

15Nラベル硫安と豚糞・鶏糞堆肥と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	80巻2号
巻号補足	
掲載ページ	p. 152-156
発行年月	2009年4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



¹⁵N ラベル硫安と豚糞・鶏糞堆肥との併用が 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 豚糞堆肥, 鶏糞堆肥, ¹⁵N ラベル硫安, 窒素動態, 併用

1. はじめに

著者らは、無機態窒素を含む無機質肥料（以下、無機質肥料）と有機質資材を併用した適切な施肥を支援するため、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いる。これまでに¹⁵N 硫酸アンモニウム（以下、¹⁵N 硫安）と数種類の牛糞堆肥（以下、牛堆肥）を土壤に添加した培養試験で、無機質肥料と家畜ふん堆肥を単独添加した場合と併用した場合の由来別の無機態窒素の動態が異なることを明らかにした（加藤ら, 2008）。またその中で牛堆肥窒素の無機化が¹⁵N 硫安と併用することで促進されることを報告した（加藤ら, 2008）。しかしながら我が国の家畜ふん堆肥のおよそ半量（山口ら, 2000）を占め、牛堆肥に比べ比較的C/N比が低く、易分解性有機物量の多い豚糞、鶏糞堆肥（小柳ら, 2007）（以下、豚堆肥、鶏堆肥）で牛堆肥と同様な現象が認められるかは不明である。

他方¹⁵N 硫安由来窒素は、牛堆肥と併用することで有機化され、その後時間の経過に伴って再無機化される傾向であった（加藤ら, 2008）。加えて、土壤への堆肥の易分解性炭素の添加量が、培養初期における¹⁵N 硫安由来窒素の有機化促進量に影響を及ぼすことが示唆された。しかしながら前報（加藤ら, 2008）では、易分解性炭素量の比較的多い牛堆肥を1種類しか用いなかったため、十分に評価で

きなかった。

そこで本研究では、無機質肥料との併用で豚、鶏堆肥窒素の無機化促進が生じるかを明らかにするため複数種の豚堆肥、鶏堆肥および牛堆肥を用い、無機質肥料と家畜ふん堆肥の併用下における由来別の無機態窒素の動態について検討した。また同時に、無機質肥料由来窒素の初期有機化量と堆肥の易分解性炭素添加量との関係を明らかにすることを目的とした。

2. 材料および方法

1) 供試土壌と堆肥

培養試験には、黒ボク土（神奈川県横浜市）を用いた。土壌の理化学性は、pH(H₂O): 6.5, EC: 0.2 dS m⁻¹, TC: 65 g kg⁻¹, TN: 5.0 g kg⁻¹, アンモニア態窒素: 0.3 mg kg⁻¹, 硝酸態窒素: 9.7 mg 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。

供試堆肥には、市販の豚堆肥3種類、鶏堆肥1種類、牛堆肥1種類を用いた（表1）。堆肥の炭素（C: mg-C kg 乾土⁻¹）、窒素（N: mg-N kg 乾土⁻¹）と肥料の窒素（fAN: mg-N kg 乾土⁻¹）から算出したC/(N+fAN)が広範囲に分布するように堆肥を選択した。なお、牛堆肥は既報（加藤ら, 2008）の牛堆肥3と同様のものを用い、本報では牛堆肥1とした。堆肥は、凍結乾燥後、微粉碎（<1 mm）したものを供試した。堆肥の分析は、既報（加藤ら, 2008）と同様な方法、すなわち全炭素、全窒素含量は、NCアナライザー（Sumigraph NC-220F, 住化分析センター）で測定した。塩酸可溶性炭素は1 mol L⁻¹ 塩酸で抽出後、水溶性全炭素は純水で抽出（堆肥：水=1:50）、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。ECは水抽出（堆肥：水=1:10）し測定した。全リン酸、全加里、全石灰、全苦土含量は乾式灰化後、塩酸に溶解し、ICP発光分析装置（SPS3000, Seiko Instruments Inc.）を用いて測定した。

