

豚ふんと化学肥料をブレンドした 成分調整肥料の肥効特性および作物利用

齋藤匡彦・宮崎成生¹⁾・大門繁²⁾・田口和久²⁾・賀川昌彦²⁾・阿部保雄²⁾

摘要 : 豚ふんと化学肥料をブレンドした成分調整肥料を作製し、各作物への適用をほ場規模で検討した。成分調整材として尿素、ようリン、塩化加里を混合した同肥料は、原料豚ふんの窒素肥効率を50%として施肥量を設定したとき、水稻、ナス、ハウレンソウ、ネギに対して化学肥料と同等の収量が得られ、肥料としての有用性が実証された。

キーワード : 豚ふん, 化学肥料, 成分調整, 窒素肥効率, 作物利用

Characteristics of pig waste pellet fertilizer and its application for crop cultivation

Masahiko SAITOH, Naruo MIYAZAKI, Shigeru DAIMON,
Kazuhisa TAGUCHI, Masahiko KAGAWA and Yasuo ABE

Summary : We made pig waste pellet fertilizer by mixing pig waste with chemical fertilizers such as urea, fused magnesium, and potassium chloride. Pig waste fertilizer was applied to cultivated rice, eggplant, spinach and welsh onion and compared with the performance of chemical fertilizers. We assumed that 50% of the total nitrogen in pig waste would mineralize and used this value to calculate the application rate of pig waste fertilizer to plants. Since crop yields of plants treated with pig waste fertilizer were the same as those treated with the chemical fertilizer, the utility of pig waste fertilizer was demonstrated.

Key words : pig waste, chemical fertilizer, pellet, nitrogen, crop cultivation

1) 現 栃木県農業大学校, 2) 古河産機システムズ

I 緒言

わが国では畜産業から毎年 9000 万 t の家畜ふん尿が排出される。その多くは堆肥化を経て農地に還元されるが、排出量の分布に地域的な偏りがある。環境負荷軽減のため、発生地から広域にわたる需要地への移送により、窒素等の家畜ふん尿由来養分の農耕地に対する負荷を平準化することが求められる。

一方、耕種農家は堆肥施用の必要性は認めるものの、堆肥ごとの肥効が明確でないこと、入手と散布に労力とコストを要することなどから、積極的な利用にはいたらず、多くの場合、堆肥の利用は市町村レベルの域内流通にとどまっている。

薬師堂¹⁾は、堆肥に油粕等の有機質資材を加えペレット化することで成分調整堆肥としての製品化を試みた。これは堆肥に肥料としての付加価値を与え、さらにペレット化して減容することで輸送性を高め、堆肥の広域流通を促している点で有効な手法といえる。同様に家畜ふん堆肥に化学肥料を添加してペレット肥料化する事例も報告されている^{2~4)}。ただし、これらの家畜ふん利用法は、原料に堆肥を用いる点で、労力、時間および空間を要するという従来の堆肥化による家畜ふんの利活用がかかえる問題点を引き継いでいる。

また、家畜ふん堆肥化の過程では窒素の一部がアンモニアや亜酸化窒素として散逸する⁵⁾ため、家畜ふん中の窒素の効率的な利用の面でも、堆肥化利用は必ずしも有効な手法とは言えない。

家畜ふんを堆肥化せずに肥料化する方法として、豚ふんに生石灰を加え成型する生石灰処理法⁶⁾があるが、産物が肥料取締法上の石灰質肥料に相当し、その用途が土壌改良材としての利用に限られることから、大量に発生する家畜ふんには適用が難しい。

以上の様な問題点を解決し、家畜ふん利用拡大のための一手法とするため、宮崎ら(2007)は、堆肥化していない牛ふんまたは豚ふんに化学肥料を添加し、ペレット成型した成分調整家畜ふん肥料を作製し、葉菜類のポット栽培によりその肥効を明らかにした。

本報告では、化学肥料由来窒素施用量を慣行の 50%以下とする減化学肥料栽培への同肥料の利用を視野に入れ、窒素肥効のより高い豚ふんを主原料とした成分調整肥料について原料配合割合を検討し、水稻、ナスなど、種々の作物に対する施用効果をほ場試験により明らかにした。

II 試験方法

1. 成分調整肥料の製品特性

1) 原料豚ふんの化学性

2003~2006 年にかけて、敷料などの混入のない豚ふんを養豚農家(栃木県真岡市)から入手し、供試した。一次乾燥(II-1.2)後の試料約 200g を同一試料から任意に 3 点採取し、超遠心粉砕器にて粉砕後、分析に供した。

水分は 105℃加熱乾燥法で測定した。

全窒素は、サリチル硫酸分解後に、窒素蒸留法により測定した⁸⁾。アンモニウム態窒素および硝酸態窒素は、2M 塩化カリウムで抽出後に蒸留法により測定した⁹⁾。

アミノ酸態窒素およびアミノ糖態窒素の測定¹⁰⁾は、以下のとおりに行った。試料に 6M 塩酸を加え、12 時間還流加熱後に濾過し、濾液に水酸化ナトリウムを加えて中和したものを加水分解物とした。加水分解物に水酸化ナトリウムを加え加熱した。放冷後、クエン酸およびニンヒドリンを加え加熱した。放冷後にリン酸・ホウ酸試薬(リン酸三ナトリウム(12 水)およびホウ酸を 4:1 で混合)を加え、窒素蒸留法によりアミノ酸態窒素を定量。加水分解物にリン酸・ホウ酸試薬を加え、窒素蒸留することにより、アミノ糖態窒素およびアンモニウム態窒素の含量を定量。加水分解物に酸化マグネシウムを加え、窒素蒸留することにより、アンモニウム態窒素を定量。両者の差し引きにより、アミノ糖態窒素を算出した。

全リン酸は、ケルダール分解後にアンモニア水で中和し、硝酸で微酸性とした後に、モリブデン酸アンモニウム法により測定した¹¹⁾。

全加里は、マッフル炉にて 550℃で 4 時間加熱灰化した後に、灰分を 1M 塩酸に溶解し、干渉抑制剤(炭酸カルシウムを塩酸に溶解)を加え、原子吸光法により測定した¹¹⁾。

