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

長岡技大学・院　学生会員 ○濵浦裕晃、 非会員　Nur Adlin、 非会員 Kotcharoen Wilasinee
正会員　渡利高大、正会員　幡本将史、正会員　山口隆司　金沢大学 非会員 竹内裕

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は，海水の約 3 分の 1 程度であり(1)，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．そこで，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(2)．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(3)．

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によるクエの閉鎖循環式陸上養殖を行ってきた(4)．本研究ではクエの閉鎖循環式陸上養殖において，塩分濃度を 15~17‰ (海水の塩分濃度の 50 %程度) とし，塩分濃度変化による DHS-USB システムの窒素除去性能の評価及び，クエの成長に与える影響を評価した．本研究の目標水質は，pH 6.5 ~ 8.5，溶存酸素 DO > 5 mg/L，NH_3^+-N < 2.3 mg/L, NO_2^--N < 0.3 mg/L, NO_3^- -N < 90 mg/L とした(5)．

2．実験方法

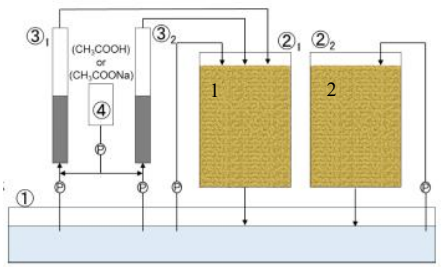
実験に使用した閉鎖循環式養殖システムの概略図を**図 1**. に示す．養殖水槽の水量は魚体密度による成長の影響を観察するため，2000L, 5000L とし，飼育水は人工海水 マリンアート，(富田製薬) を使用して，塩分濃度を 15~17 ‰ (50%海水) に調製した．DHS リアクターは容積約 400 L の槽にスポンジ担体 (DHS G3: φ33 mm×33 mm) を約 7,100 個 (スポンジ容積: 約 200 L) 充填したものを 2 槽設置した．USB リアクターは容積約 40 L の槽に脱窒グラニュールを約 20L 充填した．本実験において，DHS1, DHS2 の流量 はそれぞれ 6000 L/h に設定し，処理水は水槽内に返送した．USB1, USB2 の流量は，20.8 L/h 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℃とした．

飼育魚であるクエ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．平均体重を用いて，日間増重速度を算出した．

分析用サンプル水のサンプリングは給餌の前に飼育水，USB 1,2 流出水，DHS1 流出水を採取した．NH_3-N (Nessler 法)の分析は HACH 多目的水質分析計 DR2000 を用いた．NO_2^-N 及び NO_3^-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．

塩分濃度(‰)		NH_3 - N	NO_2 - N	NO_3 - N
	Target	< 2.3 mg/L	< 0.3 mg/L	< 90 mg/L
30	Tank	0.32 ± 0.13	0.16 ± 0.23	26.31 ± 13.11
	USB1.eff	2.62 ± 2.72	0.80 ± 3.74	3.20 ± 9.87
	USB2.eff	1.72 ± 1.66	0.51 ± 1.84	4.95 ± 12.15
	DHS1.eff	0.21 ± 0.18	0.12 ± 0.42	23.41 ± 15.92
22.5	Tank	0.57 ± 0.32	0.58 ± 2.48	62.02 ± 59.53
	USB1.eff	1.46 ± 1.38	3.17 ± 4.93	42.32 ± 60.19
	USB2.eff	1.63 ± 1.57	3.33 ± 5.32	37.27 ± 61.87
	DHS1.eff	0.50 ± 0.32	0.57 ± 2.46	60.51 ± 61.35
15	Tank	0.64 ± 0.23	0.38 ± 0.58	58.77 ± 36.28
	USB1.eff	2.07 ± 3.27	5.99 ± 10.64	21.36 ± 31.84
	USB2.eff	2.81 ± 4.07	2.35 ± 6.42	31.44 ± 39.50
	DHS1.eff	0.61 ± 0.23	0.37 ± 0.58	59.45 ± 35.73

表 1．各塩分条件下での NH_3-N，NO_2^--N，NO_3^--N 濃度



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

キーワード　クエ，閉鎖循環式養殖，DHS-USB，生物学的窒素除去
連絡先　〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1　長岡技術科学大学　mail: s183275@stn.nagaokaut.ac.jp

