

B-36 閉鎖循環式養殖システムにおけるクルマエビの飼育

宮崎大学院工学研究科土木環境工学専攻

○竹嶋剛

宮崎大学工学部

鈴木祥広

同上

丸山俊朗

宮崎大学農学部

伊丹利明

1. はじめに

我が国は大量の魚介類資源を輸入に依存しており、特に東南アジアにその生産を大きく依存している。しかしながら、その輸出元諸国において、養殖場環境の悪化が深刻化しつつあり、特に、エビ養殖による養殖場造成と汚濁負荷による沿岸環境の劣化は著しいとされている。現行の養殖業は、食料・タンパク源を供給する重要な産業である一方、環境への汚濁負荷源として最も危惧される産業の一つに挙げられている。養殖業は21世紀の食料・タンパク源の生産を担う最も重要な産業の一つに位置付けられるのであるから、その持続可能な継続・発展を図るには、「ゼロエミッション」の概念を導入した新たな産業システムへと早急に転換しなければならない段階にきている。ゼロエミッション型養殖で最も理想的な養殖法は排水を伴わない閉鎖循環式養殖法である。

著者らは、泡沫分離、硝化および脱窒のプロセスからなる閉鎖循環式魚類飼育システムを研究・開発してきた。すでに、ヒラメ¹⁾とウナギ²⁾を対象魚種とし、本システムを用いて完全閉鎖式かつ無投薬の条件で数ヶ月間に渡る飼育を達成した。

そこで本研究では、国内外において最も需要の高いクルマエビについて、ゼロエミッションを目指した閉鎖循環式システムを構築し、クルマエビの無投薬における飼育の可能性と環境への負荷削減効果を明らかにすることを目的とした。

2. システム、材料、および方法

2.1 システムの構成と管理

閉鎖循環式養殖システムを図-1に示す。本システムは、飼育水槽（水量 0.8 m^3 、水面積 1.2 m^2 ）、空気自給式エアレーター（200V、 0.2 kw ）を設置した気液接触槽（容量 0.25 m^3 ）、硝化槽（ 0.16 m^3 ）、および脱窒槽（ 0.21 m^3 ）からなり、全水量は 1.3 m^3 である。設置場所は、大学屋内研究施設内とした。気液接触槽には水温調整用のヒーター（100V、 1 kw ）とpH制御ポンプ、飼育水槽には水温制御装置を取り付けた。飼育水には砂濾過海水を用い、循環ポンプで飼育水を循環させ、1循環時間は16分（循環流量 66 L/min ）とした。飼育水は循環ポンプによって気液接触槽、硝化槽の順に通水され、処理水は再び飼育水槽に返送される。飼育水のpHは、pH自動制御装置（イワキ製、EH/W-PH）を用いて5%炭酸水素ナトリウム溶液（和光純薬製、特級）を滴下し、下限pHを7.5に設定した。水温は 27°C に設定した。脱窒プロセスを稼働させる場合には、飼育水と同時にメタノールを脱窒槽に注入した。脱窒処理した飼育水は気液接触槽に返送される。

クルマエビは昼夜の大半を潜砂して生育するため、飼育水槽の底部には砂を被覆しなければならない。そこで、砂被覆の可能なクルマエビ用の上向流式飼育水槽を製作し、飼育システムに導入し

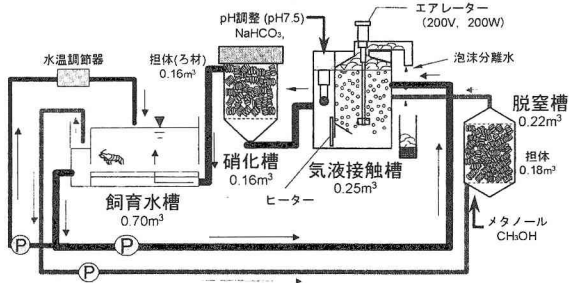


図-1 閉鎖循環式クルマエビ飼育システム。

た。クルマエビの実養殖場で使用されている天然砂は、摩耗等によって飼育水の濁水化が懸念されるため、無色のポリエステル樹脂ペレット（5mm × 5mm × 2mm，旭化成製）を飼育水槽の被覆用砂として用いた。

