

豚ふん堆肥の成分と散布性を改善した成型肥料の開発 —第1報：揮散するアンモニアを還元したペレット化堆肥の特性と利用—

棚橋寿彦・加藤誠二[※]・小柳涉^{※※}・菊井裕人・和田巽

The Development of the Molding Fertilizer for Improved Spreading Efficiency
and the Composition of Swine Manure Compost (No.1)

—The Characteristics and Uses of Compost Pellets with Restored Volatile Ammonia—

Toshihiko Tanahashi, Seiji Kato, Wataru Oyanagi, Hiroto Kikui and Tatsumi Wada

要約：豚ふん堆肥の発酵過程において発生するアンモニアを硫酸で回収する装置「アンモニアリサイクラー」で製造される硫酸溶液を堆肥に還元することを想定したペレット堆肥を作成した。乾物の割合で堆肥：硫酸を100:21で混合しペレット成形することで有効窒素：リン酸：カリの成分が4-8.5-3%の肥料製造が可能であった。ペレット化することで窒素肥効は初期の有機化が大きくなるものの窒素肥効の主体はアンモニアであるため速効的な性格を示し、有効窒素は原料堆肥の約4倍となった。リン酸肥効は化学肥料と遜色なかった。このペレットは水稻基肥や露地野菜作での化学肥料代替資材としての利用が可能であり、揮散する肥料資源を回収し、成分バランスと散布作業性を改善した肥料として有効であった。

キーワード：豚ふん堆肥，アンモニアリサイクラー，アンモニア回収，肥料，ペレット

緒言

2008年に見舞われた肥料費高騰は、肥料の使用から生産、販売に携わる者にとってこれまでの考え方を改める大きな出来事であった。肥料費を抑え、適正施肥を推進する機会となるとともに、輸入に頼った我が国の不安定な肥料供給体制が危惧され、地域の未利用資源の活用を考える機会となった。その中で家畜ふん堆肥の活用は対策の筆頭に挙げられてきた。堆肥には有効な肥料成分が含まれており、これまで厳密な把握が困難とされてきた窒素肥効については実用技術開発事業18053¹⁾により実用的な評価方法を開発した。ただし、肥料的な活用を考えた場合に、家畜ふん堆肥には有効な窒素に比べてリン酸やカリが多く含まれており成分がアンバランスであることが使いにくい要因となっている。また、散布の作業性の面でも粉状～塊状であることから使いにくい要因となっている。

本県において豚ふん堆肥製造の主流となっている密閉縦型方式で製造される堆肥はこの問題点を抱えた代表的な堆肥である。粉状で水分が低いこと、散布時に飛散しやすいこと、発酵期間が短いこと、臭気が不快なことなどから耕種農家では利用が敬遠

されがちである。一方、副資材を用いないため肥料成分が希釈されずに高く、安定している²⁾ことが特徴で、特にリン酸が多く含まれている。

岐阜県畜産研究所養豚養鶏研究部では堆肥化過程で発生するアンモニアを硫酸溶液中でバブリングして硫酸溶液として回収する装置「アンモニアリサイクラー」(特許4349306)を開発しており、本装置を県内養豚農家に設置した場合の窒素収支や運転方法について報告済みである²⁾。

そこで、この密閉縦型発酵装置で生産された堆肥を肥料的に利用するため、肥料成分バランスを整えること、ハンドリングの良い粒状とすることを目的とし、上記装置を利用して回収した硫酸溶液を用い、同農場の堆肥に還元して窒素を付加し、ペレット化することを検討した。本報では、製造したペレット堆肥の窒素およびリン酸の肥効特性を検討するとともに、水稻および露地野菜での実用性の評価について報告する。

なお、本研究は平成21～25年度にかけて、農林水産省委託プロジェクト研究「地域内資源を循環利用する省資源型農業確立のための研究開発1系(平成23年度からは気候変動に対応した循環型食料生

※岐阜県畜産研究所養豚養鶏研究部

※※新潟県農業総合研究所畜産研究センター

産等の確立のためのプロジェクト B1 系)」で実施した。

材料および方法

1. 供試堆肥とペレット堆肥の製造条件

供試堆肥は既報²⁾における養豚場の堆肥を使用した。水稻基肥として利用可能な成分を目標とし有効窒素：リン酸：カリの比率が概ね 1:2:1 程度の含有率を目安に硫酸液を戻すことを想定したペレット製造を行った。

ペレット製造は堆肥を風乾し水分含量 9%とした堆肥(原料堆肥, 表 1)と 41%硫酸溶液を重量比 68:32 で混合した。硫酸溶液は養豚場での回収硫酸液に肥料硫酸を溶解し 41%とした(肥料硫酸を加えたのは, 将来的にはアンモニアリサイクルの効率的な運転により硫酸濃度が高まることが想定されることと, 目標の成分比に整えるためである。実用場面では堆肥と回収硫酸液を混合し, 乾燥行程を経てペレット作成に適正な水分とすることを想定している³⁾。)

混合した材料(混合時の水分 25%)を, (株)ダルトン製のディスクペレッター F-5 にてペレット成形した(N 付加ペレット)。この他に比較のため硫酸溶液を添加せず堆肥のみで水分含量 25%に調整し成形したペレットを作成した(ノーマルペレット)。成形したペレットは網ネット上に広げ水分 15%程度を目安に風乾した。ペレットサイズは直径 5mm×長さ 10mm を主に製造し, 一部は水稻側条施肥用に 3mm 径のものを製造した。平成 23 年 4 月~24 年 4 月にかけて肥効試験とほ場試験用として計 4 回の製造を行った。

2. 原料及びペレット堆肥の分析

堆肥等有機物分析法⁴⁾を一部改編して行った。全窒素, 全炭素は乾式燃焼法により, アンモニア態窒素は既報⁵⁾により堆肥:0.5M 塩酸の 1:10 抽出液を用いてインドフェノール法にて, リン酸, カルシウム, マグネシウム, カリウムは硝酸-過塩素酸分解後, ICP 発光分析装置にて測定した。なお, 硝酸態窒素は原料に含まれていないため分析していない。

