

# 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

|       |                                                              |
|-------|--------------------------------------------------------------|
| 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<br>林,康人<br>田中,福代<br>森國,博全                              |
| 発行元   | 日本土壌肥料学会                                                     |
| 巻/号   | 79巻2号                                                        |
| 巻号補足  |                                                              |
| 掲載ページ | p. 163-171                                                   |
| 発行年月  | 2008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



# 畑条件下での重窒素ラベル硫酸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\*

加藤雅彦<sup>1</sup>・林 康人<sup>1,2</sup>・田中福代<sup>3</sup>・森國博全<sup>1</sup>

キーワード 牛糞堆肥, 重窒素硫酸, 併用, 無機化, 有機化

## 1. はじめに

家畜ふん堆肥等をはじめとした有機質資材の利用促進が循環型農業の確立のためには重要である。しかしながら、無機態窒素を含んだ無機質肥料（以下、無機質肥料）に比べ作物への可給態の窒素成分が少ない有機質資材は、そのみで作物の要求する窒素を補おうとすると、多量施用に繋がり、多量施用を続けると、ついには土壤の養分バランスを崩す恐れがある。したがって、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、無機質肥料、有機質資材の特長を生かしながら補完する、すなわち適切に無機質肥料と有機質資材を併用することが重要である<sup>23)</sup>。

ところで、作物の生育にとって窒素は最も重要な養分であり、無機質肥料と同様、有機質資材の作物への窒素供給<sup>26)</sup>や窒素分解率<sup>29)</sup>等、数多く検討がなされ、資材の特性が明らかにされつつある。他方、無機質肥料と有機質資材を併用した際の窒素の動態については、有機質資材の対象を作物残渣等の新鮮有機物とした研究が主体で行なわれてきた<sup>6,14,18,21)</sup>。また、我が国のバイオマス資源でもっとも量の多い家畜糞を併用した際の土壌中の窒素動態についても検討が行なわれてきた<sup>5,10,11,19,20)</sup>。しかしながら、無機質肥料と家畜ふん堆肥を併用するために最も重要と考えられる由来別の無機態窒素の動態については明らかにされていない。

そこで本研究では、<sup>15</sup>N 硫酸アンモニウム（以下、<sup>15</sup>N 硫酸）と我が国の家畜ふん堆肥でもっとも量が多い牛糞堆肥<sup>30)</sup>を用いて、①牛糞堆肥の添加量を一定にし、<sup>15</sup>N 硫酸の添加量を変えた試験、②<sup>15</sup>N 硫酸の添加量を一定にし、牛糞堆肥の添加量を変えた試験、の2種類の培養試験を行なった。それぞれの試験で<sup>15</sup>N 硫酸と複数種の牛糞堆肥をそれぞれ単独に培養した場合と併用した場合とを比較検討

することで、無機質肥料と牛糞堆肥の併用下における由来別の無機態窒素の動態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 (H<sub>2</sub>O) : 6.6, EC : 0.1 dS m<sup>-1</sup>, 全炭素 : 60 g kg<sup>-1</sup>, 全窒素 : 4.0 g kg<sup>-1</sup>, アンモニア態窒素 : 5 mg kg<sup>-1</sup>, 硝酸態窒素 : 12 mg kg<sup>-1</sup>, 交換性 Ca, Mg, Na, K : 20.9, 5.2, 0.3, 0.5 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>, CEC : 43.4 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>であった。

試験には、全炭素、全窒素、C/N 比の異なる5種類の市販品の牛糞堆肥（以下、堆肥）を用いた（表1）。堆肥は、凍結乾燥後、微粉砕 (<1 mm) したものを供試した。堆肥の分析は、以下の方法で行なった。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、塩酸可溶性炭素は 1 mol L<sup>-1</sup> 塩酸で抽出（堆肥:塩酸 = 1 : 50）後、全有機炭素計（TOC-V<sub>CPN</sub>, Shimadzu）で、測定した。EC は水抽出し（堆肥 : 水 = 1 : 10）測定した。全リン酸、全加里、全石灰、全苦土含量は 500 °C で乾式灰化後、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。堆肥全窒素中の <sup>15</sup>N atom % は、元素分析計－同位体比質量分析計（NA2500-DELTA plus, ThermoScientific）で測定した。

### 2) 添加硫酸窒素量の違いが硫酸、堆肥併用下での無機態窒素の動態に及ぼす影響（試験1）

処理区の概要を表2に示した。<sup>15</sup>N 硫酸 (5.07 atom %) の添加量を 100, 200 mg-N kg<sup>-1</sup> の2段階設け、<sup>15</sup>N 硫酸単独の区、<sup>15</sup>N 硫酸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。堆肥は堆肥1～3の3種類を用い、堆肥の乾物としての添加量は、一般的な堆肥の施用量の範囲内<sup>9)</sup>の 20 g kg<sup>-1</sup> とした。したがって、堆肥の種類によって堆肥由来の窒素添加量は異なる。

### 3) 添加堆肥量の違いが硫酸、堆肥併用下での無機態窒素の動態に及ぼす影響（試験2）

処理区の概要を表3に示した。試験1で堆肥1～3を調べた結果、硫酸併用下の窒素の動態に堆肥の全炭素、全窒素、C/N 比との関連が認められたため、試験2では更に全炭素、全窒素、C/N 比、塩酸可溶性炭素が異なる堆肥3～5を選択した。試験2では、<sup>15</sup>N 硫酸 (3.05 atom %)

\* 本報告の一部を2006年度日本土壌肥料学会秋田大会において発表した。

<sup>1</sup> 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)

<sup>2</sup> 現在, JA 全農本所 (100-0004 東京都千代田区大手町1-8-3)

<sup>3</sup> 中央農業総合研究センター (305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1)

2007年7月26日受付・2007年10月19日受理

日本土壌肥料学雑誌 第79巻 第2号 p.163~171 (2008)

の添加量を 200 mg-N kg<sup>-1</sup> と一定にし、<sup>15</sup>N 硫安と併用した区の堆肥の添加量を 20, 40, 60 g kg<sup>-1</sup> と段階的に増やした。堆肥のみの区の堆肥添加量は 20 g kg<sup>-1</sup> のみとした。また試験 1 と同様無添加区も設けた。

4) 培養方法

100 mL 容の広口ガラス瓶 (サイズ: 直径 4 × 高さ 9 cm) に湿潤土を乾土換算で 25 g 秤量した。これに堆肥を添加する処理区には、所定量の堆肥を添加し、攪拌後、土壌水分が最大容水量の 60% となるように水を添加し、再度攪拌した。<sup>15</sup>N 硫安を添加する区には、水の代わりに、

