

低濃度・低HRT流入による海洋性 Anammox 細菌培養系の窒素除去速度の向上

熊本大学工学部 学生会員 相見康将
非会員 山城建人
正会員 浦田康平
熊本大学大学院 非会員 韋 巧艶
熊本大学大学院 正会員 川越保徳

1. はじめに

Anammox（嫌気性アンモニウム酸化）細菌は、アンモニウムイオン（ NH_4^+ ）と亜硝酸イオン（ NO_2^- ）をそれぞれ電子供与体、電子受容体としてエネルギーを獲得し、増殖に有機炭素源を必要としない独立栄養細菌である。Anammox 細菌は NO_2^- と NH_4^+ を直接窒素ガスに変換できるため、従来の硝化脱窒法よりも省エネルギーで低コストな窒素除去技術への応用が期待されている。

現在、淡水環境試料を植種源として培養された Anammox 細菌の培養系については実プラントの運用が開始される等、すでに多くの知見が蓄積されつつあるが、主に海洋環境など高い塩分濃度を含む水環境中に生息する海洋性 Anammox 細菌に関する知見についてはいまだ乏しい。現在、我々の研究室では、海洋性 Anammox 細菌の高濃度集積培養系を迅速に立ち上げ、窒素除去速度の向上を図るべく種々の検討を行っている。Anammox 細菌培養系による窒素除去能は、Anammox バイオマスの濃度(量)と細菌共生系および物理的集積形態に依存すると部分が大きいと考えられる。また、Anammox バイオマスの増量には、連続培養あるいは Feed & Draw 培養下で、窒素負荷量を段階的に引き上げる手法が一般的である。さらに、窒素負荷量の上昇にあたっては、流入窒素濃度を上げる方法と水理学的滞留時間（HRT: Hydraulic Retention Time）を短縮する方法があるが、高濃度の NO_2^- やアンモニア（ NH_3 ）は、Anammox 細菌および他細菌の増殖を阻害する可能性が報告されている。そこで本研究では、流入窒素濃度を比較的低濃度で維持した上で HRT を短縮して窒素負荷速度を増加し、海洋性 Anammox 細菌の集積培養系を構築するべく検討を行った。

2. 実験方法

2.1 海洋性 Anammox 培養槽と植種源および培養方法

本研究では、図-1 に示す容量 120 mL のアクリル樹脂

製のリアクタを用いた。また、培地には表-1 に示す海洋性 Anammox 細菌用人工海水培地を用いた。植種源には、海面埋立型処分場底泥由来の海洋性 Anammox バイオマスを約 3g（湿重量）使用し、バイオマス付着担体としての不織布表面に塗布した後、培養槽に投入した。植種後の培養槽は窒素ガスにて 10 分間曝気し、嫌気状態とした上で、25 °C に維持された恒温槽内に設置した。培地は送液ポンプにて槽内に連続的に流入した。

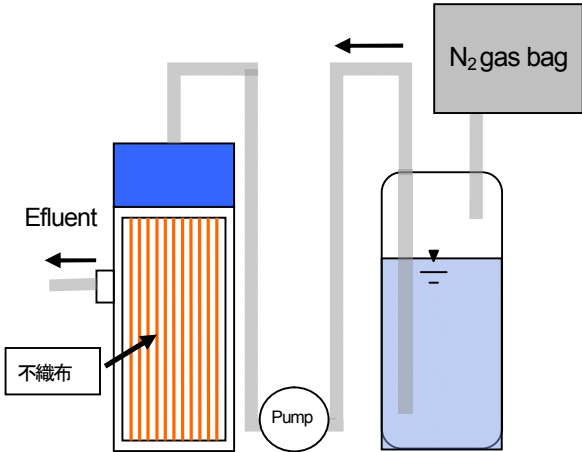


図-1 海洋性 Anammox 細菌培養槽

表-1 人工海水培地組成

NaCl	30 g/L	KCl	700 mg/L
MgSO ₄ ・7H ₂ O	5 g/L	NaBr	100 mg/L
MgCl ₂ ・6H ₂ O	6 g/L	H ₂ BO ₃	20 mg/L
CaCl ₂ ・2H ₂ O	1 g/L	NaF	2 mg/L
SrCl ₂ ・6H ₂ O	20 mg/L	KI	0.08 mg/L
KHCO ₃	0.5 mg/L	K ₂ PO ₄	54 mg/L
MicroNutrient ¹⁾	1 ml/L	EDTA	0.5 ml/L

2.2 HRT の短縮による窒素除去速度の向上

流入水(培地)中の NO_2^- および NH_4^+ の初期濃度は各々 40 mg-N/L, 30 mg-N/L, HRT を 12 h に設定して実験を開始した。定期的に流入および流出水中の NO_2^- と NH_4^+ 濃度、および流出水中の NO_3^- 濃度を測定して Anammox 反応による窒素除去能を確認し、概ね 80 %程度の窒素

