

省力化及びコスト削減に向けた給餌方法の検討

～2種類の飼料における間欠給餌の比較～

加地奈々・青柳敏裕

近年、マス類養殖の生産コストは上昇傾向にある。特に飼料コストは生産コストの約半分を占め¹⁾、魚粉価格高騰に伴う飼料価格の上昇は大きな生産コスト増となり養殖業者の経営を圧迫している。また、人件費の上昇や生産者の高齢化も進む中、労働時間の短縮や作業の省力化など効率的な生産体制も求められている。1日おきなど一定の間隔を空けた給餌を行うことで、給餌日数を減らした給餌方法（以下、間欠給餌）は、労力の削減や飼料効率の点から効率的かつ経済的な給餌方法とされ、マス類においてはニジマス、サクラマス、ギンザケ等で成長や飼料効率について検討がなされ、その有効性が報告されている²⁻⁴⁾。

本試験では省力化及びコスト削減を目的に、ニジマス *Oncorhynchus mykiss* を週3日給餌と週5日給餌の異なる給餌間隔で2種類の飼料を用いて飼育成績を比較し、間欠給餌の効果を検討したので報告する。

なお、本研究は令和4年度全国養鱒技術協議会養殖技術部会連絡試験「低魚粉飼料の性能評価」として実施した。

材料及び方法

供試飼料及び供試魚

供試飼料として魚粉含有量57%のマス類用配合飼料（以下、高魚粉飼料）及び魚粉含有量20%のマス類用配合飼料（以下、低魚粉飼料）を用いた。低魚粉飼料については魚油（ハイカロールE、兼松食品株式会社製）を6%添加して用いた。飼料の概要（原材料及び一般成分）については表1及び表2に示した。

供試魚には当支所で2020年秋に作出したニジマス二倍体を使用した。まず、供試魚の母集団に低魚粉飼料を給餌して10日間飼育した後、総重量で2群に分けて高魚粉飼料もしくは低魚粉飼料を給餌して7日間飼育後に試験区の供試魚を選別した。

試験区

試験区の概要を表3に示した。試験区は供試飼料の種類、給餌量及び給餌日数別に8区を設定した。高魚粉飼料の試験区として、ライトリッツの給餌率表⁵⁾に示された給餌率に基づいて算出した給餌量の1.4倍を土日を除く週5日給餌した区（以下、高・1.4倍/5日区）、高・1.4倍/5日区の5日分の給餌量を3等分して隔日で週3日（月・水・金）給餌した区（以下、高・1.4倍/3日区）、飽食量を土日を除く週5日間給餌した区（以下、高・飽食/5日区）及び飽食量を隔日で週3日（月・水・金）給餌した区（以下、高・飽食/3日区）の4区を設定した。低魚粉飼料の試験区については、供試飼料以外は高魚粉飼料と同じ条件で4区を設定した（以下、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区）。なお、飽食量の給餌の定義は三浦ら⁶⁾に準じた。各試験区の供試尾数は30尾とし、試験開始時の魚体重は高・1.4倍/5日区、高・1.4倍/3日区、高・飽食/5日区、高・飽食/3日区、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区の順に、 44.0 ± 3.4 g、 44.0 ± 3.7 g、 44.2 ± 3.5 g、 44.0 ± 3.5 g、 44.0 ± 3.6 g、 44.2 ± 3.8 g、 43.9 ± 3.7 g及び 44.1 ± 3.9 g（平均体重±標準偏差）であった。

表1 試験に使用した市販飼料の概要（高魚粉飼料）

原材料名（表示）		一般成分（表示）		一般成分（分析値）*1		
動物質性飼料	57%	魚粉	粗タンパク	44.0%以上	水分	6.9%
穀類	26%	小麦粉	粗脂肪	8.0%以上	粗タンパク	47.4%
植物性油かす類	11%	大豆油かす	粗繊維	3.0%以下	粗脂肪	11.5%
その他	6%	精製魚油、リン酸カルシウム等	粗灰分	15.0%以下	灰分	12.6%
					でんぷん質	17.0%
					総エネルギー	18.5MJ/kg
					可消化エネルギー*2	14.4MJ/kg