2) 成分調整肥料の製造方法

水分率 70~80%の生豚ふんを、重油を熱源とする回転ドラム式熱風乾燥機で 250~300℃、15~30 分間(一次)乾燥し、水分率を 10~15%に調整した。成分調整のため、尿素、ようリン、塩化加里を加えて混合した後、湿式押し出し造粒機(ディスクペレッター)で直径 3mm、高さ 1cm 程度の円筒状にペレット成型した。成型した試料を通風乾燥機にて水分 5%以下まで(二次)乾燥した。

3) 豚ふんおよび成分調整材の混合割合の算出

豚ふんおよび成分調整材の混合割合の算出は以下の手順に従った。①予め実施した埋設試験の結果から、水稻用肥料の作製では豚ふん由来窒素の肥効率を 67%(施用から追肥までに 45%、追肥から収穫までに 22%が溶

出)と設定した。また、畑作物用肥料の作製では、豚ふん由来窒素の肥効率を50%と設定した。②目標とする化学肥料由来窒素の代替率から豚ふんと尿素の混合比を設定した。③豚ふん由来リン酸およびカリウムの肥効率を100%として、目標とする成分比率(窒素、リン酸、カリウム)となるよう、ようリンおよび塩化加里の混合比を設定した。

4) 成分調整肥料の成分含有率

2004~2007年にかけて作製した各種作物用の豚ふん肥料(各肥料の作製量は概ね20~60kg程度)について、それぞれ試料約200gを無作為に3点採取し、超遠心粉砕器にて粉砕後、分析に供した。全窒素、全リン酸、全カリウムの分析は、原料豚ふんの分析法(Ⅱ-1.1))に準じた。

5) 成分調整肥料の窒素無機化特性

水田および畑条件での窒素無機化特性は、埋設法により測定した。不織布製の袋に土壌20g(乾土)、供試肥料10gをそれぞれ入れた埋設用の試料を30袋作成した。土壌のみを不織布に入れたブランク試料も作成した。表層から10cmの深度に試料を埋設した。水田条件については2004年の水稲栽培試験時に、畑条件については2005年のホウレンソウ栽培試験時に、それぞれ施肥と同時に試料を埋設した。測定日ごとに1処理につき3反復を取り出し、袋中の残存窒素量を測定した。残存窒素量は、袋中の残留物の乾物重と残留物の全窒素含有率から求めた。全窒素の分析は、原料豚ふんの分析法に準じた。肥料と土壌を入れた試料の残存窒素量から土壌のみを入れたブランク試料の残存窒素量を差し引き、肥料由来窒素の残存量を算出した。

2. 成分調整肥料の施用効果

1) 水稲に対する施用効果

試験は厚層多腐植質多湿黒ボク土(猪倉統)の水田ほ

場で実施した。以下の項目について検討を行った。①豚ふん配合割合、②ペレット成型の有無、③追肥量、④被覆尿素を用いた全量基肥施肥、⑤収量の年次変動(第2表)。

試験規模は、2004年、2005年、2006年、2007年の順にそれぞれ、1区32.4m²の2区制、1区9.4m²の3区制、1区9.4m²の3区制、1区4.7m²の3区制で行った。第1表に示す水稲基肥用豚ふん肥料を作製し、第2表に示す試験区を設定した。また、毎年、対照区として、慣行の水稲用化学肥料BBS850号(N:P₂O₅:K₂O=8:15:20)を窒素量で4g m²施用した区を設けた。なお、本ほ場の地力窒素が可給態窒素で130mg kg⁻¹(2004年、慣行化学肥料区、跡地土壌)と比較的低かったことから、早植コシヒカリ(目標収量540g m²)に対する窒素の施肥基準量を、本県の施肥基準より多い、基肥4.0g m²、追肥4.0g m²と設定した(試験初年の2004年のみ、基肥3.5g m²、追肥4.0g m²で実施)。水稲は適期に収穫し、慣行の方法により生育、収量、品質を調査した。水稲生育初期における土壌中アンモニウム態窒素濃度を調べた。

2) 各種畑作物に対する施用効果

試験は表層多腐植質黒ボク土(七本桜統)の畑ほ場で実施した。供試作物は、本県での栽培面積が比較的多いこと、または養分吸収パターンの異なるもの、などの条件を考慮し、ナス、スイートコーン、ホウレンソウ、ハクサイ、ネギを選択した。試験規模は、ナス、スイートコーン、ホウレンソウ、ハクサイ、ネギの順にそれぞれ、1区12m²、9m²、8m²、9m²、9m²の2区制で行った。第3表に示す各種畑作物用豚ふん肥料を作製し、第4表に示す試験区を設定した。ホウレンソウでは、豚ふんの配合割合を検討した。ハクサイでは豚ふん肥料の施肥時期を検討した。ネギでは、豚ふん肥料の追肥利用を検討した。各種畑作物の収量等を調査した。

第1表 水稲基肥用豚ふん肥料の原料混合割合

肥料名	豚ふん	尿素	ようリン	パーム アッシュ	塩化 加里	豚ふん由来 窒素割合	作製年度
水稲用豚ふんA	100	0.0	12.0	6.5		100	2004
水稲用豚ふんB	100	1.1	11.7	10.0		90	2004
水稲用豚ふんC	100	1.8	11.9	12.5		84	2004
水稲用豚ふんC1	100	2.1	28.9		9.7	82	2005
水稲用豚ふんC2	100	2.3	30.5		11.6	82	2006
水稲用豚ふんC3	100	2.2	28.6		11.0	82	2007

