

## 密閉縦型発酵装置によって作られた豚ふん堆肥の利用方法

小橋有里, 小柳 渉, 平尾賢一  
新潟県農業総合研究所畜産研究センター

### Utilization of the swine manure compost made by sealing vertical model fermentation system

Yuri KOBASHI, Wataru OYANAGI and Kenichi HIRAO  
Niigata Agricultural Research Institute Livestock Research Center

**要 約** 近年、関心を集めている環境保全型農業には、堆肥の施用が不可欠である。なかでも、堆肥の材料のひとつである家畜ふんは、土壌汚染の原因となる可能性があるため、適正な処理が必要である。家畜排泄物法の施行により、急速に広まった密閉縦型発酵装置によって作られた豚ふん堆肥は、従来の開放型堆肥化施設で作られた豚ふん堆肥と比べ、微生物によって容易に分解される有機物（易分解性有機物）を多く含み、肥効率や肥効パターンに違いがある、粉状で取り扱いにくい等、利用面での課題が多数ある。

本研究では、新潟県における密閉縦型発酵装置を持つ養豚農家の堆肥の生産と販売状況をアンケートによって調査した。また、密閉縦型発酵装置によって作られた豚ふん堆肥の特徴を把握し、それらを生かした利用方法の探索を行い、今後の利用促進への基礎情報を得た。

近年、環境保全型農業が注目されている。平成17年3月に農林水産省が「環境と調和のとれた農業生産活動規範（農業環境規範）」（農林水産省生産局農業環境対策課2005）を策定し、作物の生産においては、土づくりにおけるたい肥等の有機物の利用の重要性、家畜の飼養・生産においては、家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法、農林水産省生産局畜産部畜産企画課1999）を遵守することを提示している。

家畜排せつ物法の施行により、家畜ふんの堆肥化技術も数多く行われ、推奨された堆肥化装置の一つに、密閉縦型発酵装置がある。エレベータ式投入装置で原料ふんを上から投入、混合・攪拌しながら下部へ移動する間に発酵する。熱効率もよく、数日で一次発酵を終了する。密閉型なので臭気対策が容易という概要である。初期投資、運転経費ともかかるが、敷地面積が最も少なく済むことから、最近とくに普及したとされている（農林水産省農林水産技術会議2002）。

密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥は、短期間で強制発酵および乾燥を行うため、微生物によって容易に分解される有機物（易分解性有機物）が多く残っている（実用技術開発事業18053マニュアル作成委員会2009）。他の堆肥化方法のように、長期間をかけ、微生物によって易分解性有機物が十分に分解した堆肥とは異なる特性

がある。一般的に、易分解性有機物が未分解の状態は、未熟堆肥と思われ、表面施用には向いているが、そのまま田畑に入ると急激に分解する為、 $\text{NH}_3$ の発生等の還元障害が現れる可能性が高いとの不安の声がある。

また、家畜ふん堆肥を土壌に施用した場合、易分解性有機物をえさにして、微生物が急激に増殖する。その際に、土壌や堆肥に含まれている窒素を取り込む現象が起こる。その後、取り込まれた窒素は、易分解性有機物が無くなり、微生物が死滅しはじめると、土壌中に放出される（実用技術開発事業18053マニュアル作成委員会2009、三重県農業研究所循環機能開発研究課2010）。つまり、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥は、施用後に窒素が一度減った後に再び増える、という特徴的な肥効パターンを描くため、緩効性窒素のある堆肥と言える。また、微生物活動は温度の影響を受けるため、施用後の窒素の減少、増加までの期間は季節により異なる。これらの不明部分が、利用者にとって、使いにくいとされるのではないかと推測される。その他、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥は粉状で水分が非常に少ないため、散布時に、飛散しやすく、取り扱いにくいといった話もある。

本研究では、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥の利用促進を目指して、新潟県における、養豚農家の堆

肥の生産と販売状況を聞き取りとアンケートによって調査した。次に、密閉縦型発酵装置によって作られた豚ふん堆肥の特徴を把握するために、収集した豚ふん堆肥の窒素肥効パターンの予測を行った。その後、水田での利用を想定し、得られた窒素肥効パターンを元に作物への影響を及ぼさない施肥量の検討を行った。また、未熟堆肥の施用で起こるとされる、発芽直後の生育不良の有無を確かめるために、コマツナの発芽直後の生育試験により評価した。

さらに、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥に含まれる機能性微生物をスクリーニングし、その効果を評価した。密閉縦型発酵装置は、70℃の高温、乾燥状態になるため、通常の微生物は生育不可能となるが、抗菌性活性リポペプチドと強力な界面活性を示す物質を分泌することから微生物農薬としての利用が期待される

