

一酸化窒素添加がアンモニア酸化細菌の亜酸化窒素生成に及ぼす影響の評価

Evaluation of the effect of nitric oxide addition on nitrous oxide production by ammonia-oxidizing bacteria

杉山春弥¹ 齋藤利晃² 藤井大地²

Haruya Sugiyama¹, Toshiaki Saito², Daichi Fujii²

Abstract: In this study, we focused on nitric oxide (NO) as a factor that controls nitrous oxide (N₂O) production by ammonia-oxidizing bacteria (AOB) and evaluated the effect of NO addition on N₂O production. In the experiment, AOB cultured on inorganic nutrient substrates were injected into syringes, and NO was added to the gas phase. When the initial NO concentration in the gas phase was less than 25ppm, the results suggested that NO addition could reduce the N₂O conversion rate. Therefore, this study demonstrated the potential effectiveness of NO addition as a method for reducing N₂O production by AOB.

1. 背景及び目的

地球温暖化対策として、日本では令和3年10月に地球温暖化対策の推進に関する法律の基本理念に、2050年までにカーボンニュートラルを実現することが組み込まれた。日本では下水道事業における温室効果ガス総排出量のうち水処理過程で排出される亜酸化窒素(以下、N₂O)が7%を占める¹⁾ことから、排出抑制が求められている。

水処理過程のN₂O排出の主要因はアンモニア酸化細菌(以下、AOB)による亜硝酸脱窒だと考えられている。またAOBを一酸化窒素(以下、NO)に曝露することでアンモニア酸化が活性され、N₂O転換率が低下するとの報告²⁾から、本研究ではNOの利用経路をFig.1のように仮定し、NO添加がAOBのN₂O生成に与える影響を評価した。

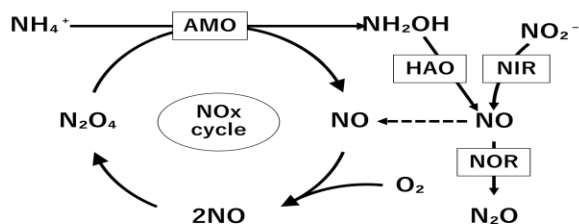


Fig. 1 Estimation of NO supply mechanism for ammonia oxidation

2. 実験方法

無機栄養塩基質で培養したAOB優占汚泥40mlを有効容積50mlのシリンジに注入する。NO濃度が0~100ppm、酸素濃度が5.5±2.2%となるように調整した混合気体10mlで気相部を満たした上で、密閉状態で2時間振とうすることで、任意の初期気相部NO濃度条件下におけるAOBのアンモニア酸化能及び、NO、N₂O生成を観察した。振とう後、シリンジの気相部をアルミニウム製のバッグに採取し、NO及びN₂O分析用

の気体サンプルとした。液相部は孔径0.45µmのシリンジフィルターでろ過し、バイアル瓶に採取した上で無機態窒素の分析に供し、また、各物質の初期値には、NO無添加系と同条件のシリンジから採取した反応前の気体及び液体サンプルの分析結果を適用した。

本実験では、回分式活性汚泥反応槽で無機栄養塩基質を与えて培養したAOB優占汚泥を使用した。水理的滞留時間(HRT)15h、汚泥滞留時間(SRT)40day、pH7.05±0.05、水温20℃の条件で培養した。

評価指標として、N₂Oはシリンジ内の気相部及び液相部のN₂O量を合算し、単位汚泥量当たりの総N₂O量で示した。液相部のN₂O量については振とう中は気相部と液相部が混合し、気液平衡状態が保たれることから、気相部のN₂O濃度の分析結果を基に、N₂Oの溶解度及び理想気体の状態方程式を用いて算出した。加えて、反応前後のNH₄⁺変化量に対する単位汚泥当たりの総N₂O変化量の比であるN₂O転換率も用いた。NH₄⁺濃度、N₂O濃度、NO濃度の測定にはそれぞれ高速液体クロマトグラフLC-10A、ガスクロマトグラフGC-17A及びGC-2014、NOx計Model42iを使用した。

3. 結果と考察

1~3回実験を行った結果、各回におけるNH₄⁺酸化速度の平均値は等しく、1.5mgN L⁻¹ h⁻¹であった。

初期気相部NO濃度の差異に対し、反応前後におけるNH₄⁺の減少量は変化しなかった。初期気相部NO濃度はNH₄⁺酸化能に影響を及ぼさなかったと考えられる。

Fig.2に単位汚泥量当たりの総N₂O量の初期値と反応後の値の関係を示す。反応後の単位汚泥量当たりの総N₂O量は初期気相部NO濃度が25ppmを下回るとき初期気相部NO濃度が高いほど多く、初期気相部NO濃度が20~25ppmのとき最小値になり、初期気相部NO

1: 日大理工・学生・土木 2: 日大理工・教員・土木

濃度が 56.8ppm のときは NO 無添加系の単位汚泥量当たりの総 N₂O 量に近づいた. そのため初期気相部 NO 濃度が 25ppm を超える場合は, 初期気相部 NO 濃度が高いほど単位汚泥量当たりの総 N₂O 量が多くなる可能性がある. しかし, 本実験で与えた初期気相部 NO 濃度の範囲では, 少なくとも NO 無添加系の N₂O 生成速度を超えるような増加はみられなかった. なお3回目の結果は初期 N₂O 濃度が測定できなかったため Fig. 2 及び Fig. 4 には記載していない.