*1 分析は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所で実施。

*2 可消化エネルギーについては計算値を示した。

表2 試験に使用した市販飼料の概要（低魚粉飼料）

原材料名（表示）		一般成分（表示）		一般成分（分析値）*1		魚油6%添加後 一般成分（分析値）*2		
動物質性飼料	30%	魚粉(20%)、チキンミール(10%)	粗タンパク	40.0%以上	水分	4.6%	水分	4.4%
植物性油かす類	28%	大豆油かす、なたね油かす、コーン	粗脂肪	3.0%以上	粗タンパク	40.1%	粗タンパク	37.8%
		グルテンミール、濃縮大豆タンパク	粗繊維	4.0%以下	粗脂肪	12.4%	粗脂肪	17.1%
穀類	19%	小麦粉、エクストルーダー処理大豆	粗灰分	12.0%以下	灰分	10.1%	灰分	9.5%
そうこう類	12%	米ぬか			でんぷん質	19.5%	でんぷん質	18.6%
その他	11%	飼料用酵母、とうふかす、 リン酸カルシウム等			総エネルギー	19.2MJ/kg	総エネルギー	20.5MJ/kg
					可消化エネルギー*3	13.7MJ/kg	可消化エネルギー*4	14.8MJ/kg

*1,2 分析は国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所で実施。

*3,4 可消化エネルギーについては計算値を示した。

表3 試験区の概要

	高・1.4倍/5日区	高・1.4倍/3日区	高・飽食/5日区	高・飽食/3日区	低・1.4倍/5日区	低・1.4倍/3日区	低・飽食/5日区	低・飽食/3日区
飼料の種類	高魚粉飼料	高魚粉飼料	高魚粉飼料	高魚粉飼料	低魚粉飼料	低魚粉飼料	低魚粉飼料	低魚粉飼料
給餌率	給餌率表×1.4倍	給餌率表×1.4倍	飽食	飽食	給餌率表×1.4倍	給餌率表×1.4倍	飽食	飽食
1週間の給餌日数	5日	3日	5日	3日	5日	3日	5日	3日

飼育方法

飼育は水温 12.5 °Cの地下水を 80mL/s でかけ流した FRP 製の餌付け水槽（L×W×H：170×45×45cm、水量 217L）8 水槽を用いて 10 週間行った。給餌は各試験区の給餌日において 1 日 3 回実施した。給餌の際には、給餌に要した時間を秒単位で計測した。2 週に 1 回月曜日の午前中に各試験区における飼育魚の総重量を測定するとともに、飽食給餌の試験区 4 区以外は給餌量を補正した。なお、総重量測定の際には水槽の位置による影響を減らすため、収容した魚のローテーションを行った。また、試験終了時には個体別に重量測定を行った。

評価方法

試験期間を通じた飼料効率、日間摂餌率、日間増重率及び体重 1g あたりの瞬間摂餌量（1 秒間の摂餌量）について次の計算式で求めた。

$$\text{飼料効率 (\%)} = \{(W_1 - W_0) / F\} \times 100, \text{ 日間摂餌率 (\%/日)} = [F / \{(W_1 + W_0) \times 0.5 \times D_1\}] \times 100,$$

$$\text{日間増重率 (\%/日)} = \{(W_1 / W_0)^{1/D_2} - 1\} \times 100, \text{ 体重 1g あたりの瞬間摂餌量 (mg/秒/g)} = [(F / T) / \{(W_1 + W_0) \times 0.5\}] \times 1000$$