2) 処理区の概要

処理区の概要を表2に示した。¹⁵N 硫安（3.05 atom%）の添加量を200 mg-N kg⁻¹とし、¹⁵N 硫安単独の区、¹⁵N 硫安と堆肥を併用した区、堆肥のみの区を設けた。また、何も資材を添加していない無添加区も設けた。豚堆肥、鶏堆肥の乾物としての添加量は20 g kg⁻¹、¹⁵N 硫安と併用した区の牛堆肥の添加量は15, 10, 5 g kg⁻¹の3水準とした。C/(N+fAN)は5.1~13.4の範囲となった。なお、牛堆肥のみの区の堆肥の添加量は15 g kg⁻¹のみとした。

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、全窒素量およびそれぞれの¹⁵N存在比(atom%)の分析方法は、既報（加藤ら, 2008）と同様、すなわちオートアナライザー（SWAAT, BLTEC）でアンモニア態、硝酸態窒素量を測定し、その含量を無機態窒素量とし、培養終了時の土壌の全窒素量をNCアナライザーで測定した。またそれぞれの¹⁵N存在比(atom%)を同位体比質量分析計（NA2500-DELTA plus, ThermoScientific）で測定した。

Masahiko KATOH, Yasuhito HAYASHI and Hiromasa MORIKUNI: Effect of combined application with ¹⁵N-labeled ammonium sulfate and swine or poultry manure compost on mineralization of compost nitrogen

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

² 現在, JA 全農福岡肥料農薬事業所（812-0039 福岡県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, JA 全農本所（100-0004 東京都千代田区大手町1-8-3）

2008年3月28日受付・2008年12月2日受理

日本土壌肥科学雑誌 第80巻 第2号 p.152~156 (2009)

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。なお、土壌の無機態窒素量と ¹⁵N 存在比から ¹⁵N 硫安由来の無機態窒素量を算出し、全無機態窒素量から ¹⁵N 硫安由来の無機態窒素量を差し引いたものを土壌と堆肥由来の無機態窒素量とした。

3. 結 果

1) 土壌の無機態窒素量と見かけ上の資材由来の無機態窒素量

各処理区の無機態窒素量から無添加区の無機態窒素量を差し引いて各資材由来の無機態窒素量とした（表 3）。硫安区の資材由来の無機態窒素量は、培養期間を通してほぼ一定であった。他方、堆肥を単独で添加した区の無機態窒素量の経時変化は、堆肥によって異なった。次いで、¹⁵N

表 1 供試堆肥の化学性*1

サンプル名	TC (g kg ⁻¹)	TN (g kg ⁻¹)	C/N	塩酸可溶性全炭素 (g kg ⁻¹)	水溶性全炭素 (g kg ⁻¹)	EC (dS m ⁻¹)	P	K (g kg ⁻¹)	Ca (g kg ⁻¹)	Mg (g kg ⁻¹)	水分 (%)
豚糞堆肥1	374	51	7	61.5	64.8	10.1	24.7	22.7	34.0	10.6	10.2
豚糞堆肥2	349	51	7	43.8	64.8	12.2	16.9	18.3	41.0	4.3	8.6
豚糞堆肥3	301	16	19	5.1	4.1	3.3	25.7	9.8	100.1	8.9	7.0
鶏糞堆肥1	298	49	6	51.1	48.3	4.4	20.4	20.4	146.3	6.3	6.0
牛糞堆肥1	366	14	26	4.5	4.6	6.8	18.5	18.4	47.4	8.7	12.0