予め所定の N 添加量となるよう調製した <sup>15</sup>N 硫安溶液を添加した。培養温度は 25 °C で、培養期間は、試験 1 では 100 日間 (取り出し日: 0, 2, 7, 14, 28, 56 および 100 日目)、試験 2 では 168 日間 (取り出し日: 0, 7, 28, 56, 84, 119 および 168 日目) 行なった。なお、すべての資材を添加した後すみやかに培養 0 日目の分析を行なった。両試験ともに、取り出し日ごとに 3 反復設けた。

5) 分析方法

所定期間培養後、広口ガラス瓶に 2 mol L<sup>-1</sup> KCl を 80 mL 添加、1 時間振とう後、そのろ液について、オートア

表 1 供試した牛糞堆肥の化学性

| サンプル | 全炭素                   | 全窒素 | C/N | 塩酸可溶<br>性炭素           | EC                    | P                     | K    | Ca   | Mg   | <sup>15</sup> N atom % |
|------|-----------------------|-----|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------|------|------|------------------------|
|      | (g kg <sup>-1</sup> ) |     |     | (g kg <sup>-1</sup> ) | (dS m <sup>-1</sup> ) | (g kg <sup>-1</sup> ) |      |      |      | (atom %)               |
| 堆肥 1 | 310                   | 23  | 14  | 13.9                  | 8.39                  | 11.2                  | 41.2 | 25.5 | 10.4 | 0.37                   |
| 堆肥 2 | 315                   | 25  | 13  | 13.2                  | 6.97                  | 12.5                  | 37.4 | 19.4 | 8.9  | 0.37                   |
| 堆肥 3 | 348                   | 13  | 26  | 4.5                   | 6.75                  | 18.5                  | 18.4 | 47.4 | 8.7  | 0.37                   |
| 堆肥 4 | 326                   | 27  | 12  | 22.5                  | 8.70                  | 17.0                  | 50.4 | 21.9 | 11.1 | 0.37                   |
| 堆肥 5 | 326                   | 21  | 16  | 6.4                   | 2.30                  | 11.3                  | 11.5 | 42.4 | 4.9  | 0.37                   |

表 2 試験 1 の処理区の概要

| 処理区             | <sup>15</sup> N 硫安<br>添加量<br>(mg-N kg 乾土 <sup>-1</sup> ) | 堆肥<br>添加量* <sup>1</sup><br>(g kg 乾土 <sup>-1</sup> ) | 堆肥由来窒素<br>添加量<br>(mg-N kg 乾土 <sup>-1</sup> ) |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 硫安 100 区        | 100                                                      | —                                                   | —                                            |
| 硫安 100 + 堆肥 1 区 | 100                                                      | 20                                                  | 458                                          |
| 硫安 100 + 堆肥 2 区 | 100                                                      | 20                                                  | 498                                          |
| 硫安 100 + 堆肥 3 区 | 100                                                      | 20                                                  | 269                                          |
| 硫安 200 区        | 200                                                      | —                                                   | —                                            |
| 硫安 200 + 堆肥 1 区 | 200                                                      | 20                                                  | 458                                          |
| 硫安 200 + 堆肥 2 区 | 200                                                      | 20                                                  | 498                                          |
| 硫安 200 + 堆肥 3 区 | 200                                                      | 20                                                  | 269                                          |
| 堆肥 1 区          | —                                                        | 20                                                  | 458                                          |
| 堆肥 2 区          | —                                                        | 20                                                  | 498                                          |
| 堆肥 3 区          | —                                                        | 20                                                  | 269                                          |
| 無添加区            | —                                                        | —                                                   | —                                            |

— 無添加

\*<sup>1</sup> 堆肥の添加量は乾物として

表 3 試験 2 の処理区の概要

| 処理区            | <sup>15</sup> N 硫安<br>添加量<br>(mg-N kg 乾土 <sup>-1</sup> ) | 堆肥<br>添加量* <sup>1</sup><br>(g kg 乾土 <sup>-1</sup> ) | 堆肥由来窒素<br>添加量<br>(mg-N kg 乾土 <sup>-1</sup> ) |
|----------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 硫安区            | 200                                                      | —                                                   | —                                            |
| 硫安 + 堆肥 3-20 区 | 200                                                      | 20                                                  | 269                                          |
| 硫安 + 堆肥 3-40 区 | 200                                                      | 40                                                  | 538                                          |
| 硫安 + 堆肥 3-60 区 | 200                                                      | 60                                                  | 806                                          |
| 硫安 + 堆肥 4-20 区 | 200                                                      | 20                                                  | 536                                          |
| 硫安 + 堆肥 4-40 区 | 200                                                      | 40                                                  | 1073                                         |
| 硫安 + 堆肥 4-60 区 | 200                                                      | 60                                                  | 1609                                         |
| 硫安 + 堆肥 5-20 区 | 200                                                      | 20                                                  | 418                                          |
| 硫安 + 堆肥 5-40 区 | 200                                                      | 40                                                  | 837                                          |
| 硫安 + 堆肥 5-60 区 | 200                                                      | 60                                                  | 1255                                         |
| 堆肥 3 区         | —                                                        | 20                                                  | 269                                          |
| 堆肥 4 区         | —                                                        | 20                                                  | 536                                          |
| 堆肥 5 区         | —                                                        | 20                                                  | 418                                          |
| 無添加区           | —                                                        | —                                                   | —                                            |

— 無添加

\*<sup>1</sup> 堆肥の添加量は乾物として

ナライザー (SWAAT, BLTEC) でアンモニア態, 硝酸態窒素を測定した. 試験1, 2ともに, 培養7日目以降, アンモニア態窒素は, ほとんど存在しなかった ( $<3\text{mg-N kg}^{-1}$ ) ので, アンモニア態窒素と硝酸態窒素の合量を無機態窒素として示した. この抽出液の一定量に  $\text{MgO}$  とデバルタ合金を添加, 水蒸気蒸留法<sup>8)</sup>により無機態窒素を濃縮回収し, 無機態窒素中の $^{15}\text{N}$ 存在比 (atom%) を同位体比質量分析計 (試験1: ANCA-SL, SerCon, 試験2: NA2500-DELTA plus, ThermoScientific) で測定した. 無機態窒素量と $^{15}\text{N}$ 存在比から $^{15}\text{N}$ 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 $^{15}\text{N}$ 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.

試験1, 2ともに最後の取り出し日には, 培養直後の土壌を乾土換算で約5g取り出し, 凍結乾燥後, 土壌の全窒素量とその $^{15}\text{N}$ 存在比をそれぞれNCアナライザー, 同位体比質量分析計で測定した.