※W₀：試験開始時の総重量（g），W₁：試験終了時の総重量（g），F：総摂餌量（g），D₁：総給餌日数（日），D₂：総飼育日数（日），T：総給餌時間（秒）

また、2 週ごとの魚体測定までの期間を 1 期として摂餌量、飼料効率、日間摂餌率、日間増重率及び体重 1g あたりの瞬間摂餌量について、前述の計算式を、W₀：期首の総重量（g），W₁：期末の総重量（g）として同様に算出した。さらに、成長速度が異なる試験区の成績を評価するために、1 期ごとの平均体重（期首体重と期末体重

の平均値)を横軸に、飼育成績の各項目の値を縦軸にした散布図を作成し、同じ体重を目安とした各項目の成績を比較した。

結果

試験期間を通じた飼育成績を表4に、成長の推移を図1に示した。また、体重と各飼育成績の関係を図2に示した。試験終了時の体重は高・1.4倍/5日区、高・1.4倍/3日区、高・飽食/5日区、高・飽食/3日区、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区の順に、 114.7 ± 10.0 g, 119.7 ± 14.7 g, 154.0 ± 19.4 g, 152.0 ± 27.3 g, 111.2 ± 10.9 g, 107.2 ± 13.0 g, 144.5 ± 22.9 g 及び 122.5 ± 16.5 g (平均体重 \pm 標準偏差)であった(表4)。成長は高・飽食/5日区及び高・飽食/3日区が最も早く、両区はほぼ同じレベルで推移した(図1)。また、低・飽食/5日区は前述の2区に比べるとやや成長が劣ったが、試験終了時の体重に有意差は認められなかった(tukey法による多重比較検定, $p > 0.05$)。低・飽食/3日区は他の飽食給餌区に比べて成長が遅く、試験終了時の体重は有意に低くなった($p < 0.05$)。1.4倍給餌の試験区4区については試験終了時の体重に有意な差は認められなかった($p > 0.05$)。

試験期間を通じた総給餌量は高・1.4倍/5日区、高・1.4倍/3日区、高・飽食/5日区、高・飽食/3日区、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区の順に、 $2,087.0$ g, $2,116.8$ g, $3,476.7$ g, $3,233.2$ g, $2,031.0$ g, $2,004.6$ g, $3,248.1$ g, $2,578.9$ g であり、低・飽食/3日区は他の飽食給餌の試験区と比較して顕著に少なくなった(表4)。体重と給餌量の関係では、体重あたりの給餌率が同じである1.4倍給餌の試験区4区については同じレベルで推移した(図2・a-1, a-2)。飽食給餌の試験区4区については、高・飽食/5日区は高・飽食/3日区を、低・飽食/5日区は低・飽食/3日区を上回る傾向がみられたが、前者の差が僅かであるのに対し(図2・a-1)、後者の差は大きくなった(図1・a-2)。

体重と日間摂餌率の関係はどの体重においても高・飽食/3日区が最も高くなり、次いで低・飽食/3日区となった(図2・b-1, b-2)。体重と日間増重率の関係は高・飽食/5日区及び高・飽食/3日区が最も高く、両区はほぼ同じレベルで推移した。(図2・c-1)。低・飽食/5日区は、体重が小さいうちは前述の2区に比べ低い値となったが、成長するに従いその差は小さくなった(図2・c-1, c-2)。低・飽食/3日区は他の飽食給餌の3試験区に比べると、どの体重においても低い値を示した(図2・c-1, c-2)。

試験期間を通じた飼料効率が高・1.4倍/5日区、高・1.4倍/3日区、高・飽食/5日区、高・飽食/3日区、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区の順に、それぞれ101.6%, 107.2%, 94.7%, 100.3%, 99.2%, 94.2%, 92.9%, 91.2%であった(表4)。また、体重と飼料効率の関係は、高魚粉飼料においては週3日給餌の試験区の方が高い傾向がみられたが、低魚粉飼料では週5日給餌の試験区が飼料効率は高い傾向となった(図2・d-1, d-2)。

