



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	牛ふん堆肥ペレットの黒ボク土畑への施用に伴う一酸化二窒素の発生およびその発生制御に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	山根, 剛
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7103号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79582
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tsuyoshi_Yamane_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博 士（農学）

氏名 山 根 剛

学 位 論 文 題 名

牛ふん堆肥ペレットの黒ボク土畑への施用に伴う一酸化二窒素の発生

およびその発生制御に関する研究

環境保全型農業の達成には地域における有機性廃棄物の循環利用が不可欠である。堆肥を小粒状に成型した堆肥ペレットは、堆肥のハンドリングが改善され、家畜ふん堆肥の耕種場面での利用促進が期待される。また、優れた輸送性から堆肥の広域流通を促進し、畜産生産地域の家畜ふん尿の偏在化により生じる窒素溶脱等の環境負荷低減が期待される。しかし、堆肥等有機物の施用により主要な温室効果ガスの一つである一酸化二窒素（ N_2O ）が発生するおそれがある。本研究では、堆肥ペレット施用に伴う N_2O 発生の低減を目指して、施用後の N_2O 発生実態や発生要因を調査するとともに N_2O 発生低減対策技術を検討した。

1. 堆肥のペレット化に伴う土壌への施用後の N_2O の発生実態

飼料用トウモロコシ栽培圃場で栽培期間中の N_2O 発生量を調査したところ、堆肥ペレットを施用した場合、ペレット化していないバラ状の堆肥や化学肥料を施用した場合よりも、発生量が著しく高いことが示された。特に堆肥ペレット施用数日後（3～4 日後）に N_2O の発生ピークが発生し、これが発生量を増大させた。

また、飼料用トウモロコシ栽培圃場で、窒素付加堆肥（堆肥化過程で生じるアンモニア等の悪臭成分を完熟堆肥に吸着させたもの）をペレット化したもの（窒素付加堆肥ペレット）と、通常の堆肥ペレットを施用した際の栽培期間中の N_2O 発生量を調査したところ、窒素付加堆肥ペレット施用区の発生量は通常の堆肥ペレット施用区と比べ、30～91%低減することが示された。窒素付加堆肥ペレット施用区の施用直後の N_2O 発生ピークも通常の堆肥ペレット施用区と比べ低かった。

2. 堆肥ペレット施用に伴う N_2O 発生の発生制御要因

2-1. 堆肥ペレットにおける硝化と脱窒による N_2O 生成

堆肥ペレット施用に伴う N_2O 多量発生要因として、水分ならびに発生に関わる微生物（脱窒菌、硝化菌）の影響を調査した。

水分の影響について、異なる水分の土壌に堆肥ペレットを混和し、室内培養試験により調査したところ、土壌水分が高いほど、培養期間中の N_2O 発生量が大きかった。

微生物の影響について、 N_2O フラックスを調査した飼料トウモロコシ栽培圃場試験から採取した土壌、堆肥ペレットを試料とし、脱窒菌、硝化菌数を調査した。堆肥ペレットの脱窒菌数は施用前と比べ施用後に $10^4\sim10^5$ 倍増加し、また、乾物あたりで土壌の脱窒菌数の $10^3\sim10^4$ 倍であった。堆肥ペレットの硝化菌（アンモニア酸化菌）数は施用前後で約 20 倍増加した。

以上から、土壌水分が高く、より嫌気的な条件で N_2O 発生量が高いことや、施用後に堆肥ペレットの脱窒菌数が急増し、土壌の脱窒菌数と比べ著しく高かったことから、堆肥ペレット施用に伴う N_2O の多量発生は堆肥ペレットにおける脱窒に由来すると考察された。

2-2. 窒素付加堆肥ペレットの N_2O 発生低減メカニズムの解明

窒素付加堆肥ペレットの N_2O 発生低減メカニズムを明らかにするため、通常の堆肥ペレットと異なり、かつ N_2O 発生に影響を及ぼす可能性のある理化学性である pH、無機態窒素に着目し、調査した。

pH の影響について、通常の堆肥ペレット (pH8.6) および窒素付加堆肥ペレット (pH5.3) に対し、それぞれ酸、アルカリ溶液を直接ペレットへ添加し、堆肥の pH を変化させ、培養試験により N_2O 発生を調査した。pH と培養期間中の N_2O 発生量について一定の関係性がみられなかったことから、pH は窒素付加堆肥ペレットの N_2O 発生低減に対し、直接的な要因ではないことが示唆された。しかし、pH は N_2O 発生推移へ影響を及ぼし、アルカリ性～中性条件では培養初期に N_2O 発生ピークが生じ、それ以降の発生は低かった。