### 3. 結 果

#### 1) 添加硫安窒素量の違いが硫安, 堆肥併用下での無機態窒素の動態に及ぼす影響 (試験1)

##### (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

各資材由来の見かけ上の無機態窒素量を, 各処理区の値から無添加区の値を差し引いて算出し, 表4に示した. $^{15}\text{N}$ 硫安と堆肥を併用した場合, 資材とは $^{15}\text{N}$ 硫安と堆肥の両者を意味する. なお, 無添加区の無機態窒素量は, 培養期間に伴って増加し, 培養終了時 (100日目) には $57\text{mg-N kg}^{-1}$ であった (図1左). 堆肥1区, 堆肥2区, 堆肥3区の資材由来の無機態窒素量は, すべて同様の傾向を示した. すなわち, 培養14日目までは, ほぼ一定の値であったが, その後減少し, 培養100日目の無機態窒素量は0日目より少なかった. 他方,  $^{15}\text{N}$ 硫安を単独添加した区 (硫安100区, 硫安200区) の無機態窒素量は, 培養期間を通じてほぼ一定で推移した. 次いで,  $^{15}\text{N}$ 硫安と堆肥の単独培養と併用した場合を比較した (表4). すなわち,  $^{15}\text{N}$ 硫安と堆肥を併用した処理区 (硫安100+堆肥1区, 硫安100+堆肥2区, 硫安100+堆肥3区, 硫安200+堆肥1区,

表4 資材由来の見かけ上の無機態窒素量と $^{15}\text{N}$ 硫安, 堆肥の併用による無機態窒素の増減量 (試験1:  $\text{mg-N kg 乾土}^{-1}$ )

| 処理区             | 培養日数 (day) | 資材由来の無機態窒素量*1,*2 |         |         |         |         |         |         | <sup>15</sup> N 硫安, 堆肥の併用による無機態窒素の増減量*1,*3 |        |        |        |        |        |         |
|-----------------|------------|------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                 |            | 0                | 2       | 7       | 14      | 28      | 56      | 100     | 0                                          | 2      | 7      | 14     | 28     | 56     | 100     |
| 硫安 100 区        |            | 83 ± 1           | 81 ± 2  | 81 ± 2  | 86 ± 2  | 89 ± 3  | 86 ± 3  | 83 ± 8  | —                                          | —      | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 100 + 堆肥 1 区 |            | 112 ± 2          | 116 ± 3 | 132 ± 2 | 131 ± 4 | 112 ± 3 | 108 ± 7 | 129 ± 8 | 0 ± 3                                      | 6 ± 4  | 23 ± 3 | 20 ± 5 | 13 ± 4 | 19 ± 8 | 33 ± 14 |
| 硫安 100 + 堆肥 2 区 |            | 91 ± 3           | 87 ± 2  | 109 ± 1 | 112 ± 3 | 89 ± 5  | 85 ± 1  | 93 ± 13 | 5 ± 3                                      | 2 ± 3  | 21 ± 2 | 21 ± 4 | 9 ± 6  | 21 ± 3 | 26 ± 16 |
| 硫安 100 + 堆肥 3 区 |            | 85 ± 1           | 84 ± 2  | 101 ± 4 | 101 ± 4 | 93 ± 1  | 83 ± 12 | 89 ± 15 | 1 ± 2                                      | -1 ± 3 | 13 ± 5 | 5 ± 5  | 0 ± 4  | 4 ± 12 | 28 ± 17 |
| 硫安 200 区        |            | 194 ± 3          | 170 ± 3 | 184 ± 2 | 196 ± 3 | 191 ± 2 | 187 ± 2 | 176 ± 3 | —                                          | —      | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 200 + 堆肥 1 区 |            | 228 ± 10         | 194 ± 3 | 226 ± 7 | 224 ± 3 | 213 ± 4 | 213 ± 3 | 216 ± 3 | 5 ± 11                                     | -5 ± 4 | 14 ± 7 | 3 ± 5  | 12 ± 5 | 23 ± 4 | 27 ± 9  |
| 硫安 200 + 堆肥 2 区 |            | 192 ± 1          | 170 ± 5 | 199 ± 5 | 205 ± 4 | 196 ± 4 | 191 ± 5 | 186 ± 6 | -5 ± 3                                     | -4 ± 6 | 8 ± 5  | 4 ± 5  | 14 ± 5 | 26 ± 5 | 26 ± 8  |
| 硫安 200 + 堆肥 3 区 |            | 200 ± 19         | 181 ± 5 | 190 ± 4 | 204 ± 3 | 202 ± 1 | 201 ± 5 | 183 ± 3 | 5 ± 19                                     | 7 ± 6  | -1 ± 5 | -2 ± 4 | 7 ± 3  | 21 ± 5 | 29 ± 5  |
| 堆肥 1 区          |            | 29 ± 2           | 29 ± 1  | 28 ± 1  | 25 ± 2  | 10 ± 1  | 3 ± 2   | 13 ± 8  | —                                          | —      | —      | —      | —      | —      | —       |
| 堆肥 2 区          |            | 3 ± 1            | 4 ± 1   | 7 ± 1   | 5 ± 1   | -9 ± 1  | -22 ± 1 | -16 ± 4 | —                                          | —      | —      | —      | —      | —      | —       |
| 堆肥 3 区          |            | 1 ± 1            | 4 ± 1   | 7 ± 1   | 10 ± 1  | 4 ± 2   | -7 ± 1  | -22 ± 2 | —                                          | —      | —      | —      | —      | —      | —       |

\*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100 (200)+堆肥1 (2, 3) 区の無機態窒素量) - (硫安100 (200) 区と堆肥1 (2, 3) 区の無機態窒素量の和)

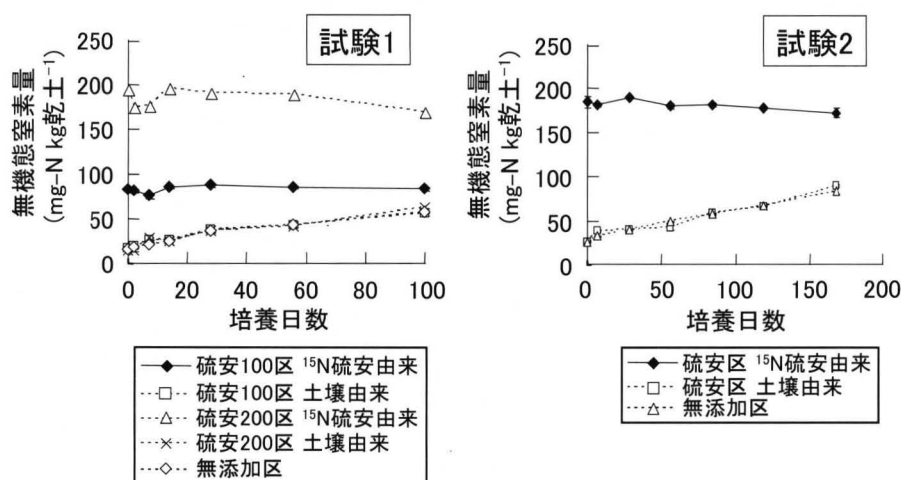


図1 堆肥を添加していない区における由来別の無機態窒素量の推移  
バーは, S.E. ( $n=3$ ) を示す.