酸性デタージェント分析は畜産試験場研究資料⁶⁾と小柳ら⁷⁾に準じて分析を行った。すなわち凍結乾燥し粉砕した堆肥を酸性デタージェント溶液で沸後し, ろ過・洗浄・乾燥・秤量(a)の順に処

理を行い, さらに灰化後秤量(b)を行った。a-bにより灰分補正した酸性デタージェント繊維(ADF)を求め, 堆肥重量から堆肥の灰分と ADF 含量を差し引き AD 可溶有機物含量(ADOM)を求めた。また, ADF 中の窒素(ADFN)を測定し, 堆肥中の窒素から差し引き AD 可溶窒素(ADSN)を, ADSN から無機態窒素を差し引き AD 可溶有機態窒素(ADSON)を求めた。

なお, 本報では特に記載がない限り堆肥中の含量は乾物あたりで示す。

3. ペレット堆肥の窒素肥効(培養試験)

培養試験には表 2 の凍結乾燥品を用いた。畑条件培養は原料堆肥, ノーマルペレット, N 付加ペレットについて 1mm 目スクリーンを通過させた粉碎物を土壌と混合した場合, ペレットについてはペレット形状のまま土中に入れた場合, さらに N 付加ペレットについては地表面に静置した場合について行った。中粗粒褐色低地土の生土(土性 SL, 水分 14.7%)100 g に原料堆肥とノーマルペレットでは全窒素として 30 mg の割合で, N 付加ペレットでは 16.8mg の割合で添加し, 土壌水分を植害試験の方法⁸⁾による最大容水量の 45%とし 30℃にて 3,7,14,28,56,84,140 日間の培養を行った(粒状品については 84 日まで)。所定日数の培養後, 塩化カリウム溶液にて抽出し, 無機態窒素を水蒸気蒸留法にて測定した。また, 土壌のみを同様に培養し, その無機態窒素を堆肥添加培養の結果から差し引いて, 堆肥由来の無機態窒素とした。

湛水培養は外径 40mm の 100ml 容ねじロビンを用いた。細粒灰色低地土の生土(土性 CL, 水分 22.9%)45g に N 付加ペレットは全窒素として 10 mg 相当量を, 原料およびノーマルペレットは 16mg の割合で添加し, 水を 60ml 加えて攪拌後, 流動パラフィンで 15ml 張り酸素遮断し 30℃にて 7,14,28,56,98 日間の培養を行った。所定日数培養後 2M の塩化カリウム溶液となるよう塩化カリウムを加え抽出しアンモニア態窒素量をインドフェノール法にて分析した。畑状培養と同様に堆肥由来の無機態窒素を算出した。また, 土のみで水を加えて攪拌した後, ペレットのまま土中に入れた培養も行った。

培養後の無機態窒素については, 通常は堆肥に当初含まれる無機態窒素を差し引き窒素無機化量として表現される場合が多いが, 本報では堆肥に当初

から含まれる無機態窒素を含め培養無機態窒素と表現した。

4. ペレット堆肥の窒素肥効 (ポット試験)

1/2000a ワグネルポットに細粒褐色低地土を充填し、基準となる化学肥料区はポットあたり窒素0～500mgを5段階に硫酸を用いて施用し、原料堆肥とノーマルペレットでは全窒素量1,500mg相当量を、窒素付加ペレットでは750mg相当量施用した。化学肥料区と粒状のまま施用する区は3反復、粉砕物及び原料堆肥(粉砕品)を施用する区は2反復で試験を行った。堆肥は表2の凍結乾燥品を用いた。

コマツナをポット当たり7株生育させ地上部窒素吸収量を測定し、硫酸施用区の窒素施用量と窒素吸収量の関係から既報⁹⁾に準じて化学肥料換算した窒素肥効を算出した。播種の2日前に肥料および堆肥の土壌との混合を行い、9/21から10/18にかけて栽培した。

5. 他堆肥での形状による窒素肥効の比較

粒状品と粉砕品の関係比較のため粒状鶏ふん堆肥5点を供試し、前述のペレットと同様に粒状のままと粉砕品の30℃・4週間の畑条件培養を5点(地表面での静置培養はなし)、30℃・4週間の湛水培養を3点、ポット試験による化学肥料換算した窒素肥効測定を5点について行った。ポット試験は施肥および堆肥の混合は播種当日、7/18から収穫8/18まで栽培した。

6. ペレット堆肥のリン酸肥効

土壌は施肥履歴のない非農耕地の黒ボク土(トルオーグリン酸0.5mg/100g、リン酸吸収係数2,470)を用い、1/5000aワグネルポットにてコマツナを3株栽培した(3反復)。堆肥または化学肥料由来のリン酸が生育の制限要因となるよう、他の成分は十分施用した肥料条件で栽培を行った。化学肥料区では窒素(硫酸)、カリ(硫酸カリ)の他、石灰や苦土の塩基類、また、微量元素資材を施用した。堆肥施用区では堆肥に含まれる有効窒素(前述の畑培養4週での無機態窒素量)、カリ、石灰、苦土を減じて化学肥料を施用し化学肥料区と施肥量を合わせた。

リン酸は化学肥料区では過リン酸石灰の主成分である第1リン酸カルシウム($\text{CaH}_2(\text{PO}_4)$)を、堆肥は表2の凍結乾燥品を用い原料堆肥(粉砕品)、ノーマルペレット(粒のまま)、N付加ペレット(粒のまま)を全リン酸量(P_2O_5 相当量)でポット当

