がったところでフラスコごと-80℃で凍結後、急速解凍したものを試験に供した<sup>56)</sup>。なお、試験供試前にEPC細胞を用いてウイルス液の力価をTCID<sub>50</sub>法により測定した。

供試魚については成長試験終了後の低魚粉区及び対照区のニジマスから5月16日に各区20尾ずつ選別した。供試魚の体重は低魚粉区、対照区で各々224.9±14.9 g、225.1±13.8 g（平均±SD）だった。また、選別時には各区の

供試魚が識別できるよう低魚粉区の個体は右腹鰭を切除し、対照区の個体は左腹鰭を切除した。選別した各区の供試魚はFRP製の飼育水槽（容量700L）で混泳させた。飼育水槽には水温12.5℃の井水を約60mL/sで掛け流すとともに、ブローアとエアーストーンにより通気した。

供試魚へのウイルス攻撃は5月20日に実施した。ウイルス接種は、まず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）により麻酔した後、魚体を飼育水でリンスしてから行った。リンス後、濃度を $10^{5.8}$ TCID<sub>50</sub>/mLに調整したウイルス液を1尾当たり0.1mL腹腔内注射し、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20日から6月10日までの21日間とし、飼育期間中は無給餌とした。なお、死亡魚があった場合はその都度取り上げ個体別にウイルス分離に供した。ウイルス分離には脾臓を用い、EPCまたはRTG-2細胞に接種後、CPEの形態からIHNによる死亡を判断した。

## 結果及び考察

### 成長試験（飼料効率とコスト指数）

まず、試験期間を通じ両飼料区の供試魚に飼料に対する嗜好性の差は認められず、ともに摂餌性は良好であり、どの試験区においても残餌が出ることはなかった。試験終了時の各試験区における体重は低魚粉区①、②、対照区①、②の順に、 $225.9 \pm 24.4$  g、 $225.7 \pm 24.2$  g、 $216.3 \pm 22.5$  g、 $216.4 \pm 17.0$  g（平均 $\pm$ SD）であり、低魚粉区で成長が良い傾向にあったものの、両飼料区間で有意差はみられなかった（ $p=0.15$ , ANOVA followed by Tukey-kramer test）。また、増重倍率は低魚粉区①、②がともに1.84、対照区①、②がともに1.76となった。その他試験結果の詳細を表3に示した。

試験開始から3ヶ月間の平均飼料効率は低魚粉区が102.0%、対照区が93.8%となり低魚粉区が上回った（表3、図1）。また低魚粉区のコスト指数は83.2となった（表3）。このことから本低魚粉飼料の使用により飼料効率は約8%上昇し、原料価格比のみで算出すると約17%の飼料コスト削減が期待できると考えられた。

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		井水	井水	井水			井水	井水	ニジマス	井水		
平均水温 (°C)		12.5	12.5	12.5	-	-	12.5	12.5	12.5	12.5	-	-
飼育容量 (尾)		183	183	183	-	-	183	183	183	183	-	-
注水量 (ℓ/秒)		0.18	0.18	0.18	-	-	0.18	0.18	0.18	0.18	-	-
飼育開始日		2月15日	2月15日	2月15日	-	-	2月15日	2月15日	2月15日	2月15日	-	-
飼育終了日		5月13日	5月13日	5月13日	-	-	5月13日	5月13日	5月13日	5月13日	-	-
総飼育日数 (飼育開始日と終了日を含む)		88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
総給餌日数		57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
供試魚尾数		30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
試験開始時の平均体重 (g)		123.03	123.00	123.00	123.02	123.02	122.96	122.96	122.99	122.99	122.98	122.98
試験開始時の総重量 (g)		3691.0	3690.0	3690.0	3690.50	3690.50	3688.7	3688.7	3689.6	3689.6	3689.15	3689.15
期間中の総給餌量 (g)		2985.19	2985.98	2985.98	2985.59	2985.59	3036.50	3036.50	3015.96	3015.96	3026.23	3026.23
期間中の総死亡尾数		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
試験終了時の平均体重 (g)		216.34	216.38	216.38	216.36	216.36	225.91	225.91	225.74	225.74	225.83	225.83
試験終了時の総重量 (g)		6490.2	6491.3	6491.3	6490.75	6490.75	6777.4	6777.4	6772.3	6772.3	6774.85	6774.85
生残率 (%)		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
期間中の増重量 (g)		2799.2	2801.3	2801.3	2800.25	2800.25	3088.7	3088.7	3082.7	3082.7	3085.70	3085.70
飼料効率 (%)		93.8	93.8	93.8	93.8	93.8	101.7	101.7	102.2	102.2	102.0	102.0
増肉係数		1.07	1.07	1.07	1.07	1.07	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98
コスト指数 (対照区を100として)		-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	83.2