硫安 200+堆肥 2 区, 硫安 200+堆肥 3 区) から  $^{15}\text{N}$  硫安の単独培養 (硫安 100 区, 硫安 200 区) と堆肥の単独培養 (堆肥 1 区, 堆肥 2 区, 堆肥 3 区) の資材由来の無機態窒素量の合計を差し引いた値を求めた. 培養直後 (0, 2 日目) は,  $^{15}\text{N}$  硫安の添加量や堆肥の種類に関係なく, 併用と単独培養の無機態窒素量に違いは見られなかった. しかしながら,  $^{15}\text{N}$  硫安を  $100\text{ mg-N kg}^{-1}$  添加した処理区では堆肥 1, 2, 3 それぞれ 7, 7, 100 日目以降,  $^{15}\text{N}$  硫安を  $200\text{ mg-N kg}^{-1}$  添加した処理区では堆肥 1, 2, 3 でそれぞれ 28, 28, 56 日目以降, 各単独培養での合計より併用した区の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 1 (左) に硫安 100 区, 硫安 200 区, 無添加区における由来別の無機態窒素量の推移を示した. 硫安 100 区, 硫安 200 区の  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量は, 培養 2, 7 日目に一旦減少したが, その後ほぼ一定で推移した. 他方, 土壌由来の無機態窒素量は, 両区ともに無添加区のそれと同様の推移を示した.

図 2 (左) に  $^{15}\text{N}$  硫安と堆肥を併用した処理区における  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量の推移を示した. 硫安 100+堆肥 1 区, 硫安 100+堆肥 2 区, 硫安 100+堆肥 3 区の  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量は, 培養 28, 56 日目において, 硫安 100 区よりも少なかった. また, その差は硫安 100+堆

肥 1 区, 硫安 100+堆肥 2 区よりも硫安 100+堆肥 3 区で小さかった. 硫安 200 区に比べて, 硫安 200+堆肥 1 区, 硫安 200+堆肥 2 区で  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量は少なく推移したが, 硫安 200+堆肥 3 区では硫安 200 区と比較して違いは見られなかった.

図 3 (左) に無添加区および堆肥添加区における土壌 + 堆肥由来の無機態窒素量の推移を示した. 堆肥 1, 2 では培養 7 日目以降, 堆肥 3 では培養 28 日目以降,  $^{15}\text{N}$  硫安と併用した区の土壌 + 堆肥由来の無機態窒素量が堆肥のみの区よりも多く推移した. 培養 28 日目における  $^{15}\text{N}$  硫安と併用した区と堆肥のみの区の土壌 + 堆肥由来の無機態窒素量の差およびその堆肥全窒素量に対する比率は, 堆肥 1 では硫安  $100, 200\text{ mg-N kg}^{-1}$  添加でそれぞれ  $29.0, 40.6\text{ mg-N kg}^{-1}$  (6.3, 8.9%) であった. 同様に, 堆肥 2 では硫安  $100, 200\text{ mg-N kg}^{-1}$  添加でそれぞれ  $26.8, 43.4\text{ mg-N kg}^{-1}$  (5.4, 8.7%), 堆肥 3 では硫安  $100, 200\text{ mg-N kg}^{-1}$  添加でそれぞれ  $9.5, 12.4\text{ mg-N kg}^{-1}$  (3.5, 4.6%) であった.

## (3) 培養終了時における土壌中 $^{15}\text{N}$ 硫安由来の全窒素量

図 4 (左) に培養 100 日目の土壌の  $^{15}\text{N}$  硫安由来の全窒素量を示した.  $^{15}\text{N}$  硫安の添加量に関係なく,  $^{15}\text{N}$  硫安単独の処理区と堆肥を併用した処理区とで  $^{15}\text{N}$  硫安由来の全窒素量に違いはなかった. また,  $^{15}\text{N}$  硫安由来の全窒素量と培養 0 日目の  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量 (図 2 左) と

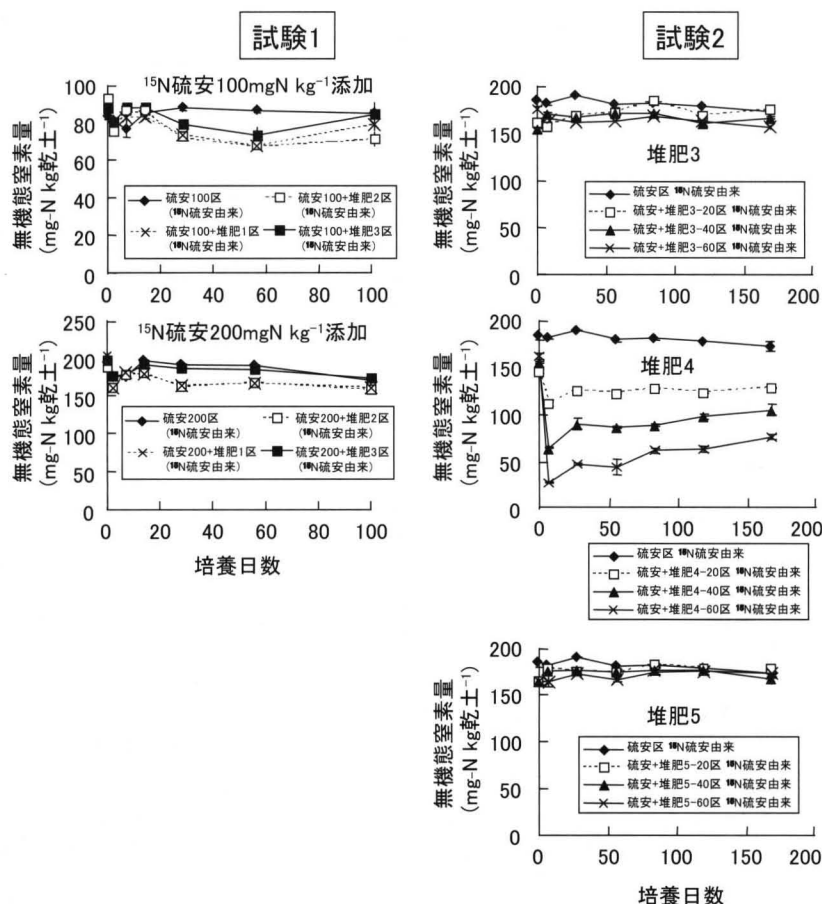


図2  $^{15}\text{N}$  硫安由来の無機態窒素量の推移  
バーは, S.E. ( $n=3$ ) を示す.