たり333mg施用した。施肥および堆肥施用は播種前日に行い、9/29から10/26にかけて栽培し、収穫後に地上部のリン酸吸収量を測定した。

7. ペレット堆肥の水稲作での利用試験

基肥窒素およびリン酸の全量代替をねらいとし、水稲移植栽培での実用性を検討した(表4)。基肥ではN付加ペレットのみを施用し、穂肥にはNK化成を施用する体系で検討した。試験は平成23～24年にかけて実施し、24年には3mm径のペレットによる側条施肥田植機による栽培も実施している。使用したペレット堆肥の成分は表3による。

8. ペレット堆肥の露地野菜での利用

露地野菜での利用を検討するため、タマネギとブロッコリーの栽培試験を実施した。本栽培では化学肥料の基肥リン酸の概ね全量を代替し、同時に施用される有効Nとカリも代替し、不足する成分量を化学肥料で補う試験とした(表6)。ブロッコリーでは慣行施肥は被覆尿素を配合した専用肥料を使用している。これに対しN付加ペレット区では専用肥料に配合されている被覆尿素が同量になるようN付加ペレット区に施肥した。使用したペレット堆肥の成分は表3のとおりである。

結果

1. 作成したペレットの成分(表1)

硫酸液を添加したN付加ペレットでは、アンモニア態窒素含量が約44mg/gとなり、原料堆肥の8.3mg/gに対して5.3倍の含量となった。また、原料の乾物相当での混合比率は堆肥：硫酸が100:21であるため、この比率でリン酸、カリ等の成分は減少していた。原料混合時の理論値(原料の混合割合から計算により求められる値)と比較して全窒素が0.1%減少したが、アンモニア態窒素には違いがなかった。ただし、ペレット作成時にはアンモニア臭が感じられたことから明らかに揮散していた。また、AD可溶有機態窒素が理論値より2mg/g減少していた。アンモニア揮散があったがアンモニア含量が変化していないこと、全窒素が減少していることから、一部はアンモニアに変化したと推察された。

一方、硫酸液を戻さないノーマルペレットではペレット化によりわずかにアンモニア態窒素の減少が認められたが、他の成分にはほとんど変化が

認められなかった。

2. 畑条件培養での窒素発現 (図1)

(1)粉砕物の窒素無機化パターン

原料堆肥とノーマルペレットの粉砕物の無機化パターンはほぼ同じであり、当初 8mg/g 前後の無機態窒素量から 3~7 日目にかけて約 2mg/g まで約 6mg/g が有機化により減少し、その後培養 84 日目までに約 11mg/g まで増加するパターンであった。また、84 日目の無機態窒素率は約 30%であった。

一方、N 付加ペレットは硫安の添加のため無機態窒素量が多くなるが、粉砕物では当初の 7 日間の有機化量が 13.6mg/g と原料やノーマルペレットの約 6mg/g に対して多くなった。84 日目の無機態窒素量は 37mg/g、無機態窒素率は 56%であった。

(2)ペレット形状での窒素無機化パターン

粉砕せずにペレットのまま地中に入れて培養した場合、有機化が 14 日まで続き、その後の無機化も緩慢であった。粉砕した場合の無機態窒素量を大きく下回り 84 日目の無機態窒素量は N 付加ペレットでは 26mg/g、ノーマルペレットでは 3mg/g であった。

一方、N 付加ペレットを地表面に静置し培養した場合は、初期の有機化が緩やかであり、28 日目以降の無機態窒素量は粉砕した場合とほぼ同等であった。

3. 湛水培養による窒素発現 (図2)

原料堆肥の湛水培養での無機化パターンは、畑条件培養と比較して初期の有機化が緩慢な傾向を示したが、全般にほぼ同様の推移を示した。

N 付加ペレットでは粉砕物と粒状のまま地中に入れた条件でもほぼ同等のパターンとなり、畑条件培養で見られた粒状と粉砕物の違いはなかった。

4. ポット試験での窒素肥効 (図3)

基準となる硫安施用区での窒素吸収量(y)mg/ポットと窒素施肥量(x)mg/ポットの間には 2 次式の回帰が得られた。($y=0.0007x^2+0.549x+194$, $r=0.995$) この関係より求められた各堆肥の化学肥料換算した窒素肥効は原料堆肥の 6.6mg/g に対し、ノーマルペレットでは粉砕品が 5.9mg/g、粒のままでは 5.0mg/g、N 付加ペレットでは粉砕品が 37mg/g、粒のままでは 36mg/g でありいずれのペレットでも粉砕品と比較して窒素肥効は同等で

あった。

5. 他堆肥での形状による窒素肥効の比較 (図5)

鶏ふん堆肥における粒状と粉砕品の畑条件培養と湛水培養での無機態窒素量、ポット試験での窒素肥効は、いずれの堆肥でも粒状品の畑条件培養のみが極端に低くなる結果であり、その他の場合はほぼ同等であった。

6. ペレット堆肥のリン酸肥効 (図4)

第 1 リン酸カルシウムではリン酸吸収量が 24.7mg/ポットであったが、原料堆肥では 12.8、N 強化ペレットでは 60.8、ノーマルペレットでは 52.3mg/ポットとなり、原料堆肥では化学肥料を想定した試薬リン酸より肥効が低いが、ペレット化することによりリン酸肥効が高まった。

7. 水稲栽培での利用 (表5)

場内試験の「ハツシモ岐阜 SL」ではいずれの試験でも N 付加ペレットを施用した区では慣行区に比較して、茎数の確保、穂数が同等もしくは上回った。葉色は穂肥時に慣行区を下回っており、堆肥であるため肥切れが悪いということはなかった。収量も各年時とも両区で同等であった。また、平成 24 年の全層施肥、側条施肥とも慣行区の塩安系肥料との比較では、むしろ分けつ数、穂数が慣行区に対して多くなった。この点については次報で検討する。

窒素吸収量、リン酸吸収量、カリ吸収量についてもほぼ同等であった(表9)。

現地では「コシヒカリ」の基肥一発肥料の側条施肥体系に対して、3mm 径ペレットでの側条施肥+穂肥の体系で比較したが、N 付加ペレットでは分施体系のため稈長が伸びすぎることなく、むしろ N 付加ペレット区で増収した。