注. 豚ふんの成分含有率は、年度ごとに異なる。豚ふんの成分分析値は、第5表に示した。

第2表 水稲栽培試験における各試験区の施肥窒素量

試験区	基肥 (gN m ⁻²)		追肥 (gN m ⁻²)	化学肥料由来窒素 減肥割合 (%)	実施年
	豚ふん肥料	被覆尿素	NK化成		
(豚ふん配合割合の検討)					
豚ふん肥料A	7.7	(1.7)	2.3	69	2004
豚ふん肥料B	7.0	(1.4)	2.6	57	2004
豚ふん肥料C	6.5	(1.3)	2.7	50	2004
(ペレット成型の有無の検討)					
豚ふん肥料C1	7.2	(1.3)	2.7	50	2005
豚ふん肥料C1 (非成型)	7.2	(1.3)	2.7	50	2005
(追肥量、全量基肥施肥の検討)					
豚ふん肥料C2 追肥2.7	7.2	(1.3)	2.7	50	2006
豚ふん肥料C2 追肥4.0	7.2	(1.3)	4.0	33	2006
豚ふん肥料C2 +LP尿素	7.2	(1.3)	2.7	50	2006
(年次変動の把握)					
豚ふんC3 追肥4.0	7.2	(1.3)	4.0	33	2007

注1. 基肥のカッコ内は、追肥から収穫までに溶出する豚ふん由来窒素の推定量。
 2. 被覆尿素は、LPSS100を使用。LPSS100の施肥から溶出開始までの標準日数は約45日。
 3. NK化成は、BBNK202号(N:P₂O₅:K₂O=20:0:20)を使用。
 4. 非成型は、相当量の豚ふん、尿素、ようリン、および塩化加里をペレット化せずに施用。

第3表 各種畑作物用豚ふん肥料の原料混合割合

肥料名	豚ふん	尿素	ようリン	苦土重 焼りん	パーム アッシュ	塩化 加里	豚ふん由来 窒素割合	作製年
スイートコーン用豚ふん	100	1.6	4.4	4.4	1.9	1.2	75	2004
ナス用豚ふん	100	0.69					93	2005
ホウレンソウ用豚ふんL	100	4.8	11			3.1	67	2005
ホウレンソウ用豚ふんH	100	1.4	0.74			0.43	88	2005
ハクサイ用豚ふん	100	5.2	16			4.5	67	2006
ネギ基肥用豚ふん	100	5.2	28			9.2	67	2006
ネギ追肥用豚ふん	100	5.2				2.6	67	2006

注1. 豚ふん、尿素、ようリン、苦土重焼りん、パームアッシュおよび塩化加里は、乾物あたりの混合比。
 2. 豚ふん由来窒素割合は、作製した豚ふん肥料に含まれる全窒素に占める豚ふん由来窒素の割合(%)。

Ⅲ 結果

1. 成分調整肥料の製品特性

1) 原料豚ふんの化学性

2003～2006年に養豚農家より搬入した原料豚ふんの一次乾燥後の成分含有率(全窒素、全リン酸、全カリウム)を第5表に示した。全窒素は3.4～4.7%、全リン酸は3.1～4.6%、全カリウムは2.1～3.0%の範囲にそれぞれ分布した。

2006年に供試した原料豚ふんについて、一次乾燥前後の成分含有率(全窒素、アンモニウム態窒素、硝酸態窒素、アミノ酸態窒素、全リン酸、水溶性リン酸、全カリ

ウム、水溶性カリウム)を第6表に示した。また、乾燥時の揮発等によるロスが無いと思われる全カリウムを1としたときの他の成分の比率を各成分含有率の下段に示した。乾燥の前後において、全リン酸の約90%以上は水溶性リン、全カリウムのほぼ全量が水溶性カリウムであった。全カリウムに対する全窒素の比率は乾燥の前後で変化しなかった。一方、アンモニウムイオンの比率は、0.14から0.45まで増加した。以上より、一次乾燥工程において豚ふん中の窒素成分の大部分は散逸せずにとどまり、有機態窒素の一部はアンモニウムイオンに分解されることが明らかとなった。

第4表 各種畑作物栽培試験における施肥窒素量

試験区	施肥窒素量 (g m ⁻²)		化学肥料由来窒素減肥割合 (%)
	基肥	追肥	
スイートコーン			
豚ふん肥料	30.5(19)	4.0	50
慣行化学肥料	19	4.0	—
ナス			
豚ふん肥料	38(20)	10	58
慣行化学肥料	20	10	—
ホウレンソウ			
豚ふん肥料L	27(18)		51
豚ふん肥料H	32(18)		79
慣行化学肥料	18		—
ハクサイ			
豚ふん肥料 4日前施肥	25.5(17)	5.0	39
豚ふん肥料 18日前施肥	25.5(17)	5.0	39
慣行化学肥料 4日前施肥	17	5.0	—
ネギ			
基肥豚ふん肥料	7.5(5.0)	15	13
全量豚ふん肥料	7.5(5.0)	22.5(15)	50
慣行化学肥料	5.0	15	—

- 注1. 基肥のカッコ内は、作付期間中に溶出する豚ふん由来窒素の推定量。
 2. 化学肥料由来窒素減肥割合は、慣行化学肥料区の施肥窒素に対する化学肥料減肥割合。
 3. スイートコーン、ナス、ハクサイの追肥には、BBNK-S606を用いた。
 4. スイートコーン慣行化学肥料区の基肥には、尿素入りIB化成1号を用いた。
 5. ナス慣行化学肥料区の基肥には、CDU入BB-S444を用いた。
 6. ホウレンソウ慣行化学肥料区の基肥には、ビール麦エースを用いた。
 7. ハクサイ慣行化学肥料区の基肥には、BB-262を用いた。
 8. ネギ基肥豚ふん区およびネギ全量豚ふん区の基肥には、ネギ基肥用豚ふん肥料を用いた。
 9. ネギ慣行化学肥料区の基肥には、CDU入BB-S444号を用いた。
 10. ネギ基肥豚ふん区および慣行化学肥料区の追肥には、CDU入BB-S444号およびBBNK-S635をそれぞれ用いた。
 11. ネギ全量豚ふん区の追肥には、ネギ追肥用豚ふん肥料を用いた。
 12. 全ての作物について、慣行化学肥料区相当量のようりんおよび塩化カリを施用した無窒素区を設定した。

第5表 原料豚ふんの成分含有率の年次変動

供試年度	成分含有率 (%)		
	T-N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O
2003	3.4	3.1	2.3
2004 (1回目)	4.4	4.6	3.0
2004 (2回目)	3.5	3.2	2.3
2005	3.5	3.5	2.3
2006	4.7	3.8	2.1
(平均)	3.9	3.6	2.4
(標準偏差)	0.6	0.6	0.4
(変動係数)	15	16	15

