

魚類稚魚期の成長促進と水環境負荷低減を両立する新規養殖技術の開発

長岡技術科学大学 (非) ○赤嶺和磨 (学) 原田隆大 (正) 山口隆司 (非) 牧慎也
株式会社ブルボン (非) 南場充

1. はじめに

食卓で広く浸透しているサケ科魚類は、重要な養殖魚の一つである。2020 年度では市場に供給された 84.6%が、養殖により生産可能であると報告されている¹⁾。従来の養殖方式では「かけ流し式養殖システム (flow-through system: FTS)」が採用されてきた。FTS は海水や地下水を流入させ、養殖水槽内の水を窒素化合物や他老廃物と同時に排水する方式である。大量の水資源を確保できる場所や水温が生育に適した環境条件に制限される。

水資源の使用量を削減する目的で、「閉鎖循環式養殖システム (recirculating aquaculture system: RAS)」が開発されてきた。RAS ではろ過や硝化・脱窒処理によって老廃物を除去し、浄化した水を再利用できる。水利用効率の向上が期待される一方で、サケ稚魚の飼育に適した 20℃以下の低水温条件下では、硝化細菌のほとんどが活性低下する。結果、全アンモニア態窒素(TAN) および亜硝酸態窒素(NO_2^- -N) の蓄積が進行し、稚魚の成長阻害を引き起こす可能性がある。

ポリウレタンスポンジを用いた散水ろ床システムの DHS リアクター (Downflow Hanging Sponge Reactor) は、スポンジ担体による優れた微生物保持能力と酸素供給機能を備えている。Comammox 細菌を含む *Nitrospira* 門細菌の優占化によって TAN 硝化性能を低水温 (10-20℃) でも維持できることが報告されている²⁾。我々は、DHS リアクターを用いた RAS と FTS を比較する実証試験を実施した。サケ稚魚の成長および水質を評価し、成長促進に資する RAS の有用性を検証した。

2. 方法

サケ稚魚の成長性能を評価するため、FTS 方式と RAS 方式を比較する飼育試験を実施した。緯度経度 (37.344815, 138.488246) の地点における気候条件下で屋外実証試験を実施した。完全かけ流し式 (FTS) 区と、DHS リアクターを用いた閉鎖循環式養殖 (RAS) 区の 2 方式を設置した。両区ともに水槽容量は 5.8 m³であった。RAS 区では、160 L 容積の DHS リアクターを水槽上部

に設置して循環させた。RAS 区は 2 日に 1 回、全水量の 50%を換水した。試験魚としてしろぎけ (*Oncorhynchus keta*) を用い平均体重 4.32 ± 1.24 g の個体を各区に 120 尾 ($n=120/\text{区}$) ずつ分配した。試験期間は 2025 年 4 月 24 日から 6 月 1 日までの 38 日間とした。給餌飼料はサケ用市販飼料を用い飽食給餌法を採用した。給餌量、水温、溶存酸素濃度 (DO) を記録した。飼育最終日にはサケ稚魚の最終体重を測定し、体重増加率および比成長率を算出した。データを平均値±標準誤差 (SE) で示した。試験期間中は適宜サンプリングを行い、窒素化合物に関わる水質分析を実施した。TAN, NO_2^- -N, NO_3^- -N は、0.22 μm フィルターでサンプルをろ過後、オートアナライザー (QuAAtro39, BL TEC 社) を用いて測定した。

3. 結果及び考察

累積摂食量は RAS より FTS の方がすべての飼育 38 日間で高かった (Fig. 1A)。1 日・匹あたりの摂食量における、FTS の 0.35 ± 0.03 g day⁻¹ fish⁻¹ は RAS の 0.34 ± 0.03 g day⁻¹ fish⁻¹ を 1.03 倍上回った (Fig. 1B)。FTS は、連続的な通水を行なっているため、養殖水槽内に餌が滞留せず、摂食量が増加したと考えられる。最終体重は、

