

# 低塩分条件下でのクエの閉鎖循環式養殖における窒素除去性能の評価と成長に与える影響

長岡技術科学大学大学院 (非)○浜浦 裕晃, (非)Nur Adlin, (正)渡利高大, (正)幡本将史, (正)山口隆司

## 1. はじめに

海水魚は養殖において、一般的な海水よりも低い塩分濃度で飼育することで、成長が促進することが知られている。これは、海水魚の体液に含まれる塩分濃度が、海水の約3分の1程度であり<sup>(1)</sup>、浸透圧調整に多くのエネルギーを消費しているためである。そのため、飼育水を魚の体液に近い塩分濃度とすることで、魚が浸透圧調整に使用するエネルギーを低減し、余剰エネルギーは成長に有効利用されると考えられている<sup>(2)</sup>。これまでにカサゴやハタハタの低塩分下での飼育において、成長率が増加した研究事例が報告されている<sup>(3)</sup>。

これまで我々の研究グループでは、硝化機能を有する Down-flow Hanging Sponge (DHS)リアクターと、脱窒機能を有する Up-flow Sludge Blanket (USB)リアクターを組み合わせた生物学的硝化脱窒による窒素除去システムを利用したクエの閉鎖循環式陸上養殖を行っており<sup>(4)</sup>、浸透圧軽減によるクエの成長促進を図る目的で、通常海水での養殖を、塩分濃度 21~26 ‰ (海水の塩分濃度の 75%程度)として、養殖を継続してきた。本研究では、さらなるクエの成長促進を図るため、塩分濃度 21~26 ‰での養殖を、塩分濃度 15~17 ‰ (海水の塩分濃度の 50%程度)として養殖を継続し、魚の生存及び成長への影響と、窒素除去システムへの影響を評価した。

## 2. 実験方法

実験に使用した閉鎖循環式養殖システムの概略図を図 1. に示す。養殖水槽は水量約 5,000 L とし、飼育水は人工海水 マリンアート (富田製薬) を使用して、塩分濃度を 15~17 ‰ (50%海水) に調製した。DHS リアクターは容積約 400 L の槽にスポンジ担体 (DHS G3: φ33 mm×33 mm) を約 7,100 個 (スポンジ容積: 約 200 L) 充填した。USB リアクターは容積約 40 L の槽に脱窒グラニュールを約 20 L 充填した。本実験において、DHS1 及び DHS2 の流量と水理学的滞留時間 (HRT) はそれぞれ 6000 L/h, 4500 L/h, 1.2 min, 0.9 min に設定し、その処理水を水槽内に返送した。USB1 及び USB2 の流量と HRT は、20.8 L/h, 115 min に設定し、その処理水を DHS1 に

流入させた。USB には、脱窒反応の電子供与体として、酢酸または酢酸ナトリウムを C/N 比が約 1.2 となるように供給した。飼育水の pH 調節は、酢酸及び酢酸ナトリウムによって行い、水温設定は 26°C とした。

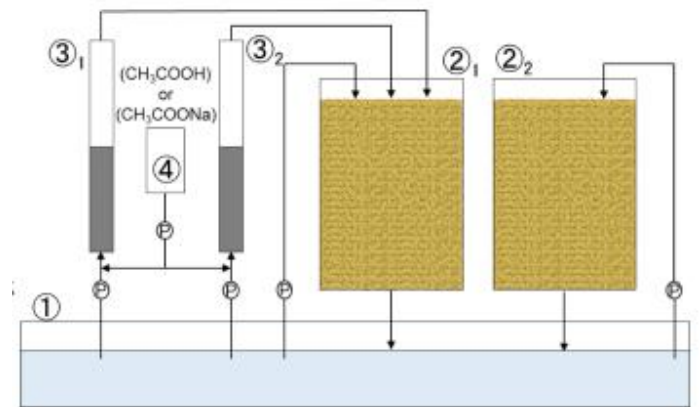
飼育魚の餌には海産魚育成用配合飼料 (ホワイト育成 6 号, マルハニチロ製) を用いた。給餌量は、クエの合計体重の 1% 程度とした。クエの全長及び体重の測定は、約 20 日ごとに 20 匹を無作為に捕獲し、2-フェノキシエタノール 200ppm で麻酔して行った。測定した平均体重から、各条件下での日間増重速度を式 1. より算出した。