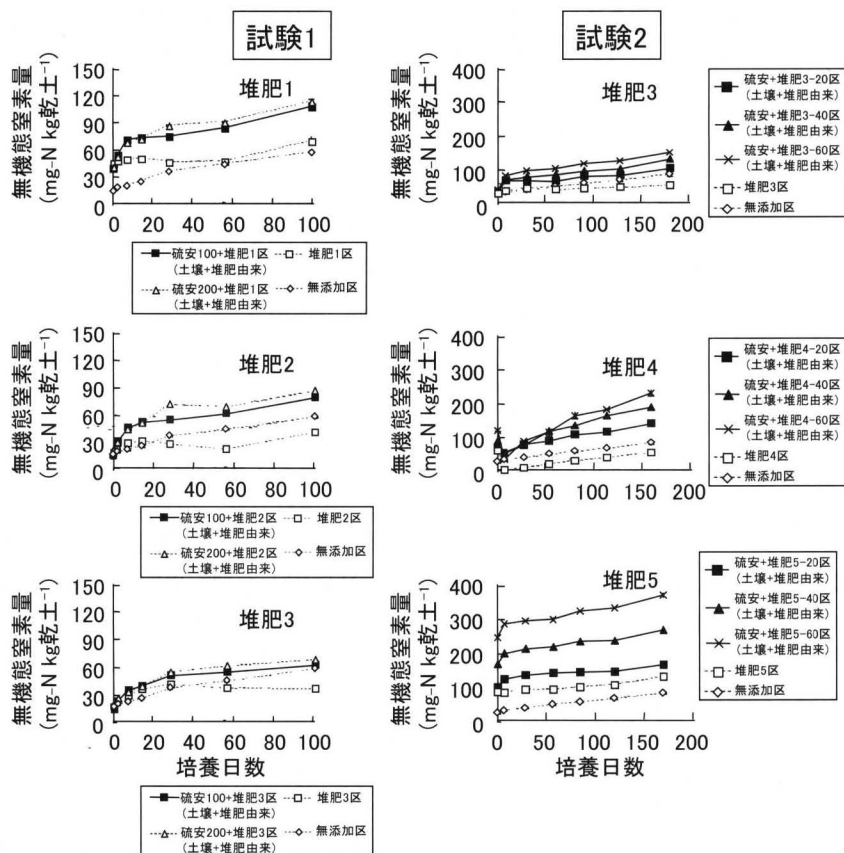


図3 土壌 + 堆肥由来の無機態窒素量の推移  
バーは、S.E. ( $n=3$ ) を示す。

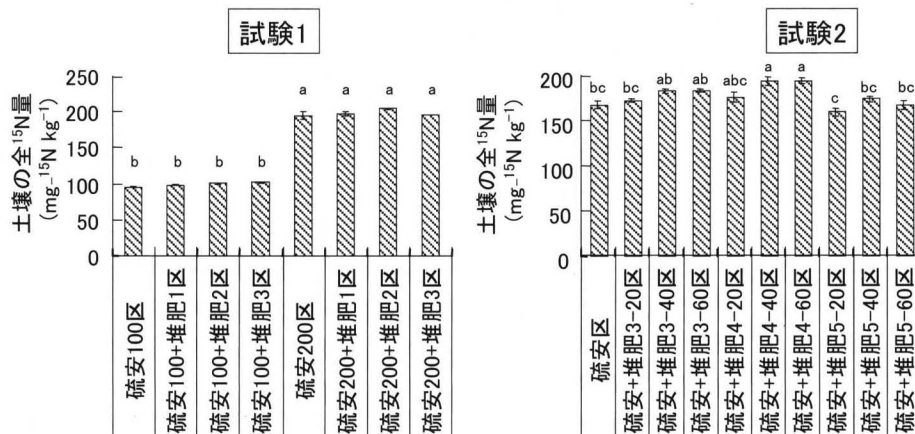


図4 培養終了時における土壌中の<sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量  
バーは、S.E. ( $n=3$ ) を示す。  
異なるアルファベット間において5%水準で有意差があることを示す (Tukey-Kramer の HSD 検定)。

に大きな違いはなかった。

## 2) 添加堆肥量の違いが硫安、堆肥併用下での無機態窒素の動態に及ぼす影響 (試験2)

### (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

資材由来の見かけ上の無機態窒素量を試験1と同様の方法で算出し、表5に示した。なお、無添加区の無機態窒素

量は、培養期間に伴って増加する傾向であり、培養終了時 (168日目) には  $84 \text{ mg-N kg}^{-1}$  であった (図1右)。硫安区の資材由来の無機態窒素量は、培養期間を通して  $173 \sim 190 \text{ mg-N kg}^{-1}$  の範囲にあり、ほぼ一定であった。堆肥3区、堆肥4区、堆肥5区の資材由来の無機態窒素量は、堆肥の種類によって異なった (表5)。すなわち、堆肥3区では培養開始から培養28日目までほぼ一定であったが、

表5 資材由来の見かけ上の無機態窒素量と <sup>15</sup>N 硫安、堆肥の併用による無機態窒素の増減量 (試験 2: mg-N/kg 乾土<sup>-1</sup>)

