

重窒素ラベル硫安と各種牛糞堆肥の併用下におけるホウレンソウへの窒素供給特性の解析

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	79巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 283-289
発行年月	2008年6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



重窒素ラベル硫安と各種牛糞堆肥の併用下におけるホウレンソウへの窒素供給特性の解析*

加藤雅彦¹・林 康人^{1,2}・森國博全¹

キーワード 牛糞堆肥, 重窒素硫安, 窒素供給, 併用, ホウレンソウ

1. はじめに

安定的に作物の収量を得ながら、循環型農業を確立するためには、今後、無機態窒素を含んだ無機質肥料（以下、無機質肥料）と有機質資材を併用した適切な施肥が重要である²³⁾。著者らは前報¹⁴⁾において、無機質肥料と家畜ふん堆肥の由来別の無機態窒素の動態を明らかにするため、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、堆肥）を用いて培養試験を行なった。その結果、¹⁵N 硫安と堆肥の併用下における無機態窒素の動態は、それぞれ単独に培養した結果と異なることが明らかとなった。特に硫安と併用することで、堆肥由来窒素の無機化が促進されるものと考えられた。また培養 28 日目の硫安との併用による堆肥窒素の無機化増加量は、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) と負の相関関係が認められた。このことは、無機質肥料と堆肥を併用する際に、堆肥の炭素、窒素および肥料窒素から C/(N+fAN) をもとめることで、堆肥窒素の無機化増加量を推定できることを示している。しかしながら、温度²²⁾ や水分⁴⁾ によって土壌中の無機化や有機化など窒素の動態が異なることが報告されている。したがって、一定の条件下で行なった培養試験¹⁴⁾と同様の現象が、実際の栽培条件下でも生じ、また作物の窒素吸収に反映されるかどうかを結論付けることは困難である。

ところで、無機質肥料と堆肥を併用する際の無機質肥料の施肥窒素量は、堆肥からの窒素供給量を勘案して削減されてきた。しかしながら、併用することで堆肥窒素の無機化が促進されると考えると、更に無機質肥料の施肥窒素量を削減し、作物を栽培することが可能になると思われる。

そこで本報では、無機質肥料と堆肥の併用下における無機態窒素の動態を実際の栽培条件下において検討すると同時に、併用下における作物への窒素供給を明らかにするた

め、¹⁵N 硫安と数種の堆肥を用い、ホウレンソウの栽培試験を行なった。

2. 材料および方法

1) 供試土壌と堆肥

試験には、前報¹⁴⁾の培養試験で用いた黒ボク土を供試した。堆肥は、前報で用いた堆肥 5 種類のうちから、併用した際に ¹⁵N 硫安由来窒素の有機化が比較的少なく、堆肥 20 g kg 乾土⁻¹のみ添加の培養において 28 日後の見かけ上の堆肥由来の無機態窒素量が -9~10 mg-N kg 乾土⁻¹であった 3 種類（表 1）を供試した。

2) 栽培方法

神奈川県平塚市にある JA 全農 営農・技術センター内のガラス温室でホウレンソウ（*Spinacia oleracea* L., 品種：アクティブ）の栽培を行った。面積 0.14 m² (0.49 m×0.28 m)、深さ 0.20 m のプラスチック製プランターに土壌を乾土として約 19 kg 充填（土層深 0.18 m）し、1 区とした。堆肥および肥料を施用後、プラスチック製の板で仕切り、プランターの一部（0.12 m×0.28 m）を無作付けとした。ホウレンソウの播種は 2005 年 10 月 18 日、収穫は 12 月 5 日に行なった。間引きを 11 月 4 日に行い、最終的な栽植密度を 96 株 m⁻² とした。灌水は適宜水道水で行なった。

3) 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%）のみを 15, 12 g-N m⁻² 施用した区、それぞれの ¹⁵N 硫安施肥量に対し堆肥を併用した区を設けた。P, K はすべての区で重焼燐、硫酸カリウムを用い、それぞれ 6.5 g-P m⁻²、12.5 g-K m⁻² 施用した。また、重焼燐と硫酸カリウムのみを施用した無窒素区も設けた。この他に、土壌中での堆肥の無機化過程を追跡するために、堆肥のみを 2 kg m⁻² 施用し、無作付けとした区も設けた。以上の処理はすべて 3 反復で行なった。堆肥の施用は播種 5 日前に、他の肥料は播種当日に、表層約 12 cm の土壌に均一に混和した。

4) 収穫調査および作物の分析

収穫期に各区から全株採取し、その新鮮重と栽植密度から単位面積あたりの収量をもとめた。採取した作物を 80℃ で粗乾燥し粉碎後 100℃ で通風乾燥して乾物生産量を求めた。NC アナライザー（Sumigraph NC-220F, 住化分析センター）により窒素含有率を、乾式灰化-ICP（SPS3000, Seiko Instruments Inc.）法によりリン、カリウム、カルシウム、マグネシウム含有率を求め、乾物重を乗