*1 分析値は乾物として

表 2 処理区の概要

処理区	¹⁵ N 硫安 添加量 (a) (mg-N kg 乾土 ⁻¹)	堆肥 添加量*1 (g kg 乾土 ⁻¹)	堆肥由来炭素 添加量 (b) (mg-C kg 乾土 ⁻¹)	堆肥由来窒素 添加量 (c) (mg-N kg 乾土 ⁻¹)	C/ (N + fAN)*2 (b/(a + c))
硫安区	200	—	—	—	—
硫安+豚堆肥1-20区	200	20	7480	1020	6.1
硫安+豚堆肥2-20区	200	20	6980	1020	5.7
硫安+豚堆肥3-20区	200	20	6020	320	11.6
硫安+鶏堆肥1-20区	200	20	5960	980	5.1
硫安+牛堆肥1-15区	200	15	5490	210	13.4
硫安+牛堆肥1-10区	200	10	3660	140	10.8
硫安+牛堆肥1-5区	200	5	1830	70	6.8
豚堆肥1区	—	20	7480	1020	7.3
豚堆肥2区	—	20	6980	1020	6.8
豚堆肥3区	—	20	6020	320	18.8
鶏堆肥1区	—	20	5960	980	6.1
牛堆肥1区	—	15	5490	210	26.1
無添加区	—	—	—	—	—

—：無添加

*1: 堆肥の添加量は乾物として

*2: C (堆肥炭素の添加量：mg-C kg 乾土⁻¹), N (堆肥窒素の添加量：mg-N kg 乾土⁻¹), fAN (肥料窒素の添加量：mg-N kg 乾土⁻¹)

表 3 資材由来の見かけ上の無機態窒素量 (mg-N kg 乾土⁻¹)

処理区	培養日数	資材由来の無機態窒素量*1,2					
		7	14	28	56	100	160
硫安区*3		182±2	178±2	183±3	178±3	175±3	178±1
硫安+豚堆肥1-20区*4		264±1	287±1	319±4	369±4	437±3	466±4
硫安+豚堆肥2-20区*4		253±2	269±2	296±1	314±2	322±2	352±2
硫安+豚堆肥3-20区*4		247±1	241±2	255±2	233±1	220±3	210±2
硫安+鶏堆肥1-20区*4		556±1	580±5	650±7	672±2	714±3	732±6
硫安+牛堆肥1-15区*4		194±2	187±1	197±1	194±1	189±2	193±1
硫安+牛堆肥1-10区*4		190±0	184±0	193±1	190±1	190±2	189±1
硫安+牛堆肥1-5区*4		186±1	183±1	192±1	190±0	192±2	186±1
豚堆肥1区*5		76±2	110±1	132±3	190±5	232±10	327±4
豚堆肥2区*5		57±0	80±1	95±2	121±1	143±3	154±2
豚堆肥3区*5		55±0	62±1	63±2	44±1	27±3	16±2
鶏堆肥1区*5		350±3	387±2	443±3	478±2	532±2	540±9
牛堆肥1区*5		7±0	11±0	9±1	7±2	5±2	-1±1

*1: 平均±標準誤差 (S.E.) (n = 3)

*2: (各処理区の無機態窒素量) - (無添加区の無機態窒素量)

*3: 硫安由来の無機態窒素量

*4: 硫安+堆肥由来の無機態窒素量

*5: 堆肥由来の無機態窒素量

硫安と堆肥の単独培養の結果と併用した場合の結果を比較した(図1)。すなわち, ^{15}N 硫安と堆肥を併用した処理区(硫安+豚堆肥1-20区, 硫安+豚堆肥2-20区, 硫安+豚堆肥3-20区, 硫安+鶏堆肥1-20区, 硫安+牛堆肥1-15区)から硫安区と堆肥のみの区(豚堆肥1区, 豚堆肥2区, 豚堆肥3区, 鶏堆肥1区, 牛堆肥1区)の資材由来の無機態窒素量の和を差し引き示した。豚堆肥1, 牛堆肥1では, それぞれ56, 28日目まで ^{15}N 硫安と堆肥を併用した区と単独添加した区の無機態窒素量に違いはみられなかったが, 培養100日目には両堆肥ともに併用した区で無機態窒素量が多くなった。他方, 豚堆肥2, 3および鶏堆肥1は, 培養7日目から160日にかけて併用した区の無機態窒素量と単独添加区の差は, それぞれ4~20, 1~17, 6~24 mg-N kg^{-1} であり, 併用した区において無機態窒素量が多かった。

