

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2報：新肥料規格による粒状肥料の開発と利用—

棚橋寿彦・和田巽・加藤誠二[※]・山田隆史^{※1}・浅野智孝^{※2}・見城貴志^{※2}・田中誠二^{※3}・北嶋敏和^{※3}

The Development of the Molding Fertilizer for Improved Spreading Efficiency
and the Composition of Swine Manure Compost (No.2)
— The Development and Usage of Granular Fertilizer Following the New Fertilizer Standards —

Toshihiko Tanahashi, Tatsumi Wada, Seiji Kato, Takashi Yamada, Tomotaka Asano, Takashi Kenjyo,
Seiji Tanaka and Toshikazu Kitajima

要約：豚ふん堆肥（汚泥発酵肥料）を原料に使用した、改正された肥料の公定規格「混合汚泥複合肥料」に適合する肥料を開発した。豚ふん堆肥、有機質肥料、化学肥料を混合造粒し窒素、リン酸、カリの成分が10-4-8%で、そのうち窒素の半量を有機質由来とした水稲での利用を主に想定した製品とした。試験の過程で当センターや現地の水田での化学肥料を用いた栽培において軽度の硫黄欠乏の発生が確認された。このため、原料に用いる化学肥料の一部に硫安を用いることにより、初期生育が改善された。本肥料の窒素肥効は従来の有機質由来窒素50%の複合肥料と同等の肥効を示し、水稲の生育や収量もこれらの肥料と同等であった。このため、本肥料は堆肥を活用した減化学肥料栽培向け肥料として有望である。

キーワード：豚ふん堆肥、粒状肥料、混合汚泥複合肥料、有機質肥料、水稲、硫黄欠乏

緒言

肥料費の高騰を契機として、堆肥の肥料的活用が重要視されている。この中で、課題とされる成分のアンバランスと散布時の作業性の悪さを改善し、さらに堆肥化時に揮発するアンモニアも回収し還元したペレット肥料の特性について前報¹⁾では報告した。しかしながら、このような肥料化堆肥の製造は畜産農家に頼ることとなり、あくまで本業は畜産物の生産であるため取り組み難い現状がある。一方で、肥料製造メーカーが原料として活用することが可能であれば、堆肥が滞留傾向にある畜産農家とすれば出荷先が確保でき、肥料メーカーとしては安価な原料として活用が可能となり、さらにその製品が安価であれば利用する耕種農家にとってもメリットが生じ、今までにはない形態での堆肥利用がすすむこととなる。

これまでは堆肥と肥料を混ぜて製品化することは肥料取締法では認められておらず成分調整堆肥は製造できないのが現状であった。ところが、平成23年頃からこれらを認める新規格の設定や関連規格の改正が農林水産省で検討され始めた。

そこで、これを契機として製造メーカー、資材供給機関とともに、リン酸含量の高い豚ふん堆肥を原料とした新たな肥料を開発した。

本報では本製品の窒素の肥効特性を検討するとともに、水稲等での実用性の評価と養分供給の面から改良等を実施してきたので報告する。

1. 造粒適性試験

[目的]

豚ふん堆肥（原料堆肥、養豚場でのし尿処理汚泥が入るため肥料取締法上は汚泥発酵肥料）の複合肥料原料としての適性を評価するため、製造方式の候補となる混練り、押し出し、転動造粒の方式での製造試験を行った。

[材料および方法]

原料堆肥には密閉縦型発酵方式で製造した既報^{1), 2)}における養豚場の堆肥を使用した。原料堆肥のみでの造粒と、高度化成半量に対して各種有機質資材を半量加えた製造試験を行った（表1）。製造は原料混合、粉碎、加水、練り、押し出し（3mm径）、転動造粒、棚乾燥の順で行った。水分は練

※岐阜県畜産研究所養豚養鶏研究部

※1 岐阜農林事務所

※2 朝日工業株式会社 生物工学研究所

※3 全国農業協同組合連合会 岐阜県本部

り状況を見ながら加水し、外観で最適と判断した後に押し出しを行った。硬度は木屋式硬度計により測定した。

[結果および考察]

高度化成と各種有機質資材を混合した組み合わせでは、原料堆肥の場合が最も硬度が高くなった。硬度は製品として流通させるには 1kgf が必要と考えており、原料堆肥の混合では 5kgf と十分にこれをクリアした。また、粒径分布は製品となる 2~4mm の割合がなたね油粕と原料堆肥で高く 8割となった。原料堆肥のみでの造粒でも混合造粒の結果に近いものとなった。このことから、原料堆肥は本方式での造粒に適しており、また、造粒品の硬度が高くなる特徴があった。

造粒の適正が良好であったことから、製品化に着手した。堆肥を原料にする初めての肥料であることから、広範囲に需要が見込める水稻での利用を想定した。本県では環境に優しい農業を推進するため独自の認証制度「ぎふクリーン農業」を展開しており、化学肥料窒素を 30%削減した栽培が県下の水稻作付の約 3割を占めている。さらに、50%削減した体系（特別栽培農産物とほぼ同じ）も約 1割を占めており、減化学肥料栽培への取り組みが盛んである。そこで、堆肥という有機物を用いることもあり、減化学肥料栽培への利用を想定し、開発する肥料の窒素の半分は有機質由来とした。また、本県の水田土壌ではリン酸が十分な地域が多いのでリン酸を抑え保証成分を 10-4-8 とした。原料には堆肥を 35%使用し、これに有機質肥料を加え窒素の半量を有機質由来とした。化学肥料由来の窒素は試作当初（試作肥料）は塩安で 3.4%、尿素で 1.6%分を使用し、この他に塩加によりカリを、リン酸の不足分を鶏ふん燃焼灰で補う原料の組み合わせとした。

2. 窒素肥効特性

[目的]

試作肥料を水稻作で利用する場合の基礎データを得るため、湛水培養により肥効発現パターンの把握を行った。また、同時に他の有機質肥料についても検討を行い、窒素肥効の特徴を把握した。

