

豚および鶏排せつ物の堆肥化における悪臭低減微生物の選抜

尾上 武*・日下芳友¹⁾・山下聡子¹⁾・下川智子²⁾・前田 稔²⁾・齋藤浩之¹⁾・西尾祐介・浅田研一³⁾

畜産経営に起因する苦情のうち、悪臭の占める割合は最も高く、豚や鶏での苦情発生率も高い。排せつ物の堆肥化施設は主な悪臭の発生場所であり、その原因物質はアンモニアと、メチルメルカプタン等の硫黄化合物である。そこで、養豚および養鶏の堆肥化施設における悪臭低減を目的に、小型実験装置を用いて堆肥化時に優れたアンモニアおよび硫黄化合物を低減する能力を有する微生物の選抜試験を実施した。鶏ではアンモニアのみ、豚ではアンモニアと硫黄化合物を対象に選抜を行った。その結果、鶏ではアンモニアを低減する能力を有する株は選抜されなかった。一方、豚ではアンモニアを低減する微生物 *Bacillus licheniformis* Z21 株と硫黄化合物を低減する微生物 *B. licheniformis* M3 株を最終選抜した。Z21 株は豚排せつ物の堆肥化で発生するアンモニアの最高濃度を 40~60%，M3 株はメチルメルカプタンの最高濃度を 78%，二硫化メチルを 58%低減する能力を有する高温耐性菌である。今回選抜された Z21 株および M3 株は養豚の堆肥化施設で発生する悪臭を低減する資材として実用化が期待される。

[キーワード：豚，鶏，堆肥化，微生物，悪臭防止]

Selection of Bad Odor Reduction Microbe for Composting of Pig and Poultry Feces. ONOUE Takeshi, Yoshitomo KUSAKA, Satoko YAMASHITA, Tomoko SHIMOKAWA, Minoru MAEDA, Hiroyuki SAITO, Yusuke NISHIO and Kenichi ASADA (Fukuoka Agriculture and Forestry Research Center, Chikushino, Fukuoka 818-8549, Japan) *Bull. Fukuoka Agric. For. Res. Cent.* 4 :7-12 (2018)

Ammonia and sulfur compounds that cause pig and poultry feces to have a bad odor are present mainly in composting facilities. In this study, to reduce this bad odor at pig and poultry composting facilities, microbe stocks that have the ability to reduce bad odor were selected using a laboratory-scale composting system. Selected microbes were injected into poultry feces and composted, and the microbes' ability to reduce ammonia was tested. However, no microbe stock tested reduced poultry feces odor to a sufficient degree, so none were selected. On the other hand, composting of pig feces injected with *Bacillus licheniformis* Z21 stock which could reduce ammonia maximum concentration during composting by 40-60%, and feces injected with *Bacillus licheniformis* M3 stock which could reduce methyl-mercaptan maximum concentration during composting by 78%, were selected. Practical use of these microbes as bad odor reduction materials at composting facilities for pig feces is expected.

[Keywords : Pig, Poultry, Composting, Microbe, Bad odor reduction]

緒言

環境保全に関する法規制の強化や地域住民の関心の高まり等により、畜産経営では苦情対策が経営存続にかかわる重要な問題となっている。畜産経営に起因する苦情の内訳を発生原因別にみると悪臭に対するものが50.6%と最も多い(農林水産省 2017)。同報告における畜種別の苦情発生率(苦情発生数/飼養戸数)では採卵鶏が11.2%と最も高く、次いで豚が9.4%であり、乳用牛の2.7%に比較して高い。また飼養規模ではブロイラーを除くいずれの畜種でも飼養規模が大きくなるほど発生率が高くなる傾向にある。経営戸数は各畜種とも減少し、その一方で、畜種を問わず畜産経営の大規模化が進んでいるため(農林水産省 2016)、畜産農家の経営存続のみならず、国産畜産物を国民に安定供給するためにも悪臭問題の解決は不可欠である。