無機態窒素の影響について、通常の堆肥ペレット ($\text{NO}_3\text{-N}$ 1.1、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 0.0、単位：g kg^{-1} 乾物) に無機態窒素が窒素付加堆肥ペレット ($\text{NO}_3\text{-N}$ 18.3、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 3.4、単位：同左) と同等となるよう硝酸カリウムおよび硫酸アンモニウム溶液を堆肥ペレットへ直接添加して、培養試験により N_2O 発生を調査したところ、無添加の通常の堆肥ペレットと比べて培養期間中の N_2O 発生量が有意に低減した。特に培養開始直後 (1 日後) の発生ピークが低減した。以上から、硝酸カリウムおよび硫酸アンモニウムを添加し、堆肥の無機態窒素を高めることは、堆肥ペレットからの N_2O 発生を低減させる効果があることが示された。

3. 堆肥ペレットの施用に伴う N_2O 発生の更なる低減対策

これまでに調査した発生制御要因や既知の知見を参考に N_2O 発生が低い堆肥ペレットを試作し、培養試験により、発生低減効果を検証したところ、無処理の堆肥ペレットとの比較で、①窒素成分で尿素を 2% 添加した堆肥ペレット、②窒素成分で石灰窒素を 2% 添加した堆肥ペレット、③成型前の堆肥水分を高め、調整し、成型後乾燥させ、ペレット内の気相を高めた堆肥ペレット、以上の 3 種類が比較的高い低減効果 (投入窒素量あたりの発生量で対照の 50% 以下) を示した。

窒素付加堆肥ペレットならびに尿素を窒素成分で約 2% 添加したペレット (尿素添加堆肥ペレット) を用いてキャベツを栽培した際の N_2O 発生量を調査したところ、無処理の通常の堆肥ペレットの施用時と比べ、窒素付加堆肥ペレットは、5～75% (ただし、残さすき込み後の発生が大きかった 2014 年春作は 23% 増加)、尿素添加堆肥ペレットは 33～52% N_2O 発生量を低減した。これらの発生低減効果はキャベツの栽培時期が、施用時の地温が高い秋作 (9 月上中旬に基肥施用および定植を行い、翌年の 1～2 月に収穫) の時に高かった。

牛ふん堆肥へ比較的高い割合 (全重量の 20%) で尿素を混合してペレット化したもの (尿素混合ペレット)、そして尿素に加え、さらに微量の石灰窒素 (堆肥・尿素混合物重量の 1%) を混合してペレット化したもの (石灰窒素・尿素混合ペレット) を施用して、コマツナを栽培した際の N_2O 発生量、作物収量を調査した。窒素施用量が同一の場合、無混合の堆肥ペレットと比べ、尿素混合ペレット施用後の積算 N_2O 発生量は大きく減少し (76%)、化学肥料 (尿素) を単独施用した場合とほぼ同等であった。石灰窒素・尿素混合ペレットは尿素混合ペレットよりも積算 N_2O 発生量が低かったが、統計的に有意ではなかった。窒素施用量を同一にして、尿素混合ペレット、石灰窒素・尿素混合ペレット、化学肥料を利用してコマツナを栽培した場合、収量に差はみられなかった。

4. 堆肥ペレットの作物生産への利用と土壌への施用に伴う N_2O 発生の低減方法について

以上の結果から、堆肥ペレットを施用して作物栽培を行う際に発生する N_2O 発生低減方法として、以下の 2 つが示唆された。① N_2O 発生が低い堆肥ペレット (窒素付加堆肥ペレット、または、窒素肥料を添加して窒素成分を高めた堆肥ペレット) を利用して作物栽培を行う。② 施用直後の N_2O 発生ピークが著しく大きい高地温 (夏季～初秋) や降雨後等の高土壌水分時の施用を避ける。特に前者については、堆肥に不足している窒素成分を添加することで、肥料成分のアンバランスを解消し、有機質肥料として利用できることなど耕種上のメリットも期待される。