| 処理区            | 培養日数 (day) | 資材由来の無機態窒素量*1,*2 |         |         |          |          |         | <sup>15</sup> N 硫安、堆肥の併用による無機態窒素の増減量*1,*3 |         |         |        |        |        |        |         |
|----------------|------------|------------------|---------|---------|----------|----------|---------|-------------------------------------------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|---------|
|                |            | 0                | 7       | 28      | 56       | 84       | 119     | 168                                       | 0       | 7       | 28     | 56     | 84     | 119    | 168     |
| 硫安区            |            | 185 ± 7          | 188 ± 2 | 190 ± 1 | 173 ± 5  | 182 ± 3  | 177 ± 1 | 178 ± 7                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 3-20 区 |            | 171 ± 4          | 193 ± 2 | 198 ± 3 | 190 ± 2  | 207 ± 3  | 185 ± 3 | 195 ± 4                                   | -16 ± 6 | -1 ± 3  | 5 ± 3  | 24 ± 5 | 39 ± 5 | 28 ± 4 | 47 ± 9  |
| 硫安 + 堆肥 3-40 区 |            | 162 ± 2          | 208 ± 2 | 206 ± 1 | 206 ± 1  | 208 ± 2  | 195 ± 4 | 212 ± 4                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 3-60 区 |            | 189 ± 6          | 217 ± 1 | 218 ± 2 | 217 ± 2  | 229 ± 1  | 223 ± 2 | 223 ± 5                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 4-20 区 |            | 186 ± 4          | 135 ± 3 | 166 ± 6 | 164 ± 1  | 178 ± 1  | 173 ± 3 | 186 ± 4                                   | -33 ± 6 | -25 ± 4 | 6 ± 6  | 20 ± 5 | 22 ± 4 | 23 ± 3 | 37 ± 9  |
| 硫安 + 堆肥 4-40 区 |            | 219 ± 2          | 87 ± 1  | 128 ± 2 | 156 ± 2  | 165 ± 3  | 194 ± 6 | 211 ± 6                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 4-60 区 |            | 257 ± 5          | 30 ± 1  | 97 ± 3  | 112 ± 21 | 169 ± 12 | 181 ± 3 | 225 ± 12                                  | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 5-20 区 |            | 239 ± 2          | 269 ± 2 | 270 ± 1 | 266 ± 4  | 270 ± 7  | 256 ± 1 | 260 ± 5                                   | -8 ± 5  | 27 ± 3  | 27 ± 2 | 47 ± 6 | 46 ± 8 | 40 ± 2 | 34 ± 10 |
| 硫安 + 堆肥 5-40 区 |            | 306 ± 4          | 341 ± 2 | 348 ± 1 | 342 ± 1  | 353 ± 12 | 346 ± 2 | 349 ± 12                                  | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 硫安 + 堆肥 5-60 区 |            | 383 ± 2          | 415 ± 6 | 424 ± 2 | 413 ± 6  | 437 ± 4  | 438 ± 3 | 455 ± 11                                  | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 堆肥 3 区         |            | 2 ± 2            | 6 ± 0   | 3 ± 1   | -7 ± 1   | -14 ± 2  | -20 ± 2 | -30 ± 5                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 堆肥 4 区         |            | 34 ± 2           | -28 ± 0 | -30 ± 1 | -29 ± 1  | -26 ± 2  | -27 ± 1 | -29 ± 5                                   | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |
| 堆肥 5 区         |            | 62 ± 2           | 54 ± 1  | 53 ± 1  | 46 ± 1   | 42 ± 3   | 39 ± 2  | 48 ± 5                                    | —       | —       | —      | —      | —      | —      | —       |

\*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 + 堆肥 3 (4, 5) -20 区の無機態窒素) - (硫安区と堆肥 3 (4, 5) 区の無機態窒素量の和)

その後徐々に低下し、168 日目には-30mg-Nkg<sup>-1</sup>となった。堆肥 4 区では培養 0 日目から 7 日目にかけて急激に低下し、その後はほぼ同様の値で推移した。また堆肥 5 区では培養期間に伴って資材由来の無機態窒素量が低下する傾向であった。次いで、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥の単独培養と併用した場合の相違を比較した (表 5)。この値は、試験 1 と同様の方法でもとめた。堆肥 3 では、試験 1 と同様の傾向を示し、培養 56 日目以降、各単独培養での合計より併用した区の資材由来の無機態窒素量が多く推移した。一方で、堆肥 4 では培養直後 (0 日目) は各単独培養での合計より併用した区の資材由来の無機態窒素量が少なく、培養期間に伴って増加、培養 56 日目以降、併用した区で多くなった。堆肥 5 では培養 7 日目以降、各単独培養での合計より併用した区の資材由来の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 1 (右) に硫安区、無添加区における由来別の無機態窒素量の推移を示した。硫安区の <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量は、培養 7 日から 28 日目にかけて増加し、その後培養期間を通して、173~190mg-Nkg<sup>-1</sup>の範囲で推移した。硫安区の土壌由来の無機態窒素量は、無添加区のそれと同様の推移を示した。

図 2 (右) に <sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した区における <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量の推移を示した。堆肥 3, 5 を併用した区の <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量は、堆肥の添加量に関係なくほぼ同様に、硫安区の値よりも少なく推移した。他方、堆肥 4 では堆肥の添加量が多くなると、<sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量は少なくなった。また堆肥や添加量の違いによらず、培養期間が進むにつれ、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した区と硫安区の <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量の差は小さくなる傾向であった。

図 3 (右) に <sup>15</sup>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、堆肥のみの区よりも <sup>15</sup>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が多く推移し、その差は堆肥の添加量の増加に伴って拡大した。培養 28 日目にお

る <sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した区と堆肥のみの区の土壌 + 堆肥由来の無機態窒素量の差は、堆肥 20 g kg<sup>-1</sup> 添加のとき、堆肥 3, 4, 5 でそれぞれ 25.5, 70.6, 41.6 mg-Nkg<sup>-1</sup> であった。またこの差は、添加した堆肥の全窒素量に対して、堆肥 3, 4, 5 でそれぞれ 9.5, 13.1, 10.0% に相当した。

(3) 培養終了時における土壌中 <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量

図 4 (右) に培養 168 日目の土壌中の <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量を示した。堆肥の添加量の違いによらず、硫安 + 堆肥 4-40 区、硫安 + 堆肥 4-60 区を除き、硫安区と <sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した処理区とで <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量に有意な違いはなかった。また、この <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量と培養 0 日目の <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量 (図 2 右) とに大きな違いはなかった。

4. 考 察

1) <sup>15</sup>N 硫安と堆肥併用下の硫安由来窒素の動態

本試験の培養試験の結果、すべての堆肥において、<sup>15</sup>N 硫安を単独で添加した区に比べ、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した区で、<sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量が低く推移した (図 2)。ところで、培養終了時の <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量は、<sup>15</sup>N 硫安を単独添加した区と堆肥と併用した区とで違いはなかった (図 4)。加えて、この <sup>15</sup>N 硫安由来の全窒素量と培養 0 日目の <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量 (図 2) とに大きな違いはなかった。したがって、本試験において <sup>15</sup>N 硫安由来窒素のガス化等による損失は小さかったものと考えられた。堆肥等有機物の添加でバイオマスへの窒素の取り込みが増加することが知られており<sup>7, 21, 25)</sup>、堆肥と併用した区で <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量が低く推移したことは、肥料由来窒素の有機化が堆肥との併用で促進されたためと考えられた。また、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した処理区と <sup>15</sup>N 硫安単独の処理区における <sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素量の差は、培養期間が進むにつれて、小さくなる傾向であったが (図 2)、このことは 1 度有機化された窒素の再無機化<sup>6, 16)</sup> によるものと推察した。

<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用することで、すべての堆肥におい

て有機化が促進されたが、その促進量は堆肥の種類によって異なった（図2）。堆肥の種類や添加量の違いによって<sup>15</sup>N 硫安由来の有機化に違いが生じた要因には、堆肥中の塩酸可溶性炭素量（表1）の違いが関与しているものと推察した。堆肥中の塩酸可溶性炭素は、無機化されやすい炭素と考えられている<sup>22)</sup>。また、土壌中での炭素の無機化量の増加によって無機態窒素の有機化が増加することが知られている<sup>1~3,15,17,28)</sup>。したがって、塩酸可溶性炭素が多い堆肥ほど、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した際に、<sup>15</sup>N 硫安由来の無機態窒素がより多く有機化されたと推察した。以上のことから、易分解性炭素の少ない堆肥、すなわち腐熟の進んだ堆肥<sup>22,27)</sup>のほうが、無機質肥料由来窒素の有機化量が少ないため、堆肥との併用による無機質肥料由来窒素の減少を考慮する必要性が低いと推察された。しかしながら、本試験では塩酸可溶性炭素量が多い堆肥（表1、堆肥4）を1種類しか用いなかったため、堆肥の塩酸可溶性炭素と無機質肥料由来窒素の有機化量との関係を十分に検討できなかった。今後更にこの点について検討を行い、堆肥との併用による無機質肥料由来窒素の動態を評価する必要がある。

