

硝化型 DHS リアクターの循環回数による処理能力への影響の調査

長岡技術科学大学 学生会員 ○中野 遼太, 古川 斐人
正会員 阿部 憲一, 中村 明靖, 幡本 将史, 山口 隆司

1. はじめに

水生生物を飼育する水族博物館や水産養殖施設では、生物の生育環境である飼育水の水質管理が最も重要である。特に、排泄物や残餌から排出されるアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4^+\text{-N}$, NH_3 ; Total Ammonia Nitrogen (TAN)) や、硝化反応の中間生成物である亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2^-\text{-N}$) は低濃度でも魚体に対して毒性が強いため、速やかに除去される必要がある。また、硝化の最終反応物である硝酸態窒素 ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) も比較的毒性は低いものの、高濃度 ($> 30 \text{ mg-N/L}$) では魚の免疫系に悪影響を及ぼすことが知られている。我々はこれまでに、硝化型 Down-flow Hanging Sponge (DHS) リアクターと脱窒型 Up-flow Sludge Bed (USB) リアクターを組み合わせた水質維持管理システムを開発しており¹⁾、水族博物館 (排出 TAN 濃度 $1.5 \text{ mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$) での実証実験では、飼育水中の TAN, $\text{NO}_2^-\text{-N}$ は $0.1 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は $30 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下と目標値を達成し、十分な水質維持性能を有することが示された²⁾。本システムは省スペース (水槽容積の数%) で維持管理が容易 (逆洗浄不要) であるので、更なる適用範囲の拡大も期待できると考え、次なる標的を水産養殖施設に定めた。水産養殖での魚体密度は $0.5 \sim 25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、排出される TAN も $0.25 \sim 12.5 \text{ mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ と高く水族博物館と比べて最大で 10 倍以上にもなる^{3), 4)}。そこで本研究では、硝化性能の向上を図るために硝化型 DHS リアクターの循環回数による処理能力への影響を調査し、この新たな水質維持管理システムの水産養殖施設への適用可能性を評価した。

2. 実験方法と実験条件

図 1 に実験装置の概略、表 1 に実験条件を示す。実験装置は、水槽 60 L、硝化型 DHS リアクター (容積 : 0.6 L、スポンジ充填率 : 47%) で構成した。DHS リアクター内スポンジ (SFH-30) への植種汚泥は、砂ろ過槽内のサンゴ砂に付着した汚泥 (硝化細菌) を用いた。模擬飼育水は人工海水を用いた。同様な装置を 3 基用意し、それぞれの循環回数はこれまでの研究で行った実験と同様な $1 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ と比較するため、0.5, 1, 4 倍の $0.5, 1, 4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ (流量 : $30, 60, 240 \text{ L} \cdot \text{hr}^{-1}$) の 3 種で実験を行った。実験開始 0 日目から 46 日目では、窒素負荷 $1.5 \text{ mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ 、47 日目～75 日目では、窒素負荷 $3.0 \text{ mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ とし、それぞれ RUN1, 2 とした。窒素源は NH_4Cl を用いた。水温は、室温 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ で管理した。pH は、 NaOH および NaHCO_3 を用いて NH_4Cl 溶液の pH 調整を行い、魚体の正常な育成環境である $\text{pH } 8.0 \pm 0.3$ で調整した。塩分濃度は実海水と同程度の 3.5 ‰ とした。また、模擬飼育水の DO は魚体に影響のない $5.00 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以上を目標値とし、循環回数による DO への影響を調査した。

本システムの環境計測と水質分析のサンプリングは、水槽で直接行い、環境計測は、水温、DO、ORP、pH 及び塩分濃度を測定した。測定機器は、それぞれ、LDO 計 (HORIBA OM-51)、ORP 計 (HORIBA D-52)、pH 計 (TOA DKK HM-30R)、塩分濃度計 (ATAGO MASTER REFRACTO METER) を用いた。TAN はネスラー法により、多項目水質分析計 (HACH DR2000) を使用して測定した。さらに、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ は高速液体クロマトグラフィー (Simadzu 製、HPLC) を使用して測定した。