* 本報告の一部を 2006 年度日本土壌肥料学会関東支部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 全農本所 (100-0004 千代田区大手町 1-8-3)

2007 年 8 月 14 日受付・2007 年 12 月 26 日受理

日本土壌肥料学雑誌 第 79 巻 第 3 号 p. 283~289 (2008)

表 1 供試牛糞堆肥の化学性*1

サンプル	全炭素	全窒素	C/N	塩酸可溶性炭素	培養無機化窒素量*2	¹⁵ N Atom %
	(g kg ⁻¹)	(g kg ⁻¹)		(g kg ⁻¹)	(mg-N g 堆肥 ⁻¹)	(atom %)
堆肥1	310	23	14	13.9	0.50	0.37
堆肥2	315	25	13	13.2	-0.45	0.37
堆肥3	348	13	26	4.5	0.20	0.37

*1 加藤ら¹⁴⁾

*2 25℃, 28日間

表 2 処理区の概要

処理区	¹⁵ N 硫安施用量 (g-N m ⁻²)	堆肥施用量*1 (kg m ⁻²)	堆肥窒素施用量 (g-N m ⁻²)
硫安15区	15	—	—
硫安15-堆肥1区	15	2	46
硫安15-堆肥2区	15	2	50
硫安15-堆肥3区	15	2	27
硫安12区	12	—	—
硫安12-堆肥1区	12	2	46
硫安12-堆肥2区	12	2	50
硫安12-堆肥3区	12	2	27
無窒素区	—	—	—

—: 無施用

*1 堆肥の施用量は乾物として

P, K はすべての処理区で重焼燐, 硫加を用い, それぞれ 6.5 g-P m⁻², 12.5 g-K m⁻² 施用.

堆肥のみを 2 kg m⁻² 施用し, 無作付けの区も設けた.

じて養分吸収量を算出した. また, ホウレンソウ全窒素中の ¹⁵N 存在比 (atom%) を元素分析計-同位体比質量分析計 (NA2500-DELTA plus, ThermoScientific) で測定し, 窒素吸収量と ¹⁵N 存在比から ¹⁵N 硫安由来の窒素吸収量をもとめた. 全窒素吸収量から ¹⁵N 硫安由来分を差し引き, 土壌+堆肥由来の窒素吸収量を算出した.

5) 土壌の採取と分析

播種後 21 日目 (堆肥施用後 26 日目) に無作付け土壌を採取した. 土壌水分を加熱減量法で測定すると同時に, 2 mol L⁻¹ KCl で抽出し (土:液比=1:10), そのろ液について, オートアナライザー (SWAAT, BLTEC) でアンモニア態, 硝酸態窒素を測定し, 土壌水分を考慮し, 乾土当たりの無機態窒素 (アンモニア態窒素+硝酸態窒素) 量をもとめた. この抽出液の一部に MgO とデバルタ合金を添加し, 水蒸気蒸留法⁵⁾ により無機態窒素を濃縮回収し,

無機態窒素中の ¹⁵N 存在比 (atom%) を同位体比質量分析計で測定した. 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た. また, 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) 収穫期のホウレンソウの収量

ホウレンソウの収量を図 1 に示した. 硫安 15 区のホウレンソウの収量は 1.81 kg m⁻² であったが, 硫安 15-堆肥 1 区, 硫安 15-堆肥 2 区, 硫安 15-堆肥 3 区の収量は, 硫安 15 区に比べてすべての堆肥で有意に高かった. 硫安 12 区のホウレンソウの収量は 1.51 kg m⁻² であり, 硫安 15 区に比べて, 有意に低かったが, ¹⁵N 硫安と堆肥を併用した硫安 12-堆肥 1 区, 硫安 12-堆肥 2 区, 硫安 12-堆肥 3 区の収量は, 硫安 15 区と同等の収量であった.

2) ホウレンソウの由来別の窒素吸収量とリン, カリウム, カルシウム, マグネシウム吸収量

図 2 にホウレンソウの由来別の窒素吸収量を示した. 硫安 15 区に比べ硫安 12 区の全窒素吸収量は少なかったが, 硫安 12 g-N m⁻² と堆肥を併用した区 (硫安 12-堆肥 1 区, 硫安 12-堆肥 2 区, 硫安 12-堆肥 3 区) の全窒素吸収量は, 硫安 15 区と有意な違いは認められなかった.

¹⁵N 硫安と堆肥を併用した区の土壌+堆肥由来の窒素吸収量および全窒素吸収量に占める土壌+堆肥由来の割合は, すべての堆肥において ¹⁵N 硫安を単独施用した区の土壌由来よりも高くなった. また土壌+堆肥由来の窒素吸収量は, 堆肥 1 でもっとも高く, 堆肥 3 で低い傾向であった.