[材料および方法]

表 2 の肥料について 30℃での湛水培養を行い、肥料由来の無機態窒素量（アンモニア態窒素）を把握した。なお、試作肥料については 10℃・20℃での培養も行った。方法は前報¹⁾によるが、生

土 45g に対して肥料を全窒素として 4.5mg 相当量を混合し培養した。培養期間は 7,14,28,56,98 日とした。土壌のみを同様に培養し、そのアンモニア態窒素を肥料を添加した培養の結果から差し引いて、肥料由来の無機態窒素とした。各肥料とも粉砕して使用した。なお、培養後の無機態窒素については、通常は肥料に当初含まれる無機態窒素を差し引き窒素無機化率として表現される場合が多いが、本報では無機態窒素を当初から含んだ肥料であるため、肥料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。

[結果および考察]

各肥料の培養による無機態窒素の割合は培養日数を経るに従い増加し、有機化による窒素の取り込みはなかった（図 1）。30℃培養での実測成分に対する無機態窒素率は全ての肥料で 98 日目に 75~80%程度であり大きな差はなかった。原料堆肥のみの培養 98 日後の無機態窒素率は 11%¹⁾であるため、試作肥料の無機態窒素率が低くなるのが懸念されたが原料堆肥からの窒素は 10%のうち 1.2%分であるため培養無機態窒素に特に影響はなかった。

別に硫酸を同様に添加した培養を行っておりアンモニア態窒素の回収率は 98 日目で 83.1%であり、硫酸の回収率を加味すると供試した肥料の培養無機態窒素率はさらに高かったことも推察された。

スタート時の無機態には尿素を含めていないので試作肥料では 36%（堆肥由来のアンモニアが含まれている）であったが、尿素がすぐに無機化するため 1 週間には既存 50%有機態と同等になった。なたね油粕や既存 100%有機態では無機態をほぼ含んでいないため 14 日目までの無機態窒素率は試作肥料や既存 50%有機態に比較して低くなった。

試作肥料の 10℃、20℃、30℃での培養では、どの温度も 7 日目に無機態率がほぼ 50%に達しており、有機化による窒素の取り込みはなかった（図 2）。また、98 日目には温度順に無機態率が 58, 66, 75%となり、温度が高いほど無機化が進んだ。古江ら³⁾の報告による無機化特性値からなたね油粕の施用 2 週後の無機化量を試算すると 10℃では 13%、20℃では 41%、30℃では 62%となる。このように 100%有機質の肥料では地温に

より大きく窒素肥効への影響を受けるが、試作肥料では合計5割のアンモニア態と尿素態窒素を含むため肥効発現への温度の影響は少ないと考えられた。

このため、試作肥料では無機態窒素割合が温度に関わらず初期から5割以上確保され、長期的には窒素成分の8割程度の肥効が期待できる。

3. 水稲栽培での利用試験

[目的]

試作肥料の水稲での利用を想定し、側条施肥や全面施肥で用いた場合の生育や収量におよぼす影響を検討した。

[材料および方法]

平成24~25年度にかけて表3により試験を行った。場内では「ハツシモ岐阜 SL」を、現地（瑞浪市）では「コシヒカリ」について検討を行った。試作肥料の施用区では「ぎふクリーン農業」3割削減（化学肥料 N6kg/10a 以下）に適合する区として試作 30 区を設け、基肥に試作肥料を、穂肥に NK 化成を用いた。また、「ぎふクリーン農業」5割削減（化学肥料 N4kg/10a 以下）や「特別栽培農産物表示ガイドライン」（育苗期の施肥も含み化学肥料 N4.4kg/10a 以下）に適合する区として試作 50 区を設け、基肥にも穂肥にも試作肥料を用いた。また、K 社側条施肥田植機（繰り出し部はロール式）での移植も行い、側条施肥での検討も行った。側条施肥田植機において各種肥料の施肥目盛りを設定するため、手回しによる繰出し量を事前に調査した。

[結果および考察]

手回しによる繰出し量調査では、試作肥料は施肥目盛り値に対して 82.5%の施肥量となり、これは被覆尿素と同等であった（表4）。3度行った移植は、いずれも施肥目盛りを 40kg/10a に設定して行った。施肥量は 32.3~33.0kg/10a であり、設定目盛り値の 80.7~82.5%と安定していた（表5）。このため、ロール式側条施肥田植機では、目標施肥量の 1.2~1.25 倍の目盛りに設定すればよいと考えられた。

側条施肥での試作肥料の利用は、穂肥に化学肥料を用いた「ハツシモ岐阜 SL」における2カ年の試験の結果、慣行化学肥料の場合とほぼ同等の生育、収量、品質（千粒重、もみ窒素含量）が得られた。また、H25年は既存の50%有機態窒素を

含む肥料との比較も行ったが、これも同等であった。

現地の「コシヒカリ」では、基肥に加え穂肥も試作肥料とした体系で検討を行った。生産者の判断で穂肥を減らしたため慣行の基肥一発体系に対して窒素施肥量が少なく、ワラ重は少なくなったものの収量は同等であった（表6）。

全層施肥での「ハツシモ岐阜 SL」における試作肥料の利用は、穂肥に化学肥料を用いる体系では慣行化学肥料栽培と同等の収量と品質が得られた。しかし、穂肥にも開発肥料を用いる体系では約1割程度減収した。ただし、この減収の傾向は既存の有機態窒素50%の銘柄でも同様であった（表7）。

これらのことから、側条施肥、全層施肥に関わらず基肥に試作肥料を利用すれば「ぎふクリーン農業」3割減への対応が可能であり生育・収量は慣行の化学肥料栽培と同等の収量が得られる。また、基肥と穂肥両方で試作肥料を利用すれば「ぎふクリーン農業」5割減や「特別栽培農産物」への対応が可能であり、慣行の化学肥料栽培より1割程度減収する場合がみられるが既存の有機態窒素50%の肥料とは同等となる。