*Bacillus*属（紀岡ら 1998）は、芽胞形成好気性のグラム陽性桿菌であるため、発酵後の堆肥にも存在すると予測し、堆肥から分離した*Bacillus*属のトマト根腐萎凋病への拮抗作用を調査する試験を行った。

## 材料および方法

### 1. アンケート調査

アンケートは、平成 22 年 5 月に新潟県内全域の密閉縦型発酵装置を所有する農家を対象に、農業普及指導センターを通じて行った。アンケートの項目は、堆肥化装置のメーカーと型番、飼養規模、堆肥化期間、利用先、生育障害等の問題の有無を回答していただいた。また、密閉縦型発酵装置から排出された堆肥 1 kg 程度を材料提供していただいた。

### 2. 堆肥の肥料成分の分析と微生物数の測定

収集した堆肥は、分析に供するまで 4℃で保管した。凍結乾燥後、肥料等試験法（2008）に従って水分、全窒素、リン酸、カリウム、灰分の含有量を求めた。また、易分解性有機物含量を推定するために、酸性デタージェント可溶有機物（AD 可溶有機物）と酸性デタージェント可溶窒素（AD 可溶窒素）量を求めた（小柳ら 2010；小柳と棚橋 2010）。堆肥中アンモニア態窒素は 10 倍量の 0.5 M 塩酸で 30 分振盪抽出後（棚橋ら 2010）、吸光度法（インドフェノール青吸光度法、土壤環境分析法編集委員会 1997）で測定した。堆肥中の大腸菌群数はデゾキシコレート寒天培地（日水製薬、茨城）、好気性菌数は PTYG 培地（蒸留水 1000 ml 中、バクトペプトン 0.25 g、バクトトリプトン 0.25 g、バクト酵母エキス 0.5 g、ブドウ糖 0.5 g、MgSO<sub>4</sub>・7H<sub>2</sub>O 30 mg、CaCl<sub>2</sub>・2H<sub>2</sub>O 3.5 mg、寒天粉末 15 g）、バチルス数は 10 倍希釈検体液を 80℃・30 分加熱した後、標準寒天培地（日水製薬、茨城）を用

いて、平板希釈法によってコロニー数を計数した。

### 3. 堪水培養試験による肥効パターンの解明

密閉縦型方式で製造された 3 種類の豚ふん堆肥について堪水条件下での経時的な培養無機態窒素を測定した。用いた堆肥の AD 可溶有機物、アンモニア態窒素、AD 可溶窒素、よび全窒素を表 1 に示した。

表 1 堪水培養試験での供試堆肥 (mg/g DM)

	AD 可溶 有機物	アンモニア 態窒素	AD 可溶 窒素	全窒素
堆肥 A	558	11.8	43	58
堆肥 B	509	6.5	32	46
堆肥 C	449	7.4	28	46

凍結乾燥・粉碎した堆肥 100 mg と乾土 23 g 相当の水田土壌を混合し、バイアルビンに入れ、水位 2 cm 程度となるように水を加え堪水し、気密のために流動パラフィンで 1 cm 程度流し込み、30℃で 3-70 日（最長 10 週間）培養した。培養後最終塩化カリウム濃度が約 2M となるように 4M 塩化カリウムで三角フラスコに洗い出し、30 分振盪し、濾過後、抽出液中のアンモニア態窒素をインドフェノール青吸光度法で測定した。堆肥添加土壌と無添加土壌の差し引きから堆肥乾物あたりのアンモニア態窒素を算出し、これを培養無機態窒素とした。なお、培養は各 3 反復で行った。

### 4. 発芽直後の生育試験による障害の確認

豚ふん堆肥の施用を 2 段階(1 または 3 t/10a DM)設定し、1/5,000 a ワグネルポットによりコマツナの栽培試験を実施した。用いた豚ふん堆肥は、酸性デタージェント可溶性有機物が 550 mg/g DM、成分量は、N:6 kg/t、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:49 kg/t、K<sub>2</sub>O:6 kg/t DM であった。本研究では、豚ふん堆肥の施用量および窒素施肥量が作物の生育に及ぼす影響を調べるため化学肥料区（窒素 30 kg/10 a）、堆肥少量区（堆肥 1 t/+化学肥料窒素 30 または 24 kg/10 a）、堆肥多量区（堆肥 3 t/+化学肥料窒素 30 または 48 kg/10 a）を設定し、1 区 3 反復（ポット）とした。施用した窒素成分量は、堆肥 1 t 区（N:6 kg/t）（化学肥料混合）で合計 30、36 kg/10 a、堆肥 3 t 区（N:18 kg/t）（化学肥料混合）で合計 30、48 kg/10 a であった。堆肥と化学肥料をセンター内から採取した多腐植黒ボク土と混合し、1/5,000 a ワグネルポットに詰め込み、ビニールハウス内で栽培を行った。コマツナの種子をシャーレ内濾紙上にて恒温 25℃で 2 日間水に浸漬し、発芽させた後、1/5,000 a ワグネルポット表面に 20 粒を等間隔に播種した。コマツナの 1/5,000 a ワグネルポット移植は、2012 年 7 月 10 日に行い、生育率は 1 週間後に調査し、生育重量は播種から約 3 週間後に刈取

