

黒ボク土を用いた培養試験における肥効調節型肥料と重窒素ラベル牛糞堆肥の併用が堆肥窒素の無機化に及ぼす影響

誌名	日本土壌肥料学雑誌 = Journal of the science of soil and manure, Japan
ISSN	00290610
著者名	加藤, 雅彦 林, 康人 森國, 博全
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	81巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 31-35
発行年月	2010年2月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



黒ボク土を用いた培養試験における肥効調節型肥料と重窒素ラベル牛糞堆肥の併用が堆肥窒素の無機化に及ぼす影響*

加藤雅彦^{1,2}・林 康人^{1,3}・森國博全¹

キーワード 重窒素ラベル牛糞堆肥, 窒素無機化, 肥効調節型肥料, 併用

1. はじめに

著者らは、肥効調節型肥料と有機質資材を併用した適切な施肥を支援するため、両者の併用時における無機態窒素の動態を推定するシミュレーションソフトの開発を目的とし、一連の研究を行ってきた。前報（加藤ら, 2008）では、複数種の堆肥を用い¹⁵N 硫酸アンモニウム（以下、硫安）と併用することで土壌+堆肥窒素の無機化が増加すること、またその増加量が推定可能であることを報告した。しかしながら、重窒素ラベルされていない堆肥を用いたため、無機質肥料と併用することで堆肥窒素の無機化が増加したのかどうか明らかとなっていない。加えて、肥料として硫安のみを用いたため、他の肥料で同様な現象が生じるか不明である。

一方、様々な種類の肥効調節型肥料が広く利用されている。被覆肥料の肥効パターンは、反応速度論的解析法により予測することができる（小林ら, 1997a, b, c）。また、その予測パターンと土中溶出パターンも一致することが明らかにされており（藤澤ら, 1998；北村・今井, 1995）、肥効調節型肥料を施用した際の肥効パターンは予測可能である。しかしこれらの成果から肥効調節型肥料と堆肥を併用した際のそれぞれの肥効パターンを予測することはできな

い。また、様々な肥効調節作用を有する肥料と堆肥とを併用した際の堆肥窒素の無機化量の推移を調査することで、堆肥窒素の無機化が肥料との併用で増加するのか解析できるものと考えられる。

そこで本研究では、堆肥窒素の無機化が硫安との併用で増加するか明らかにするとともに、肥効調節型肥料と堆肥の併用下における堆肥窒素の無機化量を推定できるようにするため、重窒素ラベル牛糞堆肥を供試し、硫安、肥効調節型肥料と堆肥の併用下での由来別の無機態窒素量の推移を調査した。

2. 材料および方法

1) 供試土壌と堆肥

供試土壌は、多腐植質厚層黒ボク土（農耕地土壌分類委員会, 1995）（神奈川県横浜市）であり、土性は壤土であった。無機態窒素含量は、アンモニウム態窒素：0.6 mg kg⁻¹, 硝酸態窒素：12.7 mg kg⁻¹であり、他の化学性は、pH (H₂O)：6.5, EC：0.2 dS m⁻¹, TC：65 g kg⁻¹, TN：5.0 g kg⁻¹, 交換性 Ca, Mg, Na, K：19.3, 3.8, 0.3, 0.4 cmol_c kg⁻¹, CEC：43.1 cmol_c kg⁻¹であった。

堆肥は、重窒素ラベルされた牛糞堆肥（以下、堆肥）を供試した（松波・寶示戸, 2005）。堆肥は作製後、冷蔵保存されたものを用いた。堆肥（乾物）の化学性は、TC：403 g kg⁻¹, TN：23 g kg⁻¹, C/N：18, ¹⁵N atom%：3.80 atom%, 水溶性炭素：40.5 g kg⁻¹であった。水溶性炭素以外の堆肥の分析は、前報（加藤ら, 2008）同様に行なった。水溶性炭素は、純水で抽出（堆肥：水＝1：50）し、濾紙（No. 5 ろ紙, Advantec）で濾過後、全有機炭素計（TOC-VCPN, Shimadzu）で測定した。堆肥は、凍結乾燥後、微粉碎（<1mm）したものを供試した。