総給餌時間は高・1.4倍/5日区、高・1.4倍/3日区、高・飽食/5日区、高・飽食/3日区、低・1.4倍/5日区、低・1.4倍/3日区、低・飽食/5日区及び低・飽食/3日区の順に、5,051秒, 5,633秒, 38,291秒, 28,336秒, 5,622秒, 6,874秒, 40,751秒, 27,731秒となり、飽食給餌の試験区4区が顕著に長くなった(表4)。体重と体重1gあたりの瞬間摂餌量の関係は1.4倍給餌の試験区においては高魚粉飼料、低魚粉飼料どちらも週5日給餌の方が高くなった(図2・e-1, e-2)。一方、飽食給餌の試験区においては高魚粉飼料、低魚粉飼料どちらも週3日給餌の方が高くなったが、その差は小さかった(図2・e-1, e-2)。

表4 飼育成績

	高・1.4倍/5日区	高・1.4倍/3日区	高・飽食/5日区	高・飽食/3日区	低・1.4倍/5日区	低・1.4倍/3日区	低・飽食/5日区	低・飽食/3日区
供試尾数	30	30	30	30	30	30	30	30
期間中の死亡尾数	0	0	0	0	0	0	0	0
試験開始時の平均体重 (g) * ¹	44.0±3.4	44.0±3.7	44.2±3.5	44.0±3.5	44.0±3.6	44.2±3.8	43.9±3.7	44.1±3.9
試験終了時の平均体重 (g) * ^{1,2}	114.7±10.0 ^{bc}	119.7±14.7 ^{bc}	154.0±19.4 ^a	152.0±27.3 ^a	111.2±10.9 ^{bc}	107.2±13.0 ^c	144.5±22.9 ^a	122.5±16.5 ^b
期間中の総給餌量 (g)	2,087.0	2,116.8	3,476.7	3,233.2	2,031.0	2,004.6	3,248.1	2,578.9
期間中の増重量 (g)	2,120.0	2,270.1	3,293.3	3,241.4	2,015.4	1,887.7	3,017.5	2,352.0
日間摂餌率(%/日)	1.75	2.87	2.34	3.67	1.74	2.94	2.30	3.44
日間増重率(%/日)	1.38	1.44	1.80	1.79	1.33	1.27	1.72	1.47
飼料効率(%)	101.6	107.2	94.7	100.3	99.2	94.2	92.9	91.2
総給餌時間(秒)	5,051	5,633	38,291	28,336	5,622	6,874	40,751	27,731

*1平均±標準偏差

*2異なるアルファベット間で有意差あり(tukey法による多重比較検定, $p < 0.05$)