りをし、乾物収量を求めた。

### 5. 堆肥由来拮抗微生物によるトマト根腐萎凋病への拮抗作用の検討

堆肥中のバチルス数を計数した後、新たな標準寒天培地に釣菌純化を2回繰り返して分離した。分離した菌株のトマト根腐萎凋病への拮抗作用の検討は、三重県農業研究所に対峙培養を委託し、クリアゾーンの測定によって数値化した(写真)。対峙培養によって得られたクリアゾーンの数値と拮抗作用を示した分離株割合から、分離株 SM25 を選択し、形態観察、顕微鏡観察、および API50CH キット(シスメックス・ビオメリュー、東京)により同定した。

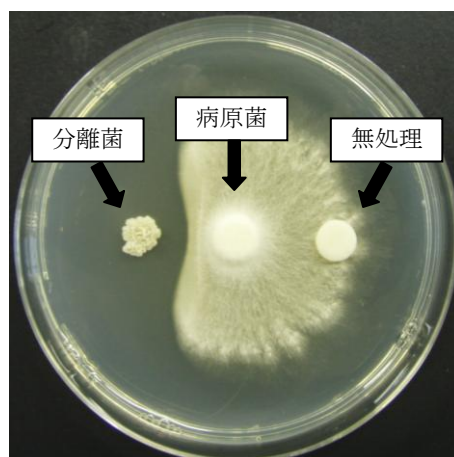


写真 トマト根腐萎凋病への拮抗作用の検討

### 6. 土壌中でのトマト根腐萎凋病抑制効果

分離株 SM25 の土壌中でのトマト根腐萎凋病への拮抗作用を検討した。普通液体培地で 25℃、7日間振とう培養後、実験に用いた。トマト根腐萎凋病は、ポテトデキストロース液体培地(蒸留水 1000 ml 中、ポテト浸出液末 4 g、ブドウ糖 20 g)で 25℃・7日間振とう培養後、培養液 1 L を市販されている野菜用苗培養土 10 L をオートクレーブ殺菌後に混合、病原菌汚染土壌を作成し、試験開始前に土壌中の菌数を測定した。

また、市販されている野菜用苗培養土を用いてハウス桃太郎の苗を 3-5 葉期になるよう育苗し、*Fusarium oxysporum* が 10<sup>6</sup> CFU/g 生土の病原菌汚染土壌に移植し

た。SM25 を 10<sup>4</sup>、10<sup>6</sup>、10<sup>8</sup> CFU/ml になるように調整した拮抗菌液体を用意し、トマト苗移植時、3日後、6日後にそれぞれ 100 ml 灌注処理した。移植から 10 日後、トマト苗を土から引き抜き、流水で土壌を洗い流した後、根の褐変程度を 5 段階評価し、導管褐変度を算出した。導管褐変度は、次の式によって求めた。導管褐変度 =  $\frac{\sum \{(\text{褐変程度} \times \text{褐変程度別個体数}) / (\text{調査株数} \times 4)\}}{\times 100}$  (0: 褐変が認められない, 1: 1-25 %が褐変, 2: 26-50 %が褐変, 3: 51-75 %が褐変, 4: 76-100 %が褐変)。