¹⁵N 硫安由来の窒素吸収量は, 硫安 15 区と硫安 15-堆肥 2 区, 硫安 15-堆肥 3 区とで大きな違いはなかった.

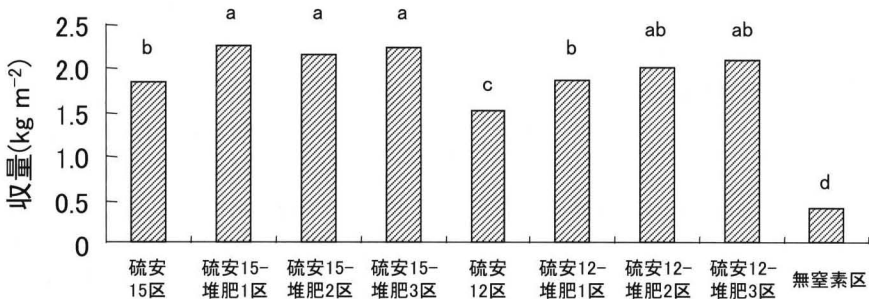


図 1 各処理区ごとのホウレンソウの収量
異なるアルファベット間において 5% 水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer の HSD 検定).

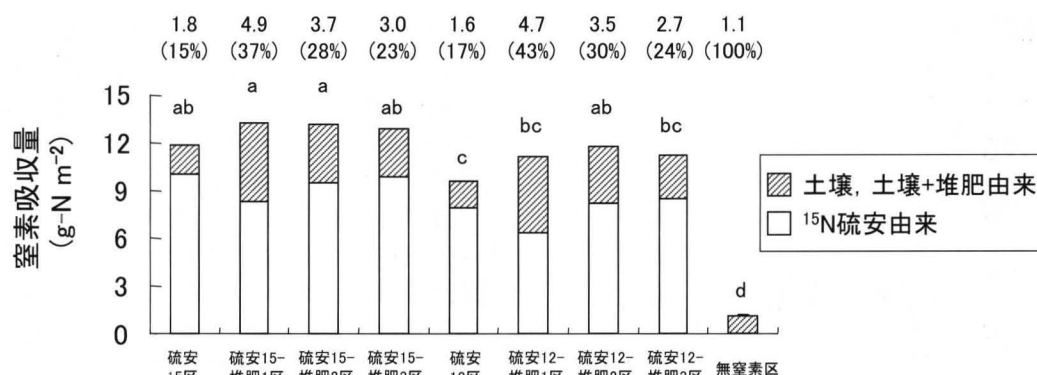


図2 由来別のハウレンソウの窒素吸収量

異なるアルファベット間において5%水準で全窒素吸収量に有意差があることを示す (Tukey-Kramer のHSD検定). 図上の数字は土壌, 土壌+堆肥由来の窒素吸収量を, () 内は吸収窒素量に占める土壌, 土壌+堆肥由来の割合を示す.

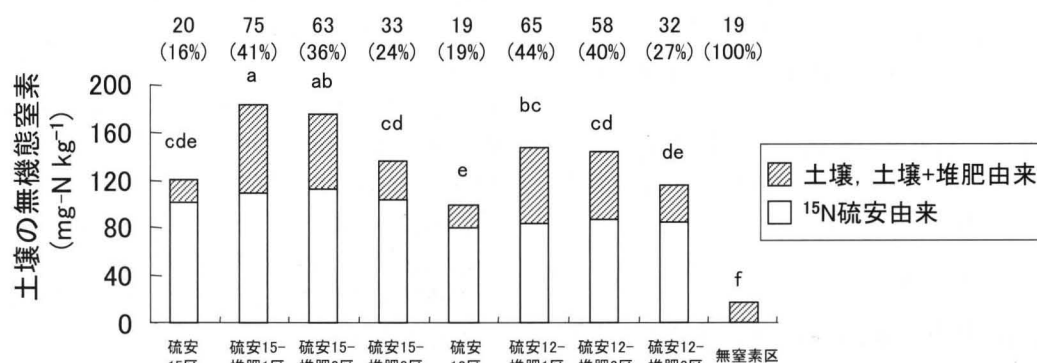


図3 播種21日後(堆肥施用26日後)の無作付け土壌における由来別の無機態窒素

異なるアルファベット間において5%水準で全無機態窒素に有意差があることを示す (Tukey-Kramer のHSD検定). 図上の数字は土壌, 土壌+堆肥由来の無機態窒素量を, () 内は無機態窒素量に占める土壌, 土壌+堆肥由来の割合を示す.