$$\text{日間増重速度(g/day)} = (W_i - W_0) / D \quad (\text{式 1.})$$

ここで、 $W_0$ : 開始時の平均体重(g),  $W_i$ : 終了時の平均体重(g),  $D$ : 飼育日数(日), とした。

サンプリングは給餌の前に飼育水, USB(1,2)流出水, DHS1 流出水を採取して行った。NH<sub>3</sub>-N (Nessler 法) の分析は HACH 多目的水質分析計 DR2000 を用いた。NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N 及び NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N は、高速液体クロマトグラフィー (Shimadzu LC-20AT, 検出器 SPD-20A, カラム Water IC-Pak Anion HC) により測定した。pH は pH メーター (HM-30R TOADKK) を用いて測定した。水温及び DO は DO メーター (HQ30d HACH) を用いて測定した。

本研究の目標水質は、pH 6.5 ~ 8.5, 溶存酸素 DO > 5 mg/L, NH<sub>3</sub>-N < 2.3 mg/L, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N < 0.3 mg/L, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N < 90 mg/L とした<sup>(5)</sup>。



① 養殖水槽 ② DHSリアクター ③ USBリアクター ④ 炭素源

図 1. 装置概略図

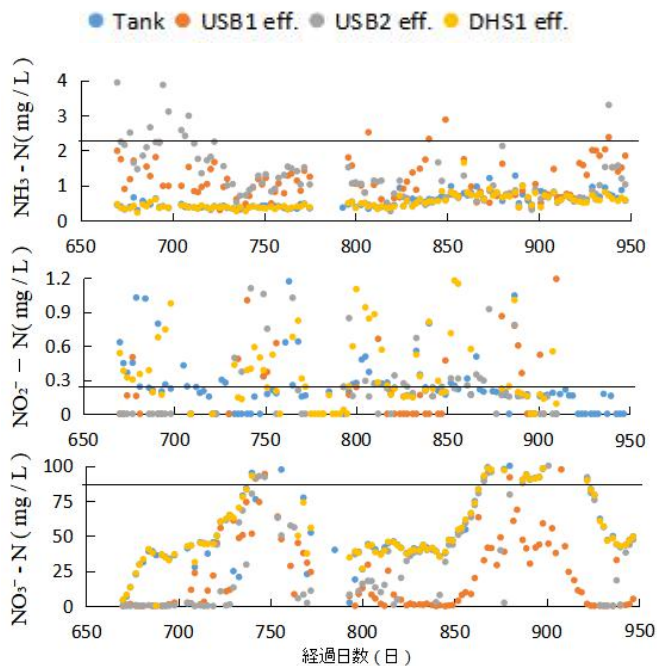


図 2.  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  測定結果

### 3. 結果と考察

$\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  の測定結果を図 2. に示す。飼育水槽の  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$  はそれぞれ  $0.6 \pm 0.2 \text{ mg/L}$ ,  $0.3 \pm 0.4 \text{ mg/L}$ ,  $63.5 \pm 32.5 \text{ mg/L}$  であり、目標値を満たした。DHS1 eff. では  $\text{NO}_3\text{-N}$  の蓄積が確認され、USB1 eff. 及び USB2 eff. では  $\text{NO}_3\text{-N}$  の除去が確認された。しかし、Day 750, Day 900 付近において  $\text{NO}_3\text{-N}$  は基準値を超えた。Day 750 付近では、炭素源がうまく供給されていなかったことが確認されており、Day 900 付近では、汚泥の流出による汚泥の不足が確認された。これらはそれぞれポンプの修繕と汚泥の追加によって回復した。したがって、塩分濃度を低下させた条件においても、本システムは十分な窒素除去性能を有していた。

