

油脂添加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に与える効果（短報）

虎尾 充*

北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場

Effect of feeding oil-supplemented diets on the growth rate of chum salmon fry after seawater transfer (Short paper)

MITSURU TORAO

Salmon and Freshwater Fisheries Research Institute, Hokkaido Research Organization, Eniwa, Hokkaido 061-1433, Japan

The effect of feeding diets supplemented with oil on the growth rate of chum salmon fry, *Oncorhynchus keta*, after seawater transition was examined in a rearing experiment. Supplementation of the commercial diet with fish oil or salmon liquid during freshwater rearing increased the storage of lipids in chum salmon fry. The growth rate of these chum salmon fry was compensated only under extremely poor feeding conditions after the seawater transition. However, the difference in the growth rate was small, at approximately 0.1 mm/day. It is unclear whether this difference in growth rate affects survival, and further investigation is required.

キーワード： *Oncorhynchus keta*, 魚油, 日間成長率, サーモンリキッド

近年、北海道に来遊するサケ *Oncorhynchus keta* 資源は急激に減少し、現在その資源量は低位水準にある（渡邊ら, 2025）。そのため、増殖事業において回帰率向上のための様々な対策が試みられている。

放流されるサケ稚魚の栄養状態低下の対策は、その一つである。栄養状態の悪いサケ稚魚は海水移行後の死亡率が高い傾向がある（橋本, 1979）。淡水飼育時の絶食は海水移行後の成長率低下（Nakamura *et al.*, 2019）や遊泳力低下（Torao *et al.*, 2021）につながることを実験的に示唆されており、減耗につながる可能性がある。また、野外調査では降河中に稚魚の栄養状態が低下する場合があることが明らかとなっている（水野・三坂, 2012；清水ら, 2016）。栄養状態低下の対策としては、油脂を添加した飼料の給餌がサケ稚魚の魚体中の脂質蓄積量を増加させ（村井ら, 1983）、絶食耐性を向上させる可能性があると考えられている。

一方、サケ科魚類の海洋生活初期には成長率と関連した減耗機構が知られ（Beamish, 2022）、北海道で放流されたサケ稚魚でも成長率の高い個体が生残しやすい傾向が認められている（Honda *et al.*, 2017）。しかし、油脂添

加飼料の給餌が海水移行後のサケ稚魚の成長率に与える影響は不明であり、本試験では飼育試験によって検証を試みた。

試料及び方法

供試魚 試験には、石狩川支流千歳川由来の2022年級と2023年級のサケ稚魚を用いた。両年とも9月に採卵された受精卵を直ちに（地独）北海道立総合研究機構さけます・内水面水産試験場の飼育施設に輸送し、立体式孵化器に収容した。浮上した稚魚はアトキンス水槽（長さ3.26 m × 幅0.33 m × 高さ0.33 m）に収容し、市販の配合飼料（EXます1号および2号、日本農産工業株式会社、横浜市）を給餌して飼育した。飼育用水には河川水（水温範囲7.5℃～8.7℃）を掛け流しで使用した。

油脂添加飼料の給餌飼育 同一条件下で飼育したサケ稚魚を用いて、配合飼料を給餌した対照群と、油脂添加飼料を給餌した試験群を設けた。いずれも飽食量を与えた。2022年級サケ稚魚を用いた試験を試験1とし、2023年1月6日に250 L FRP水槽2本にそれぞれ600尾を収容

し、1月20日までの15日間の給餌飼育を行った。一方には配合飼料を給餌し、対照群とした。もう一方には配合飼料に重量比5%の魚油（ナイスフィードオイルC、植田精油株式会社、神戸市）を添加した飼料を給餌し、FO5%群とした。

2023年級は試験2と試験3に用いた。試験2では、60 Lアクリル水槽（幅60 cm×長さ30 cm×高さ36 cm）3本にサケ稚魚を350尾ずつ収容した。2023年12月21日から2024年1月3日までの15日間、それぞれ配合飼料・魚油5%添加飼料・魚油10%添加飼料を給餌し、対照群・FO5%群・FO10%群とした。試験3では、2024年2月12日に60 Lアクリル水槽3本にサケ稚魚を320尾ずつ収容し、2月25日までの15日間、配合飼料・魚油10%添加飼料・サーモンリキッドMM（長岡実業株式会社、西宮市、兵庫県）を2%添加した飼料を与え、それぞれ対照群・FO10%群・SL2%群とした。飼育開始時と終了時に各30尾を無作為に抽出して尾叉長と体重を測定し、肥満度を算出した。

