

機関番号：82111
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20780235
 研究課題名（和文） 牛、豚、鶏糞堆肥化からの亜酸化窒素発生特性と硝酸菌添加による抑制効果の検証
 研究課題名（英文） Characteristics of N₂O emission in the composting of cattle, swine and poultry manure, and effect of adaptation of nitrification promotion process
 研究代表者
 福本 泰之 (Fukumoto Yasuyuki)
 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・浄化システム研究チーム・主任研究員
 研究者番号：20370588

研究成果の概要（和文）：

亜硝酸蓄積に起因する亜酸化窒素（N₂O）発生を抑制する亜硝酸酸化促進法の適応可能範囲を決定するため、ウシ、豚、鶏糞の堆肥化処理における窒素遷移と硝化細菌の動態を調査した。豚糞堆肥化では亜硝酸蓄積が生じ、亜硝酸酸化促進法によって効果的に N₂O 発生量を削減できた。一方、牛糞では堆肥化の過程で完全な硝化が速やかに回復し、また、鶏糞では硝化作用自体が起こらず、そのため亜硝酸酸化促進法を適応してもこれらの家畜糞堆肥化では N₂O 抑制効果は小さいと考えられた。

研究成果の概要（英文）：

The characteristics of nitrogen transition and N₂O generation during the composting of cattle, swine and poultry manure were examined, and the adaptable range of the nitrification promotion process was quantified. Nitrite accumulated for a long period in swine manure composting. In the composting of cattle or poultry manure, however, remarkable nitrite accumulation was not observed. Therefore, the quantity of N₂O emission induced by nitrite accumulation was thought to be small in cattle and poultry manure composting, which indicates that nitrification promotion would not be proper for reducing N₂O emissions in these kinds of composting.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2009年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：境界農学・環境農学

キーワード：家畜糞堆肥化、亜酸化窒素、地球温暖化

1. 研究開始当初の背景

家畜排せつ物からは、処理や農地への散布などの過程から二酸化炭素の約300倍強い温室効果ガスである亜酸化窒素（N₂O）が発生しているため、抑制技術を開発することが重要な課題となっている。

家畜排せつ物から N₂O が発生するためには、まず硝化（アンモニア→亜硝酸→硝酸）が起こる必要がある。代表的な家畜排せつ物

処理法である堆肥化では、有機物分解が活発に行われる一次発酵期には温度が 60℃以上まで達し、また大量のアンモニアが生成される。これら高温・高アンモニア条件は硝化活動に対して抑制的に働くため、硝化は堆肥化の一次発酵期後に本格的に働く場合が多い。

豚糞の堆肥化では、このとき硝化が不完全となり、中間生成物である亜硝酸態窒素が長期間蓄積する傾向がある。堆肥化過程におい

て亜硝酸が蓄積すると N_2O の生成を促進させることが知られている。そこで、亜硝酸蓄積を早期に解消する目的で、硝化細菌の一種である亜硝酸酸化細菌を含む完熟堆肥を堆肥化の一次発酵後に添加すると、 N_2O の発生量を大幅に削減できることが豚糞の堆肥化で確認された。

亜硝酸蓄積に起因する N_2O の発生を抑制する“亜硝酸酸化促進法”は、当然のことながら亜硝酸が蓄積しやすい性質の有機性廃棄物の堆肥化で最も大きな効果を発揮する。しかし、これまでのところ家畜糞堆肥化において畜種毎に硝化の進行特性について詳細な調査はなされておらず、亜硝酸酸化促進法の適応可能範囲についても明らかになっていない。

2. 研究の目的

本課題では、代表的な家畜種であるウシ、豚、鶏の排せつ物について、堆肥化過程での硝化活性の特徴と N_2O 生成との関係、および亜硝酸酸化促進法の適応可能範囲を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 堆肥化試験

堆肥化試験は試作した内容積 $0.6m^3$ の中規模ダイナミックチャンバーシステムと、小型堆肥化試験装置を利用して行った。装置の基本システムは、一定流量で換気されているチャンバーまたはリアクター内で家畜排せつ物の堆肥化発酵を行い、排気中に含まれるガス物質を連続測定することでガスの発生パターンと発生量を把握するものである。ガス物質の測定には、赤外線吸収能を持つガス物質を測定できるマルチガスモニター

(Infrared Photoacoustic Detector, Type 1312; Lumasense Technology Inc., Denmark) や N_2O 測定のための ECD 付ガスクロマトグラフ、また一酸化窒素 (NO) を測定するための検知管 (GASTEC Co. Ltd., Japan) を利用した。