2) 由来別の無機態窒素量の推移

図2に ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量の推移を示した。堆肥と併用した区の ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は, 硫安区に比べ, 牛堆肥1以外の全ての堆肥で低く推移した。培養7日目の硫安+豚堆肥1-20区, 硫安+豚堆肥2-20区の ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は, 硫安区に比べおよそ50~57 mg-N kg^{-1} 低かった。他方, 硫安+豚堆肥3-20区の ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は, 培養7日から56日目までは硫安区と大きな違いはなかったが, その後低下する傾向であった。培養7日目の硫安+鶏堆肥1-20区の

^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は, 硫安区よりもおよそ37 mg-N kg^{-1} 低かった。一方, 牛堆肥1では堆肥の添加量によらず, 併用した区の ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は硫安区と違いはなかった。

図3に堆肥のみを添加した区と ^{15}N 硫安と堆肥を併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量の推移を示した。すべての堆肥において, ^{15}N 硫安と併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量は, 堆肥単独添加区の無機態窒素量よりも高く推移した。培養28日目の堆肥単独添加区と ^{15}N 硫安と併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量の差およびその堆肥全窒素に対する比率は, 豚堆肥1, 2, 3, 鶏堆肥1および牛堆肥1(15 g kg^{-1} 添加)でそれぞれ59.6, 63.4, 16.0, 55.4, 14.8 mg-N kg^{-1} (5.8, 6.2, 5.0, 5.7, 7.0%)であった。同様に, 培養160日目には, それぞれ-8.1, 46.3, 41.7, 31.2, 17.0 mg-N kg^{-1} (-0.8, 4.5, 13.1, 3.2, 8.1%)であった。堆肥単独添加区と ^{15}N 硫安と併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量の差は, 豚堆肥1, 2, 鶏堆肥1において培養28日目よりも160日目で小さかった。

3) 培養終了時における土壌中 ^{15}N 硫安由来の全窒素量

培養160日目における土壌中の ^{15}N 硫安由来の全窒素量は, 硫安区で179 mg-N kg^{-1} であった(データ省略)。他方, 堆肥と併用した区においては, 処理区の違いによらず, 177~185 mg-N kg^{-1} の範囲であり, 硫安区と有意な違いは認められなかった。

4. 考 察

1) ^{15}N 硫安と豚糞, 鶏糞, 牛糞堆肥併用下の硫安由来窒素の有機化量

本試験の結果, 畜種の違いによらず, 硫安区に比べ堆肥と併用した区で, ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量が低く推移した(図2)。このことは, 無機質肥料と堆肥の併用によって ^{15}N 硫安由来の無機態窒素の有機化が促進されたためと考えられた(Han et al., 2004; 加藤ら, 2008)。家畜ふん堆肥との併用による ^{15}N 硫安由来窒素の有機化増加量は, 堆肥の種類によって異なったが(図2), このことは堆肥の易分解性炭素量の違いによるものと考えられた。土壌では易分解性炭素の添加によって微生物バイオマスが増加, それに伴い無機態窒素の微生物による取り込みが増加し結果

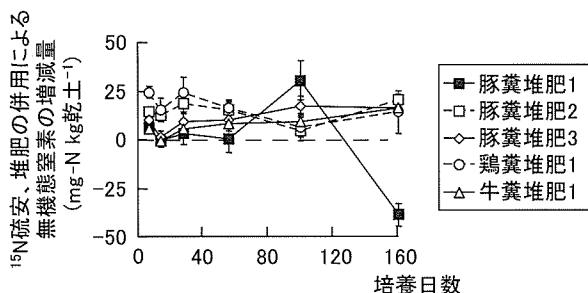


図1 ^{15}N 硫安, 堆肥の併用による無機態窒素の増減量
 ^{15}N 硫安と堆肥を併用した区の無機態窒素量(表3)から硫安区と堆肥単独添加区の無機態窒素量(表3)の和を差し引いてもとめた。バーは, S.E. ($n=3$)を示す。