表 2 アンケート調査結果

農家番号	飼養母豚数(頭)	堆肥化期間(日)	利用状況			生育障害の有無
			目的	利用先	利用作物	
①	50-100	2	無償譲渡	耕種農家	露地野菜 ハウス野菜 果樹	無し
②	100-200	<10	自家利用	自家農地	露地野菜	不明
③	100-200	<20	無償譲渡	耕種農家	露地野菜 ハウス野菜 果樹	不明
④	50-100	10-15	有価販売 自家利用	耕種農家 自家農地	水稻・露地野菜	無し
⑤	200<	10-15	有価販売 自家利用	耕種農家 自家農地	水稻・露地野菜・果樹 露地野菜	無し
⑥	0(肥育)	<10	有価販売	耕種農家 JA	水稻	無し
⑦	50-100	10-15	有価販売	耕種農家 JA	水稻・露地野菜・養鯉	無し
⑧	100-200	10-15	自家利用 有価販売	自家農地 耕種農家	水稻 水稻・露地野菜・果樹	無し
⑨	200<	10-15	有価販売	耕種農家	水稻・露地野菜・果樹	無し
⑩	200<	<10	有価販売 自家利用	耕種農家 自家農地	茶 水稻	無し
⑪	200<	回答無し	有価販売	耕種農家	露地野菜	回答無し

表3 密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥の成分と微生物数

農家番号	乾物あたり						原物あたり		
	全窒素 (%)	リン酸 (%)	カリウム (%)	灰分 (%)	AD可溶有機物 (mg/g)	ADL (%)	水分 (%)	大腸菌群数 (CFU/g FM)	好気性菌数 (CFU/g FM)
①	3.3	5.2	2.8	18.2	550.3	9.9	23.8	N.D.	9.1×10 <sup>8</sup>
②	2.1	6.3	2.0	39.4	191.9	18.9	30.9	1.6×10 <sup>5</sup>	6.2×10 <sup>6</sup>
③	4.6	6.9	2.8	23.7	496.6	9.5	18.7	1.0×10 <sup>2</sup>	3.6×10 <sup>8</sup>
④	4.3	4.9	2.5	18.3	540.7	11.6	30.8	N.D.	5.6×10 <sup>7</sup>
⑤	2.3	5.5	2.6	19.4	568.2	6.4	26.4	N.D.	7.2×10 <sup>7</sup>
⑥	1.9	2.6	2.1	24.7	186.9	28.0	39.6	N.D.	7.1×10 <sup>5</sup>
⑦	3.1	5.6	2.6	23.7	441.4	16.1	19.1	N.D.	6.9×10 <sup>7</sup>
⑧	3.9	6.8	2.9	22.0	563.3	8.3	23.3	N.D.	1.9×10 <sup>8</sup>
⑨	2.8	6.6	2.8	28.4	418.1	10.3	20.7	N.D.	1.6×10 <sup>7</sup>
⑩	4.7	4.6	2.5	21.9	533.7	8.4	24.3	N.D.	1.2×10 <sup>9</sup>
⑪	2.8	5.6	2.7	22.7	408.3	15.0	29.0	2.5×10 <sup>4</sup>	1.3×10 <sup>9</sup>

AD可溶有機物；酸性デタージェント可溶有機物，ADL；酸性デタージェントリグニン，CFU；コロニー形成数，N.D.；検出限界以下

## 結果および考察

### 1. アンケート調査結果

アンケート調査結果を表2に示した。回答数は11農家であった。堆肥化日数は、装置への豚ふんの投入から、排出までの日数を答えてもらったが、連続運転をしている場合が多く、実際の堆肥化日数は不明な農家も多かったが、10日以内が4戸、10-15日が5戸、16-20日以内が1戸であった。また、利用目的は、有価で販売している農家が8戸あり、自家利用や無償譲渡以外にも需要はあることが判明した。利用先は、耕種農家がほとんどであったが、中にはJAに販売している農家も2戸あった。利用作物は、露地野菜が9件と最も多く、水稻に利用している例が7件、果樹に利用している例が5件、その他ハウス野菜、養鯉や茶といった例もあった。生育障害の有無については、無しと回答した農家が8戸と最も多く、不明や回答無しはわずか3戸であった。

今回のアンケート調査では、有価で販売している農家が多数存在したこと、利用作物も多岐に渡り、生育障害も確認されなかったことから、農家の方々が上手に利用しているのではないかと推察された。関東地域でのアンケート調査において、作物生産農家が入手したいと回答した堆肥の種類は、まず牛ふん堆肥に対する希望が多く、次いで鶏ふん堆肥、豚ふん堆肥の順という調査結果がある(財団法人畜産環境整備機構 2006)。

豚ふん堆肥が、他の畜種の堆肥と比較して、決して肥料成分が劣るわけではないのに人気がないのは、悪臭が問題となっているとされているが、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥は、好気性高温発酵処理と乾燥により堆肥化されるため、堆肥化時にはアンモニアガスが発

生するものの、スクラバー方式の水洗浄方法で90%以上削減することができ(藤井と白川 2005)、完成した製品に臭気の問題がないことへの理解が進むことに期待したい。