堆肥化原料は、当試験場で採取した生糞にオガクズやワラを混合して水分を 65~70% 程度に調整したものを利用した。ただし、鶏糞については、 N_2O 発生の起点となる硝化活性の発動まで通常生糞から開始した場合は長期間を要することが予測されたため、あらかじめ発酵処理しておいた発酵鶏糞を試験開始時の原料として用いることとした。

堆肥化試験は定期的に再発酵を促すための攪拌作業 (切り返し) を行い、有機部分解とガス発生が終息するまで継続した。試験の開始時と終了時、および切り返し時にサンプリングを行い、微生物数 (アンモニア酸化細菌と亜硝酸酸化細菌) と水分、窒素成分等の化学分析に供した。

(2) アンモニウム生成能試験

畜種毎に異なる硝化活性能を示す場合、それは主にそれぞれの畜種糞独自の性質に依存していると考えられるが、その要素の中でも、アンモニウム生成能は硝化に大きな影響を及ぼす。そこで、家畜糞が持っているアンモニウム生成能を培養試験によって推定した。生糞を蒸留水に溶解して 3~5% (w/v) の溶液を作成した。培養中、硝化が起こることによって生成したアンモニアがガス態として損失するのを防ぐために、硝化抑制剤 (2-アミノ-4-クロロ-6-メチルピリミジン) を生糞量の 0.5% になるように添加した。また、希硫酸または希水酸化ナトリウム溶液の添加により pH を 7 に調整した。以上のように調製した溶液 300ml をガラスボトルにとり、頂点を通気のため複数の孔を開けたアルミホイルで覆い、 $25^{\circ}C$ の恒温槽内で連続攪拌しながら培養した。定期的に溶液をサンプリングして無機態窒素成分濃度を測定した。培養はアンモニウム態窒素濃度が増加しなくなるまで継続し、最終的に生産されたアンモニウム量を添加した糞の有機物量で除したものを糞のアンモニウム生成能として評価した。

4. 研究成果

(1) 堆肥化試験

① 豚糞堆肥化

豚糞はこれまでの研究から堆肥化過程で亜硝酸蓄積が起こりやすいことが知られており、亜硝酸酸化促進法の適用によって最も大きな N_2O 抑制効果が得られると考えられるタイプの畜種糞である。

N_2O 発生の特徴としては、有機物分解が活発に行われる一次発酵期にはほとんど発生は確認されず、易分解性有機物分解後、堆積物の温度が中温域まで下がった堆肥化後熟期に総発生量のほぼ全量が放出されている。中規模チャンバーシステムを用いて行った試験では (図 1)、 N_2O 発生濃度が上昇し始めた 15 日目で亜硝酸酸化を促進するための完熟堆肥の添加を行った。その後、 N_2O 発生濃度は急激に上昇したが、完熟堆肥を添加した方は 30 日目あたりで発生が終息し、対照区 (約 90 日目まで発生が持続) と比べて総発生量は約 40% 低減された。この削減率は、これまでに行ってきた試験の平均削減率 (約 60%) と比較すると低い値となったが、その原因としては、亜硝酸酸化細菌源である完熟堆肥の添加が硝化開始直後に形成される発生ピークの縮小化には効果が無いことが挙げられる。発生ピーク高の縮小化は、 N_2O 抑制技術高度化のため、今後の課題となる。 N_2O が発生し続けた対照区では亜硝酸が蓄積していたが、完熟堆肥の添加によって亜硝酸酸化を促進させると亜硝酸蓄積は解消してお

り、この方法が亜硝酸蓄積起因する N_2O 発生を特異的に抑制していることがわかった。

亜硝酸蓄積は堆肥化処理において N_2O の生成を促進させるが、豚糞堆肥化処理で窒素収支を精査したところ、アンモニアや N_2O として測定される以外の窒素損失が、 N_2O と同様に亜硝酸蓄積によって増長させられていることがわかった。この不明分窒素の内訳を明らかにするため、一酸化窒素ガス (NO) の濃度推移を調査したところ N_2O とよく似た推移パターンを示し、 NO も同じく亜硝酸蓄積によって発生が促進されていることが確認された。ただし、窒素の損失量としては、 N_2O の 3/5~1/7 程度であり、特に水分率が高まると発生量が低くなる傾向が見られた。畜産から NO 発生については知見が未だ少なく、今後追加調査が必要と考えられる。