側条施肥機への適応性は現地と場内とも K 社のロール式の側条施肥田植機で実施した。現地では施肥ダイヤルを 100kg/10a とすることで 83.2kg(現物)、70.8kg(乾物)の施用量となった。場内では 110kg に設定して 88.4kg(現物)、71.5kg(乾物)の施用量となった。両試験で用いたペレットの長さは現地では 4mm 中心、場内では 5mm 中心であったため施肥量に差が発生したと思われる。作業中に詰まり等のトラブルはなく順調な作業が可能であった。

8. 露地野菜での利用

タマネギでは慣行区と N 付加ペレット区で同等

の収量が得られた(表7)。両区の窒素、リン酸、加里のいずれの吸収量もほぼ同等であった(表10)。

ブロッコリーでも両区で同等の花蕾品質と可販花蕾数が得られた。窒素吸収量はペレット区でやや高くなったが、リン酸・加里の吸収量は同等であっ

た(表10)。このようにタマネギやブロッコリーといった露地野菜栽培においてもリン酸代替を中心とした化学肥料代替資材として活用が可能であった。

表1 原料堆肥および作成したペレットの成分含量(培養, ポット試験用)

	C/N	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	NH ₄ -N	ADOM	ADSN	ADSON	ADF-N
				%				mg/g				
原料堆肥	8.0	31.8	3.95	10.33	3.75	9.12	3.32	8.3	334	25.4	16.9	14.1
ノーマルペレット	8.3	32.6	3.93	10.06	3.75	8.95	3.22	7.9	349	25.2	16.9	14.0
N付加ペレット	4.0	27.7	6.88	8.47	3.15	7.59	2.78	44.4	417	56.9	11.9	11.9
原料+硫酸安液 混合時(理論値)			6.99	8.51	3.09	7.52	2.74	44.1		58.2	14.0	11.6

乾物当たり含有量

表2 培養・ポット試験に用いた凍結乾燥試料の成分含量

	N	NH ₄ -N	ADSN
	%	mg/g	mg/g
原料堆肥	3.94	8.3	25.3
ノーマルペレット	3.83	7.4	24.3
N付加ペレット	6.57	41.9	53.8

表1の凍結乾燥品、乾物当たり含有量

表3 ほ場試験に用いたN付加ペレットの成分

	水分	C	N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
	%				%			
4試料の平均値	16.7	28.0	6.78	4.30	8.59	3.19	7.51	2.71
標準偏差	2.5	0.3	0.15	0.22	0.08	0.08	0.06	0.06

水分は現物当たり、その他成分は乾物当たり

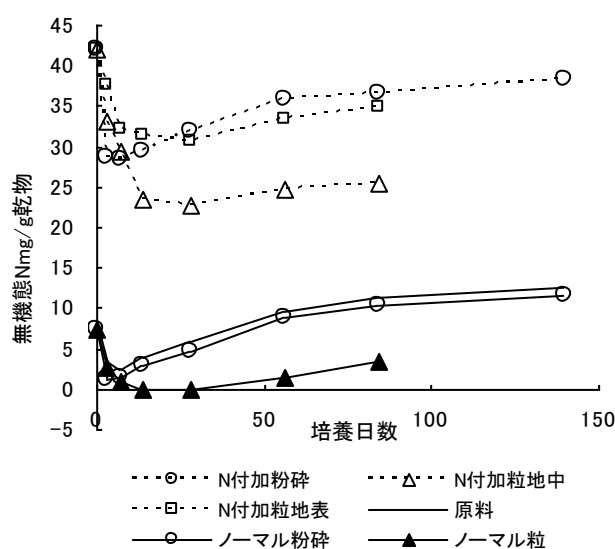


図1 畑条件培養での無機態窒素量の推移

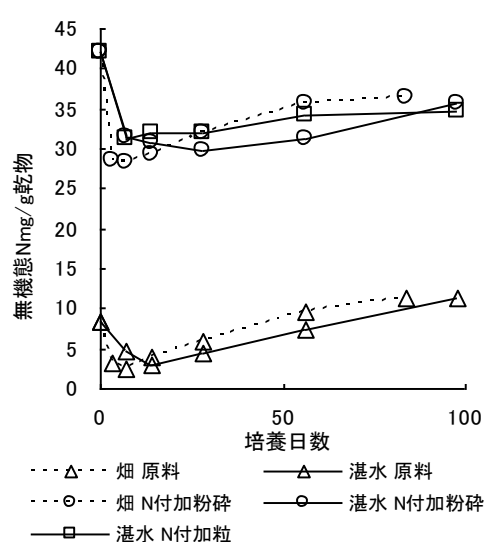


図2 湛水培養での無機態窒素量の推移(参考: 畑条件培養)

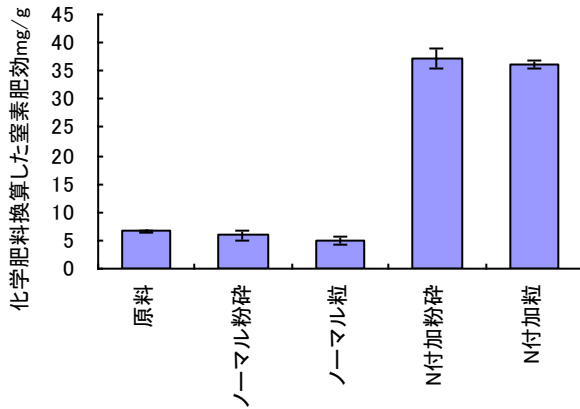


図3 原料とペレットのポット試験での化学肥料換算した窒素肥効 (エラーバーは標準偏差)

