

牛糞堆肥に硫酸アンモニウムを混合し ペレット化した硫安混合堆肥の開発

大森誉紀 横田仁子*

Development of pellet compost from the cow manure mixed with ammonium sulfate

OOMORI Takanori, YOKOTA Satoko

要 旨

牛糞堆肥 14.4t に硫酸アンモニウム 1t を添加後、良く攪拌し、ペレット化の後に水分を 16% に調整し、窒素 4.2%、リン酸 2.7%、カリ 2.9% の硫安混合堆肥を試作した。春から秋まき露地野菜のレタス、スイカ、キャベツおよびハウレンソウを硫安混合堆肥 1t/10a 施用で栽培したところ、牛糞堆肥 2t/10a と施肥基準量に同量の窒素施用で栽培した対照区と総じて同程度の生育量であり、硫安混合堆肥によるアンモニア態窒素施用量と各作物の施肥基準窒素施用量は同程度であった。硫安混合堆肥 1t/10a 施用では、土壌中無機態窒素量は対照区の約 7 割あり、栽培跡地の可給態リン酸や交換性カリは対照区より低下した。

キーワード：牛糞堆肥、ペレット、硫酸アンモニウム、省力

1. 緒言

「家畜排せつ物の利用の促進を図るための愛媛県計画」が 2000 年に策定され、堆肥の利用促進の一方法として、堆肥のペレット化や高成分化等の高付加価値化が有効とされた。家畜糞堆肥中のリン酸とカリの肥効は高く（小柳ら，2004；小柳ら，2005），一方で窒素肥効はリン酸やカリに比べて低い。堆肥はペレット化することで、水分含量が少なくなり肥料成分が濃縮されるとともに、堆肥中の窒素の硝化遅延による窒素肥効の向上（原ら，2003），リン酸肥効の向上（荒川，2012）により、肥料的効果が期待できる。しかし、堆肥の窒素含有率は低く化学肥料窒素の代替に主眼を置いた堆肥施用法（大森ら，2009）では土壌中にリン酸やカリが蓄積するため、堆肥施用量を控えて窒素を追肥（山田ら，2000）または堆肥の窒素含有率の向上が必要である。

そこで、バイオマス利活用促進事業（国補）を活用し、牛糞堆肥に硫酸アンモニウムを添加し窒素含有率を高めた堆肥ペレット（以下、硫安混合堆肥とする）を試作し、各種作物への適応性を検討した。その結果、地温が高い春から

秋まき露地野菜では、生育期間中の積算温度に関わらず硫安混合堆肥を 1t/10a 施用することで、土壌へのリン酸とカリの蓄積を抑制しつつ、牛糞堆肥と化学肥料を施肥基準量施用する慣行栽培と同等の生育量が得られることが明らかになったので報告する。

2. 材料および方法

2.1 硫酸アンモニウムまたは尿素を牛糞堆肥に添加したときのアンモニアの揮散

480ml 容量のプラスチック製密閉容器（直径 7.5 cm，高さ 11cm）に、市販の JA 牛糞堆肥を新鮮重で 100 g 入れ、硫酸アンモニウム 10 g を混和した区、尿素 5 g を混和した区および無処理区を設けた。窒素含有率は、硫酸アンモニウムで 21%、尿素で 46% であるので、容器あたり窒素量は硫酸アンモニウム混和区、尿素混和区ともに約 2g である。

あらかじめ容器のふたに直径 5mm の穴をあけ、シリコン栓でふさぎ、2 日後および 3 週間後に、シリコン栓を抜き容器内のヘッドスペースにアンモニアガス検知管（ガステック）を差し込み、所定量を吸引しアンモニアガス濃度を測定した。

*元 農林水産研究所

2.2 硫安混合堆肥の製造

2007年4月19日に、JAひがしうわ西予市野村町エコセンター内の天日乾燥施設（鉄骨硬質ビニルハウス 1573 m²）で、同センター製造の牛糞堆肥 14.4 t に硫酸アンモニウム 1 t を均一に手散布した（写真 1A）。堆肥現物中の水分は 57%、窒素は 1.1%であった。乾燥施設のロータリ攪拌装置で 1 日に数回攪拌しながら、12 日間予備乾燥し、水分率を 24%とした（写真 1B）。これを全量、同センター内のリングダイ式成型機で径 5 mm、長さ約 6 mm のペレットに成型し（写真 1C）、直ちに天日乾燥施設内に広げ 7 日間仕上げ乾燥し、水分率を 16%とした。その後、硫安混合堆肥を肥料包装用袋に詰め（写真 1D）、使用時まで肥料庫で保管した。