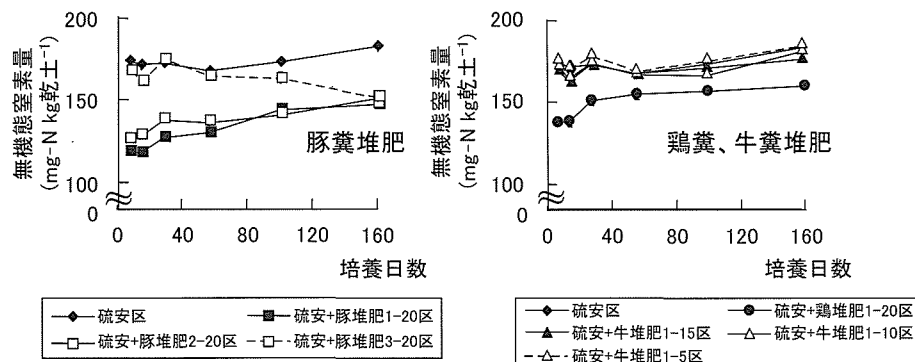


図2 ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量の推移
バーは, S.E. ($n=3$)を示す。

として有機化量が増加することが知られている (Accoe *et al.*, 2004; Luxhøi, 2006; Tejada *et al.*, 2006). 堆肥中の易分解性炭素量が多いものほど, 堆肥添加で微生物バイオマスが増加し ¹⁵N 硫安由来の無機態窒素の有機化量が増加したと推察した. そこで, 堆肥炭素の画分として易分解性と考えられる塩酸可溶性炭素 (Pare *et al.*, 1998) の土壌への添加量と併用による ¹⁵N 硫安由来窒素の有機化増加量との関係を検討した (図4). その結果, 両者には正の相関関係が認められた. また, 堆肥の水溶性全炭素と有機化増加量との関係も検討したところ, 塩酸可溶性炭素と同様な傾向 ($y = 0.03x - 0.33$; $R^2 = 0.973^{***}$) が認められた (データ省略). 前報 (加藤ら, 2008) においては, 易分解性炭素量の多い堆肥を1種類しか用いなかったため, 併用による有機化増加量と堆肥の易分解性炭素量との関係を検討できなかった. しかし本試験の結果, 易分解性炭素量の少ない堆肥2種類では併用による有機化増加量は少なく, また易分解性炭素量の多い堆肥3種類では有機化増加量が多かった. したがって, 堆肥の易分解性炭素量と併用による無機質肥料由来窒素の有機化増加量とは関係があると考えられた.

2) ¹⁵N 硫安と豚糞, 鶏糞, 牛糞堆肥併用下の堆肥由来窒素の動態

¹⁵N 硫安と併用することで本試験に供したすべての堆肥で土壌+堆肥由来の無機態窒素量が, 堆肥単独の場合よりも増加した (図3). このことは既報 (加藤ら, 2008) においても認められ, 無機質肥料と堆肥を併用することで, 土壌中の微生物活性が増加し (Goyal *et al.*, 1999; Han *et*