高原ら(2001)は養豚農家における悪臭原因物質を閾希釈倍数から推定したところ、離乳豚舎および肉豚舎は

低級脂肪酸、堆肥化施設はアンモニアと硫黄系物質であったと報告している。小山ら(2011b)は養豚堆肥化施設の臭気物質の挙動を調査したところ、堆肥化開始時にアンモニア、トリメチルアミン、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチルが高濃度で検出されたとしており、著者らは豚排せつ物の堆肥化で硫黄化合物の中ではメチルメルカプタンが最も高い濃度で発生することを明らかにしている(未発表)。また、代永(1995)は養鶏経営について調査した結果、アンモニアは鶏舎で発生するほか、品温が上昇し始めた堆肥化過程で一気に発生してくると報告している。これらのことから、悪臭対策を検討する場合、畜種別、原因物質別に対策を講じる必要がある。低級脂肪酸や硫黄化合物は低閾値の物質(代永 1998)であり、アンモニアは閾値こそ低くないが大量に発生するうえ、家畜の生産性(Homidanら 2011)や作業者の衛生・労働環境(對馬ら 2013)に影響を及ぼすことから、これらの原因物質の低減は重要である。

安価かつ簡易な悪臭対策として微生物資材の利用があ

*連絡責任者(生産環境部: onoue-t4410@pref.fukuoka.lg.jp)

受付 2017 年 8 月 1 日; 受理 2017 年 11 月 14 日

1) 福岡県工業技術センター生物食品研究所

2) 株式会社九州メディカル

3) 福岡県農林業総合試験場資源活用研究センター

るが、黒田 (2006) は微生物資材の問題点として、含有されている微生物の正確な学名を確認できるものが少ないこと、微生物の臭気を低減する原理が不明確であるものが多いこと、臭気関連のデータが公表されているものが少ないことなどを挙げている。著者らはこれまでに、学名を確認できる *Bacillus* 属微生物のライブラリーから、豚舎で発生する低級脂肪酸を低減できる微生物・*Bacillus thuringiensis* D45株を資材化した (2015)。また、豚ふん尿懸濁液の常温培養で液中のアンモニア態窒素濃度を低減できる微生物・*B. amyloliquefaciens* B1144株を選抜し、豚舎でのアンモニア対策として資材化 (2017) した。この際、滅菌した豚および鶏の排せつ物から抽出した液の高温培養において液中のアンモニア濃度を低減できる *Bacillus* 属菌についても初期選抜した。そこで今回、初期選抜株のうち堆肥化過程でアンモニアを低減できる株を明らかにするために、これらの選抜菌を添加した豚および鶏の排せつ物の堆肥化試験で能力を評価し、最終選抜を行った。また、同様の手法により、堆肥化施設のもう一つの悪臭原因物質である硫黄系物質についても低減する *Bacillus* 属菌の選抜を行った。

材料および方法

試験 1 鶏排せつ物の堆肥化におけるアンモニア低減微生物の最終選抜

最終選抜には前報 (尾上ら 2017) で初期選抜した高温耐性 *Bacillus* 属菌 5 株を供試した (第 1 表)。選抜試験は 2014 年 7 月 28 日～8 月 29 日にかけて 3 反復実施した。材料にはケージ飼養式の種鶏舎からスクレーパーで集積された排せつ物を採取して供試した。採取した排せつ物から羽毛等の夾雑物を取り除いた後、均一に攪拌して水分含量を測定し、水分調整材を用いて水分を 60% とした原料を作製した。アンモニア発生量を正確に把握するため、水分調整材には生化学的反応に不活性な無機物であるパーライト (宇部興産, 山口) を使用した。原料 4,500 g に菌数が約 10^5 CFU/g となるよう菌培養液を添加し、小型堆肥化実験装置 (製品名: かぐやひめ, 富士平工業, 東京) に充填して毎分 400mL の流量で連続通気した (第 1 図)。一定時間ごとにテドラーバッグを装着して排ガスを捕集し、アンモニア濃度をガス検知管 (ガステック, 愛知) で測定するとともに、先端が堆肥の中心部に位置するセンサーを温度計に接続し、堆肥温度の推移を測定した。対照区には供試菌を接種していない培養液を同量添加して、同様の操作を行った。

試験 2 豚排せつ物の堆肥化におけるアンモニア低減微生物の最終選抜

最終選抜には第 1 表に示した初期選抜株のうち増殖性に難のあった KM 4 株を除く 4 株を供試した。選抜試

験は一次選抜、二次選抜の 2 段階で実施した。一次選抜は 2014 年 9 月 12 日～18 日に対照区と初期選抜株 4 株を反復なしで、二次選抜は 2015 年 1 月 21 日～28 日に一次選抜で優れた低減能力を示した株と対照区を 3 反復で実施した。