2.3 ほ場試験

試験は農林水産研究所内の水田転換畑（粗粒

質灰色低地土、土性は CoSL）で 2007～2008 年に行った。ほ場前歴は、2005 年以前は水稻で、2006 年は休耕であった。試験開始前の土壌の化学性は、CEC が 9me/100g、リン酸吸収係数が 510mg/100g、全炭素が 1.5%、全窒素が 0.13%であった。

供試作物は、ハウレンソウ、レタス、キャベツ、スイカで、耕種概要を表 1 に示した。試験区は硫安混合堆肥区と対照区とし、硫安混合堆肥区には 3 水準の施用量区（0.5t/10a, 1t/10a, 2t/10a を全面全層施用、以下 0.5t 区, 1t 区, 2t 区とする）を設けた。対照区には牛糞堆肥 2t/10a を全面に施用した後、IB 肥料（窒素：リン酸：カリ=12：12：12）を施肥基準（愛媛県農林水産部 2007）に準じ全面全層施肥した。試験規模は 1 区 12.6 m²とし、ハウレンソウでは 3 反復、他の作物では 2 反復とした。



写真 1 JAひがしうわ西予市野村町エコセンターで行った硫安混合堆肥の試作の手順

- A: 天日乾燥施設（鉄骨硬質ビニルハウス）で牛糞堆肥 14.4 t に硫酸アンモニウム 1 t を均一に手散布。堆肥現物中の水分 57%、窒素 1%。
- B: ロータリ攪拌装置で 1 日に数回攪拌し 12 日間予備乾燥。水分率 24%。
- C: リングダイ式成型機で径 5 mm、長さ約 6 mm のペレットに成型し、直ちに天日乾燥施設内に広げ 7 日間仕上げ乾燥。
- D: 硫安混合堆肥を肥料包装用袋に詰め、使用時まで肥料庫で保管。

作物の調査では、可食部形質と地上部全重を測定した。すなわち、可食部形質は、ホウレンソウでは各区 20 株の草高、レタスおよびキャベツでは各区 30 株の個々の結球重を 1 個重とし、スイカでは区内の個々の果実重を 1 個重とした。また地上部全重は、ホウレンソウでは各区 1.5 m×3 条分を収穫した茎葉重の新鮮重、レタスおよびキャベツでは結球と外葉を含む個体全体の新鮮重、スイカでは区内の全茎葉と全果実重を合算した新鮮重とした。このため有意差検定は、ホウレンソウの草高と地上部全重およびスイカの地上部全重では各反復の平均値について Tukey の多重検定を行い、レタスおよびキャベツでは 1 個重と地上部全重、スイカでは 1 個重を、それぞれ調査全個体の各測定値について Tukey の多重検定を行った。

硫安混合堆肥および牛糞堆肥の分析は堆肥等有機物分析法(財団法人日本土壌協会, 2000)を参考に、水分は乾熱法、窒素全量はケルダール法、アンモニア態窒素は水蒸気蒸留法、リン全量はバナドモリブデン酸比色法(日立製作所 U-2001)、カリウム全量は原子吸光法(日立ハイテクノロジー Z5010)で測定した。

作土の土壌分析では、無機態窒素を栽培期間中に 4~5 回、コンウェイ法で分析し、可給態リン酸と交換性カリは作付け前後の土壌について、それぞれトルオーグ法、原子吸光法で測定した。

3. 結果

3.1 硫安または尿素を牛糞堆肥に添加したときのアンモニア揮散

硫安または尿素を混和した容器内のヘッドスペース中のアンモニアガス濃度は、2 日後には硫安混和区のみ 200ppm 検出されたが、3 週間後には硫安混和区で 110ppm、尿素混和区で 2500ppm、無処理区で検出されなかった(表 2)。

表 2 牛糞堆肥へ添加した窒素質肥料のアンモニア揮散 (ppm)

区名	2 日後	3 週間後
硫安混和	200	110
尿素混和	0	2500
無処理	0	0

窒素質肥料の混和割合は、牛糞堆肥に重量比で、硫安が 10%、尿素が 5% 添加。

3.2 硫安混合堆肥の肥料成分含有率

硫安混合堆肥の窒素全量は 4.2%、アンモニア態窒素は 2.5% であった(表 3)。アンモニア臭は成型時のみ感じられ、乾燥施設内では感じられず、全窒素およびアンモニア態窒素の減少率はそれぞれ 2%、4% であった。