- 注1. 各成分含有率は、乾物あたりの値。
 2. 2004年の豚ふん肥料作製では、1回目を使用。

第7表 豚ふん肥料の成分含有率

肥料名	成分含有率 (%)		
	T-N	T-P ₂ O ₅	T-K ₂ O
水稲用豚ふん肥料A	3.5	7.1	3.4
水稲用豚ふん肥料B	3.5	7.5	3.6
水稲用豚ふん肥料C	3.5	8.0	4.1
水稲用豚ふん肥料C1	3.8	7.3	5.2
水稲用豚ふん肥料C2	3.8	6.5	5.9
水稲用豚ふん肥料C3	4.0	6.8	6.1
スイートコーン用豚ふん肥料	4.7	7.5	6.2
ナス用豚ふん肥料	4.7	3.5	2.6
ホウレンソウ用豚ふん肥料L	5.6	4.8	3.7
ホウレンソウ用豚ふん肥料H	5.0	3.6	2.8
ハクサイ用豚ふん肥料	5.5	4.4	2.4
ネギ基肥用豚ふん肥料	5.0	5.4	5.4
ネギ追肥用豚ふん肥料	6.6	3.6	3.4

注. 各成分含有率は、乾物あたりの値(%)。

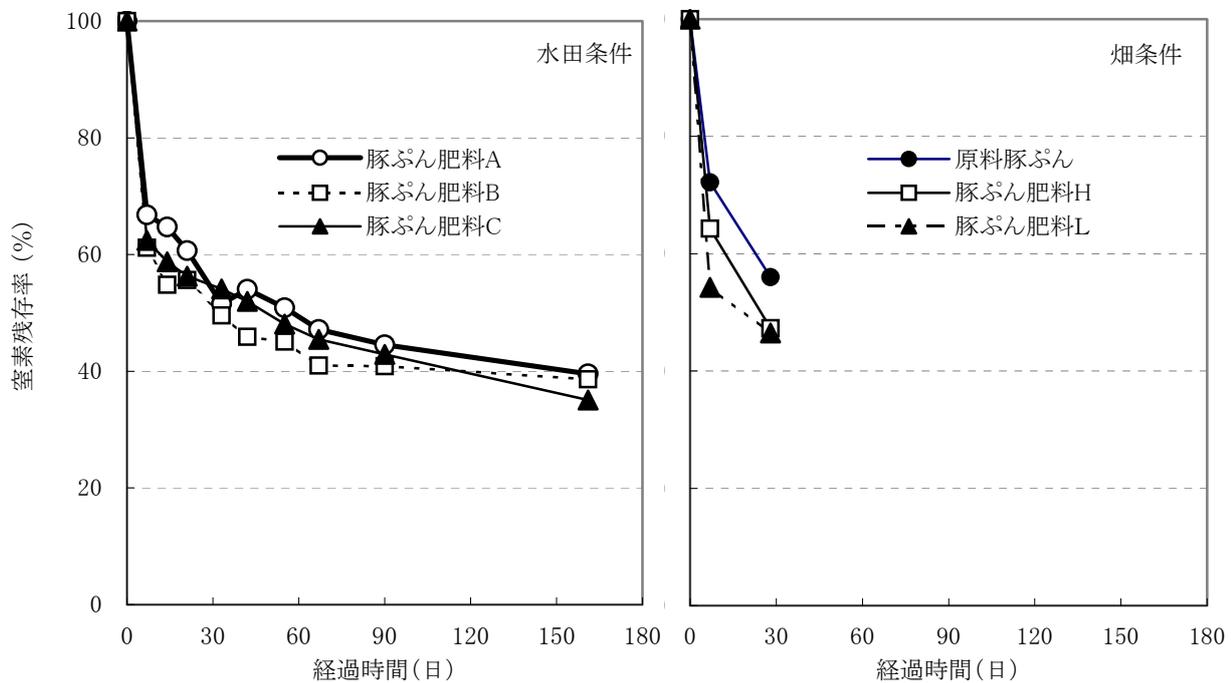
第6表 一次乾燥による豚ふんの成分含有率の変化

		T-N	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	AA-N	AS-N	T-P ₂ O ₅	W-P ₂ O ₅	T-K ₂ O	W-K ₂ O
乾燥前	成分含有率(%)	4.60	0.28	ND	0.82	0.06	3.80	3.45	2.02	1.99
	T-K ₂ O比 (A)	2.3	0.14	—	0.41	0.03	1.9	1.7	1.0	1.0
乾燥後	成分含有率(%)	4.75	0.94	ND	0.79	0.07	3.84	3.70	2.07	2.07
	T-K ₂ O比 (B)	2.3	0.45	—	0.38	0.03	1.9	1.8	1.0	1.0
T-K ₂ O比の変化率(B/A)		1.0	3.3	—	0.94	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0

注1. AA-Nは、アミノ酸態窒素。AS-Nは、アミノ糖態窒素。

2. 各成分含有率は、乾物あたりの値。T-K₂O比は、乾燥前後でそれぞれT-K₂Oを1としたときの各成分の比率。

3. B/Aは、乾燥前後での各成分の変化率を表す。



第1図 豚ふん肥料の窒素無機化特性(埋設法) 左:2004年実施(水稲) 右:2006年実施(ホウレンソウ)

2) 成分調整肥料の化学性および窒素無機化特性

施用試験に使用した成分調整肥料の成分含有率を第 7 表に示した。水稲用豚ふん肥料およびホウレンソウ用豚ふん肥料の窒素無機化特性を第 1 図に示した。水田状態において、水稲用豚ふん肥料Aに含まれる豚ふん由来窒素は、埋設(施肥)から追肥(67日目)までに53%が、収穫(161日目)までに60%がそれぞれ無機化・溶出した。畑状態においては、ペレット成型した原料豚ふんに含まれる豚ふん由来窒素は、埋設(施肥)から7日目までに28%が、28日目までに44%がそれぞれ無機化・溶出した。