2. 2 飼育方法

本飼育試験では、クルマエビの種苗を購入（三井農林海洋産業株式会社）し、閉鎖循環式システムの飼育水槽に214尾（約1.5g/尾）を放養した。クルマエビは夜間に摂餌する習性を持っているため、放養総重量の約5%に相当する配合飼料（クルマエビ用，ヒガシマル製）を夕刻に一日一回給餌した。給餌は毎日行い翌朝に残餌と脱皮後の抜け殻を回収し、窒素収支を得るため、それぞれの乾重量を測定した。給餌量は、前日の摂餌量と残餌量から可能な限り残餌がないように調整した。飼育期間は75日間とした。

2. 3 分析方法

水質分析に供する飼育水は、2～3日毎に午前10時に飼育水槽から250mL容ポリビンに採水し、直ちに分析する試料と冷凍保存（-20℃）する試料に分けた。気液接触槽から排除される泡沫分離水については、飼育水採水時にすべてを回収し、その都度、水量を測定してから分取し、冷凍保存した。分析項目と分析方法は次の通りである。溶存酸素（以降DOとする）（ウィンクラー・アジ化ナトリウム変法），全有機炭素（以降TOCとする）（燃焼赤外線分析法，島津製作所製 TOC-5000型），色度（390nm吸光度法，島津製作所製 UV-2200型），260nmの吸光度（以降E260nmとする）（島津製作所製 UV-2200型），NH₄-N（ネスラー法，HACH製 DR-2000型），NO₃-N（カドミウム還元法，HACH製 DR-2000型），亜硝酸態窒素（以降NO₂-Nとする）（ジアゾ化法，HACH製 DR-2000型），T-N（アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解—紫外外部吸光光度法），リン酸態リン（以降PO₄-Pとする）（アミノ酸法，HACH製，DR-2000型），T-P（ペルオキシ二硫酸カリウム分解法），濁度（積分球式光度法，三菱化学製 SEP-PT-706D型）。

3. 結果と考察

3. 1 生育状況

放養したクルマエビは順化期間の放養直後から6日間して放養尾数の約80%に相当する個体が死亡した（生存尾数43尾）。死亡原因は不明であるが、種苗の運搬過程における負荷，飼育水槽単位面積当たりにおける放養尾数の過剰，あるいは樹脂ペレット砂の潜砂への影響等が考えられる。しかしながら，順化期間に生存した個体を用いた飼育試験においては，死亡個体数が著しく減少し，生存率は約93%と極めて高かった（図-2）。この間の死亡の主な原因は，飼育水槽外への逸脱であった。飼育水槽内の個体は飼育日数の経過と共に成長し，平均体重は，放養初期の1.52g-wetから75日目の飼育終了時には5.57g-wetに増加した（図-3）。このことから，本システムは，入手した種苗を効率的に飼育水槽に放養・順化させる飼育・管理技術についての検討が必要であるが，閉鎖循環式の条件において，クルマエビの飼育が長期間に渡って可能であることが明らかとなった。

本システムにおける，稚エビの放養技術，適切な飼育密度および最大生産量については，今後の重要な検討課

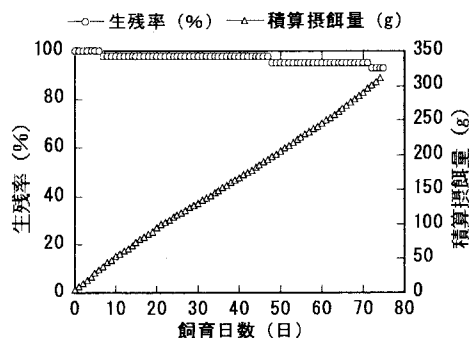


図-2 クルマエビの生存率と摂餌量。

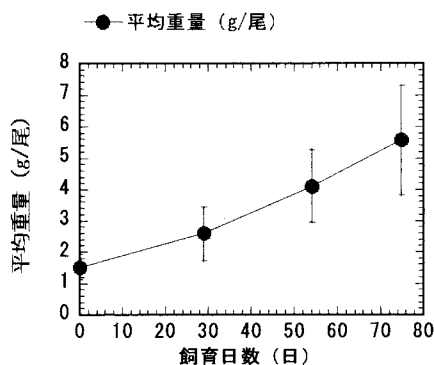


図-3 クルマエビの平均個体重量。（n:20）

題である。

3. 2 飼育水水質

飼育水のDO濃度は6.5～7.0mg-O₂/Lの範囲で推移し平均6.65mg-O₂/L (n=21)であった。酸素飽和度でみると平均101% (n=11)に維持されており、このシステムは気液接触槽以外には酸素は供給していないが飼育水のDOをほぼ飽和濃度に維持していると言える。