リン酸およびカリは、それぞれ牛糞堆肥で 1.6%、1.8% であり、硫安混合堆肥で 2.7%、2.9% であった。リン酸およびカリの減少率はいずれも 1% 以下で、堆肥の成型に伴う損失はなかった。

表 1 供試作物の耕種概要

作物名	品種名	畝幅 (m)	株間 (cm)	条数 (条)	栽植本数 (本/10a)	施肥窒素量 (kgN/10a)
ホウレンソウ	アスパイアー	1.2	—	3	—	35
レタス	ユニバース CLASSIC	1.2	30	2	5555	16
キャベツ	いろいろ	1.2	40	2	4166	25
スイカ	縞王	4.0	150	1	166	23

作物名	播種・定植日	収穫日または 収穫期間	生育日数 (日)	生育期積算気温 (°C)
ホウレンソウ	2007 年 10 月 17 日	12 月 25 日	69	913
レタス	2007 年 8 月 27 日	10 月 9 日	43	1179
キャベツ	2007 年 8 月 27 日	10 月 29 日	63	1532
スイカ	2007 年 5 月 16 日	7 月 27 日-8 月 7 日	82	1954
	2008 年 5 月 8 日	7 月 10 日-7 月 27 日		

各作物の対照区には、いずれも牛糞堆肥 2t/10a と IB 肥料(窒素:リン酸:カリ=12:12:12)を施用。ホウレンソウは条播。他は定植。生育日数は播種または定植から最終収穫日までに要した日数。

3.3 露地野菜の生育からみた硫安混合堆肥の好適施用量

各作物の可食部形質と地上部全重を表4に示した。ホウレンソウの草高は0.5t区および1t区で小さく、2t区と対照区で同程度であった。地上部全重では各区に有意な差はなかったものの、硫安混合堆肥の施用量が多いほど地上部全重は高かった。レタスでは、1個重および地上部全重は各区に有意な差はなかったものの、硫安混合堆肥施用量が多くなるにつれて低くなった。キャベツでは、1個重および地上部全重は0.5t区で有意に低く、硫安混合堆肥の施用量が多いほど高かった。スイカでは、各区の1個重に有意な差はなかったものの、地上部全重は0.5t区と1t区に比べ2t区で有意に高かった。

各作物の播種または定植から収穫までの生育積算気温と、地上部全重比（硫安混合堆肥区／対照区）との関係を図1に示した。積算気温が913℃はホウレンソウ、1179℃はレタス、1532℃はキャベツ、1954℃はスイカである。地上部全重（硫安混合堆肥区／対照区）比は0.5t区では積算気温と負の相関が、2t区では正の相関があり、1t区では地上部全重比と生育期積算気温との相関はみられず、回帰式の傾きは0.003であり、硫安混合堆肥区の地上部全重は

対照区と総じて同等であった。

3.4 各作物の生育期間中の無機態窒素

各作物の生育期間中に数回土壤中の無機態窒素を測定し、各測定時の対照区における無機態窒素濃度と硫安混合堆肥区における無機態窒素濃度の相関を図2に示した。0.5t区、1t区、2t区と対照区との近似直線の傾きはそれぞれ0.3、0.7、0.8であり、硫安混合堆肥の施用量が増加すると土壤中無機態窒素濃度は高まったが、2t区でも対照区には及ばなかった。

3.5 収穫跡地の土壤中可給態リン酸と交換性カリ

可給態リン酸は、作付前は20~30mg/100gであったが、収穫跡地では2t区で対照区より高く、1t区でキャベツ、ホウレンソウ、レタスで対照区と同等であり、スイカで対照区より低かった（図3）。

交換性カリは、スイカとレタスでは施用量が増えるにつれて高くなり、2t区では対照区より高く、1t区では対照区と同等であった。キャベツとホウレンソウでは施用量が増加しても作付前とほぼ同程度で、いずれの施用量区も対照区より低かった。

表3 供試牛糞堆肥および硫安混合堆肥の肥料成分含有率

堆肥	pH	水分 (%)	窒素 (%)		リン酸 (%)	カリ (%)
			全量	アンモニア態	全量	全量
JA牛ふん堆肥	7.5	57	1.1	0.1	1.6	1.8
硫安混合堆肥	7.0	16	4.2	2.5	2.7	2.9