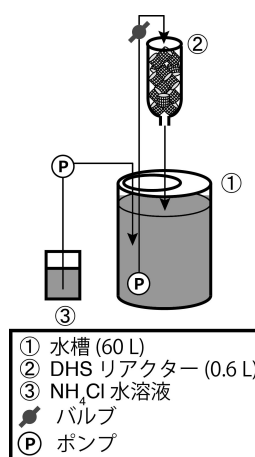


図 1. 実験装置概略

表 1. 実験条件

水槽容量 (L)	60
DHS リアクター容量 (L)	0.6
担体	SFH-30
担体充填率 (%)	47
植種汚泥	砂ろ過槽の硝化汚泥
室温 ($^\circ\text{C}$)	25 ± 1
DO ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	5.00 以上
pH (-)	8.0 ± 0.3
塩分濃度 (%)	3.4 ± 0.2

キーワード 水産養殖, 硝化 DHS, 循環回数

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 環境システム棟 5 階 TEL. 0258-47-1611 (内線 6646) E-mail : s113343@stn.nagaokaut.ac.jp

3. 実験結果および考察

3.1. 運転環境

全期間で室温は 24.3 ± 1.04 °C, 循環回数 $0.5, 1, 4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ で, 水温はそれぞれ $22.5 \pm 0.8, 24.1 \pm 0.8, 24.4 \pm 0.7$ °C, DO は $5.39 \pm 0.85, 5.62 \pm 0.54, 6.18 \pm 0.39 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, ORP は $240 \pm 22, 209 \pm 23, 200 \pm 33 \text{ mV}$, pH は $7.66 \pm 0.24, 7.68 \pm 0.27, 7.78 \pm 0.29$, 塩分濃度は $3.6 \pm 0.1, 3.5 \pm 0.1, 3.6 \pm 0.1$ %であった。本実験期間は冬期にあたり, 室温調節により水温管理をしたところ $0.5 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ では, 水温が $1, 4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ に比べ, 低い温度であったが, 硝化および魚体の飼育を想定した場合に, 概ね問題の無い範囲であると判断した。ORP は, 各装置ともに酸化的環境下を維持した。pH は, 硝化および NH_4Cl 添加での低下により, 魚体の正常な生育環境を維持出来ていなかった。塩分濃度は, 各装置で水の蒸発や NH_4Cl の添加により濃度変化が生じたが概ね問題の無い値であった。DO は, 循環回数が多いほど空気との接触回数が増加することから, 循環回数を多くすることに伴い増加する傾向を示した。

3.2. 硝化性能

図2に TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の経日変化を, 表2に装置安定時の平均値を示す。RUN1において, TAN 濃度は装置立ち上げ後1週間後の実験開始7日目から46日目の期間, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は $4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ の $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が安定しなかったため, 実験開始36日目から46日目の期間で平均値を算出した。RUN1では, 循環回数 $0.5, 1, 4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ で, TAN 濃度の平均値は, それぞれ $0.08 \pm 0.04, 0.07 \pm 0.02, 0.06 \pm 0.01 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の平均値は, $0.057 \pm 0.054, 0.027 \pm 0.032, 0.041 \pm 0.020 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の平均値は維持目標値以下であったが, $0.5 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ は TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が維持目標値を超えることがあった。また, TAN 濃度は循環回数が多いほど低濃度に維持された。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は $1 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ が最も低濃度に維持された。