Day 1 ~ Day 947 における、クエの平均全長と平均体重推移を図 3. , 各飼育条件における日間増重速度を図 4. にそれぞれ示す。塩分濃度 15~17 ‰, 水量 5000 L での飼育において日間増重速度は最大となった。また、塩分濃度の低下による斃死は確認されなかった。したがって、塩分濃度 15~17 ‰での飼育はクエの生存に影響を与えず、成長を促進させる可能性が示唆された。

### 4. まとめ

塩分濃度 15~17 ‰ において DHS - USB システムは十分な窒素除去性能を有し、塩分濃度の低下による障害は確認されなかった。また、塩分濃度 15 ~

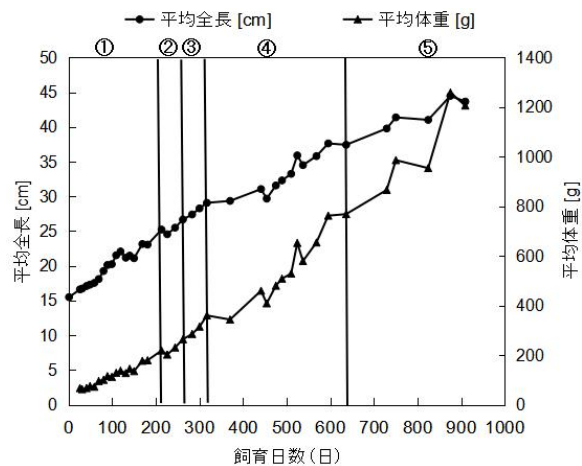
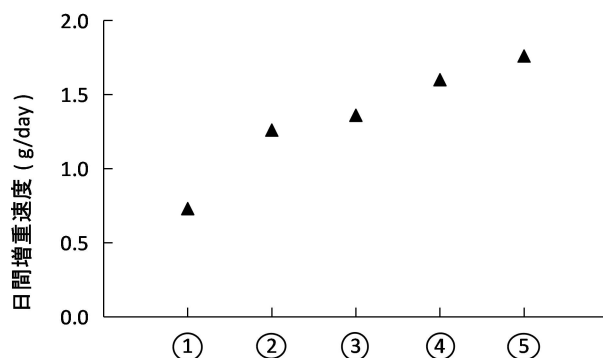


図 3. 平均全長及び体重推移



- ①: 塩分濃度35 ‰, 水量5000 L. ②: 塩分濃度35 ‰, 水量2000 L.
- ③: 塩分濃度21~26 ‰, 水量2000 L. ④: 塩分濃度15~17 ‰, 水量2000 L.
- ⑤: 塩分濃度15~17 ‰, 水量5000 L.

図 4. 日間増重速度

17 ‰での飼育において、クエの斃死はみられず、クエの成長を促進させる可能性が示唆された。

### 参考文献

- 1) 金子豊二 魚類のイオン・浸透圧調節に関する機能形態学的研究, 日本水産学会誌, 72 巻, 4 号, p. 632 - 635, (2005)
- 2) 片山貴士ら 閉鎖循環システムを用いた低塩分条件下でのトラフグ量産飼育, 水産技術, 5 巻, 2 号, p. 165 - 169, (2013)
- 3) Inoue.N Developmental changes in low-salinity tolerance in larvae and juveniles of longtooth grouper, *Epinephelus bruneus*, *Aquaculture Science*, Volume 64, Issue 4, p. 403-405, (2016)
- 4) T.Watari et al. Application of down-flow hanging sponge - Upflow sludge blanket system for nitrogen removal in *Epinephelus bruneus* closed recirculating aquaculture system, *Aquaculture*, Volume 532, Article 735997, (2020)
- 5) MB Timmons et al Recirculating aquaculture systems, 2nd ed., *Cayuga Aqua Ventures*, Ithaca, 769, (2002)