硫安混合堆肥は、ビニルハウス内で牛糞堆肥14.4tと硫安1tを混合、攪拌、乾燥後、ペレット化した。硫安には、市販肥料（窒素全量21%）を使用した。

表4 供試作物の可食部形質と地上部全重

項目	区	ホウレンソウ	レタス	キャベツ	スイカ
草高(cm) または 1個重(g)	0.5t	29 ^b (94)	490 ^a (103)	1220 ^b (75)	6573 ^a (111)
	1t	29 ^b (94)	473 ^a (99)	1560 ^a (96)	6702 ^a (113)
	2t	30 ^{ab} (97)	446 ^a (94)	1490 ^a (91)	6317 ^a (107)
	対照	31 ^a (100)	477 ^a (100)	1630 ^a (100)	5919 ^a (100)
地上部 全重 (kg/10a)	0.5t	1710 ^a (94)	3763 ^a (99)	7857 ^b (89)	4581 ^b (88)
	1t	1760 ^a (97)	3724 ^a (98)	9461 ^a (107)	5105 ^b (98)
	2t	1790 ^a (98)	3524 ^a (93)	9558 ^a (109)	5955 ^a (114)
	対照	1820 ^a (100)	3785 ^a (100)	8807 ^a (100)	5201 ^{ab} (100)

草高はホウレンソウ。1個重はレタス、キャベツの結球とスイカの果実。各作物の項目ごとの同一アルファベットには、Tukeyの多重検定で5%レベルでの有意差なし。

4. 考察

4.1 牛糞堆肥に添加する肥料種

硫安混合堆肥の製造において、アンモニアの揮散による窒素の損失は4%であった。高橋ら（高橋ら，2007）は窒素の損失が、硫酸アンモニウムで10～19%，尿素で5%であったと報告している。高橋らの実験では、成型時の温度が高かったため硫酸アンモニウムの添加でも窒素の減少率が高かったと思われた。小山ら（小山ら，2004）は、尿素添加では堆肥のpHが上昇しアンモニア揮散が促進され、添加窒素の22%が損失したと報告している。本試験でも、尿素添加ではアンモニアの揮散が多く窒素の損失は大きく、硫酸アンモニウム添加ではアンモニアの揮散は少なかった。硫安混合堆肥の

pHは7であったことから、添加した硫酸アンモニウムの副成分の硫酸根が堆肥pHを低下させ、アンモニアの揮散を抑制したと考えられる。硫酸アンモニウムの窒素含有率は21%で、尿素的窒素含有率46%の約半分であることから、牛糞堆肥の窒素を高めるための添加量は硫酸アンモニウムが尿素より多く必要である。しかし、本実験で硫酸アンモニウムでは窒素の損失が小さかったことから、窒素成分を高めた牛糞堆肥を製造するには硫酸アンモニウムを添加肥料種とするのが良いと考えられた。

4.2 硫安混合堆肥の肥効

地上部全重比（硫安混合堆肥区／対照区）と生育期積算気温との回帰式の傾きが1t区では0.003であることから、1t区の地上部全重は生

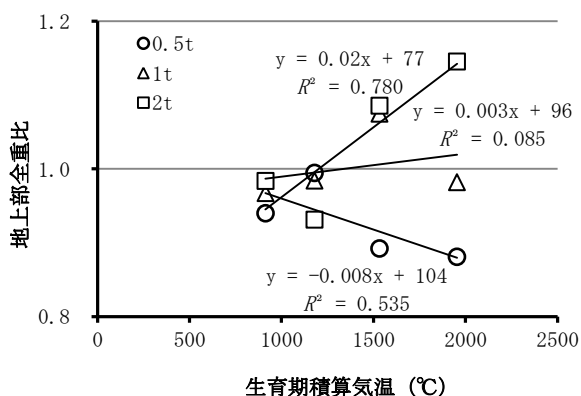


図1 各作物の生育期積算気温における硫安混合堆肥施用時の地上部全重比
地上部全重比は、対照区の全重に対する硫安混合堆肥区の全重の割合。生育期積算気温は、ホウレンソウが913℃、レタスが1179℃、キャベツが1532℃、スイカが1954℃。