### 2. 堆肥の肥料成分と微生物数

収集した11点の密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥の成分と微生物数を表3に示した。堆肥の品質実態調査報告書(財団法人畜産環境整備機構 2005)によると、全国の堆肥センター等から集めた密閉型発酵方式で作られた堆肥59点の平均値は、全窒素が3.4%、リン酸が4.9%、カリウムが2.9%、灰分が36.5%、水分が28.3%となっている。今回収集した豚ふん堆肥の成分は、灰分が11点の平均で23.9%とやや低い割合であった。他の項目は、全国の平均値と大きく変わらなかった。AD可溶有機物含量は、②と⑥が200mg/gDM以下であった以外は、400mg/gDM以上であり、密閉型発酵方式で作られた豚ふん堆肥のAD可溶有機物含量は、他の開放攪拌方式や堆積方式で作られた豚ふん堆肥と比較して非常に多く、易分解性有機物含量も多いと考えられる。この傾向は、棚橋と小柳(2010)と同様の結果であった。また、大腸菌群が検出された堆肥が3点あったのは、密閉縦型発酵装置から排出後、さらに堆積して2次発酵させたものではないかと推察された。

### 3. 室内培養試験による肥効パターン

図1に堪水条件下での豚ふん堆肥の窒素無機化パターン(30℃培養)を示した。いずれも一旦有機化(培養3日目)後に再無機化するというパターンを示した。棚橋と小柳(2010)は畑土壌条件下での窒素無機化パターン

を検討し、AD可溶有機物含量が250 mg/g DM以上のものは一旦有機化後に再無機化することを示している。今回供試した堆肥のAD可溶有機物含量は449~558 mg/g DMであり、このようなAD可溶有機物含量が多い堆肥は湛水条件下でも畑土壌条件下と同様な窒素無機化パターンであることが示された。また、有機化量（培養0-3日）は、堆肥A>堆肥B>堆肥Cであった。これはAD可溶有機物含量の順であり、畑土壌条件下での既存の知見（実用技術開発事業18053マニュアル作成委員会2009；棚橋と小柳2010）と同様に湛水条件下でもAD可溶有機物含量が多いほど有機化量が大きい可能性が示された。いずれの堆肥も培養日数が56日を超えると培養無機態窒素はほぼ頭打ちになる（図1）。また、小柳と棚橋（2010）は畑土壌条件下での培養無機態窒素はAD可溶窒素より推定できることを示している。

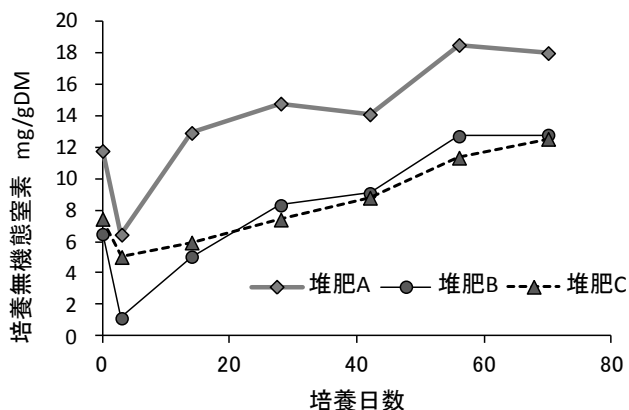


図1 湛水条件下での豚ふん堆肥の窒素無機化パターン (30°C培養)

そこで、本研究での培養42日(6週)、56日(8週)、70日(10週)の培養無機態窒素と小柳と棚橋らが示した推定式AD可溶窒素(mg/g DM)×0.5-2.5との関係を図2に示した。42日培養無機態窒素はy=x直線の右下に外れるものの、56日培養無機態窒素と70日培養無機態窒素はy=x直線上にあり、培養無機態窒素とAD可溶窒素×0.5-2.5はほぼ一致した。これは湛水条件下においてもAD可溶有機物含量が高い豚ふん堆肥の窒素肥効は畑土壌条件下と同様にAD可溶窒素により推定できる可能性を示した。さらに測定例を重ねて検証することにより、密閉縦型発酵装置で作られた豚ふん堆肥の水田での精密な窒素肥料的利用が可能になると考えられた。