## 2) <sup>15</sup>N 硫安と堆肥併用下の堆肥由来窒素の動態

今回試験に供したすべての堆肥において、<sup>15</sup>N 硫安と併用することで、土壌+堆肥由来の無機態窒素の発現が堆肥単独の結果よりも増加した（図3）。このことは、無機質肥料と堆肥を併用することで、土壌+堆肥由来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。この他に、priming effect<sup>12,13,24)</sup>、すなわち肥料由来窒素の有機化との入れ替わりによって土壌+堆肥由来窒素の無機化が促進されたことも考えられた。しかしながら、堆肥4以外では併用による<sup>15</sup>N 硫安由来窒素の有機化増加量（図2）よりも土壌+堆肥窒素の無機化増加量の方が常に多かった（図3）。加えて前述のように<sup>15</sup>N 硫安由来窒素は再無機化する傾向であった一方で、土壌+堆肥由来の無機態窒素も増加する傾向であった。したがって有機化と無機化の入れ替わりのみでは、土壌+堆肥由来窒素の無機化促進を説明できない。堆肥無添加では、土壌へ<sup>15</sup>N 硫安を添加しても土壌由来窒素の無機化量に影響はなかったことから（図1）、<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用した際に増加した無機態窒素の多くは、堆肥に由来するものと推察した。培養期間にこのように土壌へ添加した有機物の分解あるいは無機化が無機質の窒素肥料を添加することで促進されることは、Lueken *et al.*<sup>14)</sup>、Han *et al.*<sup>11)</sup>、Moran *et al.*<sup>18)</sup> によっても報告されている。硫安と堆肥を併用することで、土壌中の微生物活性が増加し<sup>4,10,11)</sup>、堆肥窒素の無機化が促進されたことが示唆された。

<sup>15</sup>N 硫安と堆肥を併用することで増加した堆肥由来の無機態窒素量（培養28日目）は、添加した堆肥の全窒素量に対して、試験1では堆肥1,2,3でそれぞれ6.3~8.9, 5.4~8.7, 3.5~4.6%、試験2では堆肥3,4,5でそれぞれ9.5, 13.1, 10.0%に相当した。したがって本培養試験の結果、無機質肥料と堆肥を併用することで、堆肥の無機化率が

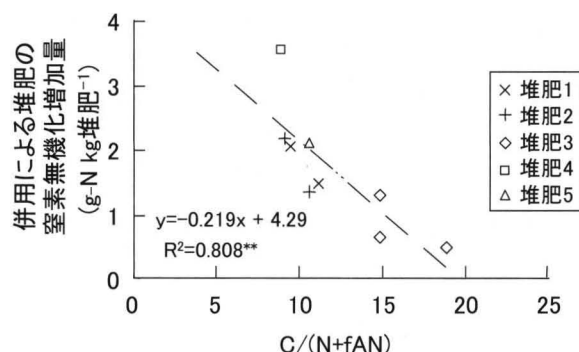


図5 C/(N+fAN) と併用による堆肥の窒素無機化増加量（培養28日目）との関係

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

およそ5~10% 増加することが明らかとなった。また添加した堆肥中の全炭素量 (C: mg-C kg 乾土<sup>-1</sup>)、全窒素量 (N: mg-N kg 乾土<sup>-1</sup>) と添加した<sup>15</sup>N 硫安の窒素量 (fAN: mg-N kg 乾土<sup>-1</sup>) 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)）と培養28日目の堆肥の窒素無機化増加量との関係を検討した（図5）。培養28日目すなわち堆肥施用から28日後は、堆肥をすき込んでから作物栽培を開始すると考えると、作物生育が進み、ちょうど窒素吸収が旺盛になり始める時期と考えられる。両者の関係を検討した結果、C/(N+fAN) と併用による堆肥の無機化窒素増加量とには負の相関関係が認められた。この負の相関関係は、56日目においても認められた ( $y = -0.200x + 4.34$ ;  $R^2 = 0.741^*$ )。堆肥の種類、堆肥単独添加での無機態窒素の発現パターンが異なっても（表4, 5）、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、C/(N+fAN) と硫安との併用による堆肥の無機化窒素の増大量とには一定の関係があるものと思われた。以上のように、無機質肥料と堆肥を併用することで、堆肥の無機化が促進されることが、またその促進量はC/(N+fAN) と負の相関関係があることが明らかになった。したがって、堆肥を施用する際に、C/(N+fAN) を勘案することで、堆肥由来窒素の無機化増加量を推定することができるものと推察された。しかしながら、本試験は培養試験の結果であり、実際の作物を栽培している土壌で同様な現象が起こるかどうか、作物の窒素吸収との関係、あるいは土壌の種類の違いなど更に検討する必要がある。今後はこれらの課題を検討し、無機質肥料と堆肥を併用した場合の由来別の無機態窒素の動態をコントロールする技術を確立することが必要である。

## 3) <sup>15</sup>N 硫安と堆肥の併用による全無機態窒素の増減要因

以上述べてきたように本試験の結果、硫安と堆肥の併用下での無機態窒素の動態は、硫安と堆肥をそれぞれ単独に培養した結果とは異なることが明らかとなった。両者を併用した場合、堆肥由来窒素の無機化が増加、肥料由来の窒

素は有機化され、この両者の加算によりトータルの無機態窒素量が決定されると考えられる。したがって、用いる堆肥のC/N比、易分解性炭素量あるいは添加窒素量によって併用による正あるいは負の効果が生じる可能性がある。例えば、堆肥4を除く全ての堆肥で併用下での無機態窒素量が単独培養よりも多かった一方で(表4,5)、肥料由来窒素の有機化量が多かった堆肥4では、培養28日目までは単独培養よりも併用条件において無機態窒素量が少なかった(表5)。以上のことから、無機質肥料と堆肥を併用する際に、両者の持つ窒素を最大限生かすためには、併用による急激な有機化が生じにくい、すなわち易分解性炭素量の少ない堆肥を用いることが望ましい。そのうえで、 $C/(N+fAN)$ を勘案し、堆肥由来窒素の無機化増加量を推定すれば、適正な施肥量が算出可能となる。