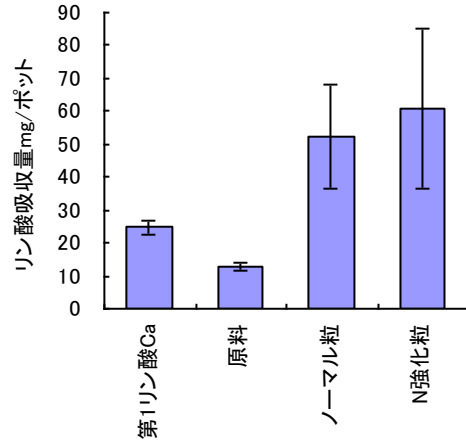


図4 原料とペレットのポット試験でのリン酸吸収量 (エラーバーは標準偏差)

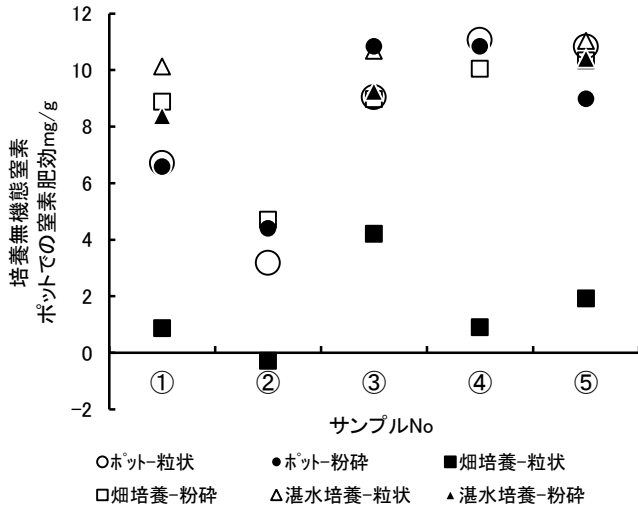


図5 鶏ふん堆肥5点での粒状品と粉砕物の培養無機態窒素量とポット試験での窒素肥効の関係

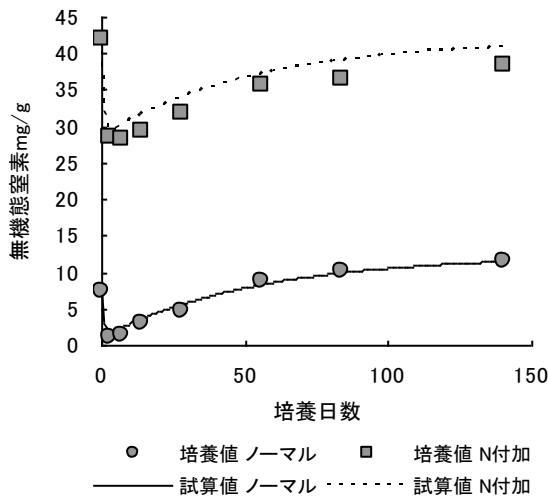


図6 豚ふん堆肥共通の窒素肥効計算式のペレット堆肥への適用結果

豚ふん堆肥共通の有機無機複合モデル¹⁾

$$N = C - A1(1 - \exp(-k1t)) + A2(1 - \exp(-k2t))$$
 N: 堆肥から発現する無機態窒素量 (mg/g)
 A1: 30°C3日培養で有機化する窒素量 (mg/g)
 A2: {AD可溶窒素 - (C - A1)} - 11.4 (mg/g)
 C: 初期の無機態窒素量 (mg/g)
 t: 25°C換算した積算日数(日)
 k: 速度定数(1/日) k1=0.721 k2=0.013
 Ea: 活性化エネルギー(cal/mol)
 Ea1=21,308 Ea2=12,588
 25°C換算した日数への変換:

$$\exp(Ea \times (\text{地温} - 25) / (1.987 \times (273 + \text{地温}) \times (25 + 273)))$$

表4 水稻栽培の試験の概要

	堆肥施用量(乾物)	化肥 ³⁾ N		堆肥有効N ⁵⁾		窒素肥効計	リン酸		カリ		
		基肥	穂肥 ²⁾	基肥	穂肥		化肥 ³⁾	堆肥	化肥 ³⁾	堆肥	
H23、場内、 全層施肥 ⁶⁾	慣行(IB系 ¹⁾)		4.0	4.0			8.0	6.0		8.0	
	N付加ペレ減	81.7		4.0	3.3	0.2	7.5		6.9	5.5 ⁴⁾	2.5
	N付加ペレ	108.1		4.0	4.4	0.3	8.7		9.2	4.0	3.4
H24、場内、 全層施肥 ⁷⁾	慣行(塩安系 ¹⁾)		4.0	4.0			8.0	5.3		8.7	
	N付加ペレ	99.8		4.0	4.0	0.2	8.2		8.6	4.0	3.2
H24、場内、 側条施肥 ⁸⁾	慣行(塩安系)		3.1	4.0			7.1	4.1		7.6	
	N付加ペレ	71.5		4.0	2.9	0.2	7.0		6.2	4.0	2.3
H24、現地、 側条施肥 ⁹⁾	慣行(一発 ¹⁾)		5.0				5.0	1.8		1.8	
	N付加ペレ	70.8		1.8	2.6	0.2	4.6		6.1	1.8	2.2

1)基肥の種類、IB系はIB態窒素を60%含む(成分は窒素、リン酸、カリの順に10-15-10%)、塩安系は塩リン安系肥料(12-16-14)、一発は基肥一発肥料(20-7-7)

2)穂肥にはNK化成(16-0-16)を使用 3)化学肥料のこと 4)基肥に塩化加里をカリ成分1.5g/10a施用した

5)堆肥有効Nは図6により該年度の地温を用いて計算した。穂肥までの肥効を基肥分として、穂肥から収穫までを穂肥分とした。

6)基肥:化肥およびペレット施用H23/6/3 移植6/9 穂肥8/12(窒素2.5kg/10a),8/19(窒素1.5kg/10a) 成熟日10/11 品種「ハツシモ岐阜SL」