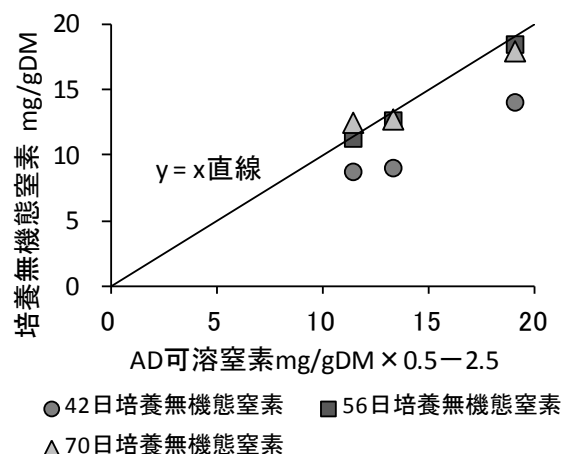


図2 湛水条件下での豚ふん堆肥の培養無機態窒素とAD可溶窒素の関係 (30°C培養)

表4 堆肥の施用量が発芽直後の生育率と生育重量に与える影響

区	窒素成分 (/10a)	施用成分量 (kg/10a)				コマツナの生育				
		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	生育率 <sup>3)</sup> (%)	生育重量 (kg/a)			
化学肥料	窒素 30kg	30	(0) <sup>1)</sup>	30	(0)	30	(0)	90.0	B <sup>2)</sup>	460.5
堆肥少量	堆肥 1t+窒素 30kg	36	(6)	79	(49)	55	(25)	81.7	B	473.7
	堆肥 1t+窒素 24kg	30	(6)	49	(49)	25	(25)	90.0	B	451.5
堆肥多量	堆肥 3t+窒素 30kg	48	(18)	177	(147)	105	(75)	60.0	AB	524.5
	堆肥 3t+窒素 12kg	30	(18)	177	(147)	75	(75)	38.3	A	519.5

<sup>1)</sup> ( ) 内は、堆肥からの成分

<sup>2)</sup> 異符号間に有意差あり (P < 0.01)

<sup>3)</sup> 生育率は、発芽種子移植後に生育した割合

#### 4. 発芽直後の生育試験による生育障害の確認

堆肥の腐熟度判定法は様々な方法が報告されているが(原田 1996; 藤原 1997; 古谷 2003), 本試験では他の評価法でも使われているコマツナを使い, 生育阻害物質の影響を確認するために, 簡便なワグネルポット栽培試験で豚ふん堆肥の有効性, 発芽直後の生育障害等を検討した. 試験区の設定, 生育率および生育重量を表 4 に示した. 豚ふん堆肥 1 t/10 a 区の施用では生育率は 81.7-90.0 % と高い傾向にあったが, 3 t/10 a 区では生育率が 60 % 以下となり, 堆肥 3 t+窒素 12 kg/10 a では明らかな生育抑制が見られた ( $P<0.01$ ).

また, 堆肥少量区では窒素施用量が増えるに従って生育率が低下する傾向も見られた. 細田(2000)は, 豚ふん堆肥は, 窒素 20 kg/10 a 相当量施用で生育不良があることを報告しているが, 本試験では豚ふん堆肥と化学肥料を合わせた窒素 30 kg/10 a 相当施用でも生育不良が見られない区があった. 藤原ら(2001)はワグネルポットから採取した土壌溶液でのシャーレによるコマツナ発芽試験において, pH や EC の影響を軽減する方法により堆肥の評価を行っている. 発芽試験においては, 堆肥中の pH や EC の影響を排除することが必要なのかもしれない. また, コマツナの生育重量は, 区間の有意差がみられなかったが, 堆肥多量区で高い数値を示した. 佐藤ら(2001)は, 豚ふん堆肥の全面施用(窒素施用量 25.3-78.1 kg/10 a)によるサイレージ用トウモロコシにおいて, いずれの施肥量でも発芽障害がなかったことと, 豚ふん堆肥の増施に伴い乾物収量が増加することを報告している. さらに, 豚ふん堆肥は慣行法を上回る初期生育促進効果を有していることも示唆されている. 今後は堆肥の違い, 土壌の違い等による影響を検討する必要がある.

#### 5. 堆肥由来拮抗微生物によるトマト根腐萎凋病への拮抗作用の検討

収集した堆肥中のバチルス数と分離菌株, トマト根腐萎凋病への拮抗作用を検討した結果を表 5 に示した. 9 点の堆肥から, 38 株のバチルス菌を分離した. バチルス数は,  $10^3$ - $10^4$  CFU/g FM であり, 拮抗作用は 0-6.3 までであり, 分離株全てが高い拮抗能を持っていたのは, ⑧の堆肥から分離された菌株であった. これまで, *Pseudomonas putida* (永井ら 2002; 福田ら 2003), *Bacillus subtilis* (Phae ら), 牛ふん堆肥から分離した微生物(鈴木ら 2008)等がトマト根腐萎凋病に対し拮抗作用を示す報告をしており, 堆肥中の機能的微生物に期待される.