ただし、この検討と前報¹⁾での検討の中で初期生育に大きな差がみられる事例があった。平成24年の側条施肥体系において慣行区である塩リン安系（塩安系）肥料と比較すると試作30区では、初期生育が旺盛であった。このほ場では同時に前報¹⁾での硫酸回収液を添加した豚ふん堆肥ペレットの試験も実施しており、このペレットではさらに初期生育は旺盛であった。例えば6/27の分けつ数は慣行区が170本/m²に対して、試作30区が216本、ペレットでは265本であり、葉色は35.7, 37.1, 40.8（SPAD値）であった。また、平成25年の全層施肥を行った水田では、いずれの区でも初期生育が停滞しているように観察された。

この原因として硫黄欠乏が疑われた。①平成23年度まではこのような症状は気が付かなかったが、翌年度より塩安系肥料を使用し始めて症状が確認されたこと。②硫黄を添加したペレット堆肥では非常に初期生育が良かったこと。③試作肥料を用いた側条施肥では初期生育が良かったが全層施肥では塩安系肥料並みであったこと。これら3つの要因から硫黄欠乏が推察された。稲の硫黄

の吸収形態は硫酸イオンである。①②より当センター内の土壌は硫黄欠乏を発生するレベルまで硫酸供給力が低下していたと考えられた。また、辻⁴⁾⁵⁾はペースト肥料を用いることで土壌が還元になり硫酸根が減少することで硫黄欠乏が発生することを報告しており、③の要因は側条施肥では地表面近くに施肥されるため酸素の供給があり試作肥料の硫酸根はイネに供給されるが、全層施肥では地中に肥料が入り込み還元状態となり肥料中の硫酸根は硫化物に還元され不可給態となったためと推察された。実際に平成 24 年に側条施肥で利用した肥料の硫黄含量（塩酸抽出による硫黄抽出量）は塩安系肥料、試作肥料、ペレット堆肥の順に 0.3%、0.9%、5.2%で、10a 当たり硫黄供給量は 0.08kg、0.27kg、4.6kg であり、供給量が多いものほど初期生育が良かった。

また、翌年（平成 25 年）の側条施肥試験では塩安系肥料と試作肥料の硫黄含量が 1.3%と 0.9%であり、塩安系肥料は前年と異なり硫黄含量が高まっていた。そのため、10a 当たり硫黄供給量は 0.39kg と 0.28kg となり、生育の差が見られなかったと考えられた。

5. 硫黄欠乏の発生の確認

[目的]

ほ場試験において、当センター内では硫黄欠乏の発生が疑われたので、硫酸根を含む肥料を施用し生育の促進効果を調べるとともに、現地の移植 1 カ月後の作物体の養分濃度を調査し硫黄欠乏の発生事例を調査した。

[材料および方法]

平成 25 年に場内 31 号田において、基肥に塩安系高度化成（12-16-14、前年の側条施肥で用いたのと同じ袋のもの）を窒素 4kg/10a 施用し、硫酸根の供給資材として硫マグを施用した区、石膏を施用した区と、硫酸資材を施用しない区を設けた。硫マグと石膏の施用量は硫安を窒素 4kg 相当施用した場合に投入される硫黄量 4.6kg に揃えた。耕種の概要は図 3 のとおり。

26 号田では基肥を単肥により塩安、硫安、塩安+硫安（N 量で同量づつ）で基肥窒素 4kg/10a 施用した。耕種の概要は図 4 のとおり。

作土の硫酸イオン濃度は生土 100g に水 100ml で抽出し、イオンクロマト分析装置にて分析した。ただし、7/1 分のみ 100g に 200ml とした。

平成 25 年に現地の作物体養分含量を 8 地点調査した。基肥に塩安系肥料を用いて「ハツシモ岐阜 SL」を栽培する水田にて、移植後約 1 カ月の稲株をサンプリングし成分濃度を測定した。

[結果および考察]

石膏や硫マグの処理試験の結果を図 3 に示す。硫酸根を施用した 2 処理区では初期生育が旺盛であり、穂肥前までの茎数、草丈、乾物重のいずれもが硫酸なし区より大きくなり、塩安系肥料では硫黄欠乏の傾向が確認された。作物体の養分含量は窒素・リン酸・カリ・硫黄の全てが移植後から中干し前の 7/9 までは、硫酸資材の施用によって高くなり、逆に、中干し後の 7/23 には硫酸なし区で高くなるか同等であり、8/10 には同等または硫酸なし区で高くなった。

作物体の硫黄濃度を詳しく見ると、硫酸を施用した区では移植 20 日後の約 0.22%から徐々に低下し、中干し前には 0.15%程度に低下した。この後も穂肥期の調査まで低下を続け約 0.1%まで低下した。一方、硫酸無し区では移植 20 日後に約 0.15%と低く、この濃度が続いたが中干し後にいったん上昇した。

土壌中の硫酸含量は、調査を行った 7/23 までは常に硫酸資材を施用した区が硫酸なし区を上回った。アンモニア態窒素は硫酸資材を施用した区では一定の傾向で減少するが、硫酸なし区では中干し期までの低下はほとんどなかった。

収量は硫酸なし区と+石膏区は同等であり、+硫マグ区では 6%高くなった。穂数は前半の生育の影響が成熟期まで続き硫酸資材を施用した区が 11~17%多くなった（データ略）。

また、基肥の硫安と塩安の比較でも同様に硫酸根の施用は初期生育を良好にし、養分濃度を高める同様の効果が認められ、この効果は硫安施用量を半量とした場合も同等であった（硫黄・N 濃度と茎数は図 4、他データは略）。

このように硫酸根を供給することで初期生育が旺盛となり、作物体の窒素、リン酸、加里含量も高まっていた。同様に硫黄欠乏により作物体の窒素含量が低下することを辻⁵⁾は報告している。