2) 処理区の概要

処理区の概要を表1に示した。肥料、乾物堆肥の添加量をそれぞれ 200 mg-N kg⁻¹, 20 g kg⁻¹とし、単用区、併用区、いずれも添加しない無添加区を設けた。供試した無機質肥料は、硫安、被覆肥料モデル（リニア型 40 日タイプ；以下、被覆（L40））、シグモイド型 100 日タイプ；以下被覆（S100））、アセトアルデヒド縮合尿素（以下、CDU）、ジシアンジアミド入り肥料（以下、DD）を用いた。CDU は市販の肥料を粉碎し、DD 入り肥料はジシアンジアミドと硫安を窒素の比率でそれぞれ 1：9 の割合で混合し供試した。

3) 被覆肥料モデル区の窒素添加方法

被覆肥料については、粒ごとの溶出のバラツキを考慮し、以下の方法でモデル的に検討を行なった。すなわち、25℃水中溶出パターンとなるように、硫安水溶液（以下、硫安溶液）を培養 49 日までは 1 週間おきに、それ以降は 1 または 2 週間おきに滴下し、全窒素添加量が 200 mg-N kg⁻¹となるようにした。硫安溶液の滴下は、培養ビンの蓋を恒温器内でおよそ 7～8 時間開けて放置した後、適当な濃度に調製した硫安溶液を 1 mL 滴下することで行なった。なお予備試験の結果、本試験と同条件で培養器内に 7

Masahiko KATOH, Yasuhito HAYASHI and Hiromasa MORIKUNI: Effect of combined applications with controlled release fertilizers and ¹⁵N-labeled cow compost on mineralization of compost nitrogen under incubation experiment

*本報告の一部を 2007 年度日本土壌肥科学会東京大会において発表した。

¹ JA 全農 営農・技術センター 肥料研究室 (254-0016 平塚市東八幡 5-5-1)

² 現在, JA 全農 福岡肥料農業事業所 (812-0039 福岡市博多区冷泉町 5-35 福岡祇園第一生命ビル 5F)

³ 現在, 札幌市環境局環境事業部 (060-8611 札幌市中央区北 1 条西 2 丁目)

2009 年 2 月 10 日受付・2009 年 10 月 19 日受理
日本土壌肥科学雑誌 第 81 巻 第 1 号 p. 31～35 (2010)

表1 処理区の概要

処理区	肥料の種類	肥料 添加量	堆肥 添加量*1
		(mg-N kg 乾土 ⁻¹)	(g kg 乾土 ⁻¹)
肥料の 単用	硫安-単用区	硫安	200
	被覆 (L40)-単用区	被覆肥料モデル (L40)	200*2
	被覆 (S100)-単用区	被覆肥料モデル (S100)	200*2
	CDU-単用区	CDU	200
	DD-単用区	DD 入り肥料	200
併用	硫安-併用区	硫安	200
	被覆 (L40)-併用区	被覆肥料モデル (L40)	200*2
	被覆 (S100)-併用区	被覆肥料モデル (S100)	200*2
	CDU-併用区	CDU	200
	DD-併用区	DD 入り肥料	200
堆肥-単用区	—	—	20
無添加区	—	—	—

*1 堆肥の添加量は乾物として

*2 全窒素添加量

*3 無添加

〜8時間蓋を開けて静置することで、水分がおよそ1 mL 蒸発することを確認した。水分1 mLは、供試土壌の最大容水量のおよそ4%に相当した。また、硫安溶液を滴下した直後に培養ビンの重量を測定し、試験開始時とほぼ違いがない(±0.5 g)こともあわせて確認した。実際の被覆肥料と比べ今回の添加方法は、土壌表面のみにパルス的に窒素が添加され、被覆尿素肥料と窒素の形態が異なるが、本試験では溶出のバラツキを最小限とするため、上記の添加方法を用いた。