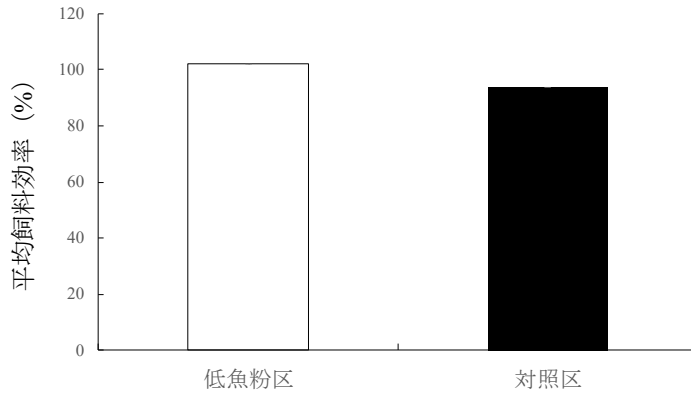


図1 飼育期間を通じた低魚粉区及び対照区の平均飼料効率

### 糞量測定

低魚粉区及び対照区の給餌 1 g 当たりの糞の沈殿量は各々  $1.21 \pm 0.20$  ml,  $0.77 \pm 0.18$  ml, また乾燥重量は各々  $0.05 \pm 0.02$  g,  $0.04 \pm 0.02$  g (平均 $\pm$ SD) となり, 沈殿量のみ低魚粉区で有意に高い値となった ( $p < 0.01$ , Welch's t-test, 図2)。このことから, 低魚粉区は見かけ上の糞量が多いが, 重量からみれば対照区と大差ないといえる。恐らく低魚粉飼料は植物性原料の割合が高く食物繊維が多いので, より水分を含みやすく膨張するため見かけ上の糞量が多くなったと考えられる。

