

畜産廃水処理施設に存在する高濃度アンモニア汚泥

農研機構 畜産研究部門 和木美代子

はじめに

畜舎廃水処理において、水質汚濁防止法の健康項目における「アンモニア、アンモニウム化合物、亜硝酸化合物及び硝酸化合物」への対応が急がれる。この規制項目は公共用水域に水を排出する特定事業所すべてに適用される。一律排出基準として、100mg/L が設定されているが、これに対して、畜産農業では当該汚水における窒素除去が困難であるとの理由から暫定基準が設定されており、現在は 600mg/L である（2019 年 6 月まで）。当該基準は、今後さらに厳しくなる可能性もあり、一律排水基準を見据えた窒素除去技術開発が必要である。

硝化・脱窒による窒素除去反応

畜産廃水は主に活性汚泥処理により処理されているが、活性汚泥処理過程での窒素除去は、硝化反応および脱窒反応により起こる。硝化反応は、酸素のある好氣的な条件で起こり、アンモニア酸化細菌により、アンモニアが酸素で酸化され亜硝酸が生成する、もしくは、さらに亜硝酸酸化細菌により、亜硝酸が酸素で酸化され硝酸が生成する反応である（図 1）。脱窒反応は酸素の無い無酸素条件で従属栄養細菌により起こり、硝酸もしくは亜硝酸が、汚水に含まれる有機物により還元され、窒素ガスが発生する反応である。この硝化反応と脱窒反応がバランスよく起こることにより窒素除去が行われる。硝化反応と脱窒反応は、好気条件と無酸素条件のように、適する条件が異なるが、実際には、活性汚泥浄化槽の中では曝気をしていても部分的に無酸素な空間が生じる、溶存酸素濃度が低く両反応に適用される条件が生じる、また窒素除去を目的として間欠曝気処理が適用されている等の理由で、曝気槽内では両反応が共存して、窒素が除去される。

筆者らがおこなった養豚廃水の処理をおこなう活性汚泥処理施設の調査では、流入水には平均 1300mgN/L の窒素が含まれていたが、概ねその半分以上が、処理過程で除去されていた。しかし一方で、それらの処理水には依然、平均

430mg/L といった高い濃度の窒素が残存しており、将来、窒素規制が強化された場合は、施設によっては窒素除去の高度処理が必要であると考えられる[1]。硝化・脱窒反応により十分な窒素除去を行うには、畜産廃水のように脱窒反応のための有機物（メタノール等）を新たに加える事がコストの点から困難な場合、処理前の原污水に含まれる有機物/窒素比が十分に高い必要がある。養豚廃水処理において、適切な間欠曝気または回分式運転を行うことで、硝化反応—脱窒反応を保持し 90%以上の窒素除去を行うのに必要な有機物/窒素比(BOD/N比)は3程度以上との報告があるが[2][3]、筆者らが調査した養豚廃水処理施設の一次処理水（活性汚泥流入水）のBOD/N比は、平均2.7で、最小0.02、最大5.1であり、有機物濃度が窒素除去の視点で不足している施設が存在する[1]。

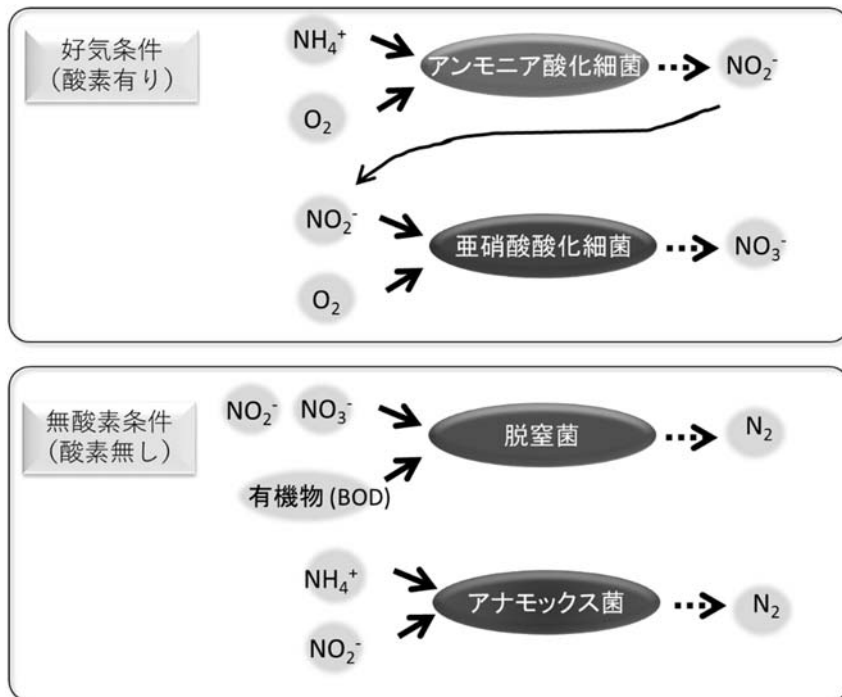


図1 窒素代謝に関わる微生物反応

アノモックス反応

アノモックスは、アンモニアと亜硝酸という無機窒素化合物同士をカップリングさせることにより、窒素ガスを生成する微生物による反応である（図1）。1990年代に工場廃水の浄化処理施設に存在することが見出された[4]。その反応は脱窒のための有機物が不要であることから、有機物/窒素バランスの低い汚