表 5 堆肥中バチルス属数と分離株の拮抗作用

分離堆肥	バチルス数 (CFU/g FM)	分離株	拮抗作用*		
①	$8.3 \times 10^3$	SM1	5.0		
		SM2	4.3		
		SM3	3.3		
		SM4	3.3		
		SM5	2.0		
②	$1.0 \times 10^3$	SM6	5.7		
		SM7	0.0		
④	$1.0 \times 10^3$	SM8	5.7		
		⑤	$5.0 \times 10^4$	SM9	5.0
				SM10	3.0
				SM11	4.7
				SM12	5.0
				SM13	4.0
				⑥	$1.4 \times 10^4$
SM15	0.0				
SM16	3.6				
SM17	0.0				
SM18	0.0				
⑦	$8.6 \times 10^3$	SM19	6.3		
		SM20	0.0		
		SM21	5.7		
		SM22	4.0		
		SM23	0.0		
		⑧	$2.3 \times 10^4$	SM24	5.7
				SM25	6.0
SM26	5.0				
SM27	6.0				
SM28	5.7				
⑨	$2.6 \times 10^4$			SM29	5.7
				SM30	5.7
				SM31	6.0
		SM32	5.7		
		SM33	0.0		
		⑩	$1.9 \times 10^4$	SM34	5.0
				SM35	0.0
				SM36	0.0
				SM37	0.0
				SM38	0.0

\*拮抗作用の数値は, 対峙培養時のクリアゾーンの距離から算出

## 6. 土壌中でのトマト根腐萎凋病抑制効果

SM25 の土壌中でのトマト根腐萎凋病への拮抗作用の検討結果を表 6 に示した。拮抗菌であるバチルス濃度が上昇するにつれ導管褐変度が低くなり、病原菌に対し拮抗作用を示したと考えられる。10<sup>4</sup>-10<sup>6</sup> CFU/ml の培養液の灌注処理では、防除価が 25 %、10<sup>8</sup> CFU/ml の培養液の灌注処理では防除価が 100 %であった。

鈴木ら (2009) は、牛ふん堆肥から分離したトマト根腐萎凋病への拮抗作用を持つ微生物の菌密度について検討したところ、病害抑制効果を得るためには、堆肥中に 10<sup>7</sup>-10<sup>9</sup> CFU/g 以上必要との報告をしている。今回は、堆肥から分離した微生物を培養後に土壌に灌注処理したため、根圏での効果が鮮明であったが、今後は、堆肥を施用した場合の拮抗作用の検討が必要と考えられる。

表 6 SM25 の土壌中でのトマト根腐萎凋病への拮抗作用

区	バチルス濃度 (CFU/ml)	病原菌濃度 (CFU/g 生土)	導管褐 変度	防除価
無処理	無し	無し	0	-
拮抗菌 無し	無し	10 <sup>6</sup>	100	0
拮抗菌 (少量)	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	75	25
拮抗菌 (同量)	10 <sup>6</sup>	10 <sup>6</sup>	75	25
拮抗菌 (多量)	10 <sup>8</sup>	10 <sup>6</sup>	0	100

## 謝 辞

本研究を行うにあたり、アンケート調査に回答していただいた農家の皆様、アンケート調査を行っていただいた普及指導員の皆様にご協力いただいた。また、三重県農業研究所の村上圭一氏には、分離菌の対峙培養を行って頂き、ご指導頂いた。心より感謝申し上げます。

## 引用文献

土壌環境分析法編集委員会編. 1997. 土壌環境分析法. 博友社, 東京.  
 原田靖生. 1996. 家畜ふん堆肥腐熟度. 畜産環境対策大辞典, 127-133. 農文協. 東京.  
 肥料等試験法 (2008). 独立行政法人農林水産消費安全

技術センター.

<http://www.famic.go.jp/ffis/fert/sub9.html>

細田洋一. 2000. 有機質資材及び有機質肥料がコマツナの発芽及び生育に及ぼす影響. 東北農業研究 53, 177-178.

藤井耕児, 白川朗. 2005. 縦型密閉発酵施設を用いた堆肥化におけるスクラパー方式による臭気低減化. 近畿中国四国農業研究成果情報.

[http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research\\_results/h17/11\\_tikusan/p417/index.html](http://www.naro.affrc.go.jp/org/warc/research_results/h17/11_tikusan/p417/index.html)

藤原孝之, 原 正之, 村上圭一. 2001. リン酸緩衝液を用いたコマツナ発芽試験法による堆肥の安全性評価. 関東東海北陸農業研究成果情報.