3) 培養方法と分析方法

培養方法および土壌の無機態窒素量とその¹⁵N存在比(atom%)の分析方法は、前報(加藤ら, 2008)と同様に行なった。なお、土壌の無機態窒素量は、アンモニア態窒素量と硝酸態窒素量の合計量とした。培養温度および期間はそれぞれ25℃, 160日間(取り出し日: 7, 14, 28, 56, 100, 160日目)とした。また、¹⁵N存在比(atom%)の測定は、元素分析計・同位体比質量分析計(NA2500-DELTA plus, ThermoScientific)を用いた。土壌の全無機態窒素量と¹⁵N存在比から堆肥由来の無機態窒素量を算出した。また全無機態窒素量から堆肥由来の無機態窒素量を差し引いたものを土壌+肥料由来の無機態窒素量とした。なお、被覆(L40)-併用区, CDU-併用区では培養7, 14日目, 被覆(S100)-併用区では培養7, 14, 28日目, 堆肥-単用区では培養7, 14, 28, 56日目の全無機態窒素量が極めて少なく(< 5 mg-N kg⁻¹), ¹⁵N存在比(atom%)の測定を行なえなかった。そのため、¹⁵N存在比を測定できなかった日の堆肥由来の無機態窒素量は、全(土壌+堆肥)無機態窒素量を用い、図1に示した。

3. 結果および考察

1) 硫安との併用による堆肥窒素の無機化量の増加

堆肥-単用区よりも硫安-併用区において堆肥由来の無機態窒素量が高く推移し、その差は培養期間に伴い増加した(図1)。他方、土壌+肥料由来の無機態窒素量は、硫

安-単用区よりも硫安-併用区において低く推移したが、その差は培養期間に伴い縮まった(図2)。

本研究の結果、硫安との併用で堆肥由来の無機態窒素量が堆肥単用よりも高く推移したことが確認された(図1)。このことから、前報(加藤ら, 2008)では¹⁵N硫安を用いたため、堆肥窒素の無機化が増加したのかどうか明らかにできなかったが、本研究の結果より硫安との併用で堆肥窒素の無機化が増加することが明らかとなった。

このことは、硫安との併用で堆肥窒素の無機化速度が速くなり、堆肥窒素の無機化量が増加したことによるものと考えられた。しかしこの理由の他にも、以下の要因も考えられた。すなわち、土壌では窒素の有機化と無機化は同時進行している。硫安窒素を添加することで、一度無機化された堆肥窒素の有機化される割合が低下、すなわち肥料窒素の有機化される割合が増加し、堆肥由来の無機態窒素量が増加したことも考えられた。しかし、本試験では培養7日目以降、土壌+肥料由来の無機態窒素量の硫安-併用区と硫安-単用区の差は縮まった(図2)。このことから、培養7日目以降は、肥料窒素の有機化速度が大幅に減少したことが考えられた。以上のことから、堆肥由来の無機態窒素量が硫安との併用で高くなったのは、硫安との併用で堆肥窒素の無機化速度の増加によるものと考えられた。

培養28日目の硫安-併用区と堆肥-単用区の堆肥由来の無機態窒素量の差は25.3 mg-N kg⁻¹であり(図1)、この値は堆肥全窒素に対して5.5%に相当した。この堆肥窒素の無機化増加量の結果は、前報(加藤ら, 2008)の堆肥+土壌由来の無機態窒素増加量の結果とほぼ同程度であった。また、培養試験条件下の水田土壌(高橋, 1995)、畑土壌(加藤ら, 2008)ともに、土壌に肥料を添加しても土壌由来の無機化窒素量は増加しないことが報告されている。これらのことから、無機質肥料との併用によって無機化が増加するのは、主に堆肥窒素であり、土壌由来の寄与は小さいものと考えられた。