給餌飼料および給餌飼育後のサケ稚魚の成分分析 給餌した飼料と、給餌飼育後のサケ稚魚魚体の成分分析を行った。給餌飼料はサンプルバッグに密封し-80℃で冷凍保存後に分析に供した。サケ稚魚は消化管内容物を排出させるため、36時間以上の絶食後にそれぞれの試験群からサンプリングし、-80℃で冷凍保存後に分析に供した。分析は、試験1ではクロレラ工業株式会社（筑後市、福岡県）に、試験2と3では一般社団法人日本食品分析センター（東京都）に委託した。分析した成分の項目は水分・灰分・粗タンパク質・粗脂肪・炭水化物で、それぞれの数値は湿重量に対する比率（%）で示した。水分は常圧加熱乾燥法、灰分は直接灰化法、タンパク質はミクロ・ケルダール法（2022年級）または燃焼法（2023年級）、脂質はソックスレー抽出法によって測定した。炭水化物は全量から水分、タンパク質、脂質、灰分を差し引いて求めた。また、サケ稚魚魚体のエネルギー量を、食品表示基準によるエネルギー換算係数（kcal/g；タンパク質，4；脂質，9；炭水化物，4）を乗じて概算した。

海水飼育成長試験 各試験において15日間の油脂添加飼料の給餌を行ったサケ稚魚を用いて、14日間の海水飼育成長試験を行った。水温調整装置（CTP-3000、東京理化器械株式会社、東京）で水温を8℃に調整した400 L角型FRP水槽内に、ガラス水槽（海水飼育水槽：45×30×32 cm，容量38 L）3本を設置した。海水飼育水槽には塩分32‰に調整した人工海水（テトラマリンソルトプロ、スペクトラムブランドジャパン株式会社、横浜市）を満たし、それぞれ外部濾過器（テトラバリューエックスパワーフィルターVX-75、スペクトラム

ブランドジャパン株式会社）1基を設置し、閉鎖循環系を確立した。海水飼育中にサケ稚魚に与える餌量を3段階設定し、海水飼育水槽3本はそれぞれ飽食群、1/2量給餌群、1/4量給餌群とした。これらのセットを淡水飼育時の対照群と試験群の数に合わせて設置した。試験1では、対照群とFO5%群、各12尾を海水飼育水槽に収容した。2023年1月20日に、麻酔したサケ稚魚の尾叉長を1.5倍の拡大鏡下でデジタルノギスを用いて0.01mm単位で測定した。その後、脂鰭・背鰭・尾鰭上葉・尾鰭下葉と、胸鰭左右・腹鰭左右を組み合わせた12種類の鰭切除標識を施し、個体識別した。測定・施標後のサケ稚魚は18時間以上淡水中（流水条件下）で回復させた後、海水飼育水槽に収容した。海水飼育開始後のサケ稚魚には、冷凍アルテミア（クリーンブラインシュリンプ、株式会社キョーリン、東京）を与えた。給餌は1日1回とし、飽食群には摂餌状況を見ながらアルテミアを与え、摂餌しなくなった時点で終了とした。給餌量は給餌前後のアルテミア重量を測定し、その差から求めた。1/2量給餌群、1/4量給餌群には、それぞれ飽食群の給餌量の1/2重量、および1/4重量を計量して与えた。海水飼育終了後に稚魚を取り上げ、麻酔後に尾叉長を測定し、鰭切除標識から個体を同定して、個体ごとの日間成長率を次式で求めた。

$$\text{日間成長率 (mm/day)} = (FL_2 - FL_1) / D$$

FL_1 ：開始時の尾叉長 (mm)

FL_2 ：終了時の尾叉長 (mm)