表3 処理区ごとの養分吸収量

処理区	P	K	Ca	Mg
	(g m ⁻²)			
硫安15区	1.3bc ^{*1}	15b	1.6a	3.6a
硫安15-堆肥1区	1.8a	26a	1.2a	3.4ab
硫安15-堆肥2区	1.7a	26a	1.2a	3.1bc
硫安15-堆肥3区	1.7a	25a	1.3a	3.4ab
硫安12区	1.1c	12b	1.4a	3.1bc
硫安12-堆肥1区	1.6a	24a	1.1a	2.9c
硫安12-堆肥2区	1.7a	25a	1.1a	2.9c
硫安12-堆肥3区	1.5ab	24a	1.5a	3.1bc
無窒素区	0.5d	5c	0.5b	0.3d

^{*1} 養分ごとの異なるアルファベット間において5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer のHSD検定).

一方, 硫安15-堆肥1区の¹⁵N硫安由来の窒素吸収量は, 硫安15区よりも少なかった. 同様な傾向が¹⁵N硫安12 g-N m⁻²でもみられた.

リン, カリウム, カルシウム, マグネシウムの吸収量を表3に示した. 硫安15区, 硫安12区におけるリン, カリウムの吸収量は, それぞれ1.1~1.3, 12~15 g m⁻²であったが, 堆肥と併用することで, それぞれの吸収量は1.5~1.8, 24~26 g m⁻²と高くなった. 無窒素区を除き, カルシ

ウムの吸収量は, 1.1~1.6 g m⁻²であった. マグネシウムの吸収量は, 硫安15-堆肥2区を除き, 同一の¹⁵N硫安施用量の処理区間で有意な違いはなかった.

3) 土壌の由来別の無機態窒素

播種21日後における無作付け土壌の由来別の無機態窒素量を図3に示した. 硫安12区の全無機態窒素量は101 mg-N kg⁻¹であったが, 堆肥を併用することで増加し, 硫安12区に比べ硫安12-堆肥1区, 硫安12-堆肥2区で有意に高い値であった. また, 両区の無機態窒素量は, 硫安15区と有意な違いはなかった. 硫安15区と堆肥を併用した区を比較すると, 硫安15区に比べ, 硫安15-堆肥1区, 硫安15-堆肥2区で無機態窒素量が有意に高かった.

¹⁵N硫安由来の無機態窒素量は, 同一の¹⁵N硫安施用量間で有意な違いはなかった. また硫安15区, 硫安12区, 無窒素区の土壌由来の無機態窒素量に処理区間で有意な違いは認められなかった.

堆肥と併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量は, 堆肥1, 2, 3でそれぞれ65~75, 58~63, 32~33 mg-N kg⁻²であり, 堆肥1でもっとも高く, 堆肥3で低かった. またこの値は, ¹⁵N硫安を単独で施用した区の土壌由来の無機態窒素量よりもすべての堆肥で高かった. また, 全無機態

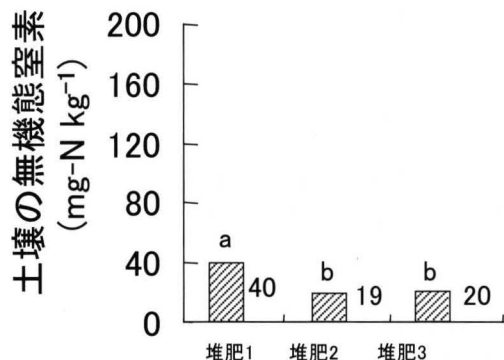


図4 堆肥施用26日後の堆肥のみ施用土壌（無作付け）の無機態窒素

異なるアルファベット間において5%水準で無機態窒素に有意差があることを示す（Tukey-KramerのHSD検定）。

窒素量に占める土壌+堆肥由来の無機態窒素量の割合は、すべての堆肥で¹⁵N硫酸を単独で施用した区の土壌由来よりも高かった。

堆肥のみを施用した土壌の無機態窒素量（図4）は、¹⁵N硫酸と堆肥を併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量（図3）よりも低かった。

4. 考 察

1) ¹⁵N硫酸と堆肥の併用下における土壌での由来別無機態窒素の動態

一定温度の培養条件において、¹⁵N硫酸単独添加と比べ堆肥と併用することで、¹⁵N硫酸由来窒素の有機化促進が認められている¹⁴⁾。他方、本試験のハウレンソウ無作付け土壌においては、堆肥との併用で¹⁵N硫酸由来の無機態窒素量の減少は見られず（図3）、有機化の促進はほとんどなかったものと思われた。この培養試験と栽培試験の違いの要因は明確ではないが、そのひとつとして温度の違いが考えられた。Nishio *et al.*²²⁾は、温度の上昇によって窒

素の有機化速度が増加することを報告している。一定温度（25℃）で行なった前報と比べ、本試験の施肥後21日までの日平均温度は12～18℃¹³⁾と低かった。このことから、本栽培試験において¹⁵N硫酸と堆肥を併用しても¹⁵N硫酸由来窒素の有機化が促進されなかったことが示唆された。