2. 成分調整肥料の施用効果

1) 水田ほ場における施用効果

(1) 豚ふん配合割合と収量

豚ふん配合割合と水稲の生育および収量の関係を第 8 表に示した。いずれの豚ふん肥料区においても生育期間中の茎数および穂数が慣行化学肥料区(以下、慣行区)を下回った。豚ふん肥料C区では、穂数は慣行区に劣ったものの、精玄米収量では、慣行区と同程度となった。

(2) 追肥量および全量基肥施肥と収量

施肥方法と水稲の生育および収量の関係を第 10 表に示した。豚ふん肥料を施用した際の追肥から収穫までの豚ふん由来窒素の溶出分(1.3g m⁻²)を考慮して追肥量を2.7g m⁻²としたとき、精玄米収量は慣行区並みとなった。

たが、玄米千粒重は慣行区に比べやや劣った。追肥後の豚ふん由来窒素の溶出分を考慮せず、追肥量を 4.0g m^{-2} としたとき、精玄米収量は慣行区をやや上回り、玄米千粒重も慣行区並みとなった。

被覆尿素 (LPSS100) を 2.7g m^{-2} となるように、豚ふん肥料とあわせて全量を基肥として施用したとき、慣行区の 108% の精玄米収量が得られた。1 穂粒数は増加し、千粒重および粒厚は低下する傾向が認められた。

(3) ペレット成型の有無と収量

収量調査結果を第 9 表に示した。ペレット成型しない場合 (豚ふん肥料(非成型)) の精玄米収量は、ペレット成型した場合 (豚ふん肥料) の 96% となった。

(4) 収量の年次変動

水稻用豚ふん肥料 C, C1 および C2 を基肥として用い、化学肥料で 2.7 または 4.0g m^{-2} を追肥したとき、2004~2007 年の精玄米収量は $534\sim 577\text{g m}^{-2}$ となり、本県の早植エコシヒカリの目標収量 540g m^{-2} に概ね到達した (第 8~11 表)。収量指数は、2004, 2006, 2007 年の豚ふん肥料区で慣行区と同等であったのに対し、2005 年の豚ふん肥料区で慣行区の 90% であった。

(5) 土壌中のアンモニウム態窒素濃度

2006 年の水稻生育初期における土壌中のアンモニウム態窒素濃度の推移を第 2 図に示した。アンモニウム態窒素濃度は、施肥 2 日後の慣行化学肥料区で 53mg kg^{-1}

第8表 水稻の生育および収穫調査結果(2004年)

試験区	茎数			穂数 本 m^{-2}	精玄米 収量 g m^{-2}	同左 指数 %	千粒重 g	玄米窒素 含有率 %
	本 m^{-2}							
	6/9	6/30	7/13					
豚ふん肥料A	374	649	480	311	528	95	22.9	1.02
豚ふん肥料B	357	606	456	324	521	94	23.2	1.00
豚ふん肥料C	348	618	517	317	556	100	23.2	1.03
慣行化学肥料	389	673	530	342	555	100	23.3	1.08
無窒素	318	511	320	268	387	70	22.2	0.92

注1. 精玄米収量は、粒厚1.75mm以上の値。水分は、全て14.5%に換算。
2. 茎数の6/9, 6/30, 7/13は、調査月日。

第9表 水稻の生育および収量調査結果(2005年)

試験区	茎数			穂数 本 m^{-2}	1穂 粒数 粒	総粒数 $\times 100\text{粒 m}^{-2}$	登熟 歩合 %	精玄米 収量 g m^{-2}	同左 指数 %	玄米 千粒重 g	玄米窒素 含有率 %
	本 m^{-2}										
	6/9	6/29	7/13								
豚ふん肥料	250	443	414	312	94	293	95	565	90	21.4	1.00
豚ふん肥料(非成型)	269	451	396	312	88	275	95	543	87	21.5	0.97
慣行化学肥料	289	489	460	346	99	342	94	628	100	20.6	1.06
無窒素	160	337	313	247	89	220	95	386	61	20.5	0.92

注. 精玄米収量は、粒厚1.75mm以上の値。水分は、全て14.5%に換算。

第10表 水稻の生育および収量調査結果(2006年)

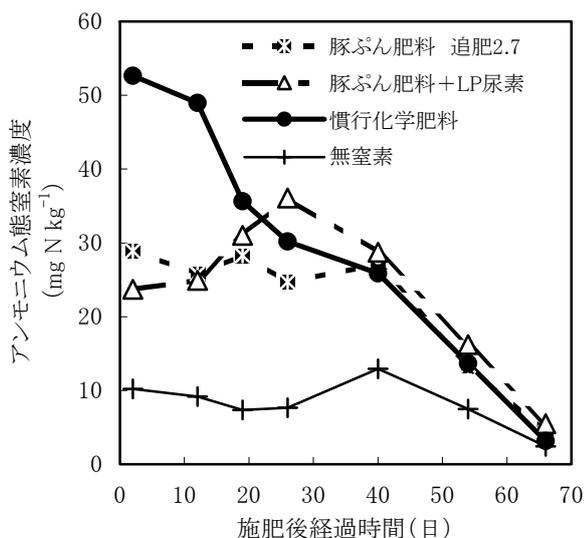
試験区	茎数			穂数 本 m^{-2}	1穂 粒数 粒	総粒数 $\times 100\text{粒 m}^{-2}$	登熟 歩合 %	精玄米 収量 g m^{-2}	同左 指数 %	玄米 千粒重 g	玄米窒素 含有率 %
	本 m^{-2}										
	6/7	6/30	7/13								
豚ふん肥料 追肥2.7	278	561	479	337	88	298	95	534	102	21.1	1.18
豚ふん肥料 追肥4.0	291	530	446	337	88	298	95	542	104	21.5	1.22
豚ふん肥料+LP尿素	294	580	492	345	94	324	93	565	108	20.6	1.13
慣行化学肥料	334	625	564	340	86	292	94	522	100	21.4	1.24
無窒素	141	325	311	218	79	172	94	296	57	20.6	1.10

注. 精玄米収量は、粒厚1.75mm以上の値。水分は、全て14.5%に換算。

第11表 水稻の生育および収量調査結果(2007年)

試験区	茎数		穂数	1穂 粒数	総粒数 ×100粒 m ⁻²	登熟 歩合 %	精玄米 収量 g m ⁻²	同左 指数 %	玄米 千粒重 g	玄米窒素 含有率 %
	本 m ⁻²									
	6/28	7/12								
豚ふん肥料	582	517	358	87	313	91	569	101	21.5	1.13
慣行化学肥料	639	509	356	87	308	90	563	100	21.4	1.24
無窒素	384	383	230	59	141	96	265	47	21.2	1.10

注. 精玄米収量は、粒厚1.75mm以上の値. 水分は、全て14.5%に換算.