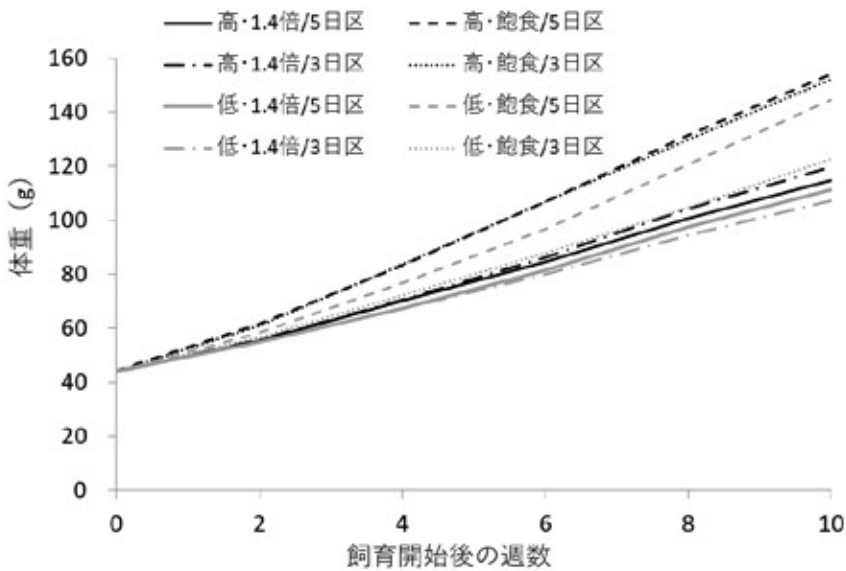


図1 成長の推移

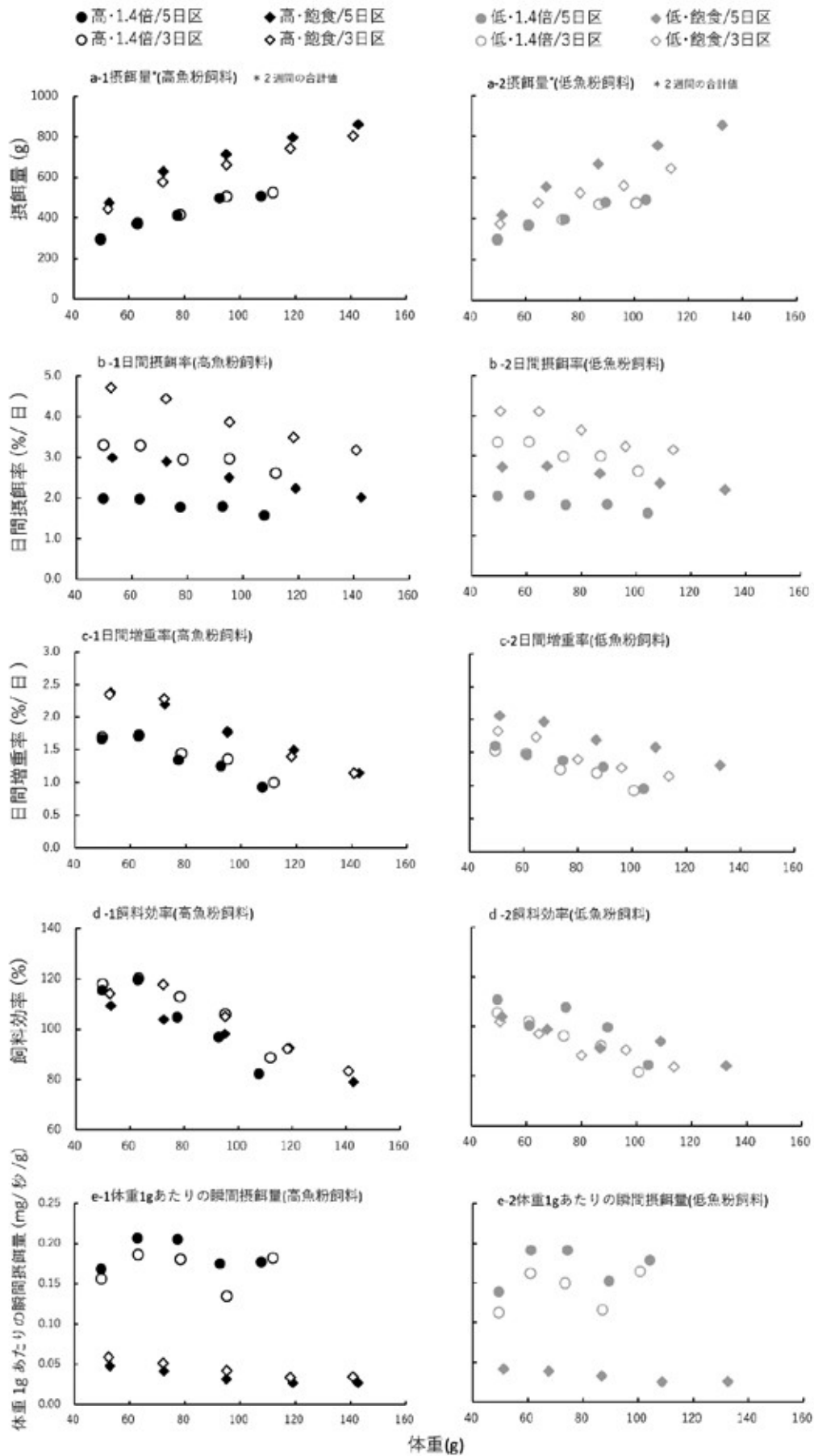


図2 体重と各試験成績の関係

考 察

本試験では間欠給餌について、高魚粉飼料と低魚粉飼料で有効性に違いがみられるか飽食給餌及び制限給餌と比較した。飽食給餌は最大限の成長が見込める一方、厳密な満腹状態までの飽食給餌は瞬間摂餌量が著しく低下し、給餌に時間を要することも明らかとなっている⁹⁾。そのため、飽食までは至らないが給餌に時間を要さない範囲での給餌量として給餌率表の1.4倍の倍率での制限給餌においても併せて検討を行った。

高魚粉飼料では給餌率表の1.4倍及び飽食給餌ともに週3日給餌は週5日給餌と比較して成長に差はみられず、飼料効率はいずれの成長段階においても概ね上回る結果となった(図1, 図2・d-1)。日間摂餌率は高・飽食/3日区は高・飽食/5日区の1.5倍以上と高い値で推移し、2週ごとの総摂餌量では高・飽食/5日区との差は僅差となった(図2・a-1, 図2・b-1)。これらのことから、週3日給餌では摂餌日数の減少を1日当たりの摂餌量を増加させることで補い、さらに飼料効率の上昇により週5日給餌と同等な成長を可能にしていると考えられる。体重1gあたりの瞬間摂餌量については給餌率表の1.4倍では週3日給餌は週5日給餌よりも低くなったため、給餌に要する時間の節減にはつながらず、飽食給餌では週3日給餌の方が若干上回ったものの、瞬間給餌量が著しく低いという欠点は解消できなかった(図2・e-1)。なお、成長の推移や総摂餌量から推察すると、高魚粉飼料においては瞬間摂餌量が極端に低下しない飽食手前の給餌率は給餌率表の1.4倍よりもさらに高い倍率であると推測された。

