

H4-1

培養条件の異なる硝化細菌群の亜酸化窒素生成に及ぼす溶存酸素濃度の影響

Effect of Dissolved Oxygen Concentration on Nitrous Oxide Production of Nitrifying Bacteria with Different Cultivation Conditions

○菊池尉了¹, 吉田征史², 齋藤利晃²*Yasunori Kikuchi¹, Yukihiro Yoshida², Toshiaki Saito²

Abstract: Suppression of N₂O emission from wastewater treatment plant is urgent subject. The contribution of AOB to the production of N₂O in sewage treatment is considered to be large. However, N₂O discharge control has not been established. In this study, we tried quantitative evaluation by using two kinds of nitrified sludge cultured under different environmental conditions, investigating the influence of DO on N₂O formation by changing flow rate. As a result, two kinds of nitrified sludge cultured under different environmental conditions showed from N₂O conversion rate dependency on DO from N₂O conversion rate. From this, it was shown that DO control is effective as a measure to suppress N₂O production.

1. 研究背景および目的

近年,下水道事業において温室効果ガスの排出削減が急務の課題となっている。下水処理過程からの N₂O の排出量は,下水道から排出される温室効果ガスの約 11%を占めていることから,削減効果は大きいとされている。下水処理過程における主な N₂O 生産者はアンモニア酸化細菌(AOB)であるとされ, AOB による亜硝酸脱窒の寄与が大きいとされている。

この亜硝酸脱窒による N₂O 生成に及ぼす影響因子は,反応経路及び実験的検討により,亜硝酸(NO₂)および溶存酸素(DO)が影響因子であることが知られているが,適切な制御技術は確立されていない。これは, N₂O 生成に及ぼす NO₂⁻ や DO の影響について定量的な把握がされていないことが原因と考えられる。そこで本研究では,DO を対象とし, N₂O 生成に及ぼす DO の影響を定量的に把握することを試みた。本稿では,細菌叢の相違を考慮し異なる環境条件で培養した 2 種類の硝化汚泥を用い,曝気風量を変えて N₂O 生成に及ぼす DO の影響を調べ,その結果を数理モデルにて表現することで定量的な評価を試みた。

2. 実験方法

2.1 培養条件

実験には有効容積 10L の回分式反応槽 2 槽を用いて硝化汚泥の培養を行った。種汚泥には M 処理場の汚泥を用い,通常の下水処理を想定した条件で培養を行った A/N 系リアクター(以下,A/N 系),部分硝化を想定した条件で培養を行った A 系リアクター(以下,A 系)とし培養を行った(Table.1)。運転工程は,1 サイクル 6 時間,1 日 4 サイクル,流入 30 分,攪拌曝気 270 分,沈殿 30 分,排水 30 分で運転を行い,流入水としてアンモニア濃度 118mgN/L の無機栄養塩基質を与えた。

2.2 曝気風量を変更した DO の影響試験

次に N₂O 生成に及ぼす DO の影響を調べるため,実験では培養に用いた反応槽をそのまま使用し,曝気風量を変化させて N₂O の生成量を調べた。検討した曝気風量は,A/N 系については,通常時の曝気風量である 2.0L/min と 1.0L/min, 3.0L/min の条件を 2 回行い, A 系については,通常時の曝気風量である 0.5L/min と 2.0L/min, 4.1 L/min を行った後,目的の DO を得るため,汚泥濃度を半分にし 0.5L/min, 2.8L/min, 4.8L/min の条件を行い,各系 6 回の実験を行った。

Table 1. Operational conditions of Reactor A/N and A

	A/N	A
Aeration rate (L/min)	2.0	0.5
pH	6.8~7.2	7.9~8.5
Water temperature (°C)	25	35
HRT(hours)	12	12
Influent NH ₄ ⁻ (mgN/L)	118	118
MLSS (mg/L)	1100	1100
DO (mg/L)	0.7~0.9	0.2~0.5

3. 数理モデルの構築

DO が N₂O 生成に与える影響を評価するにあたり転換率モデルを用い, DO 及び亜硝酸が転換率に影響を及ぼすとしてモデル(式 1)を構築した。なお, N₂O 生成機構として亜硝酸脱窒を想定し,その阻害の大きさは DO の 2 乗で表現した。実験結果より,初めに亜硝酸阻害定数 K_{NO₂}を推定し式 2 に変形し,最大転換率 η_{max} 及び溶存酸素の阻害定数 K_{DO}の算出を行った。式 2 の左辺を補正転換率と定義して評価した。

$$\eta = \eta_{\max} \cdot \frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}} \cdot \frac{K_{DO}}{K_{DO} + (S_{DO})^2} \quad \dots \text{式 1}$$

1 : 日大理工・院(前)・土木 2 : 日大理工・教員・土木

$$\frac{\eta}{\frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}}} = \eta_{max} \cdot \frac{K_{DO}}{K_{DO} + (S_{DO})^2} \quad \dots \text{式2}$$

$$\text{※ } \eta' = \eta / \frac{S_{NO_2}}{K_{NO_2} + S_{NO_2}}$$

η : N₂O 転換率(%), η_{max} : 最大 N₂O 転換率(%),
 K_{DO} : DO の半飽和定数(mg/L), S_{DO} : DO(mg/L),
 η' : 式2の左辺の置き換え
 K_{NO₂} : 亜硝酸の半飽和定数(mgN/L), S_{NO₂} : 亜硝酸濃度(mgN/L)