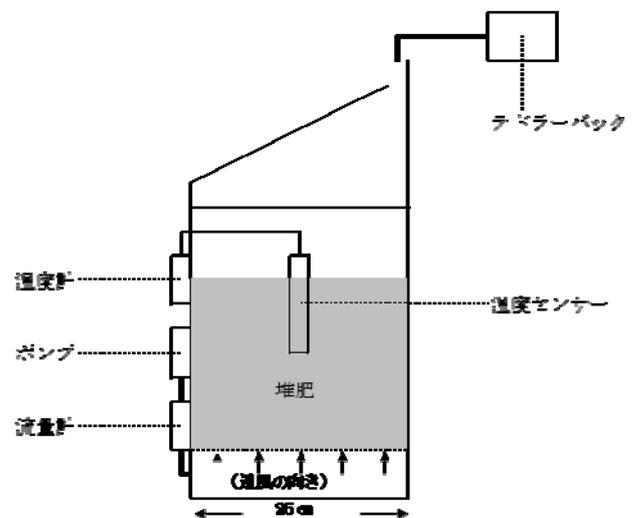
材料には福岡県農林業総合試験場の母豚舎で採取した排せつ物 24 時間以内の豚ふんと、同豚舎の母豚の排せつ時にポリ容器で直接採取した尿を用いた。肥育豚の排せつ物堆肥化過程におけるアンモニア発生状況を調査する際に用いた手法 (尾上ら 2010) で、豚ふん、豚尿、蒸留水、パーライトを 10: 2: 1: 5 の割合で混合した原料を作製した。試験 1 と同様、原料 4,500 g に菌数が約 10^5 CFU/g となるよう菌培養液を添加した試験区と対照区を小型堆肥化試験装置に充填して毎分 400mL の流量で連続通気した (第 1 図)。アンモニア濃度測定は試験 1 に準じて行った。

試験 3 豚排せつ物の堆肥化における硫黄化合物低減微生物の選抜

選抜は福岡県工業技術センター生物食品研究所が保有する約 5,000 株および株式会社九州メディカルが保有する約 500 株の *Bacillus* 属菌ライブラリーを対象に、初期選抜および最終選抜の二段階で行った。

第 1 表 供試菌

菌種名	株名	選抜畜ふん
<i>Bacillus licheniformis</i>	Z19	豚・鶏
	Z21	豚・鶏
	Z180	豚
	KM4	豚
<i>B. thuringiensis</i>	Z20	鶏



第 1 図 小型堆肥化試験装置の概要

(1) 初期選抜

小山らの報告(2011b)では養豚堆肥化施設で発生する硫黄化合物はメチルメルカプタンの濃度が最も高かったことから、初期選抜ではメチルメルカプタンを低減する微生物を選抜した。メチルメルカプタン添加培地での菌の増殖能により選抜を行った。培地には 0.2%Yeast Extract (バクトン・ディッキンソン, 東京), 0.5%塩化ナトリウム (和光純薬工業, 京都) にメチルメルカプタンナトリウム (東京化成工業, 東京) を 500 mg/L となるよう添加したものをを使用した。生物食品研究所所有の株を約 1,000 株ずつの 5 ユニット, 九州メディカル所有の約 500 株を 1 ユニットの計 6 ユニットに分け, 各ユニットの菌株混合培養液をメチルメルカプタン添加培地に接種して 28℃および 50℃で 2 日間培養した。集積培養を行った後, これを標準寒天培地に播種して, 1 日後に出現したコロニーを鈎菌し, 最終選抜に供試した。

(2) 最終選抜

最終選抜には初期選抜された 4 株と, 低級脂肪酸 (未発表) およびアンモニア (尾上ら 2017) を低減する能力を有する B1144 株を供試した。選抜試験は 3 反復で実施した。材料には福岡県農林業総合試験場の育成豚舎からスクレーパーにより搬出される豚ふん尿混合状態の排せつ物を採取して供試した。試験 1 と同様, 採取した排せつ物を均一に攪拌後, 水分含量を測定し, パーライトを用いて水分を 60%とした原料を作製した。原料 5,000 g に菌数が約 10⁵CFU/g となるよう菌培養液を添加し, 試験 1 と同様小型堆肥化実験装置 (第 1 図) で連続通気し, 一定時間ごとに排ガスを捕集した。捕集したガスは, 公定法 (昭和 47 年 環境庁告示 9 号) に準じて測定を行い, 検出された硫黄化合物すべてについて分析を行った。