D ：測定日間の日数

試験2では、2024年1月4日に収容時の尾叉長の測定と鰭切除による個体識別を行った。海水飼育水槽にはそれぞれ20個体を収容した。1月5日から1月18日まで14日間の海水飼育を行い、個体別の日間成長率を求めた。試験3では、2024年2月26日に各20個体の尾叉長の測定と鰭切除標識を行った。2月27日に海水飼育を開始し、14日後の3月11日に稚魚を取り上げて尾叉長の測定を行い、個体別に日間成長率を求めた。

統計解析 淡水での給餌飼育終了時の給餌飼料（対照群と試験群）の違いによる体サイズの差、および海水飼育試験の給餌量区ごとの日間成長率の差は、試験1ではMann-WhitneyのU検定で、試験2と試験3ではSteel-Dwass法の多重比較検定で検定した。

結果および考察

対照群に給餌した配合飼料の脂質含量は9.1%ないし

6.3%であったのに対し、魚油を添加した飼料では脂質含量がいずれも10%以上となった (Table 1)。サーモンリキッド2%の添加飼料でも、脂質含量が8.2%まで増加した。一方、水分量、灰分、炭水化物、タンパク質は、組成比としては油脂の添加によって低下した。これらのことから、魚油、サーモンリキッドともに、配合飼料への添加によって飼料中の脂質含有量が増加したことが確認された。飼料効率や脂質蓄積の効率から、サケ稚魚の飼料中の脂質含量は12%程度が適当であるとの報告があり (興石, 1989; 酒本・大橋, 2012)、魚油添加飼料はこの値を上回っていた。

配合飼料および油脂添加飼料を15日間給餌したサケ稚魚の成分分析の結果 (Table 2)、配合飼料のみを給餌した対照群に比べて、油脂添加飼料を給餌した試験群ではいずれも魚体の脂質含量が増加していた。対照群の脂質組成が4%程度であるのに対し、FO5%群では4.5%程度、FO10%群では5.0%程度まで増加した。SL2%群

でも4.4%まで増加した。また、脂質含量の増加に伴い、魚体のエネルギー量も対照群に比べて全ての油脂添加群で高かった。これらのことから、油脂添加飼料の給餌が魚体の脂質蓄積量を増加させたことが確認された。サケ稚魚では絶食時のエネルギー源としての脂質の重要性が指摘されており (Akiyama and Nose, 1980; 虎尾, 2020)、魚体の脂質蓄積量の増加は絶食耐性の向上に寄与する可能性がある。一方、淡水飼育終了時のサケ稚魚の尾叉長、体重および肥満度には顕著な差は見られなかった (Table 3)。試験2のFO5%群とFO10%群の肥満度で有意差が認められたが ($p < 0.05$)、その他の対照群と油脂添加群では有意な差は認められなかった ($p > 0.05$)。したがって、本試験では油脂添加飼料の給餌は、魚体への脂質の蓄積にはつながるものの、サケ稚魚の成長を向上させる効果は認められなかった。言い換えれば、成長への悪影響も認められなかったといえる。

海水飼育成長試験の日間成長率の結果を Fig.1 に示し

Table 1 Proximate nutrient composition of experimental diets

Expt.	Diet	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Carbo-hydrates (%)
#1	CD	9.7	12.1	53.2	9.1	16.0
	CD+FO5%	9.1	12.7	49.4	13.0	15.8
#2	CD	8.4	13.4	54.8	6.3	17.1
	CD+FO5%	8.2	12.8	52.1	10.7	16.2
	CD+FO10%	7.9	12.1	49.9	14.8	15.3
#3	CD	9.5	13.3	53.4	6.3	17.5
	CD+FO10%	8.9	12.0	48.5	14.7	15.9
	CD+SL2%	9.3	13.0	52.4	8.2	17.1

The acronyms CD, FO, and SL denote commercial feed, fish oil, and salmon liquid, respectively

Table 2 Whole-body proximate nutrient composition of chum salmon fry after freshwater rearing trials