水からの窒素除去への利用が期待されている。当該微生物の特徴として、独立栄養細菌でありその増殖速度が極端に遅いこと、すなわち、まとまった量の菌体を得るのに長い培養期間を要することが挙げられる。反応は無酸素条件下で起こるが、多少の酸素に触れても直ちに死滅することは無い。また、菌体濃度が高まると、菌体の多くを占める、ヘムを持つヒドラジン酸化酵素のため、赤く見える。当該反応を用いた処理のための装置化においては、反応に亜硝酸が必要であり、亜硝酸は好気条件下で容易に硝酸に酸化されることから、亜硝酸酸化反応を押さえながら、基質となる亜硝酸を汚水中に保持することに技術を要する。

畜産廃水処理施設における高濃度のアナモックス菌

アナモックスは従属栄養細菌に比べて増殖速度が各段に遅いことから、通常の有機物が多く含まれる汚水においては、そこに含まれる菌の濃度は極端に低い。環境サンプル中の微生物濃度を調べる手段として、定量 PCR の技術がある。当該技術は、非常に感度が高いことから、当該手段を用いれば、汚水（汚泥）中にアナモックス菌の存在が検出される場合もあるが、多くの場合その濃度は高くなく、それらの汚泥を用いてアナモックス菌を集積する場合、最適条件においても数ヶ月はかかる。

しかし、筆者らは、養豚廃水の活性汚泥処理施設において、バイオフィームに着目して調査を行った結果、非常に高濃度のアナモックス菌が複数施設において存在していることを見いだした。汚泥は目視で赤いことが確認され、最も高いもので、約 $300 \mu\text{mol-N}_2/\text{g-IL/h}$ の活性が示された。これは単純に計算すると、MLVSS 5000 mg/L の条件で、 $1\text{kgN}/\text{m}^3/\text{day}$ の窒素除去活性を持つ事に相当する。すなわち、汚泥は、集積過程を経ることなく、アナモックスリアクターとして利用なレベルであると言える。汚泥中にはアナモックス菌である、*Candidatus Brocadia* もしくは *Ca. Jettenia* に近縁な微生物が存在していた。このようなバイオフィームは曝気槽中の溶存酸素濃度が低い施設において見いだされる傾向があった。このような溶存条件、現象は、硝化・アナモックス・脱窒反応が同時に起こるプロセス (SNAD (simultaneous partial nitrification, anammox and denitrification) process [5]) に共通しており、汚泥が見いだされた施設

においても、当該反応が起こっていたと推測された。バイオフィルムに着目して調べることにより、畜産処理施設において、高濃度のアナモックス菌を含む汚泥を入手できる可能性がある。今後は、当該汚泥を用いて、処理装置を運転する予定である。

謝辞

アナモックス汚泥の調査は、茨城県畜産センターおよび、静岡県中小家畜研究所との共同研究の成果である。本研究の一部は農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(課題番号 28008A)および先端ゲノム解析支援共同研究の助成を受けて実施した。

参考文献

1. 和木美代子 他、養豚廃水の活性汚泥処理施設から排出される窒素の特性. 水環境学会誌 2010. **33**(4): p. 33-39.
2. Osada, T., K. Haga, and Y. Harada, *Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process*. Water Research, 1991 **25**(11): p. 1377-1388.
3. 金主鉉 他、回分式間欠曝気活性汚泥法による豚舎排水の有機物・窒素除去に関するパイロットプラント実験. 水環境学会誌, 1999. **22**(12): p. 990-996.
4. Strous, M., et al., *Ammonium removal from concentrated waste streams with the anaerobic ammonium oxidation (anammox) process in different reactor configurations*. Water Research, 1997. **31**(8): p. 1955-1962.
5. Wang, C.C., et al., *Simultaneous partial nitrification, anaerobic ammonium oxidation and denitrification (SNAD) in a full-scale landfill-leachate treatment plant*. Journal Of Hazardous Materials, 2010. **175**(1-3): p. 622-628.

本資料より転載・複製する場合は国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の許可を得てください。

畜産研究部門 平 28-4 資料

平成 28 年度家畜ふん尿処理利用研究会資料

編集・発行 国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
企画管理部

Tel.029-838-8290、 Fax.029-838-8606

〒305-0901 茨城県つくば市池の台 2

発行日 平成 28 年 11 月 10 日

印刷所