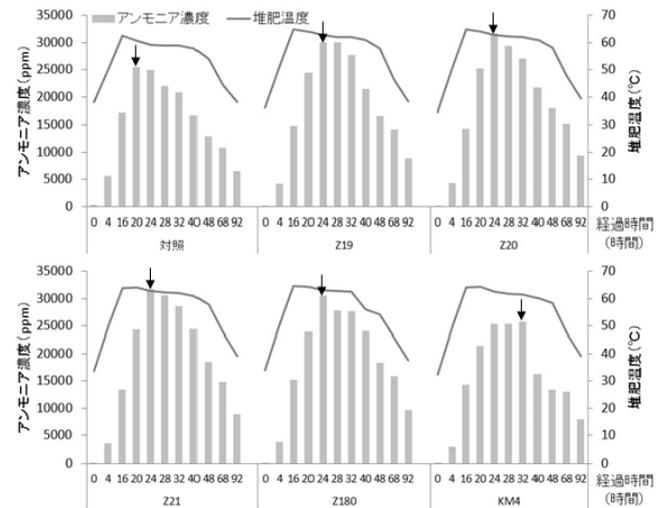
結果

試験 1 鶏排せつ物の堆肥化におけるアンモニア低減微生物の最終選抜

鶏排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移を第 2 図に示す。品温は堆肥化開始直後から上昇し, 16~20 時間後に最高温度に達した後, 緩やかに下降した。最高温度は対照区の 3 回目が 56.7℃であったのを除き, すべての区, すべての反復で 64.0~65.9℃であった。堆肥化の進行に伴ってアンモニアが発生し, 品温が上昇するにつれて濃度も上昇した。品温が最高に達するのに少し遅れて 20~28 時間後に最高濃度に達した後, 品温が低下するにつれて濃度も低下した。最高濃度 (3 反復の平均±標準偏差) は対照区が 26,000±13,164ppm, Z19 株添加区が 31,122±972ppm, Z20 株添加区が 32,233±2,542ppm, Z21 株添加区が 32,789±1,915ppm, Z180 株添加区が 30,544±2,528ppm, KM4 株添加区が 28,133±6,178ppm であった。最高濃度の 3 反復の平均では微生物を添加したすべての区で対照区を上回り, アンモニアを低減する効果を示す微生物は選抜されなかった。

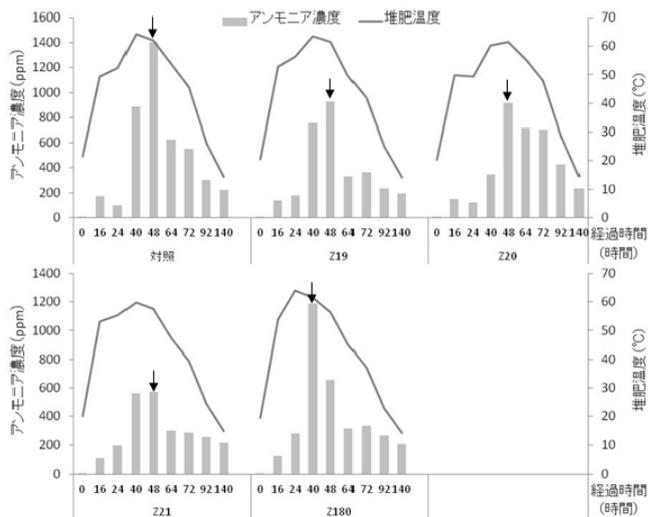
試験 2 豚排せつ物の堆肥化におけるアンモニア低減微生物の最終選抜

一次選抜において初期選抜株を添加したときの豚排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移を第 3 図に示す。品温の上昇は鶏の場合と比較して緩やかで, 通気開始から 40 時間後に最高温度 59.7~64.3℃に達した後, 下降した。品温とアンモニア発生の関係は鶏と同様で, 最高濃度に達したのは 48 時間後であった。最高濃度は対照区が 1,400ppm, Z19 株添加区が 929ppm, Z20 株添加区が 914ppm, Z21 株添加区が 571ppm, Z180 株添加区が 1,186ppm と, 微生物を添加したすべての区



第 2 図 微生物を添加した鶏排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移

- 1) 3 反復の平均
- 2) ↓ : 最高濃度



第 3 図 微生物を添加した豚排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移 (一次選抜)