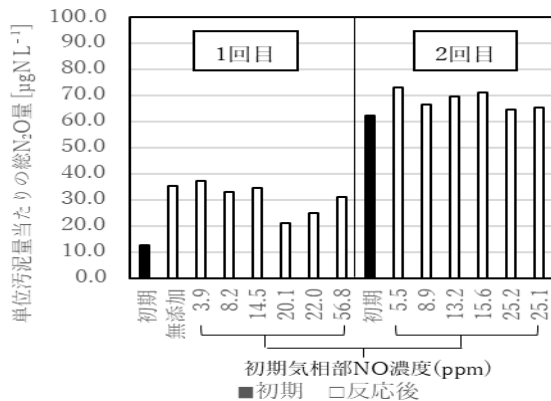


Fig. 2 N₂O amount after reaction for each initial NO concentration

Fig. 3 に初期気相部 NO 濃度と反応後気相部 NO 濃度を示す. 実験回ごとに比較すると反応後気相部 NO 濃度は 14~72ppm と大きく異なるが, 同一回では初期気相部 NO 濃度に関わらず概ね等しい. また反応後気相部 NO 濃度は反応後の単位汚泥量当たりの総 N₂O 量が最小となる初期気相部 NO 濃度に等しい. また反応前後の気相部 NO 濃度差が小さいほど反応後の単位汚泥量当たりの総 N₂O 量が低下する傾向が示される. すなわち反応前後の気相部 NO 濃度差が小さいほど N₂O 生成量が減少した.

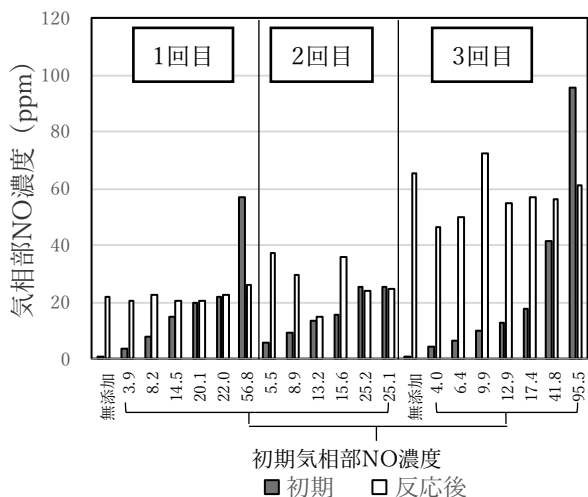


Fig. 3 NO concentration at before and after reaction

Fig. 4 に N₂O 転換率と初期気相部 NO 濃度の関係を示す. N₂O 濃度の変化と同様に, 初期気相部 NO 濃度が 25ppm 以下の場合には初期気相部 NO 濃度が高いほど N₂O 転換率は低く, 1 回目と 2 回目の実験における N₂O 転換率の最小値はそれぞれ, 初期気相部 NO 濃度が約 20ppm のとき 0.35%, 初期気相部 NO 濃度が約 25ppm のとき 0.06% を記録した

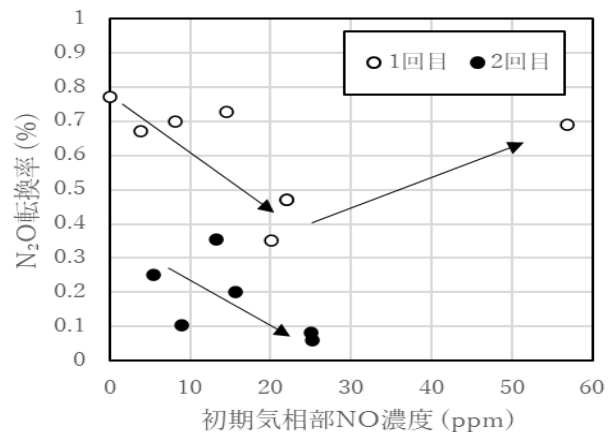


Fig. 4 Initial NO concentration and N₂O conversion rate

4. 結論

本実験では NO 添加量による NH₄⁺酸化能の差異は生じなかった. 一方で N₂O 転換率は, 初期気相部 NO 濃度がおよそ 25ppm までは, 濃度が高いほど低下する傾向が示された. また初期気相部 NO 濃度に関わらず, 反応後の気相部 NO 濃度は概ね同程度になり, 反応前後の濃度差が小さいほど N₂O 転換率が低下する結果が得られた.

以上のことから, NO 添加は NH₄⁺酸化能を損なわず, N₂O 生成の抑制には有効である可能性が示唆された. また N₂O 生成抑制に効果的な NO 添加量の目安は AOB の反応前後で NO の濃度差が生じない程度である可能性が示唆された. 本研究結果から, AOB の硝化性能を損なわずに N₂O 生成を抑制する NO 添加量に関する知見が得られたことで, NO 添加が AOB による N₂O 生成の抑制手法として有効である可能性が示された.

5. 参考文献

- [1] 国土交通省 「下水汚泥エネルギー化技術ガイドライン平成 29 年度版」, p.15, 2018
- [2] 齋藤利晃ら 「アンモニア酸化細菌の亜酸化窒素生成に及ぼす一酸化窒素散気の直接的影響の評価」, 水環境学会誌, Vol.45, No.3, pp.107-114, 2022