植物に吸収された硫酸イオンは、植物体内で含硫アミノ酸（システイン）となり、以降、タンパク質の構成成分などになっていく。このため、硫黄欠乏下ではタンパク合成が制限され、窒素の同

化量が低下し、窒素含量も低くなっていたと考えられた。また、硫酸根の施用によりリン酸やカリの含量も高くなっており、作物体内での代謝が正常になることにより吸収が活発になったと推察された。

一方、31号田では中干し期直後には作物体の窒素含量と硫黄含量が硫酸資材を施用しない区で高くなっていた。中干しにより土壌が酸化状態となり、硫化物が硫酸根となり供給されたため窒素要求量が高まり、土壌に未利用で残存していたアンモニア態窒素が吸収されたことによると考えられた。

現地調査では稲体中の硫黄濃度は0.22%以上が3点、0.2~0.18%が4点、0.16%が1点であった(表8)。図3の結果より、初期生育の緩慢であった硫酸無施用の区では移植後1か月後の硫黄濃度は0.16%であった。これを基準として見ると、硫黄の不足傾向が考えられるのは1点であった。この地点では目視での生育も悪く、硫黄欠乏が疑われる典型的な症状であった。また、作物体の窒素、リン酸含量は調査地点中で2番目に低く、カリ含量は最も低く、施用試験の結果と同様の傾向であり硫黄欠乏症状を呈していたと考えられた。現地調査地点は美濃平坦部の中心に位置するグライ土を中心とした湿地地帯で行ったが、当センターは北部に位置する乾田地帯である。周辺地域の水田と大きな違いは無いため、近隣の水田地帯でも同様の症状が発生しかねない状況にあることも懸念された。

6. 改良品による栽培試験

[目的]

場内試験で硫酸根を含む資材を施用した時の生育促進効果が認められたため、試作肥料に使用する塩安を硫酸に変更した改良品について、水稻の生育や収量に与える影響について検討した。

[材料および方法]

試作肥料には塩安により窒素を3.4%分使用していたが、これを硫酸に変更した肥料(試作S肥料)を作成し、側条施肥と全層施肥で検討を行った。側条施肥では基肥にも穂肥にも同一の肥料を用い5割の減化学肥料窒素の体系で検討を行った。

全層施肥では、3割の減化学肥料体系での利用を検討するとともに、基肥に単肥硫酸を用いた場

合の検討を行った(表9)。

[結果および考察]

結果を表10に示した。全層施肥において基肥に硫酸根を多く施用した硫酸、試作S30の両区では、基肥での硫黄の施用量が少なくなった塩安系化成区と試作30区に比べ特に初期生育が旺盛であり、分けつ数が多くなり、穂数も多くなった。収量は慣行区に比べて試作S30区と硫酸区でそれぞれ5%と8%多くなった。一方、塩安を使用した従来の試作品の試作30区では慣行区と同等の収量であり、これまでの傾向と同様であった。玄米のタンパク含量は試作S30区で高くなったが、十分に低いので問題のないレベルであった。

側条施肥では化学肥料窒素5割削減の施肥を検討したが、既存50%有機肥料、試作肥料、試作S肥料とも同等の生育を示し、収量・品質とも同等であり、側条施肥では硫酸に変更したときの目立った生育への効果はなかった。これは前述のとおり地表付近に施肥されるため試作肥料でもわずかに含まれる硫酸根が吸収されているためと推察された。

作物体の硫黄含量は全層施肥では移植21日後には塩安系化成区の0.17%に対して硫酸区では0.27%、試作S30区では0.19%と硫黄吸収の改善の効果が見られた。これに対し試作30区では0.15%で慣行区よりわずかに低くなった。側条施肥では移植20日後には試作50区では0.18%、試作S50区では0.22%、既存有機50区では0.21%となり、側条施肥、全層施肥でも硫黄吸収の改善が見られた。

このように試作肥料において原料の塩安を硫酸に変更することにより硫黄吸収量を増大させることが可能であった。これにより初期生育が旺盛になり、収量も塩安系の化学肥料に対して増収していた。増収したことについては試験例数が少ないため結論し難いが、硫黄欠乏を発生しうる水田において初期生育が良好になることは間違いのない点であり、確実に改良の効果が得られていた。

表1 造粒適性試験の結果

	粒径分布			硬度 kgf
	4mm<	4-2mm	<2mm	
原料堆肥のみ	0.1	83.8	16.1	5.0
原料堆肥50%+高度化成50%	0.3	81.7	18.1	5.8
鶏ふん堆肥50%+高度化成50%	0.3	77.3	22.4	1.1
なたね油粕50%+高度化成50%	0.4	82.8	16.8	3.1
皮粉50%+高度化成50%	2.2	57.7	40.1	0.6

高度化成は尿素入り(14-14-14)

表2 培養に供試した肥料

銘柄	保証成分%	実測窒素成分%
試作肥料	10-4-8	10.79
既存50%有機態	10-3-8	11.35
既存100%有機態	7-2-7	7.85
なたね油粕	5-2-1	6.16

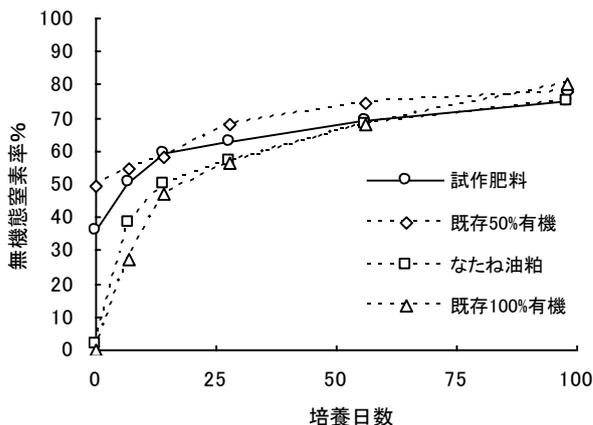


図1 培養での無機態窒素割合の推移 (30°C)
(実測成分比)