© Japan Society of Civil Engineers

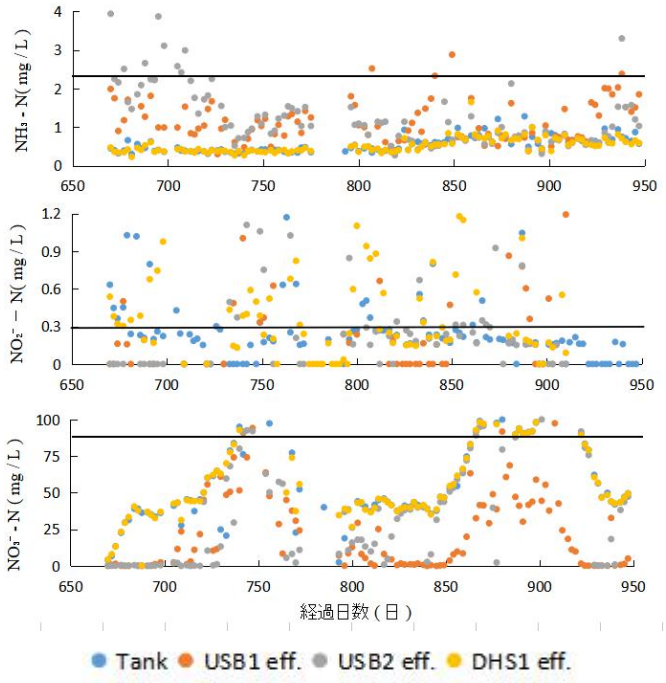
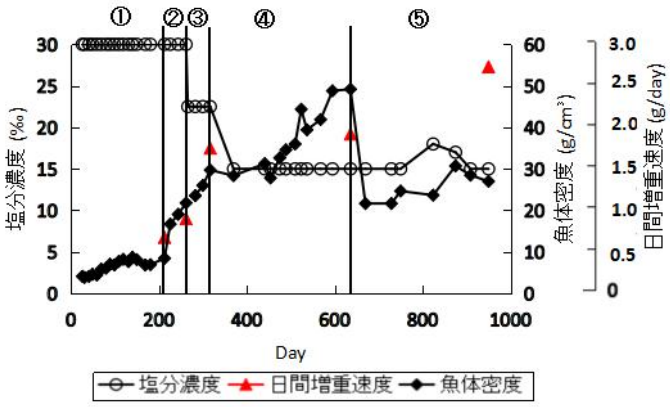


図 2. NH_3–N, NO_2^-–N, NO_3^-–N 測定結果

3. 結果と考察

各塩分条件下での NH_3-N, NO_2^--N, NO_3^--N 濃度の測定結果を**表 1.**，塩分濃度 15‰，水量 5000 L における NH_3-N, NO_2^--N, NO_3^--N 濃度の推移を**図 2.** にそれぞれ示す．**表 1.** より，水槽内の NH_3-N, NO_3^--N はすべての塩分条件下で目標値を満たした．また, DHS1 eff. では NO_3^--N の蓄積が確認され, USB1 eff. 及び USB2 eff. では NO_3^--N の除去が確認された.しかし, Day 750, Day 900 付近において NO_3^--N が目標値を超えた（**図 2.**）. Day 750 付近では，炭素源供給ポンプがうまく作動しておらず，炭素源供給が不十分であったことが確認されており, Day 900 付近では，汚泥流出による脱窒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脱窒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 の各飼育条件における体重増重速度を**図 4.** に示す．塩分濃度 15‰，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．したがって塩分濃度の低下はクエの成長速度上昇に影響する可能性が示された．また，クエの日間増重速度は魚体密度が増加した期間④で低減する傾向が確認され，魚体密度が減少した期間⑤で増加する傾向が確認された．したがって，魚体密度は高すぎるとクエの成長速度を停滞させる可能性が示された．塩分濃度の低下によるクエの斃死は確認されなかったことから，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．



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22.5 ‰, 水量2000 L. ④: 塩分濃度15 ‰, 水量2000 L. ⑤: 塩分濃度15 ‰, 水量5000 L.

図 4. 体重増重速度

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た．低塩分条件下でのクエの飼育は，クエの成長速度上昇に起因している可能性が示され,高い魚体密度はクエの成長速度上昇を阻害する可能性が示された．

塩分濃度 15~17‰ での飼育においてクエの斃死はみられなかった．したがってクエは塩分濃度 15~17‰の低塩分条件下でも生存可能であった．

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 inlarvae and juveniles of longtooth grouper, Epinephelus bruneus, *aquiculture science*, Volume 64, Issue4, p. 403-405, (2016)

4) 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, *Cayuga Aqua Ventures*, Ithaca, 769, (2002)

© Japan Society of Civil Engineers