- 1) 反復なし
- 2) ↓ : 最高濃度

で対照区と比較して低減し、その割合は Z21 株添加区が 59.2%と最も高かった。そこで、Z21 株を選抜候補とし、二次選抜に供試した。

二次選抜において、Z21 株を添加したときの豚排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移を第 4 図に示す。品温の推移は 1 次選抜と同様で、40 時間後に最高温度 66.2~67.1℃に達した。アンモニアが最高濃度に達したのはすべて 48 時間後で、その濃度は対照区が 18,111±962ppm (3 反復の平均±標準偏差)、Z21 株添加区が 10,833±4,537ppm と、前試験と比較して高い傾向となった。Z21 株添加区の最高濃度は対照区と比較して 40.2%低減した。

試験 3 豚排せつ物の堆肥化における硫黄化合物低減微生物の選抜

(1) 初期選抜

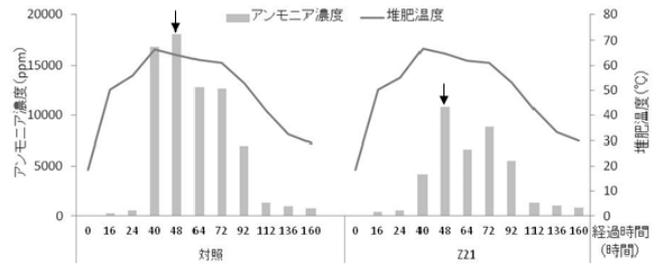
メチルメルカプタン添加培地での初期選抜の結果、常温菌 2 株、高温菌 2 株が選抜された。常温菌に M1 株および M2 株、高温菌に M3 株および M4 株と仮株名を付し、最終選抜に供試した。

(2) 最終選抜

今回の堆肥化試験ではメチルメルカプタンと二硫化メチルの 2 種の硫黄化合物が検出された。

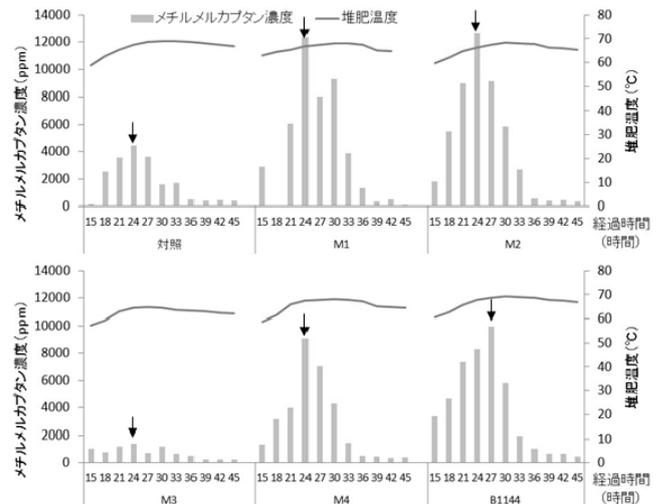
豚排せつ物の堆肥化過程における品温とメチルメルカプタン濃度の推移を第 5 図に示す。通気開始 15 時間頃からメチルメルカプタンが検出され始め、その後急激に上昇して開始から 24~27 時間後に最高濃度に達した。その後急激に低下し、45 時間後には検出下限程度の濃度となった。この間、品温は概ね 60~70℃の高温を維持していた。最高濃度 (3 反復の平均±標準偏差) は対照区が 7,438±4,076ppm、M1 株添加区が 12,494±13,191ppm、M2 株添加区が 12,989±20,967ppm、M3 株添加区が 1,628±1,688ppm、M4 株添加区が 9,095±8,491ppm、B1144 株添加区が 10,399±10,016ppm であった。最も高かったのは M2 株添加区の 2 反復目の 12,989ppm、最も低かったのは M3 株添加区の 3 反復目の 461ppm であった。M3 株添加区の最高濃度はいずれの反復の試験でも対照区と比較して低減し、3 反復の平均の低減率は 78.1%であった。それ以外の微生物を添加した区は 3 反復の平均ではすべて対照区を上回った。反復により最高濃度が大きく異なり、全 6 区の最高濃度の平均±標準偏差は 1 反復目が 5,853±4,056ppm、2 反復目が 19,734±11,668ppm、3 反復目が 1,404±1,502ppm であった。