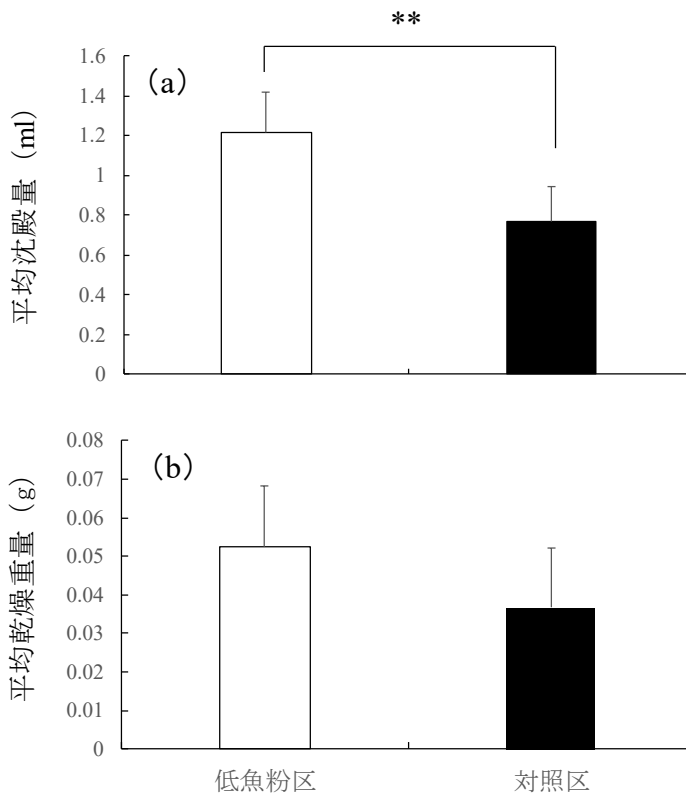


図2 給餌 1 g 当たりの糞の沈殿量 (a) と乾燥重量 (b) (n=8)

※\*\* $p < 0.01$  (Welch's t-test)

### 一般成分及び遊離アミノ酸組成の分析

内臓重量比は対照区よりも低魚粉区で高い傾向にあったが(図3)、これは対照飼料に比べ低魚粉飼料中の脂質含量が多かったため、低魚粉区の魚の内臓により脂肪が蓄積されたためと考えられた。同様に一般成分分析においても低魚粉区で脂質の蓄積が多いという結果になった(表4)。ただし本低魚粉飼料は低タンパク質、高脂肪型の組成となっているが、可食部の脂質含量は対照区と比較してもやや多い程度であり、飼料中の脂質が比較的うまくエネルギー転換されたと考えられた。さらに可食部のタンパク質含量も対照区と比較して遜色なかったことから、低魚粉飼料中のタンパク質の栄養価には問題がなかったといえるだろう。また可食部の遊離アミノ酸組成に関しては飼料区間でほぼ同様の結果となったが、タウリンについては低魚粉飼料のみに添加されていたことから、低魚粉区でやや高い値を示したものと推察された(表5, 表1)。

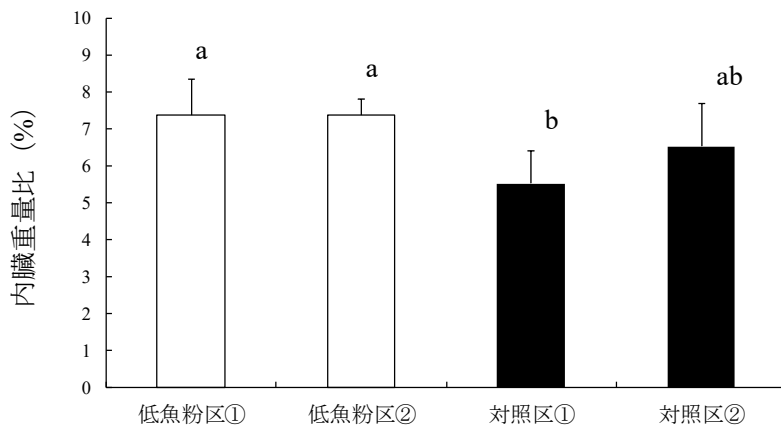


図3 各試験区の内臓重量比 (%)

※異なるアルファベットは各区間における内臓重量比に有意差のあることを示す ( $p < 0.05$ , Tukey's test,  $n = 5$ )

表4 可食部及び内臓の一般成分分析結果 (%)

可食部	水分	粗タンパク質	粗脂肪	灰分	
低魚粉区①	75.9	20.4	2.8	1.4	
低魚粉区②	75.6	20.2	3.5	1.4	
対照区①	76.0	20.6	2.0	1.5	
対照区②	76.0	20.3	2.4	1.4	
内臓	水分	粗タンパク質	粗脂肪	灰分	IFR
低魚粉区①	46.9	9.9	40.3	0.8	3.0
低魚粉区②	48.1	9.7	40.0	0.8	3.0
対照区①	58.8	11.5	27.6	1.0	1.5
対照区②	54.3	10.4	33.0	0.9	2.2

#### ※分析法

水分：110 °C8時間加熱乾燥

粗タンパク質：セミマイクロケルダール法 (窒素×6.25)