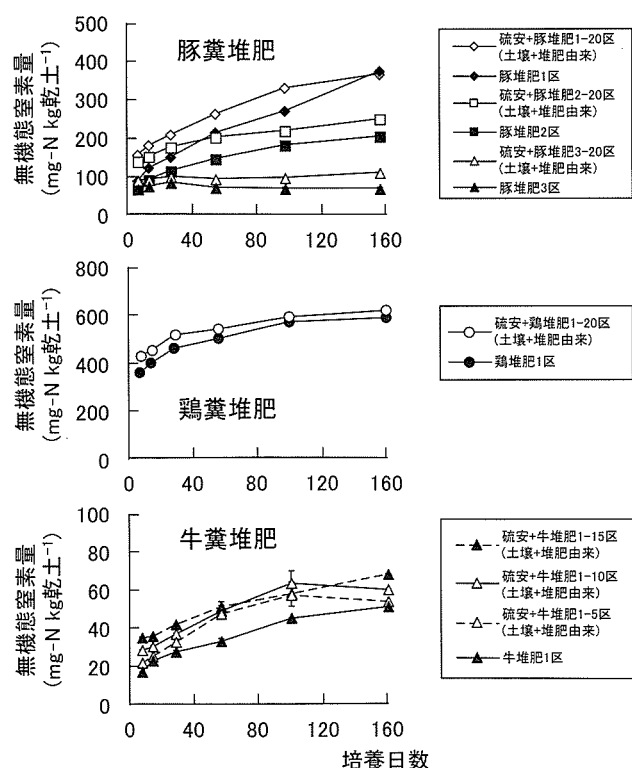


図3 土壌+堆肥由来の無機態窒素量の推移
バーは, S.E. ($n=3$) を示す.

al., 2004), 堆肥窒素の無機化が促進されたためと推察された. 培養28日目の ¹⁵N 硫安との併用による豚, 鶏堆肥窒素の無機化増加量は, 添加した堆肥の全窒素に対して5~7%に相当し, この値は牛堆肥を用いた既報 (加藤ら, 2008) の結果 (5~10%) とほぼ同様であった. したがって, 無機質肥料と堆肥を併用することで, 畜種の違いによらず, 堆肥窒素の無機化が1ヶ月間でおおよそ5~10%増加することが確認された. また前報 (加藤ら, 2008) と同様な方法で添加した堆肥中の炭素量 ($C: \text{mg-C kg 乾土}^{-1}$), 窒素量 ($N: \text{mg-N kg 乾土}^{-1}$) と添加した ¹⁵N 硫安の窒素量 ($fAN: \text{mg-N kg 乾土}^{-1}$) から算出した $C/(N+fAN)$ と堆肥窒素の無機化増加量との関係を検討した (図5). その結果, 既報 (加藤ら, 2008) の結果 ($y = -0.219x + 4.29$; $R^2 = 0.808^{**}$) と既報のデータを合わせた本報の関係式 ($y = -0.221x + 4.20$; $R^2 = 0.737^{**}$) とに違いはなかった. 一般的に畜種が異なることで堆肥の無機化率や無機化量が異なるものと考えられているが, 本試験の結果, 堆肥の種類に関係なく $C/(N+fAN)$ の低下で堆肥窒素の無機化が増加したことから, 無機質肥料と家畜ふん堆肥との併用による堆肥窒素の無機化増加量には $C/(N+fAN)$ と関係があることが明らかとなった.

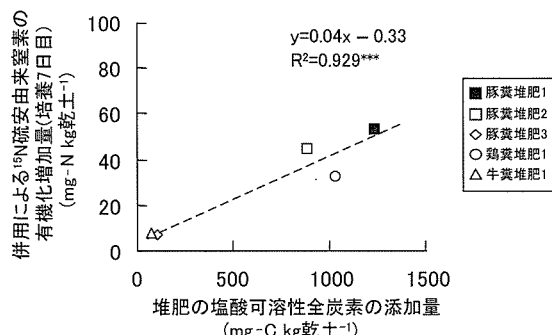


図4 土壌への堆肥の塩酸可溶性全炭素添加量と併用による ¹⁵N 硫安由来窒素の有機化増加量 (培養7日目) との関係

関係式は, 豚糞, 鶏糞堆肥の 20 g kg^{-1} 添加および牛糞堆肥1の 15 g kg^{-1} 添加から求めた.