豚排せつ物の堆肥化過程における品温と二硫化メチル濃度の推移を第 6 図に示す。メチルメルカプタンと同様堆肥化開始 15 時間頃から二硫化メチルが検出され始め、その後急激に上昇して開始から 24~30 時間後に最高濃度に達した後、急激に低下した。最高濃度 (3 反復の平均±標準偏差) は対照区が 2,415±1,732ppm、M1 株添加区が 3,093±1,800ppm、M2 株添加区が 1,877±2,207ppm、M3 株添加区が 1,008±704ppm、M4 株添加区が 2,457±1,853ppm、B1144 株添加区が 2,230±1,511ppm であった。最も高かったのは M1 株添加区の 2



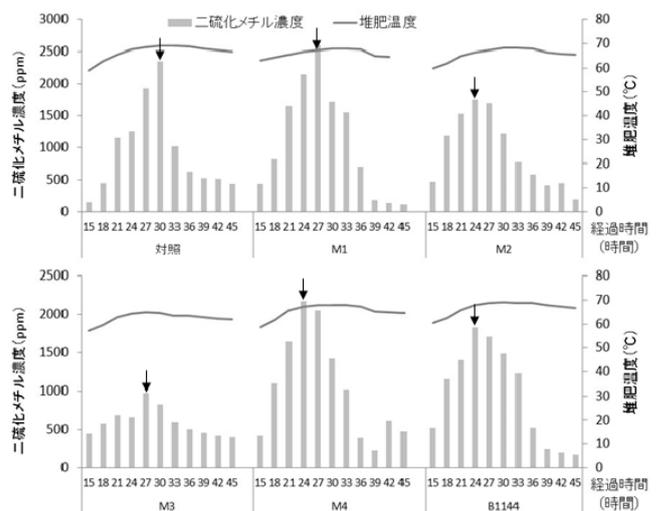
第 4 図 Z21 株を添加した豚排せつ物の堆肥化過程における品温とアンモニア濃度の推移 (二次選抜)

- 1) 3 反復の平均
- 2) ↓ : 最高濃度



第 5 図 微生物を添加した豚排せつ物の堆肥化過程における品温とメチルメルカプタン濃度の推移

- 1) 3 反復の平均
- 2) ↓ : 最高濃度



第 6 図 微生物を添加した豚排せつ物の堆肥化過程における品温と二硫化メチル濃度の推移

- 1) 3 反復の平均
- 2) ↓ : 最高濃度

反復目の 5, 166ppm, 最も低かったのは M3 株添加区の 3 反復目の 711ppm であった。M3 株添加区の最高濃度はいずれの反復の試験でも対照区と比較して低減し, 3 反復の平均の低減率は 58.3% であった。それ以外の微生物を添加した区ではいずれも低減する傾向を示さなかった。反復による差はメチルメルカプタンと比較して小さく 1 反復目が 1,455 ± 751ppm, 2 反復目が 4,032 ± 1,161ppm, 3 反復目が 1,052 ± 452ppm であった。規制対象となっている硫黄化合物のうち, 硫化水素と硫化メチルは検出されなかった。

以上の結果から, 最高濃度時のメチルメルカプタンおよび二硫化メチル濃度を低減する効果を有する M3 株を選抜した。M3 株については種と株を同定するため, 前報と同様, ランダム増幅多型 DNA (RAPD) 法による株識別および 16S rRNA 遺伝子解析を行ったところ, 種は *B. licheniformis* であり, 最初にアンモニアを低減する微生物として初期選抜していた Z19 株, Z21 株, Z180 株, KM4 株と同じ菌種であったが, 別の株であった。

考 察

本試験の堆肥化過程において, 最高温度はほぼ 60°C を超えた。堆肥化が進行すると微生物が有機物を分解する過程で熱が発生し, 堆肥の温度が 60°C くらいに上昇し, ときには 70~80°C にも達する (羽賀 1998) が, 今回の試験でも順調に堆肥化が進行したといえる。

