

単槽型硝化-脱窒と海藻生産を併用した海水魚の循環型養殖システムの開発

呉工業高等専門学校 正会員 ○谷川 大輔
呉工業高等専門学校 正会員 木村 善一郎
宇部工業高等専門学校 非会員 野本 直樹
松江工業高等専門学校 正会員 山口 剛士

1. はじめに

養殖 (Aquaculture) と水耕栽培 (Hydroponic) を融合させたアクアポニックス (Aquaponics) は、資源循環型の食糧生産システムとして注目を集めている。同システムは、魚の排泄物由来のアンモニアを微生物反応に硝酸に酸化させることで毒性を低減させ、生成した硝酸を植物が栄養として利用することで、養殖システム内の窒素除去をおこなう仕組みとなっている。これは、従来の循環型硝化-脱窒法と比較して、窒素除去に必要なアルカリ剤や炭素源などの薬品添加コストを削減可能であると共に、生産された植物から収益が得られることから、循環型養殖システムにとって非常にメリットの大きいシステムとなっている。

一方、海水魚を養殖対象とした場合、海水で生育可能な植物種が限られており、適用が困難であるという課題も抱えている。また、植物による窒素吸収は成長段階などによって変動し、窒素除去における律速段階になり易いため、硝化-脱窒法などの生物学的窒素除去法を併用した方が望ましいと考えられる。

そこで、本研究では、単槽での硝化-脱窒能が確認されている下降流懸垂型スポンジ (Down-flow Hanging Sponge: DHS) リアクターと、海藻による窒素吸収を組み合わせた海水魚の循環型養殖システムの開発を試みた。

2. 実験方法

図 1 に本研究で用いた循環型養殖システムの概略図を示す。本システムは、水槽 (80 L)、海藻生産槽 (20 L) および DHS リアクター (1.5 L) により構成された。水槽の水は水中ポンプにより海藻生産槽へポンプアップされ、DHS リアクターを自然

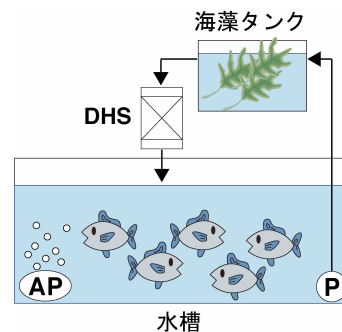


図 1 循環型養殖システムの概略図

流下させることで水槽内へ循環させた。海水魚および海水としては、ハゼ (*Acanthogobius flavimanus*) およびミル (*Lateolabrax japonicus*) を用いた。また、運転 90 日目に海藻生産槽中の壁面に発生する藻類の除去を目的に、つぶ貝 (*Bolinus brandis*) を投入した。

水槽内に亜硝酸および硝酸が蓄積し、pH が低下した運転 48 日、104 日および 168 日目にのみ、DHS 内での脱窒反応を促進させるため、100 gCOD/L の酢酸ナトリウム溶液 100 mL を DHS へ添加した。本システムは常温 (9~18℃) で運転をおこない、蒸発による減少分の海藻を適宜添加し、水槽内の水の入れ換えはおこなわなかった。

3. 実験結果および考察

図 3 に水槽内のアンモニア、亜硝酸、および硝酸態窒素濃度の経日変化を示す。運転開始 21 日目まではアンモニアが水槽内に蓄積し、その後アンモニアの減少に伴って亜硝酸が急激に蓄積していることが確認された。運転 55 日目以降からは、アンモニアおよび亜硝酸の蓄積は確認されなかった。本システムは常温で運転しており、実験開始時期が 10 月中旬であったことから、アンモニア酸化菌および亜硝酸酸化細菌の増殖に 2 ヶ月程度要したことが

キーワード アクアポニックス, DHS リアクター, 単槽型硝化-脱窒, 海藻生産, 循環型養殖

連絡先 〒737-8506 広島県呉市阿賀南 2-2-11 呉工業高等専門学校 環境都市工学分野

TEL 0823-73-8955

考えられた。一方、水温が 10℃を下回る環境においてもアンモニアおよび亜硝酸濃度が低く維持されていたことから、低温環境においても硝化菌が DHS 内で十分な活性を保持していたことが示唆された。また、酢酸添加をおこなった運転 48 日および 104 日目以降に硝酸および亜硝酸が減少していることから、DHS 内に脱窒菌も存在していることが推察された。また、次世代シーケンサーによる DHS 保持汚泥の解析もおこなったところ、硝化菌および脱窒菌の存在も確認された。