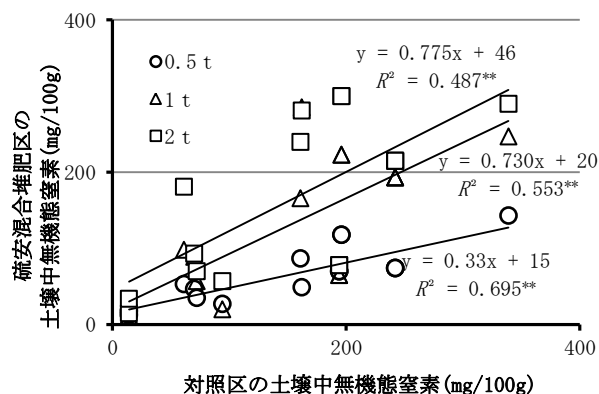


図2 生育期間中の対照区と硫安混合堆肥区の土壌中無機態窒素の関係
**は1%水準で有意差あり

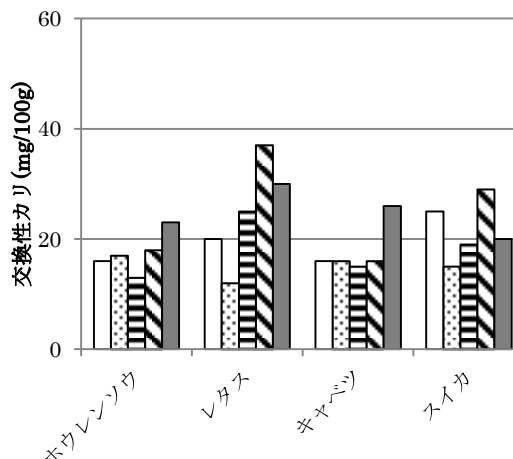
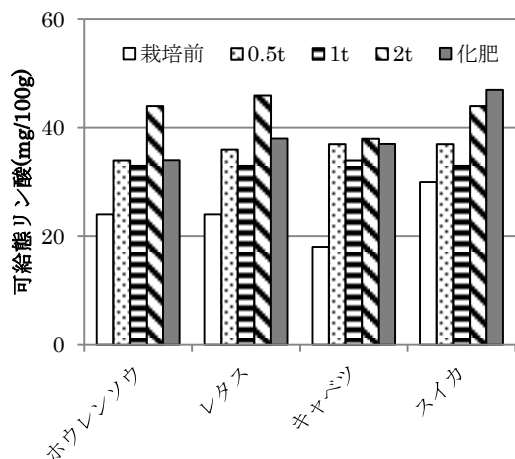


図3 収穫跡地の土壌中可給態リン酸と交換性カリ

育期の積算気温に関わらず総じて対照区と同等と考えられた。一方、0.5t区では生育期積算気温が高くなるにつれて地上部全重比は低下傾向を示し、2t区では逆に増加傾向を示した。硫安混合堆肥のアンモニア態窒素含有率は2.5%であったため、アンモニア態窒素施用量は0.5t区で12.5 kgN/10a、1t区で25 kgN/10a、2t区で50 kgN/10aとなる。供試作物の施肥窒素量はレタス、スイカ、キャベツ、ホウレンソウの順に16, 23, 25, 35 kgN/10aであり、0.5t区や2t区に比べ1t区でのアンモニア態窒素施用量は各作物の対照区への施肥窒素量に最も近い。また、各作物の生育期間中の土壌中無機態窒素は、0.5t区では対照区の約3割、1t区では約7割であったことから、0.5t区では土壌中の無機態窒素が不足したため生育期積算気温が高いと対照区より生育が劣った原因になったと考えられた。2t区では土壌中無機態窒素は対照区の約8割で1t区よりやや高く、その増加程度は小さかった。2t区の土壌中無機態窒素の増加が小さかった理由については今後の検討課題である。これらのことから、硫安混合堆肥のアンモニア態窒素は土壌中無機態窒素として作物の生長に速やかに利用され、過剰な窒素は一時的に土壌に蓄積し地力の向上に利用されると思われ、春から秋まき露地野菜では硫安混合堆肥の1t/10a施用が好ましいと考えられた。

硫安混合堆肥の施用区では、リン酸とカリは堆肥に含まれる成分を施用したのみであるため、栽培跡地の可給態リン酸や交換性カリが硫安混合堆肥1t/10a施用では対照区より低下した。欠乏症状等の発生はみられず、硫安混合堆肥1t/10a施用は土壌に過剰な肥料成分を残存させない点でも合理的な施用量であると考えられた。

4.3 硫安混合堆肥と混合堆肥複合肥料

堆肥の施用は、土壌の物理性、化学性、生物性の総合的な改善に役立つため、野菜等の栽培では作付け前に2~3t/10a施用することが勧められている（愛媛県技術指導課，1995）。しかし、堆肥散布は重労働な作業の一つであり、多くの農家が少ない散布量で効果の高い堆肥を望んでいる。