粗脂肪：ソックスレー法 (ジエチルエーテル抽出)

灰分：600 °C5時間加熱灰化

IFR：内臓脂質体重比 (100×内臓脂質 (g) /体重 (g))

表5 可食部の遊離アミノ酸組成分析結果 (mg/g)

	低魚粉区①	低魚粉区②	対照区①	対照区②
タウリン	0.75	0.74	0.61	0.67
アスパラギン酸	0.00	0.01	0.01	0.00
トレオニン	0.05	0.05	0.05	0.05
セリン	0.07	0.07	0.07	0.06
アスパラギン酸	0.01	0.01	0.01	0.01
グルタミン酸	0.07	0.08	0.06	0.07
グルタミン	0.00	0.00	0.01	0.00
グリシン	1.24	1.27	1.25	1.26
アラニン	0.26	0.27	0.28	0.31
バリン	0.04	0.05	0.04	0.05
メチオニン	0.03	0.06	0.04	0.04
イソロイシン	0.04	0.04	0.04	0.04
ロイシン	0.05	0.05	0.05	0.06
チロシン	0.08	0.09	0.07	0.10
フェニルアラニン	0.03	0.04	0.02	0.04
$\beta$ -アラニン	0.09	0.09	0.08	0.08
トリプトファン	0.00	0.00	0.00	0.00
オルニチン	0.01	0.01	0.01	0.01
リジン	0.05	0.04	0.05	0.06
ヒスチジン	0.81	0.65	0.82	1.00
アンセリン	3.22	3.48	3.36	3.14
カルノシン	0.05	0.06	0.04	0.04
アルギニン	0.02	0.02	0.07	0.02
ヒドロキシプロリン	0.08	0.09	0.08	0.08
プロリン	0.05	0.06	0.04	0.06

### 食味試験

6項目のうち、脂の乗りに関しては対照区の方で有意に高い点数となった ( $p<0.05$ , t-test, 表6)。この結果は一般成分分析の結果と矛盾するものとなったが、焼き魚にした場合1%程度の脂質含量の差を一般的な人の味覚で感知することは難しい可能性が考えられた。ただし、本試験では皮を剥いだ背部肉をそのまま加熱したため、加熱中に肉から油が滴り落ちてしまった可能性も考えられたため、焼き方については再検討することとしたい。一方、その他の項目については差が認められなかったものの、旨味の強さと総合的な美味しさの2項目については低魚粉区の点数が勝るという結果になった。

表6 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	63	57
脂の乗りが良い	54	66*
魚臭い	59	61
パサパサしている	66	54
黄色味が強い	59	61
総合的な美味しさ	62	58

※\* $p<0.05$  (t-test)



## IHN ウイルスに対する感受性試験

飼育期間中の日中の水温は 13.6 °C から 16.4 °C (平均 14.6 °C) であった。ウイルス攻撃後 21 日間の累積死亡尾数は各区ともに 17 尾となり、累積死亡率は 85 % となった (表 6, 図 4)。また、死亡魚の解剖所見として脂肪を含む内臓の出血のほか、鰓や筋肉の出血等が確認された。なお死亡魚のウイルス分離の結果、全てで IHN ウイルス特有の CPE が確認されたため IHN による死亡と判断した。本試験の結果から、本低魚粉飼料の給餌下においても IHN に対する抗病性は低下しないことが示された。

表 6 試験結果 (攻撃濃度  $10^{5.8}$  TCID<sub>50</sub>/mL)

飼料区	体重 (g)	供試尾数	累積死亡尾数	累積死亡率 (%)
低魚粉区	224.9 ± 14.9	20	17	85.0
対照区	225.1 ± 13.8	20	17	85.0