堆肥のみを施用した土壌の無機態窒素量（図4）と比べ堆肥と併用した区における土壌+堆肥由来の無機態窒素量（図3）は高い値であった。また、堆肥無施用において¹⁵N硫酸を施用しても土壌由来窒素の無機化は促進されなかった（図3）。したがって前報¹⁴⁾同様、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、堆肥窒素の無機化が促進^{3,9,10,20,21)}されたことが考えられた。

またハウレンソウ無作付け土壌において、¹⁵N硫酸と堆肥を併用した区の土壌+堆肥由来の無機態窒素量（図3）と堆肥単独施用の無機態窒素量（図4）の差は、堆肥の施用窒素量に対して堆肥1,2,3でそれぞれ5.4～7.6,7.8～8.8,4.4～4.8%に相当した。したがって、無機質肥料との併用により堆肥窒素の無機化が5～10%程度増加することがガラス温室内の無作付け条件下でも明らかとなった。また添加した堆肥中の炭素量（C: mg-C kg 乾土⁻¹）、窒素量（N: mg-N kg 乾土⁻¹）と添加した¹⁵N硫酸の窒素量（fAN: mg-N kg 乾土⁻¹）からすべての添加資材を込みにした見かけのC/N比（以下、C/(N+fAN)）と作物の窒素吸収が旺盛になると考えられる播種後21日目の¹⁵N硫酸との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）、培養試験と同様な負の相関関係が認められた。堆肥の種類が異なっても、また同一堆肥においてもC/(N+fAN)が低下することで、堆肥の窒素無機化量が増加したことから、ガラス温室内の無作付け条件下においても硫酸との併用による堆肥窒素の無機化増加量とC/(N+fAN)とは、一定の関係があるものと考えられた。したがって、無機質肥料と堆肥を併用する際には、C/(N+fAN)をもとに、約1ヵ月後の堆肥窒素の無機化増加量が推定可能と

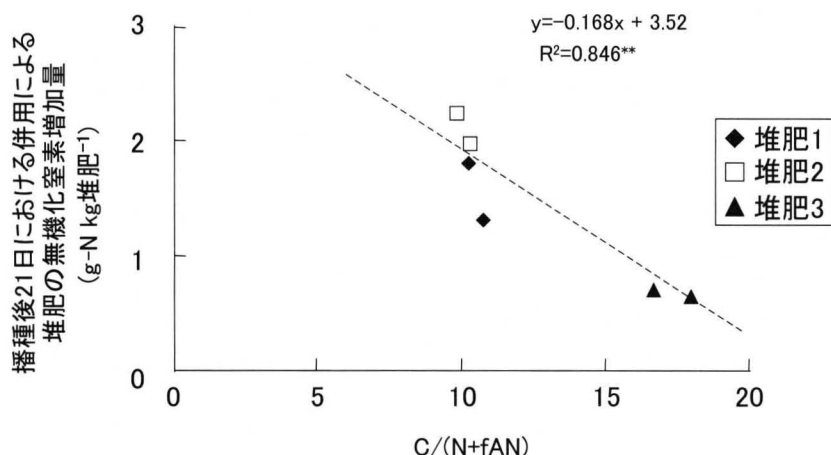


図5 播種後21日（堆肥施用後26日）における無作付け土壌中の併用による堆肥の無機化窒素増加量とC/(N+fAN)との関係。

C/(N+fAN)は、添加した堆肥の全C（mg-C kg 乾土⁻¹）、全N（mg-N kg 乾土⁻¹）量と添加した硫酸由来窒素量（mg-N kg 乾土⁻¹）（fAN）から算出した。