2) 肥効調節型肥料と牛糞堆肥併用下の肥料由来の有機化量の増加

堆肥を併用した区の土壌+肥料由来の無機態窒素量は、

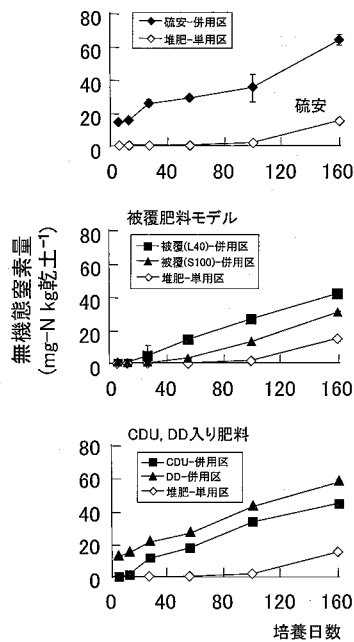


図1 堆肥由来の無機態窒素量の推移

バーは、S.E. ($n=3$) を示す。被覆(40)-併用区、CDU-併用区の7, 14日目、被覆(S100)-併用区の7~28日目、堆肥-単用区の7~56日目は、全(土壌+堆肥)無機態窒素量を示した。

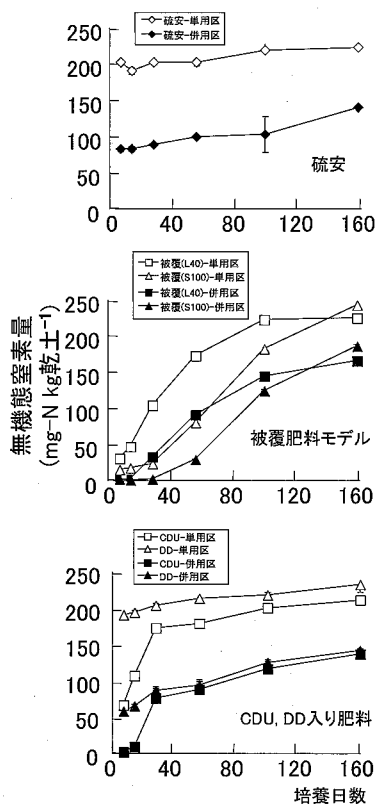


図2 土壌+肥料由来の無機態窒素量の推移
バーは、S.E. ($n=3$) を示す。

肥料を単用した区のそれよりもすべての処理区で低く推移した(図2)。このことは、肥効調節型肥料の種類によらず堆肥と併用で肥料由来窒素が有機化されたためと考えられた(Han et al., 2004; 加藤ら, 2008)。また、その肥料を単用した区と比べた堆肥との併用による有機化の増加量は、添加した肥料によって異なった。このことは、肥効調節型