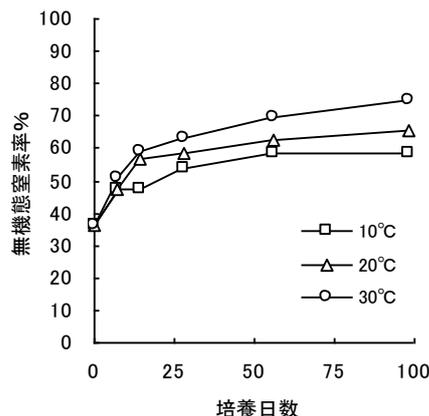


図2 無機態窒素割合の推移 (3温度)
(実測成分比)

表3 水稻栽培試験の概要

	区	使用肥料		N施肥量kg/10a		成分計kg/10a		備考	
		基肥	穂肥	基肥	穂肥	リン酸	カリ		
側条施肥	H24 場内 ¹⁾	慣行化成	高度化成264	NK化成	3.1	4.0	4.1	7.6	ぎふクリーン30
		試作30	試作肥料	NK化成	3.3	4.0	1.3	6.6	
	H25 場内 ²⁾	慣行化成	高度化成264	NK化成	3.5	4.0	4.7	8.1	
H25 現地 ³⁾	瑞浪市	試作30	試作肥料	NK化成	3.5	4.0	1.4	6.8	ぎふクリーン30
		既存有機30	既存50%有機	NK化成	3.5	4.0	1.1	6.8	ぎふクリーン30
H25 現地 ³⁾	瑞浪市	慣行一発	基肥一発肥料		6.0		2.1	2.1	ぎふクリーン30
		試作50	試作肥料	試作肥料	3.3	1.9	2.0	4.1	ぎふクリーン50、特裁
H24 場内 ⁴⁾	H24 場内 ⁴⁾	慣行化成	高度化成050	NK化成	4.0	4.0	6.0	8.0	ぎふクリーン50、特裁
		試作50	試作肥料	試作肥料	4.0	4.0	3.2	6.4	
全層施肥	H24 場内 ⁵⁾	既存有機50	既存50%有機	既存50%有機	4.0	4.0	2.4	6.4	ぎふクリーン50、特裁
		慣行化成	高度化成264	NK化成	4.0	4.0	5.3	8.7	ぎふクリーン30
H25 場内 ⁶⁾	H25 場内 ⁶⁾	試作30	試作肥料	NK化成	4.0	4.0	1.6	7.2	
		試作50	試作肥料	試作肥料	4.0	4.0	3.2	6.4	ぎふクリーン50、特裁

使用肥料：高度化成050はB態窒素を60%含む(成分は窒素、リン酸、カリの順に10-15-10%)、高度化成264は塩リン安系肥料(12-16-14)、基肥一発肥料(20-7-7)、既存50%有機(10-3-8、Nの50%は有機由来)、NK化成(16-0-16)

備考：ぎふクリーン30と50はそれぞれ「ぎふクリーン農業表示制度」で化学肥料窒素3割減と5割減に適合する体系、特裁は「特別栽培農産物表示ガイドライン」に適合する体系

1)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」33号田

2)基肥・移植H25/6/6 穂肥8/12(窒素2.5kg/10a),8/19(窒素1.5kg/10a) 成熟日10/4 品種「ハツシモ岐阜SL」33号田

3)基肥・移植H25/5/20 穂肥7/20 成熟日9/12 品種「コシヒカリ」瑞浪市日吉営農組合

4)基肥施用H24/6/1 移植6/7 穂肥8/13(窒素2.5kg/10a),8/20(窒素1.5kg/10a)、ただし試作50区は8/13に全量 成熟日10/5 品種「ハツシモ岐阜SL」24号田

5)基肥施用H24/5/28 移植6/4 穂肥8/10(全量) 成熟日10/2~5 品種「ハツシモ岐阜SL」1号田

6)基肥施用H25/6/4 移植6/10 穂肥8/13(窒素2.5kg/10a),8/19(窒素1.5kg/10a)、ただし試作50区は8/13に全量 成熟日10/7 品種「ハツシモ岐阜SL」24号田

表4 各種肥料の側条施肥機での
線出し率（手回し試験）

	線出し率%
試作肥料	82.5
高度化成264	104.0
既存有機50%	93.5
被覆尿素	80.3
標準量(10回転で100g)に対する割合	

表5 開発肥料の側条施肥田植機での
目盛り設定と実際の施肥量

	田植機の日 盛り設定値	実際の 施肥量	施肥量 /設定量
	kg / 10 a		%
H24 場内	40	33.0	82.5
H25場内	40	32.3	80.7
H25現地	40	32.7	81.8