<http://www.mate.pref.mie.lg.jp/marc/seika/H13/16seikaH13.PDF>

藤原俊六郎. 1997. 有機物の腐熟度判定法. 有機廃棄物資源化大辞典, 41-50. 農文協. 東京.

福田至朗, 松崎聖史, 小木曾正敏. 2003. トマト根腐萎ちょう病菌拮抗微生物 AP-1 の作用機作. 愛知農総試研報 35, 91-96.

古谷修. 2003. 堆肥の熟度判定器「コンポテスター」の原理とその使用上の留意点. 畜産環境情報, 20, 23-27. 実用技術開発事業 18053 マニュアル作成委員会. 2009. 主な家畜ふん堆肥の窒素肥効とその有効利用方法.

[http://www.ari.pref.niigata.jp/chikusan/Environment/taihi/documents/how\\_to\\_use.pdf](http://www.ari.pref.niigata.jp/chikusan/Environment/taihi/documents/how_to_use.pdf)

紀岡雄三, 増村弘明, 野口勝憲. 1998. 新規 *Bacillus* 属拮抗細菌の病害抑制効果. 土と微生物 51, 3-12.

三重県農業研究所循環機能開発研究課. 2010. 土づくり・適正施肥の手引き. IV 施用当分の窒素肥効を考慮した家畜ふん堆肥の利用.

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_sehi\\_kizyun/pdf/mtuti7.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/mtuti7.pdf)

永井裕史, 松崎聖史, 小木曾正敏. 2002. 拮抗細菌 AP-1 によるトマト根腐萎ちょう病の発病抑制. 愛知農総試研報 34, 105-110.

農林水産省農林水産技術会議. 2002. 循環する資源としての家畜排せつ物. 農林水産研究開発レポート No.3 (2002).

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/report/pdf/no03.pdf>

農林水産省生産局畜産部畜産企画課. 1999. 家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律.

[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t\\_mondai/03\\_about/pdf/1\\_law2\\_2.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/t_mondai/03_about/pdf/1_law2_2.pdf)

農林水産省生産局農業環境対策課. 2005. 環境と調和のとれた農業生産活動規範.

[http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_kihan/pdf/kihan.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_kihan/pdf/kihan.pdf)

- 小柳渉, 棚橋寿彦 2010. 酸性デタージェント可溶窒素による牛ふん堆肥および豚ふん堆肥の窒素肥効評価. 日本土壤肥料学雑誌 81, 144-147.
- 小柳渉, 棚橋寿彦, 村松克久, 小橋有里. 2010. 易分解性有機物の指標としてのAD可溶有機物の有用性. 日本土壤肥料学雑誌81, 383-386.
- Phae CG, Shioda M, Kita N. 1992. Biological Control of Crown and Root Rot and Bacterial Wilt of Tomato by *Bacillus subtilis* NB22. Ann. Phytopath. Soc. Japan58, 329-339.
- 佐藤義人, 阿部則, 高島陽子. 2001. 豚糞堆肥の施用がサイレージ用とうもろこしの生育及び収量に及ぼす影響. 東北農業研究 54, 111-112.
- 鈴木啓史, 村上圭一, 黒田克利. 2008. トマト根腐萎凋病に抑制効果を持つ堆肥中微生物の存在. 関西病虫研報 50 : 95-96.
- 鈴木啓史, 村上圭一, 黒田克利, 加藤直人. 2009. トマト根腐萎凋病に抑制効果を持つ堆肥中微生物の最小菌密度. 関西病虫研報51 : 33-35.
- 棚橋寿彦, 小柳渉. 2010. 酸性デタージェント可溶有機物と無機態窒素を指標とした牛ふん堆肥・豚ふん堆肥の窒素肥効評価. 日本土壤肥料学雑誌 81, 336-341.
- 棚橋寿彦, 矢野秀治, 伊藤元, 小柳渉. 2010. 牛ふん堆肥・豚ふん堆肥中のリン酸マグネシウムアンモニウムの存在とその評価のための抽出法. 日本土壤肥料学雑誌 81, 329-335.
- 財団法人畜産環境整備機構. 2006. 作物生産農家のニーズを活かしたい肥づくりの手引. 技術解説編. [http://www.chikusan-kankyo.jp/tdt/tdt\\_index.html](http://www.chikusan-kankyo.jp/tdt/tdt_index.html)
- 財団法人畜産環境整備機構. 2005. 堆肥の品質実態調査報告書. 財団法人畜産環境整備機構. 東京.