以上のことから、本試験で供試した高魚粉飼料における週3日給餌は、週5日給餌と比較して成長及び飼料効率の点から効率的な給餌方法と考えられた。飽食給餌では給餌に時間を要するという課題はあるものの、週3日給餌は飼育池に出向く回数の削減による業務の効率化やそれに伴う人件費の抑制に加え、飼料効率の上昇が給餌量の節減につながることから飼料コストの削減も見込める給餌法といえる。

一方、低魚粉飼料では給餌率表の1.4倍においては週3日給餌と週5日給餌で成長に差はみられなかったが、飽食給餌においては週3日給餌で成長が劣る結果となった(図1)。低・飽食/3日区は低・飽食/5日区と比べ日間摂餌率は上昇したが、総摂餌量で同レベルになるまでには至らず(図2・a-2, 図2・b-2)、週3日給餌の場合、1日あたりの飽食上限では同等の成長を得られる摂餌量に至らなかったと推察される。また、飼料効率も週5日給餌に比べて低い傾向にあることから(図2・d-2)、総摂餌量の減少と併せて成長が劣る要因になっていると考えられた。以上をふまえると、本試験で供試した低魚粉飼料を飽食給餌で用いる場合は週5日給餌が適切であると考えられた。

マス類においては低魚粉飼料による選抜育種を重ねることで低魚粉飼料に対する摂餌性が改善され、飼料効率も向上するなど低魚粉飼料の利用性を高めることが確認されている^{7,8)}。低魚粉飼料で選抜育種を重ねた種苗を用いることで、本試験で供試した低魚粉飼料においても週3日給餌における摂餌量の増加や飼料効率の向上につながる可能性がある。また、魚類は可消化エネルギーの摂取量を自発的に調整することが報告されている⁹⁾。本試験で供試した低魚粉飼料は魚油を6%添加して用いたため、粗脂肪が17.1%と高脂質な飼料となった。可消化エネルギーの高い高脂質の飼料であったことが1回あたりの摂餌量の上限に影響した可能性もある。