7)基肥:化肥およびペレット施用(直径3mmのペレットを使用)H24/6/1 移植6/7 穂肥8/13(窒素2.5kg/10a),8/20(窒素1.5kg/10a) 成熟日10/5 品種「ハツシモ岐阜SL」

8)基肥は慣行区・N付加ペレ区(直径3mmのペレットを使用)とも側条施肥 基肥・移植H24/6/4 穂肥8/13(窒素2.5kg/10a),8/20(窒素1.5kg/10a) 成熟日10/5 品種「ハツシモ岐阜SL」

9)基肥は慣行区・N付加ペレ区(直径3mmのペレットを使用)とも側条施肥 基肥・移植H24/5/18 穂肥7/20 成熟日9/5 品種「コシヒカリ」 瑞浪市日吉営農組合

表5 水稻の生育および収量

	分けつ盛 期差数 ¹⁾	最高分 げつ数	穂肥時 葉色	稈長	穂長	穂数	わら重	精玄米重	千粒重	倒伏	もみN 含量%		
												本/m ²	SPAD値
H23、場内 全層施肥	慣行(IB系)	117	361	30.5	86.6	20.3	297	791	462	[100]	24.7	0	1.12
	N付加ペレ減	130	376	29.7	87.3	20.6	281	744	477	(103)	25.1	0	1.16
	N付加ペレ	127	365	28.9	86.4	20.1	285	731	474	(103)	25.0	0	1.16
H24、場内 全層施肥	慣行(塩安系)	141	252	31.6	88.9	21.3	241	706	510	[100]	24.6	0	1.04
	N付加ペレ	176	309	29.9	84.3	20.2	280	729	505	(99)	24.5	0	1.09
H24、場内 側条施肥	慣行(塩安系)	170	287	31.0	83.8	21.9	239	628	477	[100]	24.9	0	1.02
	N付加ペレ	265	377	26.4	83.3	20.7	263	642	458	(96)	25.6	0	1.12
H24、現地 側条施肥	慣行(一発)	398	429	34.9	95.5	18.4	367	650	472	[100]	22.8	-	-
	N付加ペレ	378	420	32.0	91.4	18.9	367	571	519	(110)	23.9	-	-

1)調査日は場内試験は6/27、現地試験は6/29

表6 タマネギ、ブロッコリー栽培試験の概要

	堆肥施用量(乾物)	化肥 ¹⁾ N		堆肥有効N ⁴⁾		窒素肥効計	リン酸		カリ	
		基肥	追肥	基肥	追肥		化肥 ¹⁾	堆肥	化肥 ¹⁾	堆肥
H23 タマネギ ²⁾	慣行		22.0	9.4			31.4	40.4		30.4
	N付加ペレ	323.4	9.0	9.4	11.2	1.6	31.2	6.0	27.8	17.4
H23 ブロッコリー ³⁾	慣行		20.0				20.0	20.0		16.0
	N付加ペレ	232.4	11.7	7.3	0.7		19.7	19.7		8.7

1)化学肥料のこと

2)場所:本巣市曾井中島 品種:「OK」 基肥H23/11/5 定植11/17 追肥H24/1/27,2/21,3/25 収穫5/31
栽植密度 29.2本/m² (うね幅163cm、1条8株植え、条間16.8cm) 黒マルチ栽培 慣行区の基肥はスーパーIB態窒素8割含む配合肥料(成分は窒素、リン酸、カリの順に12-12-12%)160kg/10a、高度化成(14-16-14)20kg/10a、リン酸肥料(0-30-0)40kg/10a ペレット区の基肥の不足する窒素とカリは硫安と硫加 追肥は両区共通で高度化成(16-8-16または15-14-10)を毎回20kg/10a 作付け前の作土の可給態リン酸47mg/100g

3)場所:場内 品種:「キャッスル」 基肥H22/11/10 定植9/12 収穫11/11~12/1 栽植密度 4.08本/m² 黒マルチ栽培
慣行区の基肥は秋冬野菜専用配合(被覆尿素70日タイプの窒素を半量含む、成分は窒素、リン酸、カリの順に15-10-10%)133kg/10aと過磷酸石灰と硫加 ペレット区は不足する窒素は被覆尿素70日タイプをN10kg/10a、硝安N1.7kg/10a、カリは硫加 作付け前の作土の可給態リン酸53mg/100g

4)堆肥有効Nは図6により場内露地畑の平均地温を用いて計算した。基肥は窒素肥効の最も低下した時、追肥はそれ以降収穫まで。

表7 タマネギの規格別収量

	直径 cm	高さ cm	玉重 g/個	規格別収量kg/10a											外	総計
				A					B							
				2L	L	M	S	計	2L	L	M	S	計			
慣行	6.9	6.7	186	337	1,651	1,506	1,174	4,668	88	156	208	121	573	191	5,432	
N付加ペレ	7.1	6.9	194	203	1,877	1,995	1,141	5,215	0	87	222	0	310	138	5,663	

表8 ブロッコリーの花蕾品質

	長径	短径	茎径	花蕾高	調整重	規格外品率%
	mm	mm	mm	mm	g	
慣行	132	123	50	88	392	7.5%(形状不良)
N付加ペレ	128	119	50	82	375	5%(形状不良)

表9 水稻の養分吸収量 (kg/10a)

		窒素	リン酸	カリ
		(kg/10a)		
H23、場内 全層施肥	慣行(IB系)	10.0	5.1	17.8
	N付加ペレ減	9.8	5.0	17.3
	N付加ペレ	9.9	5.3	15.3
H24、場内 全層施肥	慣行(塩安系)	9.0	4.8	15.5
	N付加ペレ	9.5	5.2	15.2
H24、場内 側条施肥	慣行(塩安系)	7.9	4.3	13.1
	N付加ペレ	8.4	4.2	13.0

表10 タマネギとブロッコリーの養分吸収量 (kg/10a)