表6 側条施肥での生育および収量

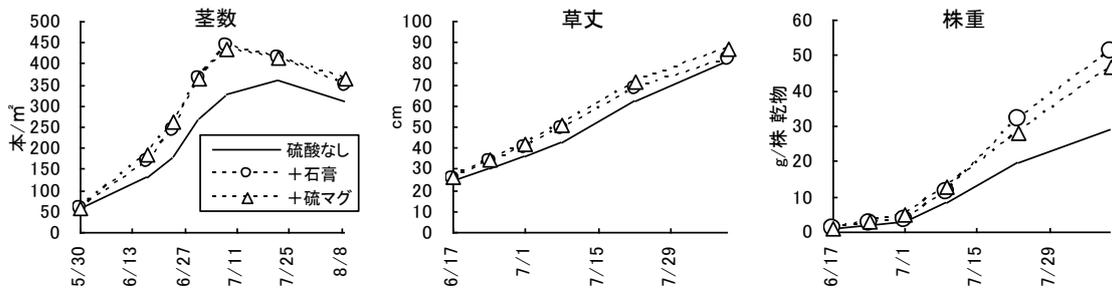
		分けつ盛	最高分	穂肥時	稈長	穂長	穂数	わら重	精玄米重	千粒重	倒伏	もみ N含量
		期莖数 ¹⁾	げつ数	葉色								
		本/m ²	SPAD値		cm	cm	本/m ²	kg/10a	kg/10a	g		%
H24 場内	慣行化成	170	287	31.0	83.8	21.9	239	628	477 [100]	24.9	0	1.02
	試作30	216	333	29.5	86.8	22.1	255	620	474 (99)	25.4	0	1.07
	慣行化成	192	402	29.6	89.8	20.9	313	748	459 [100]	25.1	0	1.00
H25 場内	試作30	174	381	29.0	88.3	21.3	289	729	453 (99)	25.3	0	1.05
	既存有機30	182	376	27.9	86.6	21.0	294	751	464 (101)	25.2	0	1.03
H25 現地	慣行一発	183	396	29.6 ²⁾	93.0	18.0	331	822	573 [100]	22.5	1	-
	瑞浪市 試作50	176	408	30.5	93.5	17.6	328	721	593 (103)	23.0	1	-

1)調査日は場内試験は6/27、現地試験は6/14 2)現地の穂肥時調査は穂肥より8日早い7/12

表7 全層施肥での生育および収量

		分けつ盛	最高分	穂肥時	稈長	穂長	穂数	わら重	精玄米重	千粒重	倒伏	もみ N含量
		期莖数 ¹⁾	げつ数	葉色								
		本/m ²	SPAD値		cm	cm	本/m ²	kg/10a	kg/10a	g		%
H24 所内	慣行化成	148	273	34.4	84.2	21.6	249	683	477 [100]	24.6	0	1.11
	試作50	121	249	34.7	78.7	21.8	222	550	432 (91)	23.8	0	1.05
	既存有機50	137	281	33.5	79.7	21.7	248	574	422 (89)	24.2	0	1.03
H24 所内	慣行化成	-	267	32.9	86.0	23.0	247	-	489 [100]	25.3	0	-
	試作30	-	251	29.0	84.0	22.7	244	-	505 (103)	25.0	0	-
H25 所内	慣行化成	166	335	32.6	87.8	20.9	291	699	524 [100]	24.0	0	1.04
	試作30	154	332	30.8	85.3	21.2	290	672	513 (98)	23.9	0	1.08
	試作50	154	332	30.8	83.1	20.1	284	656	475 (91)	23.9	0	1.01

1)調査日はH24は6/27、H25は7/8



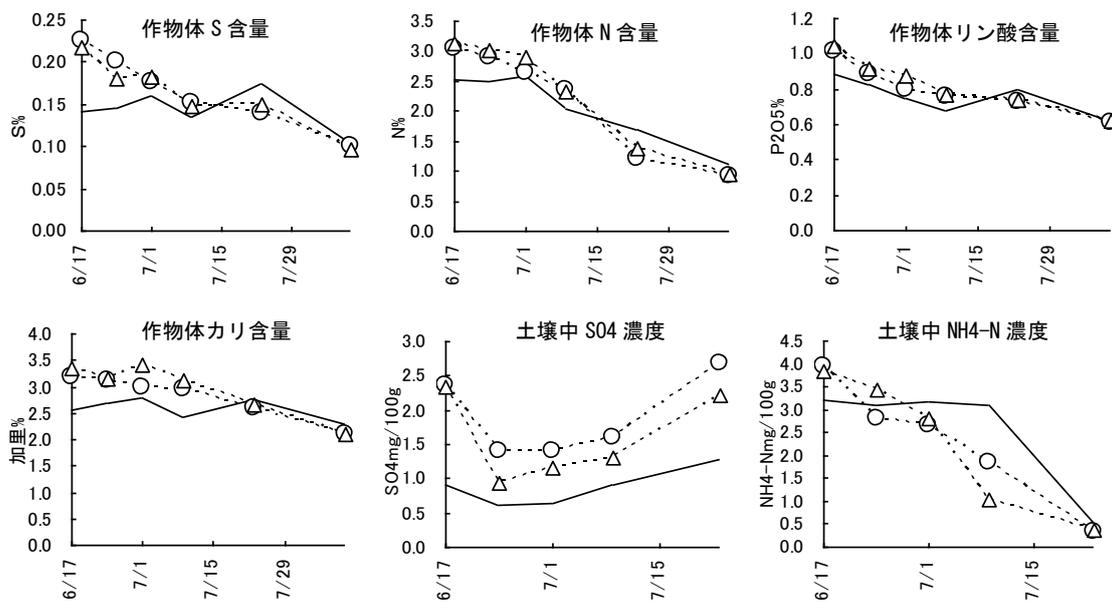


図3 硫酸を含む資材を施用した場合の生育，作物体養分含量，土壌中成分濃度の推移
 硫酸資材施用 H25/5/22 基肥 5/23 移植 5/30 中干し 7/9~17 穂肥 8/10, 8/19 成熟期 10/4
 品種「ハツシモ岐阜 SL」 31号田

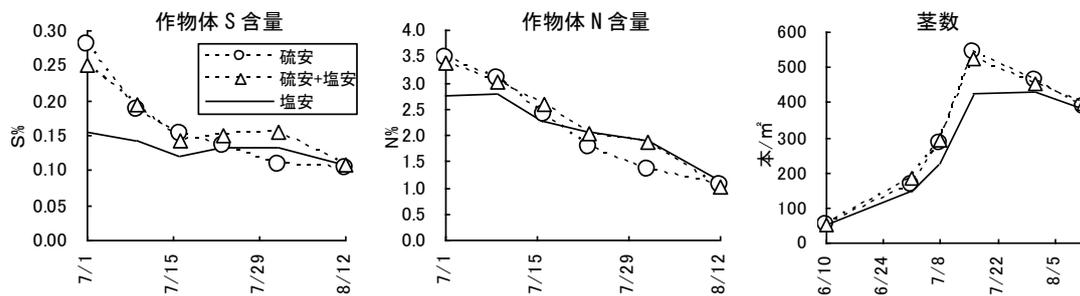


図4 硫酸と塩安を施用した場合の作物体中硫黄，窒素含量と茎数の推移
 基肥 H25/6/4 移植 6/10 中干し 7/18~23 穂肥 8/12, 8/19 成熟期 10/7
 品種「ハツシモ岐阜 SL」 26号田