※体重の表記は平均±SD

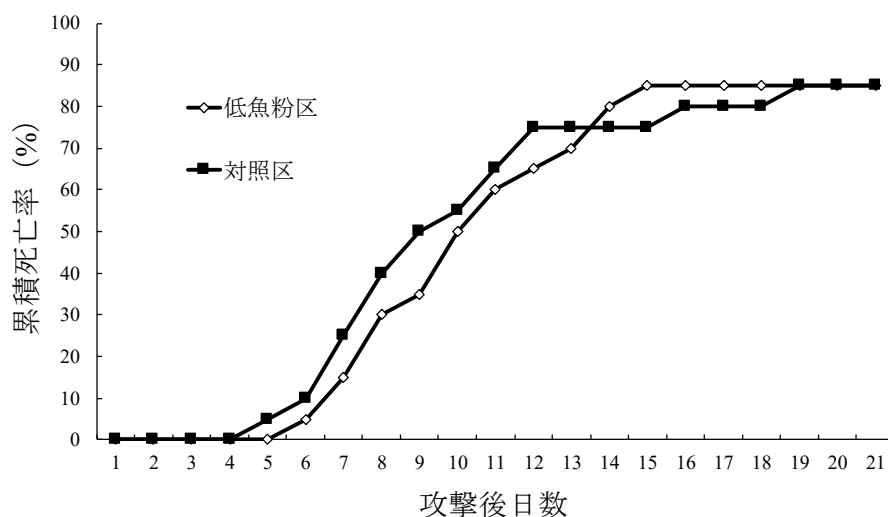


図 4 IHN ウイルス攻撃後 21 日間の累積死亡率の推移

## 総合考察

本低魚粉飼料は魚粉の代替タンパク質として畜産由来の原料を使用せず、植物性原料と魚油・大豆油混合油によりタンパク質とカロリーを調整した低タンパク質、高脂質型の飼料となっている。また油の含有量が多いため、対照飼料に比べカロリーがやや高めに設計されているほか、原料価格は対照飼料と比較して 1 割程度の低下に留まり、過去の試験で使用したチキンミールを代替タンパク質とした低魚粉飼料と比べて約 16 % 割高となっている。一方、試験期間の 3 ヶ月間を通じた平均飼料効率は対照区が 93.8 % であったのに対し、低魚粉区はそれを上回る 102.0 % となり、本低魚粉飼料がニジマスの成長面において優れていることが明らかとなった。一般的に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ことがある<sup>7,8)</sup>一方で、本試験において好成績を得られた要因として、低魚粉飼料による馴致期間を十分に設けたことや飼料中の栄養価が良好であった可能性が考えられる。また、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<sup>9)</sup>、低魚粉飼料の継続的な給餌とともに、継代を重ねていくことでさらなる好成績が期待できるかもしれない。

コスト指数に関しては低魚粉区で 83.2 となり、本低魚粉飼料の使用により原料価格比のみで算出すれば約 17% のコスト削減が可能であることが示された。これはチキンミールを使用した低魚粉飼料の給餌試験のときとほぼ同等の成績である。本低魚粉飼料が一般に流通される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と考えられるものの、生産原価の多くを飼料費で占める養殖業者にとって、本低魚粉飼料の使用はコスト削減を図る上で大いに有益であろう。低魚粉飼料については各養殖業者の経営実態や養殖環境に合わせて、通常飼料との併用も踏まえ臨機応変に使用していくことも一法かもしれない。

養殖業者が低魚粉飼料の使用を躊躇する要因に、糞量の増加、肉色及び食味の変化<sup>10)</sup>や抗病性の低下<sup>11)</sup>といった懸念がある。これらは低魚粉飼料の普及拡大の大きな障壁となっているため、本試験で検討を試みた。まず、糞量については、低魚粉飼料の給餌により水中の見かけ上の糞量は多く感じられるが、重量からすれば通常飼料と大差なく実質的な量は変わらないことが示された。恐らく低魚粉区の魚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いため水中でより膨張することが原因だろう。一方、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<sup>12,13)</sup>。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といえるだろう。