Expt.	Treatment group	Moisture (%)	Ash (%)	Crude protein (%)	Crude fat (%)	Carbohydrates (%)	Energy (kcal/100g)
#1	Cont.	79.8	1.7	14.6	4.0	0.0	94.4
	FO5%	79.1	1.7	14.6	4.6	0.0	99.8
#2	Cont.	80.6	1.6	13.6	3.8	0.4	90.0
	FO5%	79.7	1.7	13.8	4.5	0.3	97.0
	FO10%	79.0	1.7	14.1	4.9	0.3	102.0
#3	Cont.	79.3	1.9	14.8	4.1	0.0	96.0
	FO10%	78.2	1.9	14.7	5.3	0.0	107.0
	SL2%	78.9	1.9	14.6	4.4	0.2	99.0

Controls were fed commercial diets, FOs were fed diets supplemented with fish oil, and SLs were fed

Table 3 Fork length, body weight, and condition factor of chum salmon fry fed oil-supplemented diets during freshwater rearing trials.

Expt.	Initial			Final			
	Fork length (mm)	Weight (g)	Condition factor	Treatment group	Fork length (mm)	Weight (g)	Condition factor
#1	46.09 ± 2.89	0.76 ± 0.14	7.66 ± 0.48	Control	54.22 ± 3.26	1.27 ± 0.26	7.84 ± 0.44
				FO5%	54.86 ± 3.18	1.32 ± 0.22	7.96 ± 0.45
#2	47.06 ± 2.03	0.80 ± 0.11	7.62 ± 0.50	Control	55.77 ± 2.26	1.42 ± 0.16	8.15 ± 0.40
				FO5%	55.13 ± 2.98	1.42 ± 0.26	8.38 ± 0.41
				FO10%	55.34 ± 1.98	1.36 ± 0.14	8.03 ± 0.27
#3	51.19 ± 2.90	1.11 ± 0.19	8.23 ± 0.44	Control	60.98 ± 2.85	1.83 ± 0.30	8.00 ± 0.49
				FO10%	63.42 ± 3.22	1.99 ± 0.33	7.72 ± 0.23
				SL2%	62.69 ± 3.57	1.96 ± 0.36	7.88 ± 0.25

Values are mean ± SD

The values in bold italics indicate that a statistically difference was found.

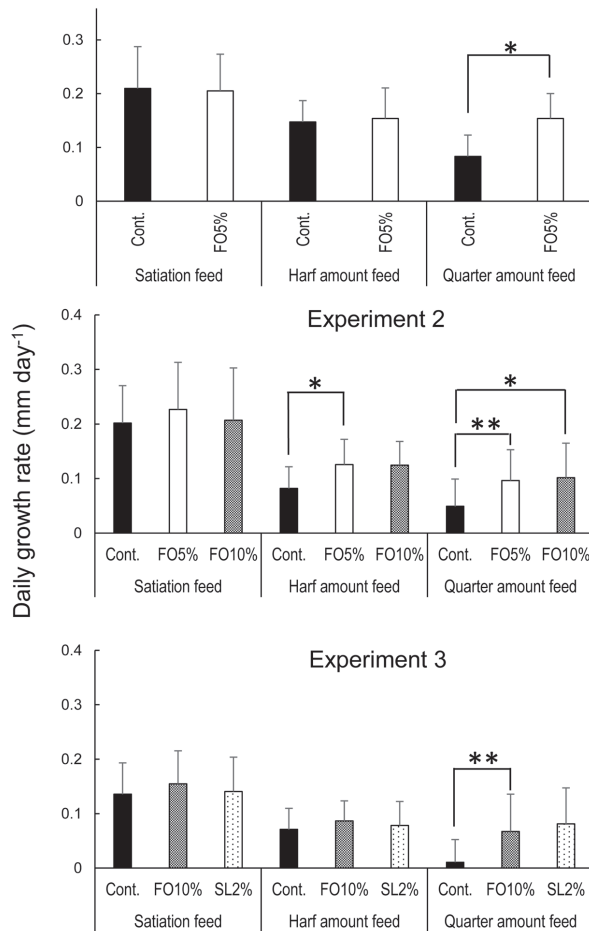


Fig.1 Daily growth rate of chum salmon in the control and oil-supplemented feed groups in seawater growth trials with three levels of *Artemia* feeding. The data are means $\pm$ SD. Significant differences between groups are indicated by * $p < 0.05$ and ** $p < 0.01$.