第2図 水田土壤中のアンモニウム態窒素濃度の推移

と豚ふん肥料 追肥 2.7 区の 28 mg kg⁻¹を大幅に上回ったが、施肥 26 日後(定植 12 日後)では、豚ふん肥料 追肥 2.7 区の 24 mg kg⁻¹に対し、化学肥料区で 30 mg kg⁻¹と差は縮まり、その後は同様の濃度で推移した。

2) 畑ほ場における施用効果

(1) ナス

ナスの時期別収量および総収量を収量調査結果を第 12 表に示した。豚ふん肥料区と慣行化学肥料区の総収量は、それぞれ 7.23, 7.22 kg m⁻²となり、豚ふん肥料区で

第12表 ナスの時期別収量および総収量

試験区	時期別株あたり平均収量(kg)				総収量 (kg m ⁻²)	同左 指数 (%)
	6/30-	7/28-	8/25-	9/22-		
	7/27	8/24	9/21	10/26		
豚ふん肥料	0.68	2.97	2.73	2.29	7.23	100
慣行化学肥料	0.83	2.93	2.74	2.16	7.22	100
無窒素	0.39	1.00	0.82	1.22	2.86	40

注1. 収量は、可販収量を新鮮重で表示。
2. 収穫期間は、6月30日から10月26日まで。

慣行区と同等の収量が得られた。豚ふん肥料区において、変形果等の障害果が目立った発生は認められなかった(データ略)。豚ふん肥料区では、慣行区に比べ定植後の初期生育に遅れが認められたがその後の樹勢の早期回復により、最終的な収量への影響は認められなかった。

(2) スイートコーン

スイートコーンの生育および収量を第 13 表に示した。豚ふん肥料区と慣行化学肥料区の収量は、それぞれ 1.59, 1.66 kg m⁻²となり、豚ふん肥料区で慣行区の 96%の収量が得られた。階級別割合では、豚ふん肥料区と慣行区で概ね同等であった。

(3) ホウレンソウ

ホウレンソウの生育、収量および窒素吸収量を第 14 表に示した。豚ふん肥料L区と慣行化学肥料区の収量は、それぞれ 1.99, 1.84 kg m⁻²となり、豚ふん肥料L区で慣行区の 108%の収量が得られた。一方、豚ふんの配合割合を高めた豚ふん肥料H区の収量は、1.34 kg m⁻²となり、慣行区の 73%であった。豚ふん肥料L区では、慣行区に比べ草丈がやや大きく、葉数がやや少なかった。窒素含有率および窒素吸収量は、豚ふん肥料L区と慣行区で概ね同等であった。

(4) ハクサイ

ハクサイの生育および収量を第 15 表に示した。豚ふん肥料と慣行化学肥料をそれぞれ定植 4 日前に施肥した場合の収量は、それぞれ 10.3, 10.8 kg m⁻²となり、豚ふん肥料区で慣行区の 96%の収量が得られた。同様の豚

第13表 スイートコーンの生育量, 収量および階級別割合

試験区	雌穂径 mm	雌穂長 mm	雌穂重 g	収量 kg m ⁻²	同左 指数 %	階級別割合				
						2L	L	M	S	規格外
						%				
豚ふん肥料	52	192	279	1.59	96	7	33	47	13	0
慣行化学肥料	52	199	291	1.66	100	7	31	48	14	0
無窒素	41	190	166	0.91	55	0	0	0	27	73

注1. 収量は, 調整重を新鮮重で表示.

2. 規格外を雌穂重250g未満, Sを300g未満, Mを350g未満, Lを400g未満, 2L;400g以上とした.

第14表 ホウレンソウの生育量, 収量, 窒素含有率および窒素吸収量

試験区	草丈	葉数	葉色	収量	同左 指数	窒素 含有率	窒素 吸収量
	cm	枚		kg m ⁻²	%	%	g m ⁻²
豚ふん肥料L	28.3	13.1	39.1	1.99	108	5.2	9.7
豚ふん肥料H	24.0	13.7	43.0	1.34	73	4.9	6.2
慣行化学肥料	27.0	14.7	42.0	1.84	100	5.2	9.8
無窒素	17.1	11.3	33.5	0.80	43	3.7	2.8

注1. 収量は, 新鮮重で表示.

2. 葉色は, SPADミノルタ502にて測定.

第15表 ハクサイの生育量, 収量および階級別割合

試験区	全重 kg	結球重 kg	外葉重 kg	球高 cm	球径 cm	収量 kg m ⁻²	同左 指数 %	階級別割合			
								L	M	S	規格外
								%			
豚ふん肥料 4日前施肥	3.9	2.8	1.1	28.2	18.6	10.3	96	20	75	5	0
豚ふん肥料 18日前施肥	3.8	2.7	1.1	28.0	18.4	10.0	93	10	85	5	0
慣行化学肥料 4日前施肥	4.1	2.9	1.2	28.3	18.9	10.8	100	35	65	0	0
無窒素	1.3	—	—	—	—	0.0	0	—	—	—	—

注1. 収量は, 調整重を新鮮重で表示.

2. 階級別割合は, Lを結球重3kg以上, Mを2kg以上, Sを1.2kg以上とした.