		窒素	リン酸	加里
				(kg/10a)
タマネギ	慣行	6.1	3.1	11.3
	N付加ペレ	6.2	3.2	11.0
ブロッコリー	慣行	20.1	9.9	33.0
	N付加ペレ	24.0	10.1	32.9

考察

今回試作した硫酸溶液を加えた豚ふんペレット堆肥の窒素肥効は加えた硫酸由来の窒素分が単純に増加すると考えるにはいくつかの疑問点が生じた(図1)。

畑培養での無機態窒素量が初期の有機化量が堆肥のみのペレットに比べて約8mg/g分多くなっていた。培養時にAD可溶有機物が250mg/g以上の牛ふん、豚ふん堆肥では無機態窒素が有機化することをこれまでに報告⁹⁾している。今回の堆肥ではAD可溶有機物が250mg/g以上なので有機化する堆肥となるが、ペレット化の行程でAD可溶有機物に含まれていた窒素(ADSON)が2mg/g減少していることからこの分の有機化量が増加したと考えられた。また、この減少量以上に有機化量が多くなっており、硫酸溶液を加えたペレット化、すなわち塩類が共存し加圧、昇温されることにより微生物による分解性が高まる何らかの変化が起こっていたと推察された。

もう1点、ペレット形状のまま培養すると畑条件培養で無機態窒素量が粉砕物に比べて低くなる

現象が認められた。このことはペレット堆肥の窒素肥効の大きな問題点となりかねない点であったが、コマツナポット栽培試験ではペレットと粉砕物は同等の窒素肥効を示した。また、湛水培養ではペレットも粉砕物も同等の無機態窒素量であることから畑利用、水稻利用とも問題とならないと考えられた。また、同様の検討を粒状化した鶏ふん堆肥で行ったが、今回の豚ふん堆肥ペレットと同様の傾向であった。原因としては、脱窒が推定される。ペレット化堆肥では施用後に亜酸化窒素を発生することが報告されており、今回供試した豚ふん堆肥ペレットについても亜酸化窒素が発生することが報告されている¹⁰⁾。しかし、その発生量はノーマル、N付加ペレットとも堆肥乾物当たりに換算すると0.12mg/g程度(22.1°C, 55日間)である。すなわち、図1のようなN付加ペレット(粒状培養)での10mg/gの減少を説明することはできない。一方、地中よりは低水分と想像される土壌表面に静置した培養では初期の有機化が緩やかであるものの4週後ごろには粉砕物と同等の無機態窒素量となっている(図1)。地中での培

養では畑条件とはいえペレット自体は水分を吸い込み比較的高水分な条件下で、局部的に易分解性有機物が多い中で、複雑な有機化と無機化の組み合わせが起こっていたのかもしれない。なお、ポット栽培では、粒状と粉砕物が同等の肥効となる要因ははっきりとしないが、根が直接ペレットの到達し養分吸収することや、土壌が乾湿を繰り返すため、多水分の条件が継続しないことが一因として推察された。

これらのことから、畑培養試験での粉砕物の結果を基に畑作での窒素肥効を想定して問題はなく、また、湛水条件にあっても同一の窒素無機化パターンであったことから水稲作での肥効を推定しても差し支えないと考えられた。

経時的な窒素肥効を推定する場合には、N付加ペレットでは初期の有機化量が多くなるので窒素無機化パターンが原料堆肥とは若干異なることとなる。ここで、既報¹¹⁾の豚ふん堆肥共通の反応速度論的手法を用いた窒素無機化推定法手法を用いて、このペレットの30℃での無機態窒素発現量を試算すると、培養値と精度よく一致した(図6)。このことから、本手法を用いればN付加ペレットの場合の地温に応じた肥効推定が可能と考えられた。モデルでは当初のアンモニア態窒素量、30℃での3日培養後の無機態窒素量、AD可溶窒素量が分かれば、地温を用いて肥効パターンを推定することができる。実際に栽培試験の窒素肥効推定は全てこのモデルを用いて推定しており、水稲「ハツシモ岐阜SL」では製造ロットの異なる2つのペレットを用いたが作期中の窒素肥効は堆肥乾物当たり4.22～4.36%と試算された。また、タマネギ、ブロッコリーでは地温が低いため3.42～3.97%と試算された。これにより栽培を行って慣行栽培と同等の収量や窒素吸収量が得られているので、正しく推定できていたと考えられた。

今回、試作したN付加ペレットの窒素肥効を窒素肥効評価法¹⁾で提案した速効性(30℃で4週間相当)と緩効性(以降8週間分)をモデルで試算した。4回製造した平均値は、速効性窒素は3.7%、緩効性窒素は0.4%、速効+緩効性は4.1%となった。原料堆肥では速効性0.7%、緩効性0.4%、速効+緩効性1.1%となった。N付加により窒素肥効が約4倍に高まるとともに、高まった部分は速効性であることから、速効性の比率が9割に高まっ

た肥効となった。

一方、リン酸肥効はペレット化することにより原料堆肥に比べて高くなった。今回のポット試験ではリン酸未施肥の非耕地土壌を用いており、強くリン酸固定が生じている。収穫時には根がペレット堆肥に絡みついていたこと、ペレット形状では土壌との接触面積が少ないため内部ではリン酸固定の作用を受けにくいことから、ペレット内部からリン酸を吸収しリン酸吸収量が高くなったと推察された。同様に牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥の混合ペレットで原料に比べてリン酸肥効が高まるのが荒川ら¹²⁾よっても報告されている。これらのことから、試作したペレット堆肥ではリン酸肥効を化学肥料と同等とみなして全く問題がないと考えられた。