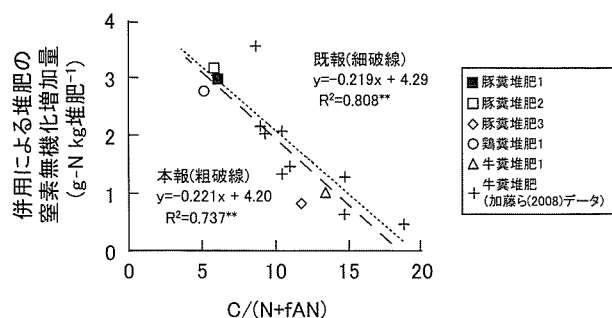


図5 $C/(N+fAN)$ と併用による堆肥の窒素無機化増加量 (培養28日目) との関係

$C/(N+fAN)$ は, 添加した堆肥の全 $C (\text{mg-C kg 乾土}^{-1})$, 全 $N (\text{mg-N kg 乾土}^{-1})$ 量と添加した硫安由来窒素量 (mg-N kg 乾土^{-1}) (fAN) から算出した. 本報の関係式は, 豚糞, 鶏糞堆肥の 20 g kg^{-1} 添加および牛糞堆肥1の 15 g kg^{-1} 添加と既報のデータ (加藤ら, 2008) から求めた.

無機質肥料との併用で堆肥窒素の無機化が促進された要因として、堆肥窒素の無機化速度の増加、難分解性画分の分解の2点が考えられる。今後、無機質肥料との併用による堆肥窒素の無機化促進が主にどの要因によるものか検討する必要がある。

本試験結果より、無機質肥料と家畜ふん堆肥の併用下においてある時点での無機質肥料由来窒素の有機化増加量と堆肥の易分解性炭素量とに関係があること、堆肥窒素の無機化増加量を推定できることが明らかとなった。併用による全無機態窒素の増加量は、特に無機化窒素量の多い鶏堆肥、豚堆肥(表3)において作物栽培を考える上で施肥窒素量を加減するほどの量ではないかもしれない。しかしながら家畜ふん堆肥の適正施用の推進のためには併用による土壌中の無機態窒素の増減量を施肥窒素量の算出過程で考慮することが重要と考える。

5. 要 約

無機質肥料との併用で豚糞堆肥および鶏糞堆肥窒素の無機化促進が生じるかを明らかにするため無機質肥料と家畜ふん堆肥の併用下における由来別の無機態窒素の動態について検討した。

1) 畜種の違いによらず、 ^{15}N 硫安と堆肥を併用した際の ^{15}N 硫安由来の無機態窒素量は、 ^{15}N 硫安単独で培養した結果に比べ少なく、併用することによって有機化が生じていた。その初期の有機化量は、堆肥の塩酸可溶性あるいは水溶性全炭素等の易分解性炭素の添加量と関係があると考えられた。

2) 堆肥由来の無機態窒素は、 ^{15}N 硫安と併用することで、畜種の違いによらず、堆肥単独よりもその無機化が1ヶ月間でおおよそ5~10%増加することが確認された。加えて、その無機化窒素増加量は、堆肥の炭素、窒素と肥料の窒素から算出した $\text{C}/(\text{N}+\text{fAN})$ と負の相関関係が認められた。

謝 辞：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は感謝いたします。

文 献

- Accoe, F., Boeckx, P., Busschaert, J., Hofman, G., and Cleemput, O. V. 2004. Gross N transformation rates and net N mineralisation rates related to the C and N contents of soil organic matter fractions in grassland soils of different age. *Soil Biol. Biochem.*, **36**, 2075–2087.
- Goyal, S., Chander, K., Mundra, M. C., and Kapoor, K. K. 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils*, **29**, 196–200.
- 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.
- 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.
- Luxhøi, J., Bruun, S., Stenberg, B., Breland, T. A., and Jensen, L. S. 2006. Prediction of gross and net nitrogen mineralization-immobilization turnover from respiration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **70**, 1121–1128.
- Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M., and Dumontet, S. 1998. Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. *Biol. Fertil. Soils*, **26**, 173–178.
- Tejada, M., Hernandez, M. T., and Garcia, C. 2006. Application of two organic amendments on soil restoration: effects on the soil biological properties. *J. Environ. Qual.*, **35**, 1010–1017.
- 山口武則・原田靖生・築城幹典 2000. 家畜ふん堆肥の製造・利用の現状とその成分的特徴. 農研センター資料, **41**, 1–178.