第16表 ネギの生育量, 収量, 窒素含有率および窒素吸収量

試験区	草丈	葉鞘長	葉鞘径	全重	収量	同左 指数	窒素 含有率	窒素 吸収量
	cm	cm	mm	kg m ⁻²	kg m ⁻²		%	g m ⁻²
基肥豚ふん肥料	89.9	38.3	21.5	7.12	5.49	106	2.2	14
全量豚ふん肥料	95.4	40.0	21.3	7.72	5.94	115	1.9	14
化学肥料	91.1	37.0	21.3	6.92	5.18	100	2.4	14
無窒素	69.1	30.9	17.2	3.18	2.42	47	0.86	3.3

注. 収量は, 調整重を新鮮重で表示.

ぶん肥料を施肥時期を 2 週間早め、定植 18 日前に施用した場合、収量は慣行区の 93%であった。階級別割合では、慣行区で L 球率が 35%と高く、次いで豚ぶん肥料区(4 日前施肥)、豚ぶん肥料区(18 日前施肥)の順に 20%、10%であった。

(5) ネギ

ネギの生育、収量および窒素吸収量を第 16 表に示した。基肥豚ぶん肥料区、全量豚ぶん肥料区および慣行化学肥料区の収量は、それぞれ 5.49, 5.94, 5.18 kg m⁻² となり、基肥豚ぶん肥料区および全量豚ぶん肥料区で慣行区を上回る収量が得られた。全量豚ぶん肥料区の窒素含有率は、慣行区を下回った。

IV 考 察

一次乾燥した豚ぶんは、窒素とリン酸およびカリウムでその肥効特性が異なった。リン酸およびカリウムについては、95%以上が水溶性画分であり、速効的な肥効特性を有することが示された。一方、窒素については、速効性画分と緩効性画分で構成され、水田条件での埋設試験の結果、全窒素の 33%が施肥後 1 週間以内に溶出する速効性画分であることが明らかとなった。一方、第 6 表より、乾燥豚ぶんに含まれるアンモニウム態窒素およびアミノ酸態窒素の含量が全窒素に占める割合は 36%と算出されることから、アンモニウム態窒素およびアミノ酸態窒素が概ね速効性画分に相当すると推論した。豚ぶん中の全窒素に占めるアンモニウム態窒素の割合は、一次乾燥前に比べ乾燥後に増加した。このことは、一次乾燥により有機態窒素の一部がアンモニウムイオンにまで分解され、豚ぶん由来窒素の速効的な肥効が高められたことを示唆する。同様の現象として、原ら¹²⁾は、エキストルーダ式造粒装置による堆肥のペレット成型が堆肥の窒素肥効を高めたと報告しており、この理由を成型時の発熱により堆肥中の蛋白質が熱変性し可溶化したためと推論している。

豚ぶん肥料の水稲への利用では、生育初期の茎数が慣行区に比べ低く推移する傾向が認められたが、豚ぶん肥料区の化学肥料由来窒素減肥割合(第 2 表)を 50%以下に設定した区では、4 作中 3 作で慣行化学肥料並みの収量が得られた。これは最終的に 1 穂初数または有効穂数が確保されたことによる。

豚ぶん肥料の埋設試験の結果から、追肥から収穫までの期間も直線的な窒素の溶出が認められた。一方、追肥後に溶出する豚ぶん由来窒素を考慮して追肥を減肥したとき、千粒重が低下した。これは、水稲の出穂前 15 日から穂揃い期までの比較的短期間に集中した窒素要求パ

ターンと、豚ぶん由来窒素の直線的な溶出パターンが一致せず、窒素が不足したためと推論した。追肥後の豚ぶん由来分を考慮せず、慣行区並みに 4 gN m⁻²の追肥をしたとき慣行区並みの千粒重が確保されたことは、これを支持する。

豚ぶん区の水稲茎数は、基肥の化学肥料由来窒素の割合を高めた場合にも増加しなかった(第 8 表)。このことは、豚ぶん区の茎数不足の原因が基肥窒素の不足とは別にあることを示唆する。考えられる要因として、豚ぶんに含まれる未分解有機物の嫌氣的分解により根域が強還元状態となり、生成した硫化水素等が根に悪影響を及ぼしている可能性が挙げられる。

豚ぶん肥料による畑作物栽培では、ナス、ハウレンソウおよびネギで慣行化学肥料と同等の収量が得られ、スイートコーンやハクサイでは慣行化学肥料による収量をやや下回った。特に、ハクサイでは化学肥料由来窒素減肥割合を 39%と低く設定しているにもかかわらず、慣行並みの収量を確保することができなかった。

豚ぶん由来窒素の窒素無機化特性は、易分解性画分が施肥から 1 週間程度で急速に分解・溶出し、その後は一定速度でのゆるやかな溶出パターンを示す。このため豚ぶん肥料は、栽培期間が長く、連続的な追肥を要するナスやネギのような窒素吸収特性を示す作物への適用が比較的有効と考えられた。本県の主要な作物のうち、同様の窒素要求を示すものとして、ニラ、ウド、アスパラガスなどが挙げられ、これらの作物に対する豚ぶん肥料の利用が期待される。

一方、スイートコーンやハクサイのように窒素吸収特性が比較的一時期に局在する作物では、豚ぶんからの窒素溶出が作物の窒素要求に間に合わず、収量が低下したと考えられる。山田ら²⁾は、種々の堆肥と化学肥料をブレンドしたペレット肥料によるスイートコーンの栽培試験において、生育初期に対しては硫酸、出穂期に対しては被覆尿素でそれぞれ不足する窒素肥効を補うことにより、慣行化学肥料並みの収量を得ている。本肥料においても、混合する化学肥料の種類や配合割合などの再検討により、窒素吸収特性が一時期に局在する作物に適した肥効特性への改善は可能と考える。

肥効率は、有機態画分の生物、化学的な分解に基づいて定義されるため、その値は温度(地温)や時間(作付期間)などにより変化する。今回設定した 45~50%は、主に作付期間の長い作物の夏作に対して妥当であったと考える。一方、本肥料をムギ類やタマネギなどの冬作で利用する場合には、肥効率について検討の余地が残される。