表 1 に運転 55 日目以降の水槽内の水質を示す。水槽内の pH および溶存酸素（Dissolved Oxygen: DO）濃度は、水産用水質基準である 7.8～8.4 および 6 mg/L 以上を概ね満たしていた。一方、硝酸、亜硝酸およびアンモニア態窒素の水産用水質基準はそれぞれ、7 mgN/L 以下、0.06 mgN/L 以下および 0.03 mgN/L 以下であり、水槽内の水質は基準値を 10 倍以上上回っていた。しかしながら、全運転期間において、ハゼの死亡は確認されていないことから、ハゼの生育は可能な環境が維持されていたことが考えられた。亜硝酸およびアンモニアについては DHS 内での硝化反応が、硝酸については海藻による窒素吸収が律速段階となっていることが考えられたため、水槽の加温や炭素源の連続供給による DHS 内での脱窒反応の促進などによる窒素除去性能の向上が必要であることが示唆された。また、水槽内の亜硝酸およびアンモニア態窒素濃度がほぼ同程度であることから、アナモックス反応による窒素除去の可能性も推察された。

図 3 に累積海藻生産量の経日変化を示す。海藻生産量は、海藻重量の増加分を示している。海藻生産槽中の海藻重量は直線的に増加し、運転 97 日目までの海藻生産速度は 4.9 g-湿潤重量/日であった。したがって、魚の排泄物由来の窒素分の一部を海藻が利用していることが示唆された。また、海藻生産槽壁面に増殖した藻類は、投入したつづ貝により消費されており、海藻生産槽における日光の供給阻害を防止すると共に、追加の食糧生産が可能となることが確認された。一方、運転 116 日目に、海藻による窒素吸収量を増加させるため、海藻生産槽へ海藻を追加植種したが、海藻生産速度の向上は確認されなかった。

4. まとめ

DHS リアクターと海藻による窒素吸収を組み合わせた循環型養殖システムによる海水魚の飼育をおこなったところ、水槽内の水を入れ換ええない条件にて 160 日間死滅なしで海水魚の連続飼育が可能であった。一方で、水槽内の水質は水産用水質基準を満たしておらず、同システムの窒素除去性能の向上が課題として挙げられた。また、DHS 内では硝化-脱窒反応だけでなく、アナモックス反応を担う微生物も窒素除去に寄与していることが示唆された。

謝辞：本研究は「高専機構第 4 ブロック内共同研究助成」の支援を受けて実施されました。

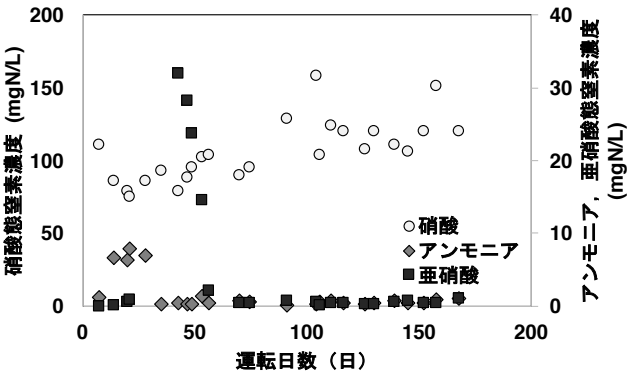


図 2 水槽内のアンモニア、亜硝酸および硝酸態窒素濃度の経日変化

表 1 運転 55 日目以降の水槽内の水質

項目	単位	濃度
pH	-	7.80±0.22
DO	mg/L	8.34±1.21
硝酸態窒素	mgN/L	117±19
亜硝酸態窒素	mgN/L	0.62±0.47
アンモニア態窒素	mgN/L	0.54±0.25

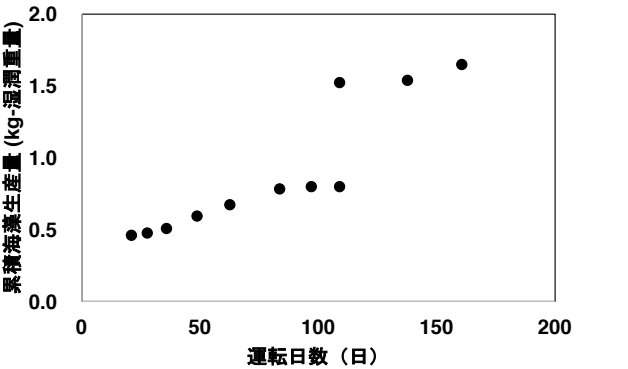


図 3 累積海藻生産量の経日変化