次に, RUN2において, TAN 濃度は実験開始54日目から75日目の期間, $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は実験開始62日目から75日目の期間で平均値を算出した。RUN2でも, 循環回数 $0.5, 1, 4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ で, TAN 濃度の平均値は, それぞれ TAN 濃度は $0.10 \pm 0.07, 0.07 \pm 0.04, 0.05 \pm 0.03 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の平均値は $0.090 \pm 0.056, 0.064 \pm 0.050, 0.060 \pm 0.025 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の平均値は維持目標値以下であったが, 0.5 および $1 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ は TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度が維持目標値を超えることがあった。RUN1と同様に TAN 濃度は循環回数が多いほど低濃度に維持された。 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度も TAN 濃度と同様な傾向を示し $4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ が最も低濃度に維持された。循環回数を多くすることによって担体と水の接触回数が増加し, 硝化性能が向上したと考える。従って, 循環回数を多くすることで硝化能力の向上が可能であると示唆された。

4. まとめ

循環回数の増加は, DO 濃度の上昇を図ることが可能であり, 1 m^3 あたりの飼育魚体が水族博物館より多く酸素消費量の多い環境である水産養殖施設においても対応が可能になることが示唆された。また, NH_4Cl を $3.0 \text{ mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$ で添加し運転を行った RUN2において $1 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ では達成出来なかった TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度 $0.1 \text{ mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の維持目標値を, $4 \text{ turn} \cdot \text{hr}^{-1}$ で達成できたことから, 循環回数は硝化能力に影響し, 硝化能力の向上が可能であると示唆された。

今後, NH_4Cl 添加量を増加していき, 条件変更を行った時点での担体から得た汚泥サンプルをもとに, 循環回数の担体保持汚泥量への影響, およびアンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌の存在割合への影響を調査して行く。

参考文献

- 1) 浜口威真, 山口隆司, (他8名): 海洋生物飼育を対象とした循環型窒素除去システムの開発, 環境工学研究論文集, vol.47, 2010
- 2) 古川斐人, 山口隆司, (他5名): 海洋生物飼育水における新規補給水循環システムの水質維持性能評価, 土木学会関東支部技術研究発表会, 2014
- 3) 熊井 英水, 2000. 新装版 海産魚の養殖. 109-127.
- 4) 熊井 英水, 2005. 水産増養殖システム1 海水魚. 83-106.

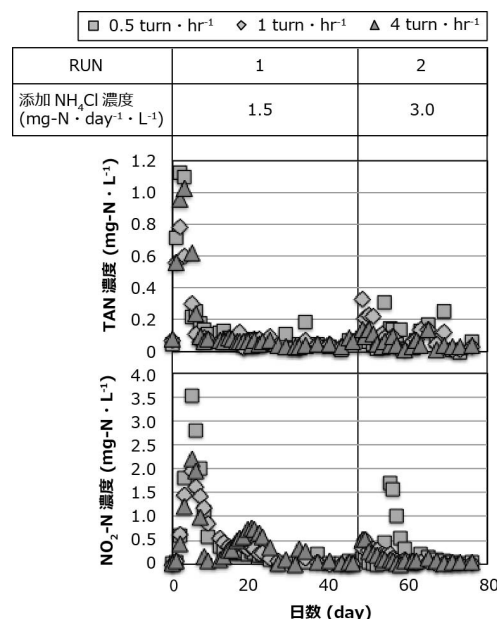


図2. TAN および $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度の経日変化

表2. 装置安定時の平均値 (括弧内は標準偏差)

NH_4Cl 添加量 ($\text{mg-N} \cdot \text{day}^{-1} \cdot \text{L}^{-1}$)		維持目標値	循環回数 ($\text{turn} \cdot \text{hr}^{-1}$)		
			0.5	1	4
1.5	TAN ($\text{mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.1 以下	0.08 (0.04)	0.07 (0.02)	0.06 (0.01)
	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\text{mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$)		0.057 (0.054)	0.027 (0.032)	0.041 (0.020)
3.0	TAN ($\text{mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$)	0.1 以下	0.10 (0.07)	0.07 (0.04)	0.05 (0.03)
	$\text{NO}_2\text{-N}$ ($\text{mg-N} \cdot \text{L}^{-1}$)		0.090 (0.056)	0.064 (0.050)	0.060 (0.025)