また、一般成分分析の結果、可食部の脂質含量は低魚粉区の方がやや多い傾向にあったが、反対に食味試験では対照区の方が脂の乗りが良いと答える人が多く双方の結果に矛盾が生じた。焼きの状態だと一般的な人の味覚では数%の脂質含量の差を検出することは難しかったのかもしれないが、焼き方による油の流出の可能性もまた払拭できないため、今後同様の試験を行う場合は皮のまま焼きに供するか、ホイルに包んで焼く等の流出防止策を図るべきであろう。

IHN ウイルスの攻撃試験では、低魚粉区と対照区の累積死亡率はともに 85% という結果となり、その抗病性は同等であることが示された。前報<sup>3)</sup>においてもチキンミールを使用した低魚粉飼料で育成したニジマスに対し同様の攻撃試験を実施し抗病性に問題がないことを示していることから、魚粉含有率の多寡によって IHN に対する脆弱性に差が生じる可能性は低いものと推察される。

以上のことから、本低魚粉飼料を使用することで高成長及び飼料コストの削減が期待できるほか、糞量、食味及び IHN に対する抗病性に関しても通常飼料と比較して遜色ないことが示された。ただし、本試験で得られた成長に関するデータは制限給餌下のものであり、マス類養殖場で一般に行われている飽食給餌とは成績に乖離が生じる可能性が考えられるが、これについては今後の検討課題としたい。

## 謝辞

本試験を行うにあたり、供試魚の一般成分分析及び遊離アミノ酸組成分析を引き受けていただくとともに、有益なご助言をいただきました国立研究開発法人水産研究・教育機構増養殖研究所飼餌料グループの山本剛史グループ長に厚く御礼申し上げます。

## 要約

1. 畜産由来の原料を用いない低タンパク質、高脂質型の低魚粉飼料の有効性を評価するため、成長試験、糞量測定、一般成分及び遊離アミノ酸組成の分析、食味試験、IHN ウイルスに対する感受性試験を実施した。
2. 試験期間を通じた平均飼料効率率は低魚粉区で 102.0%、対照区で 93.8% となり、低魚粉区のコスト指数は 83.2 となった。
3. 糞の平均沈殿量は低魚粉区で有意に多かったものの、平均乾燥重量は区間差がなかったことから、低魚粉飼料を給餌した場合、見かけ上の糞量は多くなるが、重量からすれば変わらないといえる。

4. 内臓重量比は低魚粉区で高い傾向があり、一般成分分析においても低魚粉区の方で内臓の脂質含量がやや多かったが、可食部の脂質及びタンパク質含量は対照区と比較して遜色なかった。
5. 食味試験では対照区の方が脂の乗りが良いと答える人が多く、一般成分分析とは反対の結果になったが、その他の比較項目に関しては両区で差がなかった。
6. IHN ウイルスの攻撃試験における累積死亡率は各区ともに 85 % となり、低魚粉飼料で育成した場合においても IHN に対する抗病性に問題ないことが示された。
7. 本試験の結果から、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るほか、通常飼料区と比較して高成長であり、かつ食味や IHN に対する抗病性に関して遜色ないことが示された。

## 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) 小澤諒・三浦正之・岡崎巧 (2019) : 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~. 山梨県水産技術センター事業報告書, 46, 26-33.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 石田典子・興石友彦・野田勉・津崎龍雄・片山知史・山口敏康・柳宗悦・佐藤秀一 (2014) : 魚粉ゼロの EP 飼料への取り組み. 養殖ビジネス 7月号, 51(8), 3-7.
- 11) 河原栄二郎 (2016) : 低魚粉飼料飼育魚の非特異免疫能と免疫賦活剤の有効性. 養殖ビジネス 3月号臨時増刊号 2016年版よくわかる! 養魚飼料と低魚粉, 53(4), 84-88.
- 12) 渡邊武 (2009): 改訂 魚類の栄養と飼料. 恒星社厚生閣, 10, 389-403.
- 13) 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.