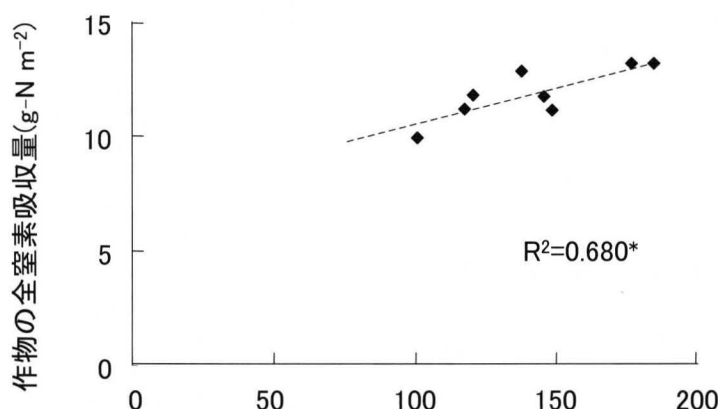
考えられた。

2) ^{15}N 硫酸と堆肥の併用下における作物の収量と作物への窒素供給

ハウレンソウの収量は、 ^{15}N 硫酸のみを 15 g-N m^{-2} 施用した区より 12 g-N m^{-2} 施用した区で低かった。しかし ^{15}N 硫酸 12 g-N m^{-2} と堆肥を併用することで、すべての堆肥で ^{15}N 硫酸のみを 15 g-N m^{-2} 施用した区と同等の収量を示した(図1)。また、 ^{15}N 硫酸のみを 15 g-N m^{-2} 施用した区よりも、 ^{15}N 硫酸 15 g-N m^{-2} と堆肥を併用した区の収量が高かった。このように無機質肥料と堆肥を併用することで、単独で施用するよりも作物の生育が良好になることは多い^{1,2,19,24)}。無機質肥料と堆肥を併用することで作物の収量が増加した要因として、堆肥からの養分供給^{6,27)}、堆肥施用による土壌の物理性・生物性の改善^{7,25)} があげられる。本試験において作物の収量が堆肥との併用で高まったのは、主に堆肥からの養分供給によるものと考えられた。すなわち ^{15}N 硫酸と堆肥を併用することで、無作付け土壌において堆肥窒素の無機化量が増加したことから、作物への窒素供給量が

増加したものと考えられた。加えてハウレンソウの全窒素吸収量(図2)と土壌の全無機態窒素量(図3)との関係を検討したところ、両者には正の直線的な関係があった(図6)。また、播種後21日の無作付け土壌における土壌由来あるいは土壌+堆肥由来の無機態窒素量とハウレンソウの土壌由来あるいは土壌+堆肥由来の窒素吸収量とには正の直線関係が認められた(図7)。同様に、土壌の全無機態窒素量に占める土壌由来あるいは土壌+堆肥由来の割合とハウレンソウの全窒素吸収量に占める土壌由来あるいは土壌+堆肥由来の割合にも正の直線関係($R^2 = 0.906^{***}$)が認められた(データ省略)。これらことは、播種後21日の無作付け土壌の由来別の無機態窒素量・組成が作物の窒素吸収に反映されたことを示している。

また ^{15}N 硫酸と堆肥を併用することで作物の収量が増加した要因として堆肥のリンやカリウムの影響も考えられた(表3)。 ^{15}N 硫酸単独施用区と堆肥3を併用した区の土壌の無機態窒素量、作物の窒素吸収量に違いがなかったにもかかわらず、堆肥3と併用することでハウレンソウの収量



播種後21日における土壌の全無機態窒素量(mg-N kg 乾土⁻¹)

図6 ハウレンソウの全窒素吸収量と播種後21日(堆肥施用後26日)の無作付け土壌における全無機態窒素量との関係

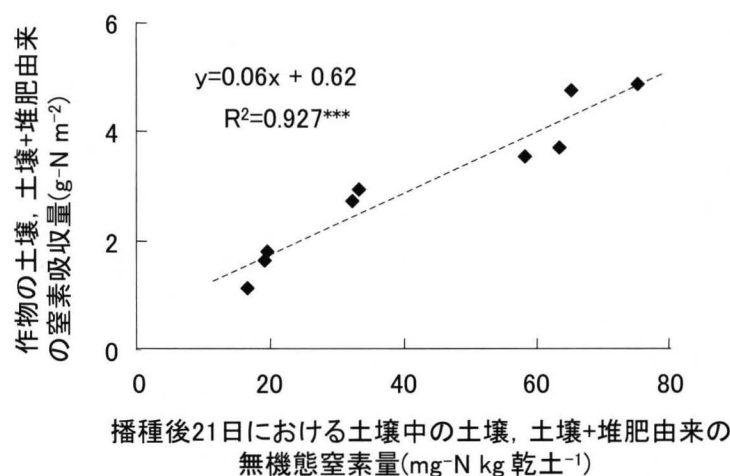


図7 播種後21日の無作付け土壌中の土壌、土壌+堆肥由来の無機態窒素量と作物の土壌、土壌+堆肥由来の窒素吸収量との関係

が¹⁵N 硫安単独施用よりも増加した。これらのことから堆肥由来の窒素、リン、カリウムによって作物の養分吸収量が増加し、ハウレンソウの収量が増加したことが推察された。

3) ¹⁵N 硫安と堆肥の併用下における施肥窒素量のもめかた

無機質肥料と堆肥を併用する際の無機質肥料の施肥窒素量は、堆肥からの窒素供給量すなわち堆肥窒素の肥効率を勘案してもとめられている。ところで現在、新たな堆肥窒素の肥効評価法が提案されている^{8,11,12,15~18,26)}。これら評価法の多くは、堆肥を単独培養あるいは単独施用した結果を基に評価するものであり、無機質肥料との併用による堆肥窒素の無機化促進は考慮されていない。しかしながら本試験により、播種後21日の土壌+堆肥由来の無機態窒素量の増加に応じて、作物(栽培期間48日のハウレンソウ)の窒素吸収量が増加することが明らかとなった。実際の農業現場では本試験と異なり堆肥を播種あるいは定植数ヶ月前に施用することが多い。また土壌や堆肥の種類の違いなど、更に検討する点が残されているが、本試験の結果から無機質肥料と堆肥の併用時において、適正な施肥窒素量で作物栽培を行なうためには、併用による堆肥窒素の無機化増加量を考慮に入れることが重要と考えられた。