片峯ら¹³⁾は、窒素量(累積)で548g m²の豚ふんを20年間継続して施用した黒ボク土畑ほ場において、可給態窒素が54mg kg⁻¹、全炭素が1.7%、それぞれ上昇したと報告している(対照区比)。本肥料に含まれる豚ふん由来窒素の1作期間における溶出率は50%程度であり、残りの画分は土壤に蓄積し徐々に分解作用を受けると考えられ、連用した場合には土壤の窒素肥沃度の上昇が見込まれる。よって本肥料を連用する場合には、前作の収量をもとに減肥を検討する必要がある。

現在、畜産業から排出される家畜ふんの多くは、堆肥化を経て農地還元されている。農耕地への堆肥の施用は、地力増進や物理性・生物性の改善のために不可欠といわれる。一方、伊吹ら⁵⁾は、乳牛ふんの堆肥化過程において、夏季で50%、冬季で30%の窒素画分が散逸すると報告しており、家畜ふん中の窒素成分の利用を考えた場合、堆肥化は必ずしも窒素を効率的に農地還元しうる家畜ふん利用法とは言い切れない。本肥料化法は、「一次乾燥—成分調整—成型—二次乾燥」の工程からなり、原料投入から製品完成までの製造施設内での滞留時間は、1日に満たない。また、250~300℃の熱風乾燥の前後において顕著な窒素散逸も認められなかった。これらは、堆肥化に比べ本肥料化法が家畜ふん中の窒素をより効率的に農地に還元しうることを示唆する。

一般に、養豚の飼料には成長促進のため一定量の亜鉛および銅が添加されており、排せつ物中にもその影響が現れる。本製造方法で作製した肥料でも、含有全窒素1gあたり約17mgの亜鉛を含む⁷⁾。本試験では連用試験は行っていないが、黒ボク土壌の場合(仮比重0.75、作土15cmとする)、同肥料を窒素量で1m²あたり1g施肥するごとに、土壌中の亜鉛含有率は0.15mg kg⁻¹程度上昇すると試算される。長期連用による土壌への亜鉛および銅の蓄積を避けるため、畜産分野の技術革新により飼料中の亜鉛および銅含有率を低減することが望まれる。

ハーバー・ボッシュ法が考案されて以降、今日では窒素肥料の主原料であるアンモニアの大部分は、化石燃料を利用した空气中窒素の工業的固定により供給されている。しかしながら昨今の原油価格の高騰により将来的に価格上昇が見込まれる。またリン肥料、加里肥料の価格は既に上昇傾向にある。今後、家畜ふん等の未利用資源を原料とした肥料が相対的に割安となり、これらの肥料に対するニーズの高まりが予想される。窒素資源の効率的な活用と地力増進を両立するため、地域のニーズにあわせて堆肥化や肥料化を使い分け、家畜ふんを農業利用していくことが望まれる。

本肥料は、現行の肥料公定規格に該当する区分が存在

しないため、現状では一般流通が法的に認められない。本県では、成分調整豚ふん肥料の開発にあたり(独)肥飼料検査所に対し公定規格改正の申し出を行ったが、現在までに規格の改正にはいたっていない。

宮崎ら⁷⁾は、豚ふんの肥料化利用に製造上、保存上、あるいは衛生上の問題が無いことを示した。また本報告により豚ふん肥料の作物栽培に対する有用性がほ場レベルで示された。今後、家畜ふん等の未利用資源の肥料化利用に対するニーズの向上が予想される。成分調整家畜ふん肥料の普及にあたり、肥料公定規格の早期改正が望まれる。

謝辞

本試験の実施にあたり、本試験場土壌作物栄養研究室、作物研究室、作物品種研究室、野菜研究室および環境保全研究室の皆様には多大なるご協力をいただいた。本報告をまとめるにあたり、亀和田環境保全研究室長には貴重なご助言、ご協力をいただいた。ここに記して厚く深謝の意を表する。

引用文献

1. 薬師堂謙一(2002)成分調整堆肥の生産・利用技術の開発。農機誌64(5):25-29.
2. 山田良三・日置雅之・関稔・早川岩夫(2000)ブレンドおよび成型家畜ふん堆肥の露地野菜に対する肥料代替施肥法。土肥誌71:710-713.
3. 清水知子・社本豊司・恒川歩・恒川靖弘・矢部和則(2005)家畜ふん堆肥を原料としたペレット肥料の成分調整に用いる窒素肥料の種類および施肥方法がキャベツの生育及び収量に及ぼす影響。愛知農総試研報37:93-98.
4. 原正之・石川裕一・小畑仁(2003)豚ふんペレット堆肥の畑土壌中における肥料成分の溶出特性。土肥誌74:453-458.
5. 伊吹俊彦・畠中哲哉・斎藤雅典・関澤哲朗(1999)自動切返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化処理。草地試報58:38-57.
6. 宮崎成生・大村裕顕(1997)生石灰処理による豚ふんの粒状肥料化(第1報)製造方法及び製品の性質。栃木農試研報46:19-28.
7. 宮崎成生・吉田智彦(2007)家畜ふんを原料とした成分調整・成型肥料の特性および葉菜類への施用。日作紀76:555-561.
8. 土壌環境分析法編集委員会(1997)土壌環境分析法。博友社 東京 239-241.

9. 日本土壌協会 (2000) 堆肥等有機物分析法. 日本土壌協会 東京 168-171.
10. Stevenson, F. T. (1996) Nitrogen-organic forms. 1185-1200. *In* Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Wisconsin.
11. 農業環境技術研究所 (1987) 肥料分析法. 日本肥糧検定協会 東京 26-42.
12. 原正之・古市幸生・小畑仁 (2004) 単軸エクストルーダーでの成型条件がペレット堆肥の肥効に与える影響. 土肥誌 75 : 223-227.
13. 片峯美幸・亀和田國彦・鈴木康夫・伊藤良治・中山喜一・内田文雄 (2000) 黒ボク土における各種有機物の 20 年間連用が作物生育ならびに土壤理化学性に及ぼす影響. 栃木農試研報 50 : 79-91.
14. 後藤逸男・稲垣開生 (2005) 生ごみの肥料化ー東京農大式生ごみ乾燥肥料化ー. 季刊肥料 101 : 43-49.