今回, 豚ふんの堆肥化ではアンモニア濃度は最高でも 20,000ppm 以下であったのに対し, 鶏ふんの堆肥化では 6 区 × 3 反復の試験のうち 15 回で 30,000ppm 以上となった。当場の育成豚舎でスクレーパーにより搬出される豚の排せつ物の水分を計測したところ, 豚ふんに約 20% の尿が混合していると推察されることは既報 (尾上ら 2010) に述べたとおりである。ふん尿分離方式の豚舎では尿がふんに混合するのは一部であるのに対し, 鶏を含む鳥類はアミノ酸を尿酸という形態でふんと同時に排せつするため, アンモニアの前駆物質となるアミノ酸代謝物質の全量を含むことになる。このことが鶏ふんの堆肥化でアンモニアの発生量が高くなる一因と考えられ, ふんに混合する尿量の違いがアンモニア濃度に影響したと推察される。堆肥化過程でのアンモニア対策は豚よりも鶏の方が重要であると思われるが, 鶏ふんの堆肥化過程におけるアンモニア対策の研究は少ない。中でも微生物の活用による対策については, 篠原ら (2002) が微生物資材・K3 菌の効果を検討しているが, アンモニアの発生について一定の傾向は認められなかったとしている等, 成果を得られたものが少なく, 今回も同様の結果となった。既報 (尾上ら 2017) の鶏ふん懸濁液の常温培養でも有効な微生物は選抜されておらず, 微生物による鶏ふんのアンモニア対策は困難であると思われる。小山ら (2011c) がスギ樹皮の被覆による鶏ふん堆肥化過程のアンモニア吸着効果はオガクズの 3 倍であると報告していること等から, 今後は物理的な吸着等, 別の方法を検討していく必要がある。

豚ふん堆肥化過程でのアンモニア低減については, Kuroda ら (2004) が堆肥化過程で生育する微生物の中からアンモニアを低減する効果の高い微生物 TAT105 株を単離し, 小山ら (2011a) が豚ふんに豚尿を混合した今回の著者らと同様の手法でも同株のアンモニア低減効果を確認している。同株は種名までは同定されていないが, *Bacillus* 属の微生物である。著者らの *Bacillus* 属ライブラリーにも同様にアンモニアを低減する能力を有する微生物が存在すると考えて選抜試験を実施し, Z21 株を最終選抜した。最終選抜株としては 1 株のみとしたが, 試験 2 の 1 次選抜では供試した 5 株すべてが低減能力を示した。これは, 常温での選抜を試み, 供試した 11 株中 1 株のみを最終選抜できた前報と異なる点である。供試した株は 1 株を除き, 他はすべて *B. licheniformis* であったが, 同種は高温で増殖できることが知られている。常温で選抜試験を実施した前報では, ふん中の偏性好気性菌が優先的に増殖したことにより最終選抜株以外の供試菌株の生育を阻害したと推察したが, 堆肥化の高温条件下では競合相手となる微生物の影響が少なかったことがすべての供試菌株が低減能力を示した原因と推察される。

小型堆肥化実験装置を用いた今回の試験では, メチルメルカプタンが検出される期間は堆肥化開始から 15~45 時間の約 30 時間であり, この傾向は堆肥化初期にメチルメルカプタンが高濃度で発生するとした小山ら (2011b) の報告と一致する。この発生期間はアンモニアと比較すると短い, メチルメルカプタンは閾値が低く (代永 1998), 低濃度でも強くにおうため, 対策は重要である。悪臭原因物質としての硫黄化合物を低減する微生物は報告が少ない (黒田 2002) が, 畜産環境全般をみると, 手島と水田 (2009) が硫酸化細菌を畜舎排水中の硝酸性窒素の除去に利用している例がある。この細菌は排水中で BOD (有機物) の代わりに硫黄を栄養源として利用することから, 堆肥中でもメチルメルカプタンの原料となる硫黄を栄養源として利用できる微生物が存在する可能性はあると考え, 探索した。その結果, メチルメルカプタンと二硫化メチルを低減できる *Bacillus* 属菌 M3 株を選抜した。初期選抜ではメチルメルカプタンの存在下での増殖能のみを指標としており, この微生物が硫黄を酸化してエネルギーを得るのか, 含硫アミノ酸の生成に利用するのかといった機序については今後検証する必要がある。

今回は堆肥化過程の悪臭低減を目的としていたため, 原料の排せつ物に微生物を添加して試験を行った。しかし, 実際の生産現場において, 堆肥化時に微生物資材を均一に混合するには労力を要するため, 普及性を考慮した場合, あらかじめ飼料に均一に混合して給与することが望ましい。その場合は既報 (尾上ら 2015, 尾上ら 2017) のような安全性試験が不可欠となる。そのうえで, 選抜した微生物の複合により, 養豚における悪臭を総合的に低減できる資材の開発が期待される。