5. 要 約

無機質肥料と堆肥の併用下における無機態窒素の動態を実際の栽培条件下において検討すると同時に、作物への窒素供給を明らかにするため、¹⁵N 硫安と数種の堆肥を用い、ハウレンソウの栽培試験を行なった。

1) 土壌の無機態窒素の動態は、¹⁵N 硫安と堆肥をそれぞれ単独で施用した場合と¹⁵N 硫安と堆肥を併用した場合では異なり、栽培条件下においても¹⁵N 硫安と堆肥を併用することで堆肥単独施用に比べ、堆肥窒素の無機化が促進されることが明らかとなった。また、併用による堆肥窒素の無機化増加量は、堆肥窒素の5~10%に相当し、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(N: mg-N kg 乾土⁻¹)から算出したC/(N+fAN)と負の相関関係が栽培条件下においても認められた。

2) ハウレンソウの収量は、¹⁵N 硫安単独施用よりも¹⁵N 硫安と堆肥を併用することで増加した。¹⁵N 硫安と堆肥を併用することで、土壌+堆肥由来の窒素吸収量は増加し、土壌中の土壌+堆肥由来の無機態窒素量と作物の土壌+堆肥由来の窒素吸収量とは正の相関関係が認められた。

以上より、ハウレンソウの窒素吸収、収量は無機質肥料との併用による堆肥窒素の無機化増加量を反映したことから、適正な施肥窒素量で作物栽培を行なうためには、併用による堆肥窒素の無機化増加量を考慮に入れることが重要と考えられた。

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、栽培

および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。また、本論文の校閲を賜りました名古屋大学大学院生命農学研究科教授 木村真人博士に感謝申し上げます。

文 献

- 1) Akinnifesi, F. K., Makumba, W., Sileshi, G., Ajayi, O. C. and Mweta, D.: Synergistic effect of inorganic N and P fertilizers and organic inputs from *Gliricidia sepium* on productivity of intercropped maize in Southern Malawi. *Plant Soil*, **294**, 203~217 (2007)
- 2) Bayu, W., Rethman, N. F. G., Hammes, P. S. and Alemu, G.: Effects of farmyard manure and inorganic fertilizers on sorghum growth, yield, and nitrogen use in a semi-arid area of Ethiopia. *J. Plant Nutr.*, **29**, 391~407 (2006)
- 3) Breland, T. A. and Hansen, S.: Comparison of the difference method and ¹⁵N technique for studying the fate of nitrogen from plant residues in soil. *Biol. Fertil. Soils*, **26**, 164~168 (1998)
- 4) Doel, D. S., Honeycutt, C. W. and Halteman, W. A.: Soil water effects on the use of heat units to predict crop residue carbon and nitrogen mineralization. *Biol. Fertil. Soils*, **10**, 102~106 (1990)
- 5) 土壌環境分析法編集委員会編: 土壌環境分析法, p.247~249, 博友社, 東京 (2000)
- 6) Eghball, B., Wienhold, B. J., Woodbury, B. L. and Eigenberg, R. A.: Plant availability of phosphorus in swine slurry and cattle feedlot manure. *Agron. J.*, **97**, 542~548 (2005)
- 7) 藤原俊六郎: 堆肥づくりの基本と応用, 肥料土づくり資材大事典, 農文協編, p.679~694, 農文協, 東京 (2007)
- 8) 古谷 修・古川智子・小堤恭平・山本朱美・長峰孝文・小川雄比古: 各種家畜ふん堆肥の成分分析による培養無機態窒素率の簡易推定法, 土肥誌, **78**, 511~514 (2007)
- 9) Goyal, S., Chander, K., Mundra, M. C. and Kapoor, K. K.: Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol. Fertil. Soils*, **29**, 196~200 (1999)
- 10) Han, K. H., Choi, W. J., Han, G. H., Yun, S. I., Yoo, S. H. and Ro, H. M.: 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 (2004)
- 11) 日高秀俊・新妻成一・大澤元成・久保省三: 各種鶏ふんの窒素無機化量の簡易評価法, 土肥誌, **75**, 21~28 (2004)
- 12) 日高秀俊・田中達也・森國博全: 家畜ふん堆肥の各種溶液による抽出性窒素と窒素無機化量との関係, 土肥要旨集, **51**, 150 (2005)
- 13) 神奈川県農林水産情報センター気象観測情報データベース, <http://web05.agri.pref.kanagawa.jp/kisyo> (2007)
- 14) 加藤雅彦・林 康人・田中福代・森國博全: 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**, p.163~171 (2008)
- 15) 木村 武・棚橋寿彦・小柳 渉・石岡 巖・森泉美穂子・古谷 修・地主昭博・村上圭一: 家畜ふん堆肥の種類に応じた窒素肥効評価法 第1報 農業環境規範に適合する家畜ふん堆肥の肥効評価システムの確立への取り組み, 土肥要旨集, **53**, 149 (2007)
- 16) 橘田安正・茂角正延・水落勤美: 排卵鶏由来鶏糞の窒素成分