飼育水の各態窒素濃度を図-4に示した。魚毒性の強いNH₄-NとNO₂-Nは硝化槽で酸化され、飼育水のNH₄-Nは平均0.13mg-N/L、NO₂-Nは平均0.007mg-N/Lであった。本システムの硝化プロセスは極めて良好に機能したことが明らかである。一方、硝化反応で生じるNO₃-Nは、脱窒プロセスを稼働させる以前の61日目までは飼育水に蓄積し、16.1mg-N/Lに達したが、脱窒プロセス稼働後すなわちメタノールの脱窒槽への注入開始後から数日後には減少し始め、10mg-N/L以下となって、なお低下傾向を示している。

3. 3 泡沫分離水

泡沫分離水の1日当たりに発生した泡沫分離水量は平均492ml (n=32)となった。濁度は平均49.2度であり、飼育水(平均0.54度)の約100倍よりも高い値が検出され、濁質が泡沫とともに飼育水から除去されたことがわかった。

3. 4 物質収支

飼育試験終了における窒素(N)の収支を図-5に示し

た。総積算摂餌量(339.6g-dry)中のNの総量を100%として示した。配合飼料のN含有率は、10.3%であった。クルマエビへのN同化量は、総増重量(現存量-放養した量)とエビのN含有率(7.7%)から求めた。Nは35.7%がクルマエビの体となり25.5%が飼育水に蓄積し、4.0%が泡沫分離で除去され、11.4%が硝化槽に沈殿物として蓄積した。成育過程で脱皮した抜け殻のNは0.9%に相当した。残りの21.1%は脱窒作用により窒素ガスとしてシステム外に放出されたと考えられる。よって、負荷削減効果として、クルマエビの同化を除く64.3%が処理すべき窒素であり、その32.8%が脱窒によって除去されたことになる。

4. まとめ

(1) 飼育75日間を通して、飼育水質では、各プロセスの機能により、三態窒素および、濁度は蓄積せずに低濃度で維持できた。

(2) 順化後、生存率は約93%と極めて高く維持できた。

以上のことより、本システムにおける、稚エビの放養技術、適切な飼育密度および最大生産量については今後の重要な検討課題であるが、ゼロエミッション型養殖システムの開発は十分可能であると考えられる。

参考文献

- 1) 丸山俊朗, 鈴木祥広, 佐藤大輔, 神田猛, 道下保 (1999) 泡沫分離・硝化システムによるヒラメの閉鎖循環式高密度飼育, 日本水産学会誌, 65, 818-825.
- 2) 鈴木祥広, 丸山俊朗, 竹本進, 小野リサ (1999) 泡沫分離・硝化脱窒システムによるウナギの閉鎖循環式高密度飼育, 水環境学会誌, 22, 896-903.

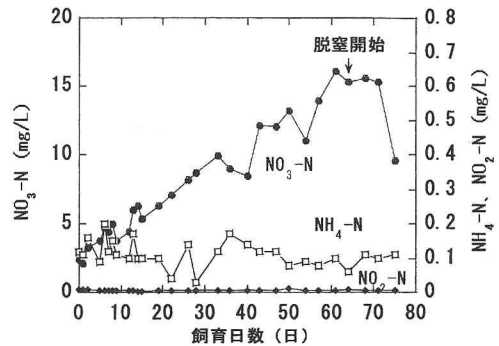


図-4 飼育水の各態窒素濃度の変化。

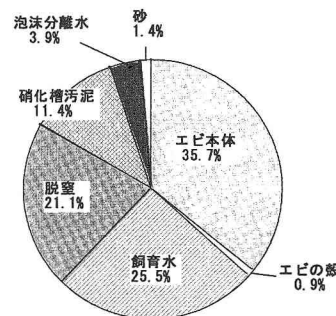


図-5 飼育試験終了における窒素の収支。
(総積算摂餌量 100%)