表8 現地の移植1ヶ月後の作物体の養分含量

移植日	サンプリング日	窒素	リン酸 乾物%	カリ	S	
羽島市	6/12	7/4	2.99	1.00	3.67	0.189
羽島市	6/5	7/4	3.78	1.24	4.30	0.226
羽島市	6/7	7/4	3.48	1.26	4.11	0.220
岐阜市	6/9	7/4	4.04	1.44	4.00	0.269
大垣市	6/2	7/3	2.90	1.00	2.89	0.194
養老町	6/6	7/10	2.69	0.88	2.72	0.159
輪之内町	6/9	7/10	2.57	0.87	3.66	0.182

表9 改良した肥料での水稻栽培試験の概要

	区	使用肥料		N施肥量kg/10a		成分計kg/10a		Sk/10a	備考
		基肥	穂肥	基肥	穂肥	リン酸	カリ	基肥	
側条施肥 ¹⁾	既存有機50	既存50%有機	既存50%有機	3.4	4.0	5.9	5.9	1.3	ぎふクリーン50、特裁
	試作50	試作肥料	試作肥料	3.3	4.0	2.9	5.8	0.5	ぎふクリーン50、特裁
	試作S50	試作S肥料	試作S肥料	3.4	4.0	2.9	5.9	1.5	ぎふクリーン50、特裁
全層施肥 ²⁾	塩安系化成	高度化成264	NK化成	4.0	4.0	5.1	8.4	0.4	
	硫安	硫安、PK化成	NK化成	4.0	4.0	4.4	8.3	5.0	
	試作30	試作肥料	NK化成	4.0	4.0	2.0	7.1	0.6	ぎふクリーン30
	試作S30	試作S肥料	NK化成	4.0	4.0	1.7	7.6	1.8	ぎふクリーン30

施肥設計は分析成分値で行った(表11)。

1)基肥・移植H26/6/10 穂肥8/11 成熟日10/16 品種「ハツシモ岐阜SL」 場内33号田

2)基肥施用H26/6/4 移植6/9 穂肥8/12(窒素2.5kg/10a)8/19(窒素1.5kg/10a) 成熟日10/16 品種「ハツシモ岐阜SL」 場内24号田

表10 改良した肥料での生育および収量

	分げつ盛 期茎数 ¹⁾ 本/m ²	最高分 げつ数	穂肥時 葉色 SPAD値	稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/m ²	わら重 kg/10a	精玄米重 kg/10a	千粒重 g	倒伏	玄米タン		
											パク ²⁾ %		
側条施肥	既存有機50	371	392	29.1	88.5	21.0	295	706	506	[100]	25.5	0	5.54
	試作50	374	381	29.7	87.4	20.8	311	731	520	(103)	25.2	0	5.54
	試作S50	399	412	30.1	87.5	20.9	323	720	524	(103)	24.9	0	5.59
全層施肥	塩安系化成	243	294	33.9	92.3	23.1	263	779	533	[100]	25.1	0	6.19
	硫安	332	371	31.4	93.6	22.0	314	847	576	(108)	25.2	1	5.88
	試作30	216	301	36.4	89.7	22.6	260	729	520	(98)	25.1	0	5.65
	試作S30	281	347	34.0	93.6	22.3	286	830	561	(105)	25.6	0	6.42

1)調査日は7/7 2)玄米の窒素含量を分析したタンパク係数(5.95)を乗じ、水分率15.5%として算出した

表11 平成26年の作付けで使用した肥料の成分含量

使用肥料	保証成分%			分析値%*1				備考
	窒素	リン酸	加里	窒素	リン酸	カリ	硫黄	
高度化成264	12	16	14	13.0	16.5	14.7	1.3	塩リン安系
硫安	21	0	0	21.5	0	0	23.5	
試作肥料	10	4	8	10.4	5.1	8.2	1.5	Nのうち50%は有機質由来
試作S肥料	10	4	8	10.0	4.1	9.2	4.5	Nのうち50%は有機質由来
既存50%有機	10	8	8	11.1	8.7	9.5	4.2	Nのうち50%は有機質由来
PK化成	0	20	20	—	21.8	21.8	3.4	
NK化成	16	0	16	17.2	0.3	16.8	13.2	
IB態入り高度化成	10	15	10	11.3	16.2	10.4	3.8	参考:H24まで基肥として使用

*1:窒素は乾式燃焼法、リン酸、加里および硫黄は湿式分解(硝酸-過塩素酸)後ICP発光分光分析装置により分析

総合考察

前報¹⁾では無機化する窒素量をふまえて試作したペレットの窒素肥効をカウントしていた。一方で本報の開発品では含有量そのままに評価し施肥設計を行ってきた。これは化学肥料窒素を有機質肥料に置き換えた場合に発生する課題である。開発品の培養試験では無機態窒素となる割合は8割程度であったことから、保証成分値をそのまま施肥設計に

用いた。通常、他の有機質肥料でも同様に扱われているケースが多い。

開発品を基肥に用い、穂肥を化学肥料とした場合は化学肥料体系に比べて生育や収量は変わらないので問題とはならなかった。しかし、基肥と穂肥に用いた場合は減収する事例があった。開発品では化学肥料に比べて窒素肥効が2割程度低く、さらに穂肥から収穫までの期間は60日程度であり培養試験