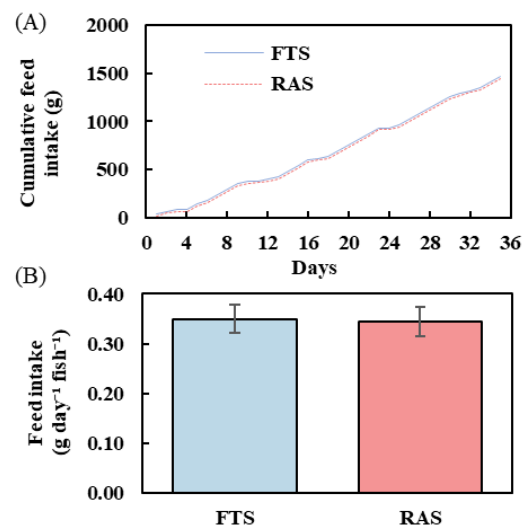


Fig. 1 Changes of cumulative feed intake (A) and feed intake (B) with flow through system (FTS) and recirculating aquaculture system (RAS).

FTS の $9.17 \pm 0.11 \text{ g fish}^{-1}$ に対し RAS では $10.50 \pm 0.76 \text{ g fish}^{-1}$ となり, 1.15 倍増加した(Fig. 2A). 体重増加率の FTS は $112.2 \pm 6.0\%$ であり, RAS で 1.28 倍増加し $143.1 \pm 43.3\%$ を示した(Fig. 2B). 比成長率においても, FTS で $0.018 \pm 0.001 \text{ \% day}^{-1}$, RAS で $0.021 \pm 0.004 \text{ \% day}^{-1}$ を示した(Fig. 2C). 全ての指標において, RAS が FTS より高い成長成績を示した. 水温は FTS で $11.3 \pm 0.73^\circ\text{C}$ に対して, RAS では $16.2 \pm 1.84^\circ\text{C}$ であった. しろざけの比成長率は 16°C で最も高い³⁾. RAS の水温は, しろざけの最適成長温度域に推移していたため, 成長成績を向上した. DO は, FTS で $9.85 \pm 0.49 \text{ mg L}^{-1}$ を示したのに対し, RAS では, 平均 $11.33 \pm 0.49 \text{ mg L}^{-1}$ と高く推移した. RAS では, DHS リアクターの落水曝気により高い DO が維持され, 成長成績を向上したと推察する.

TAN および NO_2^- -N が FTS より高濃度で推移した(Fig. 3). FTS の TAN は平均 $0.05 \pm 0.00 \text{ mg L}^{-1}$ であったのに対し RAS では 22.8 倍高い平均 $1.14 \pm 0.05 \text{ mg L}^{-1}$ を示した(Fig. 3A). NH_3 -N の安全値は 0.012 mg L^{-1} である⁴⁾. 塩分濃度 0% (淡水), pH = 8.18 の場合, TAN 濃度の化学平衡に基づく理論値は, 約 1.07 mg L^{-1} であるが, 生育に悪影響は認められなかった. NO_2^- -N はサケ

に対して毒性が高い. RAS の NO_2^- -N 濃度は $0.13 \pm 0.04 \text{ mg L}^{-1}$ と FTS $0.02 \pm 0.01 \text{ mg L}^{-1}$ の 6.5 倍高かった(Fig. 3B). RAS の NO_2^- -N 濃度は許容範囲 0.1 mg L^{-1} ⁴⁾ の上限に達していた. しかし, DO が高く維持されていたため, 酸素欠乏の影響は緩和され, 成長阻害は観察されなかった. RAS の NO_3^- -N は FTS よりも低く $0.04 \pm 0.01 \text{ mg L}^{-1}$ だった(Fig. 3B). NO_3^- -N は一般的にサケに対する毒性が低く, 400 mg L^{-1} 以下⁴⁾ で悪影響を与えないため問題なかった.