今回開発した硫安混合堆肥は、硫酸アンモニウムを牛糞堆肥に添加し窒素含有率を引き上げた。堆肥と化学肥料を混合して販売することは、2012年の肥料取締法改正まではできなかったが、現在は、堆肥に化成肥料を混合した混合堆肥複合肥料の規格が新設され、普通肥料として製造、販売、使用できる。家畜糞堆肥には窒素、リン酸、カリが多く含まれており、リン酸やカリの肥料原料はほぼ全量海外から輸入されていることから、堆肥中の肥料成分の活用は、肥料の安定供給の面で重要であるとともに、10~30%の価格抑制が期待されている（小宮山・辻，2013）。

しかし、この新公定規格では肥効の安定性の観点から、CN比15以下の堆肥を用い、乾物ベースでの混合割合が50%以下、かつ窒素、リン酸、カリの合計量が10%以上必要である。本試験で用いた牛糞堆肥にはオガクズ等の敷き料が入っており、このような牛糞堆肥のCN比は一般に30程度（愛媛県技術指導課，1995）であるため、混合堆肥複合肥料の製造には使用できない。また、混合堆肥複合肥料は堆肥を原料としているものの、CN比が低くかつ肥料成分が高く、標準的な施用量では有機物の投入量は多くないため土壌の総合的な改善効果は明確ではないと思われる。

これに対して、今回試作した硫安混合堆肥は、1t/10a施用すると、水分57%の牛糞堆肥2t/10a施用と同じ乾物重となる。土壌への有機物投入量としては適正であり、かつ堆肥現物の投入量は牛糞堆肥の半量であることから堆肥散布作業の省力化に寄与できる。また、硫安混合堆肥は1度の散布で堆肥散布と肥料散布を兼ねることも特徴である。通常堆肥散布は定植の1か月前までに実施するが、この間に降雨があると作業遅延が発生する。定植直前に堆肥散布と肥料散布を同時に行うことは、降雨の影響を受けにくく作業計画を立てる上で有利であり、大規模経営体や土地利用率が高い経営体には有利な資材であると考えられる。堆肥と肥料の同時散布による施肥作業の省力の観点からは、現在の混合堆肥複合肥料の公定規格の緩和が望まれる。

謝辞

硫安混合堆肥の試作でお世話になった，JAひがしうわ西予市野村町エコセンター原井川幸仁センター長にお礼申し上げます。

引用文献

荒川祐介 (2012)：堆肥のペレット成型がそのリン肥効に及ぼす影響，土肥誌，**83**，249－255.

荒川祐介，田中章浩，原口暢朗，草場敬，薬師堂謙一，山田一郎 (2010)：堆肥脱臭法により産生した窒素付加堆肥の利用に関する研究 (第1報)，コマツナ栽培試験による肥料効果の検証，土肥誌，**81**，153－157.

愛媛県農林水産部農業振興局農業経営課 (2007)：愛媛県施肥基準.

愛媛県農林水産部技術指導課 (1995)：土壌・作物体診断マニュアル 調査・評価編.

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.

小宮山鉄平，辻あゆみ (2013)：混合堆肥複合肥料の開発，グリーンレポート，**531**，10－11.

小柳渉，安藤義昭，水沢誠一，森山則男 (2004)：家畜糞堆肥中の塩類組成の特徴，土肥誌，**75**，1－93.

小柳渉，和田富広，安藤義昭 (2005)：家畜糞堆肥中のリンの性質と肥効，新潟県畜産研究センター研究報告，**15**，6－9.

小山太，福田憲和 (2004)：牛糞堆肥の成分調整およびエクストルーダによる成型化，福岡県農業総合試験場研究報告，**23**，88－92.

大森誉紀，松本英樹，横田仁子 (2009)：秋どりキャベツの30%減化学肥料栽培から推定した各種家畜ふん堆肥の窒素減肥量，愛媛農林水研報，**1**，35－38.

清水知子，社本豊司，恒川歩，恒川靖弘，矢部和則 (2005)：家畜糞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及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.

高橋朋子，鈴木睦美，山田正幸，松本尚子 (2007)：家畜糞堆肥ペレットの肥効特性，群馬畜試研報，**14**，82－90.

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用法，土肥誌，**71**，710－713.

財団法人日本土壌協会 (2000)：堆肥等有機物分析法.