謝 辞

本研究は財団法人福岡県産業・科学技術振興財団「IST研究開発FS事業」および株式会社久留米リサーチパーク「福岡県新製品・新技術創出研究開発支援事業可能性試験事業」により行われました。厚く御礼申し上げます。

引用文献

- 羽賀清典(1998)堆肥化処理. 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 畜産環境整備機構, 東京, p. 31-38.
- Homidan A. AL., J. F. Robertson, A. M. Petch, 土屋正彦・片山詔司・斎藤忠次・信沢敏一・戸塚耕二(2011)ブロイラーの生産性に及ぼすアンモニアと粉塵濃度の影響. 畜産の研究 65 : 349-454
- 小山 太・黒田和孝・浅田研一・尾上 武・近藤隆一郎(2011a), *Bacillus* SP. TAT105 株添加による豚糞堆肥化過程のアンモニア揮散低減効果. 日畜会報 82 : 163- 169.
- 小山 太・松原英隆・今村弥生・尾上 武・近藤隆一郎(2011b), 養豚堆肥化施設における発生源別の臭気物質の挙動. 日畜会報 82 : 397- 404.
- 小山 太・清水邦義・松原恵理・吉田絵美・近藤隆一郎(2011c), スギ樹皮被覆による鶏ふん堆肥化過程のアンモニア抑制. 木材学会誌 57 : 370- 376.
- 黒田和孝(2002)家畜排せつ物の堆肥化における微生物を用いた臭気低減. 土と微生物 56 : 69-74.
- Kuroda K., D. Hanajima, Y. Fukumoto, K. Suzuki, S. Kawamoto, J. Shima and K. Haga(2004) Isolation of thermophilic ammonium-tolerant bacterium and its application to reduce ammonia emission during composting of animal wastes. Biosci. biotechnol. Biochem. 68 : 286-292.
- 黒田和孝(2006)養豚で利用される臭気対策資材. 日豚会誌 43 : 143-167.
- 農林水産省(2016)平成 28 年 畜産統計. 15-29.
- 農林水産省(2017)畜産経営に起因する苦情発生状況. 農林水産省生産局, 東京, <http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujou28.pdf> (2017年6月8日閲覧)
- 尾上 武・立花文夫・鮫ヶ井靖雄・小山 太・手島信貴・山口昇一郎・浅田研一(2010)低タンパク質飼料を給与した肥育豚のふん尿の堆肥化過程における窒素動態とアンモニアの発生状況. 日豚会誌 47 : 8-15.
- 尾上 武・下川智子・日下芳友・前田 稔・齋藤浩之・浅田研一(2015)低級脂肪酸低減微生物 *bacillus thuringiensis* D45株の選抜. 日豚会誌 52:143-152.
- 尾上 武・下川智子・山下聡子・日下芳友・前田 稔・齋藤浩之・浅田研一(2017)豚および家きんふん懸濁液の常温培養におけるアンモニア低減微生物の選抜. 福岡農林試研報 3 : 57-64.
- 篠原啓子・福井弘之・沢則之・近藤正治(2002)ブロイラー鶏ふんへの微生物資材(K3 菌)利用による脱臭効果及び堆肥化への効果. 徳島県立農林水産総合技術センター畜産研究所研究報告 2 : 95-100.
- 高原康光・森千江子・井奈波良一(2001)臭気排出強度による養豚農家の悪臭発生量評価. 臭気の研究 32 : 150-157.
- 手島信貴・水田一枝(2009)硫黄-カルシウム資材および独立栄養細菌を用いた脱窒法(SLAD法)による畜舎排水中の硝酸性窒素除去効果. 福岡農試研報 28 : 79-83
- 對馬宣道・向後克哉・太田能之・吉田達行・中尾暢宏・田中 実(2013)冬季における二酸化炭素とアンモニアガス濃度にもとづいた労働環境としての採卵鶏舎の衛生評価について. 畜産の研究 67 : 234-242.
- 代永道裕(1995)悪臭と有害ガス. 畜産環境大事典. 農山漁村文化協会, 東京, p. 25-39.
- 代永道裕(1998)悪臭の防止. 畜産環境アドバイザー養成研修会資料. 畜産環境整備機構, 東京, p. 75-114.