家畜ふん堆肥中のカリは水溶性が7割程度を占め、ク溶性を含めると9割以上¹³⁾なので、堆肥に含まれるカリは化学肥料同等の肥効として差し支えない。このため、今回試作したN付加ペレットは有効窒素-リン酸-カリの成分が4.1-8.6-3.2(水分15%として現物換算3.5-7.3-2.7)で利用可能な肥料と考えられる。窒素付加前の成分比は1-10-3.7であったことからすれば、いわゆる山型の成分比の肥料として利用しやすいものとなった。開発当初より水稲基肥としての用途を想定していたので、リン酸施肥量が若干多くなるものの、概ね乾物100kg/10aの施用で平坦地で標準的な基肥成分施肥量(4-6-4kg/10a)に近い成分比で施肥が可能な資材となった。

また、3mm径のペレットでの側状施肥田植えでも良好な結果が得られていることや、様々な作型の露地野菜においてN付加ペレットを用いたリン酸全量の代替、窒素と加里の一部を代替した栽培が可能であることも確認できたことから、さらに幅広い利用が可能と考えられた。

水稲基肥が窒素4kg、リン酸6kg、加里4kg/10aとすると、このときの肥料価格を窒素244円/kg、リン酸454円/kg(単肥価格¹⁴⁾より)、加里は166円/kg(小売価格¹⁵⁾より)とすると4,364円となる。このN成分を代替するのに必要なN付加ペレット堆肥は乾物100kg、水分が製造マニュアル³⁾の15%とすると118kgとなる。製造価格³⁾746円/20kgより考えると、4,388円とほぼ同等の肥料費での活用も可能と考えられる。

また、リン酸施肥量が多く、高価な肥料を用いる野菜作ではさらに肥料費節減のメリットが大きくなる。今後、さらに肥料価格が上昇した場合、このような肥料の利用ができる成形堆肥のメリットはさらに高まると考えられる。

本肥料を製造するには、肥料取締法上では他場所の硫酸溶液を堆肥には混合できないため、一場所内での堆肥生産の行程の一貫として製造する必要がある。また、吸着複合肥料としての登録の検討の余地もあると思われる。

謝辞

本研究を推進するにあたり、委託プロジェクト研究の参画メンバーの皆様からは貴重な助言を頂いた。原料堆肥や液の製造にあたり実証養豚事業所の皆様には多大なる協力を頂いた。栽培実証にあたり担当生産者、関係農林事務所農業普及課、農業経営課農業革新支援専門員の方々には多大なる協力を頂いた。この場を借りて深く感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 実用技術開発事業 18053 マニュアル編集委員会 2010. 家畜ふん堆肥の肥料成分・窒素肥効評価マニュアル. (独) 農研機構中央農業総合研究センター
- 2) 加藤誠二・棚橋寿彦 2014. 密閉縦型発酵装置による豚ふんの堆肥化時におけるアンモニア回収. 岐阜県畜産研究所研究報告, 14, 7-18.
- 3) 岐阜県畜産研究所・岐阜県農業技術センター・新潟県農業総合研究所畜産研究センター・(独) 農研機構中央農業総合研究センター. 密閉縦型発酵装置とアンモニア回収装置を組み合わせた窒素付加豚ふんペレット堆肥の製造記述マニュアル. (独) 農研機構中央農業総合研究センター
- 4) 日本土壌協会 2000. 堆肥等有機物分析法, p. 23-27.
- 5) 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. 土肥誌, 81, 329-335.
- 6) 阿部亮 1988. 炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用. 畜産試験場研究資料, 2: 23-24.
- 7) 小柳渉・安藤義昭・棚橋寿彦 2007. 有機質資材の分解特性とその指標. 土肥誌, 78, 407-410.
- 8) 昭和 59 年 4 月 18 日付け 59 農蚕第 1943 号農林水産省農蚕園芸局長通知 1984. 植物に対する害に関する栽培試験の方法.
- 9) 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・豚ふん堆肥中の窒素肥効評価. 土肥誌, 81, 336-342.
- 10) 駒田充生・西村誠一・堂本晶子・加藤誠二・安藤正・林清忠・加藤直人 2015. 家畜ふん堆肥ペレットへの窒素付加が一酸化二窒素の発生に及ぼす影響. 土肥誌, 86, 207-212.
- 11) 棚橋寿彦・小柳渉・村上圭一・石岡徹・加藤直人 2008. 家畜ふん堆肥の窒素肥効の遅速に基づく評価法 第 7 報 有機成分を加味した豚ふん堆肥の窒素無機化パターンのモデル化. 土肥要旨集, 第 54 集, p.155.
- 12) 荒川祐介 2012. 堆肥のペレット成型がそのリン酸肥効に及ぼす影響. 土肥誌, 83, 249-255.
- 13) 小柳渉・安藤義昭・水沢誠一・森山則男 2004. 家畜ふん堆肥中の塩類組成の特徴. 土肥誌, 75, 91-93.
- 14) 農林水産省 農業物価統計調査 (H27 年 8 月)
- 15) ポケット肥料要覧 2013/2014, 小売価格, p63, (財) 農林統計協会

Abstract

We have produced compost pellets that incorporate an ammonium sulfate solution produced in *Ammonia recycler* device that collects the ammonia generated in the composting process of swine manure with sulfuric acid into the compost. The ratio between compost and ammonium sulfate of raw materials of these pellets is set at 100:21 (proportion of dry matter). These pellets contained an available N, P, K at ratio of 4-8.5-3 (wt.%). Although the initial amount of organic nitrogen formed from the fertilizer is greater due to being in pellet form, the nitrogen is quick-release since the main constituent of the nitrogen fertilizer is ammonia. The

available nitrogen is approximately four times that of the raw compost. The phosphate fertilizer efficiency of these pellets is in no way inferior to that of chemical fertilizer. These pellets can be used as substitutions for chemical fertilizers in open field vegetable production or for fertilizer used in paddy rice production. They are also valuable as a fertilizer for their improved component balance and ease of distribution as well as for their incorporation of the collected volatile resources of the fertilizer.

Key words

swine manure compost, *Ammonia recycler*, ammonia trapping, fertilizer, compost pellets