た。いずれの試験でも、アルテミア飽食給餌区では、配合飼料を与えた対照群と油脂添加群の間で、日間成長率に有意差は認められなかった。1/2量給餌区では、試験2で対照群に比べてFO5%群で成長率が有意に高かったが、試験1、試験3では差は認められなかった。1/4量給餌区では、ほとんどの試験で対照群よりも油脂添加群の日間成長率が有意に大きく、1/2量給餌区の日間成長率に近い成長率を示した。したがって、海水移行後の成長率は、基本的に餌量の影響を大きく受けると考えられる。そして、極めて餌が少ない条件において、油脂添加飼料の給餌による魚体中の脂質蓄積が成長率低下を補償する可能性が示された。しかし、対照群と油脂添加群の日間成長率の差は0.1mm/day以下であり、このような小さな成長差が生残に寄与するかどうかは不明であり、今後の標識放流・回帰調査の結果を待ちたい。また、脂質よりもタンパク質含量を高める飼料の方が海水移行後の

絶食耐性向上の可能性があると指摘もあり（村井ら，1983），生残や成長にとってより効果的な油脂添加濃度や期間を検証する必要がある。

謝 辞

本研究は水産庁栽培養殖課委託事業「さけ・ます等栽培対象資源対策事業」の一環として実施した。本研究を行うにあたり、一般社団法人日本海さけ・ます増殖事業協会からサケ受精卵を提供していただいた。ここに記して深謝する。

引用文献

- Akiyama T, Nose T. Changes in body weight, condition factor and body composition of fingerling chum salmon with various sizes during starvation. *Bull.Natl.Res.Inst. Aquaculture* 1980; 1: 71-78.
- Beamish R (2022) The need to see a bigger picture to understand the ups and downs of Pacific salmon abundances. *ICES J.Mar. Sci.*, 79; 1005-1014.
- 橋本進. 放流サケ稚魚の飼育に関する研究-1. 北海道さけ・ますふ化場研究報告 1979 ; 33 : 25-30.
- Honda K, Kawakami T, Suzuki K, Watanabe K, Saito T. Growth rate characteristics of juvenile chum salmon *Oncorhynchus keta* originating from the Pacific coast of Japan and reaching Konbumori, eastern Hokkaido. *Fish, Sci.*, 2017; 83; 987-996.
- 水野伸也, 三坂尚行. 5. サケ稚魚の種苗性評価. 「根室南部沿岸調査 (H19-22) 結果報告書」(社) 根室管内さけ・ます増殖事業協会, 標津町. 2012 ; 106-108.
- 村井武四, 平澤康弘, 秋山敏男, 能勢健嗣. 種々の飼料で飼育したシロザケ稚魚の海水中での絶食に対する抵抗性. 養殖研究所研究報告 1983 ; 4 : 79-86.
- Nakamura S, Kaneko N, Nonaka T, Kurita D, Miyakoshi Y, Shimizu M. Fasting in freshwater severely affects growth of juvenile chum salmon when entering cold seawater. *Fish. Sci.* 2019; 85: 655-665.
- 清水智仁・伴真俊・宮内康行・梅田勝博・中尾勝哉・藤井真・真山紘. 千歳川を降河するふ化場産および野生産サケ稚魚の栄養状態. 水産技術 2016 ; 8 : 89-94.
- 虎尾 充. サケ稚魚の魚体中トリグリセリド含量と肝臓中グリコーゲン含量の栄養状態評価指標としての有効性. 北海道水産試験場研究報告 2020 ; 97 : 29-

36.

Torao M, Miyakoshi Y, Shimizu M. Low nutritional status in the freshwater phase and temperature at seawater entry reduce swimming performance of juvenile chum salmon. *N. Pac. Anadr. Fish Comm.Tech. Rep.* 2021; 17:

58-59.

渡邊久爾・水本寛基・本多健太郎・佐藤俊平. サケ（シロザケ）日本系. 令和5年度国際漁業資源の現況 2022 ; 61 : 1-10. http://kokushi.fra.go.jp/R05/R05_61_CHU.pdf (2025.3.20)