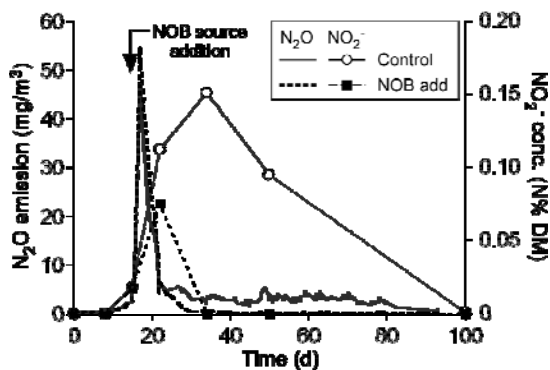


図 1. 豚糞堆肥化処理における N_2O 発生濃度と亜硝酸態窒素濃度の推移

② 牛糞堆肥化

中規模チャンバーシステムを用いた乳用牛糞堆肥化試験では、豚糞堆肥化で観察された N_2O 発生パターンとは異なる特徴を示した (図 2)。堆肥化開始直後に温度は $70^{\circ}C$ まで上昇したが、一旦温度が低下した後は切り返しを行っても再び $50^{\circ}C$ 以上まで上昇することはなかった。これは牛糞が豚糞に比べて易分解性有機物含量が少ないことに起因する。このように一次発酵期間における熱生産量が比較的小さいために、中温性菌である硝化細菌の活性も豚糞に比べて高く、その結果、 N_2O は一次発酵期間中にもかかわらず多く発生した。しかし一次発酵終了後には亜硝酸酸化促進処理を行わなかった対照区においても N_2O の発生は速やかに終息した。 N_2O 発生量は対照区の $25.2 \text{ g } N_2O \cdot N/\text{kg TN}$ であったのに対し、亜硝酸酸化促進区では $23.8 \text{ g } N_2O \cdot N/\text{kg TN}$ と非常に小さい減少効果 (低減率: 5.5%) となった。

硝化細菌数の推移を見てみると、アンモニア酸化細菌数は高温となった一次発酵期間中でも減少せず、亜硝酸酸化細菌も、一時的

に検出限界以下まで減少したがすぐに元の菌数まで回復した。したがって、牛糞堆肥化では完全な硝化が比較的速やかに回復するため亜硝酸が蓄積しにくく、そのため亜硝酸酸化促進法による N_2O 抑制効果も小さくなるものと考えられた。

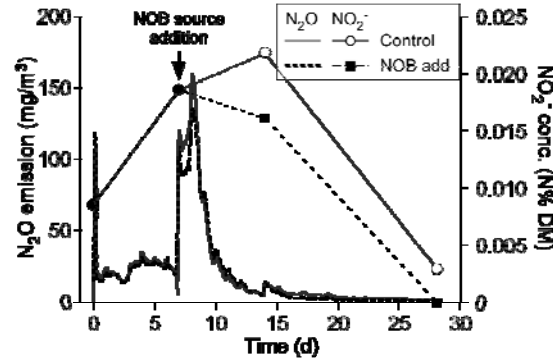


図 2. 乳用牛糞堆肥化処理における N_2O 発生濃度と亜硝酸態窒素濃度の推移

③ 鶏糞堆肥化

鶏糞堆肥化は、発酵鶏糞を原料とし、水を添加して水分調整した後、小型堆肥化試験装置に充填し、長期間、窒素動態とガス発生、および硝化細菌数推移をみた。

原料は一旦発酵処理が行われていたものの依然高い易分解性有機物含量を誇り、そのため充填後に温度が $70^{\circ}C$ 以上まで上昇した。しかしその後有機物分解が進んだため、顕著な発熱現象は起こらなくなった。無機態窒素成分は終始アンモニウムが占有し、亜硝酸・硝酸態窒素はほとんど検出されなかった。

また硝化細菌も一時的にアンモニア酸化細菌が若干数検出されたこと以外は、試験期間を通じてこれら細菌種の定着がみられることはなかった。定点的におこなったガス測定でも、生成の起点となる硝化が起きていないため、 N_2O の発生は確認できなかった。試験は 300 日間を超えて行われたが、結局最後まで硝化活性は得られなかった。この試験では二次発酵が進行しやすいよう、水分等の調整を行ったのにも関わらず上記のように N_2O が生成されるための硝化作用が起こらなかったため、一般的な、非常に水分含率が低い鶏糞堆肥ではますますそのような可能性が低くなるものと考えられた。したがって、鶏糞堆肥化からは顕著な N_2O 発生は起こらないため、そもそも亜硝酸酸化促進法は適応する必要がないという結論に至った。