4. 結果と考察

A/N 系の曝気風量を 1.0L/min, 2.0L/min, 3.0L/min に変えた計 6 回の実験結果より K_{NO₂} の算出を行った結果, 同じ汚泥であるにも拘わらず, 各 6 回の実験で異なる K_{NO₂} の値となった. K_{NO₂} は 4.8mgN/L から 7.7mgN/L の範囲であった. そこで, 各 K_{NO₂} 値の平均値 6.4mgN/L 用いて η_{max} 及び K_{DO} の算出を試みた(Fig.1). 結果, 若干のばらつきがあるが, 概ね直線性が得られ, η_{max} は 12%, K_{DO} は 0.56mg²/L² が得られた.

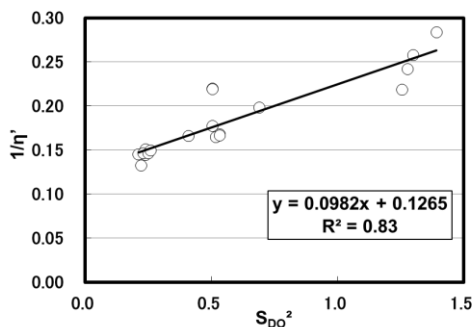


Fig.1 Calculation of η_{max} and K_{DO} (Reactor A/N)

次に A 系の曝気風量を変えた計 6 回の実験結果より K_{NO₂} の算出を行ったが, K_{NO₂} の値を求めることができず, 亜硝酸依存性が不明確であった. 加えて曝気風量 4.1 L/min, 4.8 L/min の条件のとき, 亜硝酸濃度が上昇している間 N₂O 濃度が低下する他と大きく異なる N₂O 生成の挙動が観察された. そこで解析では, 式 1 の亜硝酸の項を除外した式 3 を用い, 4.1 L/min, 4.8 L/min の条件を除き η_{max} 及び K_{DO} の算出を試みた(Fig.2). 結果, η_{max} は 18%, K_{DO} は 0.054mg²/L² が得られた.

A/N 系及び A 系で得られたモデル式を用いて, それぞれの汚泥に対する N₂O 転換率に及ぼす DO 依存性の評価を行った(Fig.3).

$$\eta = \eta_{max} \cdot \frac{K_{DO}}{K_{DO} + (S_{DO})^2} \quad \dots \text{式3}$$

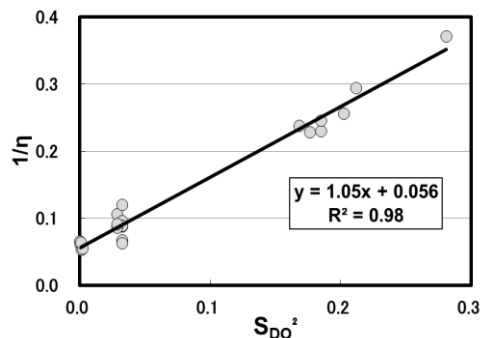


Fig.2 Calculation of η_{max} and K_{DO} (Reactor A)

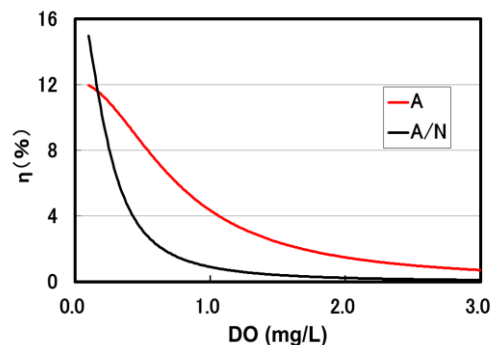


Fig.3 N₂O conversion dependency on DO

Fig.3 より, A/N 系汚泥及び A 系汚泥について N₂O 転換率に対し異なる DO 依存性を示すことが示唆された. 特に A 系汚泥の方が N₂O 生成に及ぼす DO 依存性が大きく, N₂O 生成抑制策として DO 制御が特に有効であることが示唆された. しかし, A 系汚泥については亜硝酸濃度依存性が不明確であったことに加え, pH, 水温及び亜硝酸濃度が異なる状態での比較のため結果に影響している可能性が有る.

5. まとめ

AOB の N₂O 生成に及ぼす DO の影響を定量的に把握することを目的とし, 培養条件の異なる 2 種の硝化汚泥に対し曝気風量を変えて N₂O 生成を調べた結果, 培養条件によって異なる DO 依存性を示すことが示唆された. 特に, A 系条件においては DO 制御が N₂O 生成抑制策として有効であることが示された. しかし, 各 pH, 水温及び亜硝酸依存性それぞれの影響は不明. 今後は, FISH 法を用いて両系の微生物叢を調べ, 細菌叢の相違を明らかにする N₂O 生成を抑制する適切な管理手法の低減に繋げたいと考えている.

6. 参考文献

- 1)大塚ら(2016), 第 43 回土木学会関東支部技術研究発表会
- 2)赤城ら(2018), 第 52 回日本水環境学会年會講演集