また、本試験では12.5℃の飼育水温でのみ試験を行ったが、間欠給餌の有効性には消化速度が関与するため水温の影響を受けることも報告されている。ギンザケの海面養殖において飽食給餌下で休餌日を設けない毎日給餌と1日おきの隔日給餌を比較したところ、水温10℃以下では成長に差が見られなかったが、水温10℃以上では隔日給餌の成長が劣ることが明らかになっている⁴⁾。夏場に水温が上昇する河川水など本試験と異なる水温条件では同様の効果が得られない可能性があるため、留意が必要である。

以上のことから間欠給餌は省力化及びコスト削減に寄与できる給餌方法として有望であるが、供試した飼料によりその効果に違いが見られたことから現場での普及には適切な飼料の選択と共に、魚種、水温条件等についてさらなる検討が必要である。

謝 辞

飼料の分析を実施していただきました国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所の山本剛史主幹研究員に厚く御礼申し上げます。

要 約

1. 省力化及びコスト削減を目的に、ニジマスを週3日給餌と週5日給餌の異なる給餌間隔で2種類の飼料を用いて、給餌率表の1.4倍の給餌率及び飽食給餌で飼育成績を比較した。
2. 高魚粉飼料では給餌率表の1.4倍及び飽食給餌いずれにおいても、週3日給餌は週5日給餌と比較して成長に差はなく飼料効率は高くなったことから、コスト削減に有効な給餌方法であることが明らかになった。
3. 低魚粉飼料では、給餌率表の1.4倍では週3日給餌は週5日給餌と比較して成長に差はなかったが、飽食給餌では成長が劣り、本試験で供試した低魚粉飼料を飽食給餌で用いる場合は週5日給餌が適切と思われた。
4. 体重1gあたりの瞬間摂餌量については高魚粉飼料、低魚粉飼料どちらにおいても、給餌率表の1.4倍では週3日給餌は週5日給餌よりも低くなったため、給餌に要する時間の節減にはつながらず、飽食給餌については週3日給餌の方が若干上回ったものの、瞬間給餌量が著しく低い値となった。
5. 週3日給餌は省力化及びコスト削減効果の高い給餌方法として有望であるが、供試飼料によりその効果に違いが見られたことから現場での普及にはさらなる検討が必要である。

文 献

- 1) 全国養鱒技術協議会養殖技術部会 (2021) : マス類養殖業の生産コストに関する調査結果, 全国養鱒技術協議会養殖技術部会活動報告 (平成22年度~令和元年度 取りまとめ) , 177-191.
- 2) 熊川真二 (2000) : ニジマスにおける隔日給餌の効果Ⅲ. 平成10年度長野県水産試験場事業報告, 32.
- 3) 小林美樹 (1998) : サクラマスに対する給餌法の改善-隔日給餌による効果-. 魚と水, 35, 1-11.
- 4) 小野寺毅 (2003) : ギンザケ海面養殖における隔日給餌法の検討. 宮城県水産研究報告, 3, 41-44.
- 5) 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, 102-104.
- 6) 三浦正之・青柳敏裕 (2023) : ニジマスにおける適正給餌率の検討. 山梨県水産技術センター事業報告書, 49, 22-27.
- 7) 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.
- 8) Miura, M., Yamamoto T., Ozawa R., Okazaki, T., Murashita, K., Oku, H., Matsunari, H., Furuita, H., Mano, N. and Suzuki, N. (2019), : A preliminary study toward the improvement of low fishmeal diet utilization in a Yamanashi strain of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquacult. Sci.*, 67(2), 127-138.
- 9) 山本剛史 (2001) : 魚類の自発摂餌 (水産学シリーズ 128, 田畑満生編) .恒星社厚生閣, 東京, 108-118.