4. 結論

DHS リアクターを用いた RAS は, TAN および NO_2^- -N 濃度上昇のリスクがあるものの, 曝気および水温管理によって, 優れた成長促進効果を有する. 水使用量も大幅削減することから, 資源利用効率を向上し, 稚魚成長向上に資する養殖技術の有用性が示された.

文献

- 1) Pandey, S., et al. (2023). *Aquaculture*, 563, 738934.
- 2) Oshiki, M., et al. (2020). *Aquaculture*, 20, 734963.
- 3) Torao, M. (2022). *Aquaculture Science*, 70(1), 97-106.
- 4) Thorarensen, H., et al (2011). *Aquaculture*, 312(1-4), 1-14.

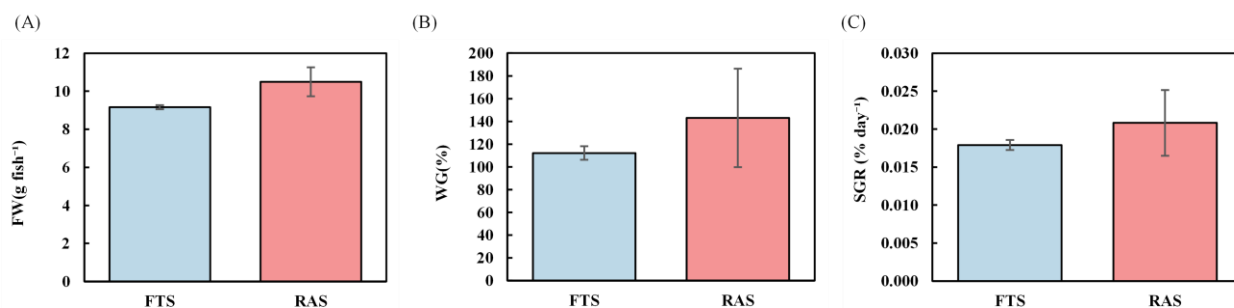


Fig. 2 Growth performance of fish at flow through system (FTS) and recirculating aquaculture system (RAS). (A): Final weight (FW, g fish^{-1}). (B): Weight gain (WG, %). (C): Specific growth rate (SGR, $\text{\% day}^{-1}$)

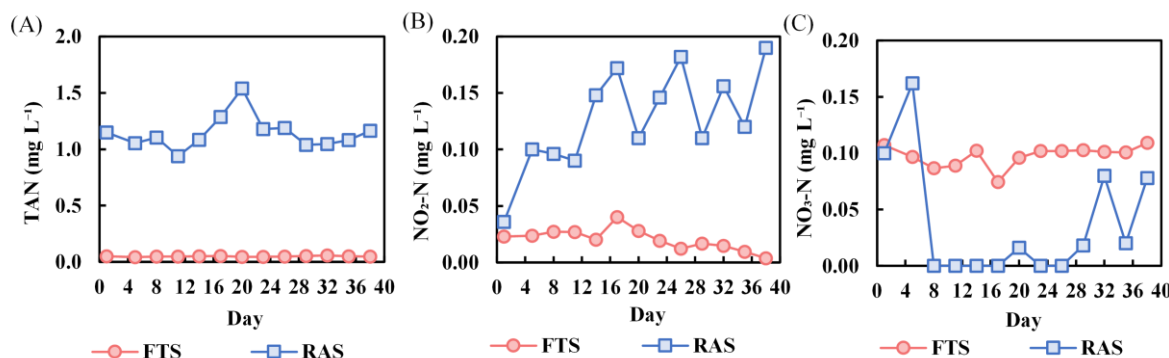


Fig. 3 Temporal changes in TAN (A), NO_2^- -N (B), and NO_3^- -N (C) concentrations at flow-through system (FTS) and recirculating aquaculture system (RAS) conditions.