の期間より短く窒素肥効が低くなる可能性がある。一方、穂肥は基肥に比較して利用率が高い⁶⁾とする報告もある。利用率が高い施肥の場面において、開発品では窒素肥効が低い化学肥料と差が顕著になるのかもしれない。この点は、従来品の50%有機質由来窒素の肥料でも収量は同様であることから、減化学肥料栽培全般の課題でもある。有機だから多量施用してもよいとならないよう効率的な施肥を検討し続けていく必要がある。

リン酸は開発品のリン酸成分を4%と低めに設定した。JA全農岐阜の実施した県下約2000点の水田土壌の調査(平成21~23年)において可給態リン酸(トルオーグ)の平均値は24mg/100gであったことと、岐阜県施肥コスト低減対策指針⁷⁾では20mg/100g以上を基準に、平坦部ではリン酸無施肥、中山間・高冷地では持ち出し施肥としており、これを超えていたためである。実際に開発品を基肥に用い、穂肥をNK化成とした当センターの試験では、リン酸施肥量は1.1~2.0kg/10aと少なくなった。しかし、可給態リン酸が30mg/100g程度と高い中での比較ではあるが、リン酸吸収量は慣行区に比べて同等の5kg/10a程度であり、問題はなかった(データ略)。

次に試作段階からの製品の改良点として原料への硫安の採用があげられる。塩安を硫安に変更することにより初期生育が良好になるためこれはプラスに働いた。一方でこれまで水稻では硫化水素の発生による根痛みを防ぐため硫酸根を控えるとしてきた経緯がある。本製品に硫安を使用することによりこのリスクを増やすことが危惧される。水稻用肥料に硫黄が含まれるのは、硫安もしくはリン酸肥料からの由来が想定され、本製品の硫安を入れた改良品では硫黄含量が4.5%であった(表11)。これは既存の有機質由来窒素50%の肥料でも同量の窒素成分保証に対して4.2%、かつて化学肥料体系で慣行肥料としていたIB態入りの肥料でも同量の窒素成分保証に対して3.8%であった。また、穂肥に用いるNK化成にあつては窒素成分比でみればさらに高い割合で含まれていた。このように、これまでに実績のある各種水稻用肥料の硫黄含量と比較した場合、特に高い訳ではないため硫安を使用しても問題はないと判断した。

本製品は原料に用いる堆肥は養豚場で発生する汚泥を含んでいるため肥料取締法上は汚泥発酵肥

料となる。平成24年に堆肥と普通肥料の混合増粒を認める規格「混合堆肥複合肥料」の規格が新設されたが、これには適合しなかった。そこで、同時に規格改正された「混合汚泥複合肥料」での登録をする予定であった。しかし、この規格で使用できる汚泥肥料には養豚場の汚泥発酵肥料は含まれないことが試験中に明らかとなったため、規格改正を前提とした仮登録を申請し平成25年4月に認められた。そして平成28年1月に規格改正⁸⁾となり本登録となった。従来品より安価で、減化学肥料栽培に利用でき、側条施肥に対応できる肥料として、現場での「ぎふクリーン農業」や「特別栽培農産物」などでの利用が始まりつつあり、今後の利用拡大に期待している。

堆肥の肥料原料としての利用は始まったばかりであり、現状では今回の堆肥であれば40%までしか原料に使用できない肥料規格となっている。今後はさらに高リン酸である特徴を生かすことが可能な、使用比率を高めることができる規格の設定にも期待したい。

謝辞

本製品の開発のきっかけを三重県農林水産部村上圭一氏に授けて頂いた。肥料規格の設定にあたっては農林水産省消費安全局、(独)農林水産消費安全センターの関係者の方々にご尽力頂いた。原料堆肥の製造にあたり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) 棚橋寿彦・加藤誠二・小柳渉・菊井裕人・和田巽 2016. 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,岐阜県農業技術センター研究報告,16,15-25.
- 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) 古江広治・上沢正志 2001.反応速度論的手法での土壌および有機質資材の有機態窒素の無機化特性値データ集.農研センター研究資

料,43,1-50

- 4) 辻藤吾 2000.ペーセント肥料による水稲の初期生育抑制障害と障害に対する資材の施用方法. 土肥誌,71,454-463.
- 5) 辻藤吾 2000.水稲の硫黄欠乏による栄養障害と硫黄吸収特性. 土肥誌,71,464-471.
- 6) 藤原耕治・古山光夫・山根忠昭 1991.コシヒカリの窒素施肥反応と適性保有量. 島根県農試研報,25,15-29.
- 7) 平成 20 年 10 月 岐阜県農政部農業技術課. 岐阜県施肥コスト低減対策指針.
- 8) 改正平成 28 年 1 月 8 日 農林水産省告示台 41 号 施行平成 28 年 2 月 8 日. 肥料取締法に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件.

Abstract

We have developed a fertilizer that conforms to the revised official fertilizer standards of "Fertilizer Mixed with Sludge" and that uses swine manure compost, including sludge. This is a product which is produced by mixing swine manure compost, organic fertilizer, and chemical fertilizer into granules and which has an NPK ratio of 10-4-8(wt.%). The product was designed for paddy rice production and half of its nitrogen is organic matter. In the testing process at our paddy field and in on-site cultivation using chemical fertilizer, a slight degree of sulfur deprivation was recognized in the rice plants. Because of this, the initial growth period for the plants was improved by using ammonium sulfate in part of the chemical fertilizer used as ingredients for this fertilizer. The nitrogen fertilizer efficiency of this fertilizer is the same as for the 50% organic nitrogen composite fertilizers that have been produced up to now and is the same as these fertilizers in paddy rice growth and yield as well. Consequently, this fertilizer is promising as a fertilizer for cultivation with reduced chemical fertilizer through the use of manure compost.

Key words

swine manure compost, granular fertilizer , fertilizer mixed with sludge, organic fertilizer, paddy rice, sulfur deprivation