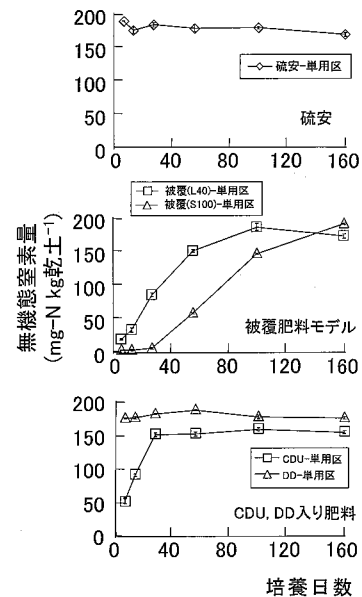


図3 肥料単用における資材由来の無機態窒素量の推移
バーは、S.E. ($n=3$) を示す。無添加区の無機態窒素量を差し引きもとめた。

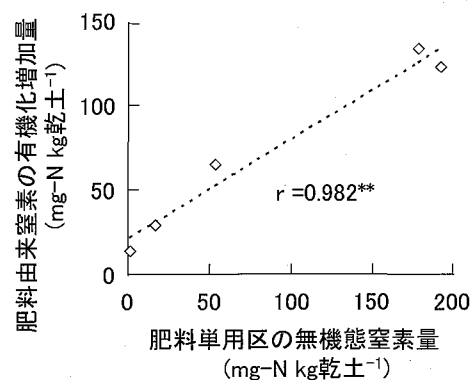


図4 培養7日目における肥料単用区の無機態窒素量と堆肥併用による肥料由来窒素の有機化増加量との関係

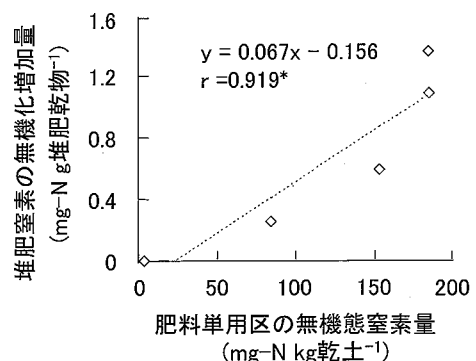


図5 培養28日目における肥料単用区の無機態窒素量と併用による堆肥窒素の無機化増加量との関係

肥料の違いによるものと考えられた。培養7日目における肥料を単用した区の資材由来の無機態窒素量(図3)と堆肥併用による肥料由来窒素の有機化の増加量(図2)との関係を検討したところ(図4)、両者には正の関係が認められた。このことから、肥効調節型肥料の初期無機態窒素量から併用時の肥料由来の有機化の増加量を推定できることが示唆された。肥料由来窒素の有機化は、併用する堆肥の易分解性炭素の無機化量に伴って増加すると考えられるが(加藤ら, 2008)、易分解性炭素は速やかに土壌で分解される。一方、肥効調節型肥料は、徐々に土壌に無機態窒素を放出する。そのため、肥効調節型肥料の方が培養初期、すなわち堆肥の易分解性炭素の無機化が盛んな時期に肥料由来の無機態窒素量が少ないため、硫安よりも肥料由来窒素の有機化の増加量が小さかったことが考えられた。このことは、培養期間に伴って有機化の増加量が増加しなかった結果(図2)からも支持されるものと思われた。以上のことから、肥料と堆肥を同時に添加する際に、無機態窒素をすぐに土壌に放出する硫安よりも肥効調節型肥料のほうが、肥料由来窒素の有機化が抑えられ、土壌に肥料由来の無機態窒素を残存させることができるものと考えられた。

3) 肥効調節型肥料と牛糞堆肥の併用下における堆肥窒素の無機化量の増加

堆肥-単用区に比べ、肥料と併用した区の堆肥由来の無機態窒素量は、すべての肥料で高く推移したが、それは肥料の種類によって異なった(図1)。肥料自体にアンモニア性窒素を有するDD入り肥料では、併用による堆肥由来窒素の無機化の増加量は、硫安のそれと違いはなかった(図1)。他方、その無機化が1ヶ月程度であったCDU、CDUと同様な無機態窒素の挙動を示した被覆肥料モデル(L40)では(図3)、培養14日目以降堆肥-単用区に比べ堆肥由来の無機態窒素量が増加した(図1)。また、無機態窒素が培養56日目以降増加した被覆肥料モデル(S100)では(図3)、培養56日目以降堆肥由来の無機態窒素量が増加した(図1)。これらの違いは、土壌に放出された肥効調節型肥料由来の無機態窒素量の違いによるものと考えられた。培養28日目における肥料の単用区の無機態窒素量(図3)と併用による堆肥窒素の無機化増加量との関係を検討したところ(図5)、両者には正の関係が認められた($y=0.067x-0.156, r=0.919^*$)。このことから、肥効調節の作用機作に関係なく、土壌に放出された無機態窒素量に応じて堆肥窒素の無機化が増加したことを示していると考えられた。すなわち、施用1ヶ月後の肥効調節型肥料由来の無機態窒素量より堆肥窒素の無機化増加量が推定できることが考えられた。Chu *et al.* (2005)によれば、施用直後における土壌の微生物活性は、被覆尿素肥料よりも尿素施用で高まったことを報告している。したがって、無機態窒素量が添加初期に多いものほど、培養初期の微生物活性が増加し、堆肥窒素の無機化量が増加したものと推察した。また硝酸化成の抑制効果を持つDD入り肥料と堆肥を併用しても硫安添加と同程度の堆肥窒素由来の無機化増加量で