- と窒素無機化率との関係, 土肥誌, **73**, 263~269 (2002)
- 17) 小柳 渉・安藤義昭・棚橋寿彦：有機質資材の分解特性とその指標, 土肥誌, **78**, 407~410 (2007)
 - 18) 小柳 渉・棚橋寿彦・村上圭一・石岡 巖・木村 武：家畜ふん堆肥の種類に応じた窒素肥効評価法 第3報 家畜ふん堆肥の速効的・緩効的窒素とその評価法 (その2), 土肥要旨集, **53**, 150 (2007)
 - 19) Kramer, A. W., Doane, T. A., Horwath, W. R. and Kessel, C. V.: Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping systems in California. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **91**, 233~243 (2002)
 - 20) Lueken, H., Hutcheon, W. L. and Paul, E. A.: The influence of nitrogen on the decomposition of crop residues in the soil. *Can. J. Soil Sci.*, **42**, 276~288 (1962)
 - 21) Moran, K. K., Six, J., Horwath, W. R. and Kessel, C. V.: Role of mineral-nitrogen in residue decomposition and stable soil organic matter formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **69**, 1730~1736 (2005)
 - 22) Nishio, T., Kanamori, T. and Fujimoto, T.: Nitrogen transformations in an aerobic soil as determined by a $^{15}\text{NH}_4^+$ dilution technique. *Soil Biol. Biochem.*, **17**, 149~154 (1985)
 - 23) 三枝正彦：食糧生産における施肥の役割, 肥料の事典, 尾和尚人・木村真人・越野正義・三枝正彦・但野利秋・長谷川功・吉羽雅昭編集, p.14~22, 朝倉書店, 東京 (2006)
 - 24) Sikora, L. J. and Enkiri, N. K.: Uptake of ^{15}N fertilizer in compost-amended soils. *Plant Soil*, **235**, 65~73 (2001)
 - 25) Su, Y. Z., Wang, F., Suo, D. R., Zhang, Z. H. and Du, M. W.: Long-term effect of fertilizer and manure application on soil-carbon sequestration and soil fertility under the wheat-wheat-maize cropping system in northwest China. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **75**, 285~295 (2006)
 - 26) 棚橋寿彦・小柳 渉・村上圭一・石岡 巖・木村 武：家畜ふん堆肥の種類に応じた窒素肥効評価法 第2報 家畜ふん堆肥の速効的・緩効的窒素とその評価法 (その1), 土肥要旨集, **53**, 149 (2007)
 - 27) Zvomuya, F., Helgason, B. L., Larney, F. J., Janzen, H. H., Akinremi, O. O. and Olson, B. M.: Predicting phosphorus availability from soil-applied composted and non-composted cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.*, **35**, 928~937 (2006)

Effect of combined applications of ^{15}N -labeled ammonium sulfate and cattle manure composts on nitrogen supply potential of soil to spinach

Masahiko KATOH, Yasuhito HAYASHI and Hiromasa MORIKUNI
JA ZEN-NOH R&D Cent.

Nitrogen (N) uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) was measured under the combined use of inorganic fertilizer and composts. The combined application of composts and ammonium sulfate increased N mineralization from the composts by about 5 to 10%. This increase in N mineralization was negatively correlated with the $\text{C}/(\text{N} + \text{fAN})$ ratio, where C and N represent the carbon (C) and N contents derived from the composts (mg kg^{-1} soil), and fAN represents the amount of N derived from ammonium sulfate (mg kg^{-1} soil). The combined application of ^{15}N ammonium sulfate and composts significantly increased spinach yield compared with a single application of ^{15}N ammonium sulfate. This was true for all composts used in this experiment. The combined application of ^{15}N ammonium sulfate and composts increased spinach uptake of N derived from the soil and the composts. Contents of soil inorganic N derived from soil and composts were positively correlated with N uptake by spinach from the soil and composts. These findings indicated that providing appropriate amounts of inorganic N fertilizer requires farmers to account for the additional mineralization of N from the composts when composts are also provided.

Key words: ^{15}N -labeled ammonium sulfate, combined application, cattle composts, nitrogen supply, spinach

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., **79**, 283~289, 2008)