(2) アンモニウム生成能試験

堆肥化試験で確認された畜種毎に異なる窒素遷移と N_2O 生成の特徴は、それぞれの糞の性質の違いに起因すると考えられるが、その中でも硝化作用に大きな影響を及ぼすア

アンモニウム生成能について調査を行った。アンモニウム生成能は生糞に含まれる有機物 1g あたり (乾物ベース) のアンモニウム態窒素量、mg で示した (図 3)。

最も高いアンモニウム生成能を示したのは鶏糞で、有機物 1g あたり 25.3 mg のアンモニウム態窒素が生成された。逆に最も低かったのは牛糞で、その値は鶏糞の 1/50 程度でしかなかった (0.5 mg NH₄-N/g OM)。それぞれ、非常に高い、または低いアンモニウム生成能が、堆肥化期間中に硝化活性を完全に抑制したり、逆にほぼ硝化細菌の活動を阻害することなく速やかに完全硝化を回復したりした原因であると考えられた。

堆肥化の過程で不完全な硝化に起因する亜硝酸蓄積が生じやすい豚糞は、鶏糞と牛糞の間の値である 6.4 mg NH₄-N/g OM のアンモニウム生成能を示した。すなわちこの程度のアンモニウム生成能を持つ有機性廃棄物であれば、その堆肥化過程で亜硝酸蓄積による大量の N₂O 発生が生じており、亜硝酸酸化促進法が適応できる対象になりうるものと考えられた。

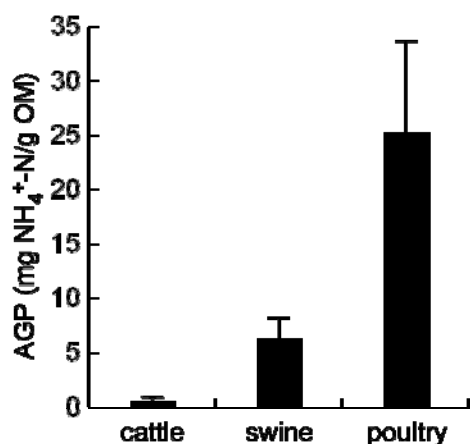


図 3. 畜種糞毎のアンモニウム生成能

今回行った研究では、代表的な家畜種のうち、亜硝酸酸化促進法の適用によって大きな N₂O 削減効果が期待できるものは豚糞だけであるという結果になった。鶏糞は、その排泄メカニズムから窒素含有率が高く、そのため N₂O 生成の起点となる硝化自体が起こらない可能性が高いことから、N₂O 対策を講じる必要は低いと思われる。しかし、牛糞の場合、本試験でも亜硝酸酸化促進法によって若干の N₂O 抑制効果がみられたが、用いた糞が乳用牛のものであり、窒素含有率が高くなると考えら得る肉用牛ではその効果はさらに向上する可能性がある。糞に含まれる窒素量は飼料の影響を大きく受けるため、今後はさらに多様な生産システムから排出された畜種糞についても N₂O 生成特性と亜硝酸酸化促進法適応可能性について検討する必要がある。

ある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

Fukumoto Y., Suzuki K., Kuroda K., Waki M., Yasuda T. (2011) Effect of struvite formation and nitrification promotion on nitrogenous emissions such as NH₃, N₂O and NO during swine manure composting. *Bioresource Technology*, 102, 1468-1474. (査読有り)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 福本泰之. 豚ふん堆肥化処理における亜硝酸化窒素と窒素酸化物の発生特性. 日本土壤肥料学会 2009 年度京都大会 (2009 年 8 月).
- ② Fukumoto Y., Waki M., Yasuda T. Characteristics of nitrogen transition and N₂O generation in the composting of cattle, swine and poultry manure. CIGR International Symposium 2011 (WEF 2011) in Tokyo. (2011 年 9 月).

[図書] (計 1 件)

Fukumoto Y. (2010) Bioremediational technique of adding nitrite-oxidizing bacteria for reducing N₂O emission during swine manure composting. In *Manure: Management, Uses and Environmental Impacts*, Nova Science Publishers, Inc., New York, pp 167-180.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福本 泰之 (FUKUMOTO YASUYUKI)
 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・浄化システム研究チーム・主任研究員
 研究者番号：20370588