あった。このことから、堆肥窒素の無機化の増加は硝酸化成に関与しない微生物によりおこなわれたものと推察された。

前報(加藤ら, 2008)では、堆肥と硫安を同時に添加し試験を行なった。その条件下で硫安との併用により、堆肥+土壌由来の無機態窒素量が増加することを明らかにした。しかし、実際の堆肥の施用場面を考えると、肥料と同時に堆肥を施用することではなく、播種あるいは定植数ヶ月前に施用することが多い。そのため、堆肥を施用後、肥料を施肥する間に堆肥の分解が生じ、肥料と併用しても堆肥窒素の無機化の増加が生じない可能性も考えられる。しかし本試験の結果、被覆(S100)-単用区の無機態窒素は、培養56日目以降増加したが(図3)、堆肥窒素の無機化の増加は他区と同様生じた。このことは、堆肥施用後、2ヶ月後に無機質肥料を施用しても堆肥窒素の無機化の増加が生じることを示していると考えられた。

以上より、堆肥窒素の無機化の増加量は、硝酸化成抑制剤の有無や肥効調節の作用機作に関係なく土壌に放出される肥効調節型肥料由来の無機態窒素量と正の関係があることが明らかとなった。本研究と同様の培養試験条件下において、肥料と牛糞堆肥を同時に併用する際に、肥効調節型肥料を用いることで、肥料由来窒素の有機化量を硫安よりも抑えることができる。その上で、既報(加藤ら, 2008)の方法で硫安と併用時の堆肥窒素の無機化の増加量を推定し、更に施用1ヶ月後の肥効調節型肥料由来の無機態窒素量を勘案することで、異なる肥効調節を示す肥料と牛糞堆肥を併用する際の適正施肥量が算出可能と考えられた。

謝 辞：本研究は、(独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センターとの協定研究によって行なわれたものです。重窒素ラベル牛糞堆肥をご提供いただいた同センター 木村 武氏、高橋 茂博士に感謝いたします。窒素安定同位体比の測定にあたり、名古屋大学大学院生命農学研究科准教授 渡邊 彰博士には多大なご協力を頂きました。また、本研究の実施にあたり、分析にご協力いただいた(株)全農ビジネスサポート平塚支店 肥料グループの皆様にも感謝いたします。

文 献

- Chu, H. Y., Honsen, Y., Yagi, K., Okada, K., and Ito, O. 2005. Soil microbial biomass and activities in a Japanese andisol as affected by controlled release and application depth of urea. *Biol. Fertil. Soils*, 42, 89-96.
- 藤澤英司・小林 新・羽生友治 1998. 被覆肥料の溶出速度に及ぼす土壌水分の影響. *土肥誌*, 69, 582-589.
- Han, K. H., Choi, W. J., Han, G. H., Yun, S. I., Yoo, S. H., and Ro, H. M. 2004. Urea-nitrogen transformation and compost-nitrogen mineralization in three different soils as affected by the interaction between both nitrogen inputs. *Biol. Fertil. Soils*, 39, 193-199.
- 加藤雅彦・林 康人・田中福代・森國博全 2008. 畑条件下での重窒素ラベル硫安と各種牛糞堆肥の併用下における由来別無機態窒素の増減要因の解析. *土肥誌*, 79, 163-171.
- 北村秀教・今井克彦 1995. 肥効調節型肥料による施肥技術の新展開

- 1 水稻の全量基肥施肥技術. 土肥誌, 66, 71-79.
- 小林 新・藤澤英司・羽生友治 1997a. 被覆肥料の溶出に及ぼす水蒸気圧の影響. 土肥誌, 68, 8-13.
- 小林 新・藤澤英司・羽生友治 1997b. 被覆肥料の溶出と被覆膜内外の水分の挙動. 土肥誌, 68, 14-22.
- 小林 新・藤澤英司・久保省三・羽生友治 1997c. ガウス補正法による溶出モデル式の改良. 土肥誌, 68, 487-492.
- 農耕地土壌分類委員会 1995. 農耕地土壌分類第3次改訂版, 農業環境技術研究所資料, 17, 1-78.
- 松波寿弥・寶示戸雅之 2005. 実規模の圃場と乳牛を用いた重窒素標識牛ふん尿堆肥製造過程における窒素収支. 土肥誌, 76, 153-160.
- 高橋 茂 1995. ^{15}N トレーサー法による水田土壌の無機化窒素発現量に関する研究. 中国農研報, 15, 29-59.
-