除去能が安定して得られた時点で、窒素濃度を段階的に上昇させた。その後、流入水中 NO_2^- と NH_4^+ 濃度が 120 mg-N/L および 90 mg-N/L の条件下で安定した窒素除去能を確認した上で窒素濃度を固定し、HRT を段階的に減少させることで窒素負荷量を上昇させ、窒素除去能の推移をみた。

2.3 分析方法

NO_2^- 、 NH_4^+ 、および NO_3^- の濃度は比色定量法¹⁾にて測定した。また、窒素負荷速度 (NLR: Nitrogen Loading Rate) と窒素除去速度 (NRR: Nitrogen Removal Rate) は一日当たりの速度 (g-N/L/day) として計算し、窒素除去率 (NRE: Nitrogen Removal Efficiency) は総窒素除去速度を流入総窒素濃度で除することにより求めた。

3. 結果・考察

3.1 培養系の立ち上げと窒素濃度の増加による窒素負荷速度の上昇と窒素除去速度との関係

図-2 に、培養開始時から流入水中窒素濃度を上昇させている段階での NLR と NRR との関係を示す。図-2 から明らかなように、HRT が 12 h で、 NO_2^- 濃度 : 40~120 mg-N/L、 NH_4^+ 濃度 : 30~90 mg-N/L の条件下では、概ね 80 % 以上の良好な窒素除去能が安定して得られており、NLR: 0.42 g-N/L/day で NRR: 0.37 g-N/L/day、NRE: 90 % の窒素除去速度および窒素除去率は比較的容易に達成可能であることが示された。この結果については我々のこれまでの研究においても同様の傾向が観察されており、再現性が確認された。また、本結果は、この程度の窒素濃度レベルは海洋性 Anammox 培養系の窒素除去能には殆ど影響せず、Anammox バイオマスの増殖への影響も小さいことを示すものと考えられる。

3.2 HRT の短縮による窒素負荷速度の上昇と窒素除去速度との関係

流入水中窒素濃度の上昇による窒素除去速度の向上が迅速に達成できたため、HRT を 12 h から 5.6 h に短縮した。その結果、HRT を短縮した直後の 2、3 日は概ね良好な窒素除去率 (約 77 %) が得られたものの、その後減少し、約 70 % 程度にまで低下した (data not shown)。これについては、あまりに急激な窒素負荷をかけたために海洋性 Anammox バイオマスの増殖が追いつかず、窒素除去能の低下を引き起こしたと考えられた。そこで、HRT を 12 h に戻し窒素除去能の回復を図った

上で再度 HRT の短縮を試みた。しかしながら窒素除去能が容易には回復しなかったため、一時的な流入水中窒素濃度の減少と HRT の増加を施したところ、概ね 1 ヶ月を要した後に回復がみられた。このような現象は、淡水性の Anammox 細菌培養系でも認められており、何かのきっかけで窒素除去能が低下すると、その回復には長期間を必要とする場合があるとされている。

現時点で、HRT 約 9 h の条件下で概ね良好な窒素除去能 (NLR: 0.56 g-N/L/day, NRR: 0.50 g-N/L/day, NRE: 90 %) が認められることから、引き続き HRT の短縮による窒素除去速度の向上と Anammox バイオマスの集積高濃度化を検討しているところである。

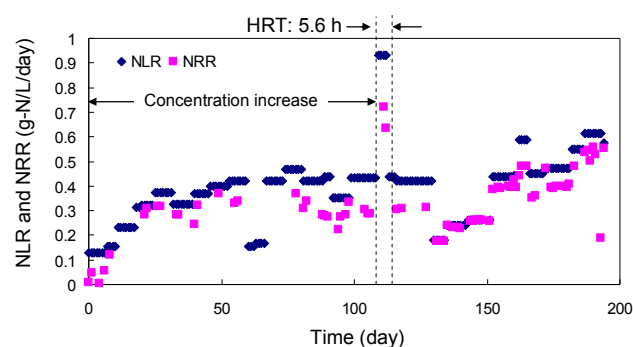


図-2 海洋性 Anammox 培養系での窒素濃度上昇による窒素負荷上昇時における NLR と NRR との関係

4. 結論

- (1) 流入水中窒素濃度を段階的に引き上げることに伴う窒素負荷上昇により、HRT: 12h、 NO_2^- 濃度 : 40~120 mg-N/L、 NH_4^+ 濃度 : 30~90 mg-N/L の条件下で、順調かつ良好な窒素除去率が得られ、NLR: 0.42 g-N/L/day にて NRR: 0.37 g-N/g/day の窒素除去能は速やかに達成できることが示された。
- (2) 流入水中窒素濃度が低く Anammox バイオマスへの影響が小さいと推定される場合でも、HRT の急激な短縮は窒素除去能の低下を引き起こし、回復には長期間を要する可能性が示された。
- (3) HRT: 9 h、NLR: 0.56 g-N/L/day の条件下で、NRE: 90 % の窒素除去率が得られており、引き続き HRT の短縮による窒素除去能の向上と海洋性 Anammox バイオマスの集積高濃度化を進める予定である。

引用文献

- 1) Kawagoshi, Y. et al, Water Sci. Technol., 61, pp.119-26 (2010)