## 5. 要 約

無機質肥料と牛糞堆肥の併用下における無機態窒素の動態を明らかにするために、 $^{15}N$  硫酸と複数種の牛糞堆肥をそれぞれ単独に培養した場合と併用した場合とを比較し、併用下における無機態窒素の動態について検討した。

1) 堆肥を併用した際の $^{15}N$  硫酸由来の無機態窒素は、 $^{15}N$  硫酸単独で培養した結果に比べ、その量が少なく、併用することによって有機化が生じていた。またその有機化量は、堆肥の易分解性炭素量と関係があることが示唆された。一旦有機化された $^{15}N$  硫酸由来の窒素は、培養期間の増加とともに再無機化される傾向であった。

2) 堆肥由来の無機態窒素は、 $^{15}N$  硫酸と併用することで、堆肥単独よりもその無機化が1ヶ月間でおおよそ5~10%増加することが明らかとなった。また、その無機化量の増加は、堆肥の全炭素( $C: mg-C kg 乾土^{-1}$ )、全窒素( $N: mg-N kg 乾土^{-1}$ )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。

以上本研究により、 $^{15}N$  硫酸と堆肥の併用下での無機態窒素量は、両者をそれぞれ単独添加した場合と異なることが明らかとなった。無機質肥料と牛糞堆肥の併用下において、両者の持つ窒素を最大限生かすためには、併用による急激な有機化が生じにくい堆肥を選択することが重要である。そのうえで $C/(N+fAN)$ を勘案することにより堆肥由来窒素の無機化増加量を推定すれば、適正な施肥量が算出可能となる。

謝 辞: 窒素安定同位体比の測定にあたり多大なご協力を頂きました名古屋大学大学院生命農学研究科准教授渡邊 彰博士に感謝申し上げます。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

- Accoe, F., Boeckx, P., Busschaert, J., Hofman, G. and Cleemput, O. V.: 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 (2004)
- Barrett, J. E. and Burke, I. C.: Potential nitrogen immobilization in grassland soils across a soil organic matter gradient. *Soil Biol. Biochem.*, **32**, 1707~1716 (2000)
- Bengtsson, G., Bengtson, P. and Månsson, K. F.: Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biol. Biochem.*, **35**, 143~154 (2003)
- Breland, T. A. and Hansen, S.: Comparison of the difference method and  $^{15}N$  technique for studying the fate of nitrogen from plant residues in soil. *Biol. Fertil. Soils*, **26**, 164~168 (1998)
- Calderon, F. J., McCarty, G. W. and Reeves III, J. B.: Analysis of manure and soil nitrogen mineralization during incubation. *Biol. Fertil. Soils*, **41**, 328~336 (2005)
- Chaves, B., Neve, S. D., Boeckx, P., Berko, C., Cleemput, O. V. and Hofman, G.: Manipulating the N release from  $^{15}N$  labelled celery residues by using straw and vinasses. *Soil Biol. Biochem.*, **38**, 2244~2254 (2006)
- Choi, W. J., Ro, H. M. and Chang, S. X.: Recovery of fertilizer-derived inorganic- $^{15}N$  in a vegetable field soil as affected by application of an organic amendment. *Plant Soil*, **263**, 191~201 (2004)
- 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)
- 藤原俊六郎: 堆肥, 肥料土づくり資材大事典, 農文協編, p. 409~410, 農文協, 東京 (2007)
- 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)
- 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)
- Jenkinson, D. S., Fox, R. H. and Rayner, J. H.: Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen – the so-called 'priming' effect. *J. Soil Sci.*, **36**, 425~444 (1985)
- Kuzayakov, Y., Friedel, J. K. and Stahr, K.: Review of mechanisms and quantification of priming effects. *Soil Biol. Biochem.*, **32**, 1485~1498 (2000)
- 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)
- Luxhøi, J., Bruun, S., Stenberg, B., Breland, T. A. and Jensen, L. S.: Prediction of gross and net nitrogen mineralization-immobilization turnover from respiration. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **70**, 1121~1128 (2006)
- Marumoto, T., Anderson, J. P. E. and Domsch, K. H.: Decomposition of  $^{14}C$ - and  $^{15}N$ -labelled microbial cells in soil. *Soil Biol. Biochem.*, **14**, 461~467 (1982)
- Mary, B., Recous, S., Darwis, D. and Robin, D.: Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling

- in soil. *Plant Soil*, **181**, 71~82 (1996)
- 18) 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)
  - 19) 西尾 隆・三浦憲蔵：有機質資材と化学肥料の併用下における畑土壌中の窒素動態の特徴と窒素収支. *土肥誌*, **75**, 445~451 (2004)
  - 20) Nishio, T. and Oka, N.: Effect of organic matter application on the fate of  $^{15}\text{N}$ -labeled ammonium fertilizer in an upland soil. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **49**, 397~403 (2003)
  - 21) Ocio, J. A., Brookes, P. C. and Jenkinson, D. S.: Field incorporation of straw and its effects on soil microbial biomass and soil inorganic N. *Soil Biol. Biochem.*, **23**, 171~176 (1991)
  - 22) Pare, T., Dinel, H., Schnitzer, M. and Dumontet, S.: Transformations of carbon and nitrogen during composting of animal manure and shredded paper. *Biol. Fertil. Soils*, **26**, 173~178 (1998)
  - 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, p. 14~22, 朝倉書店, 東京 (2006)
  - 24) Shen, S. M., Pruden, G. and Jenkinson, D. S.: Mineralization and immobilization of nitrogen in fumigated soil and the measurement of microbial biomass nitrogen. *Soil Biol. Biochem.*, **16**, 437~444 (1984)
  - 25) Shi, W., Miller, B. E., Stark, J. M. and Norton, J. M.: Microbial nitrogen transformations in response to treated dairy waste in agricultural soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 1867~1874 (2004)
  - 26) 高橋 茂・山室成一・小野信一：重窒素標識された牛糞堆肥由来窒素の水稲およびトマトによる吸収, *土肥誌*, **71**, 246~248 (2000)
  - 27) 田中福代：フィールドから展開される土壤肥料学—新たな視点でデータを採る・見る—2. 水田における施用有機物の分解と水稲生育, *土肥誌*, **72**, 582~587 (2001)
  - 28) Trinsoutrot, I., Nicolardot, B., Justes, E. and Recous, S.: Decomposition in the field of residues of oilseed rape grown at two levels of nitrogen fertilisation. Effects on the dynamics of soil mineral nitrogen between successive crops. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **56**, 125~137 (2000)
  - 29) 牛尾進吾・吉村直美・斎藤研二・中島信夫：家畜ふん堆肥および乾燥ふんの夏期における施肥後141日間の窒素分解率とその推定, *土肥誌*, **71**, 249~253 (2000)
  - 30) 山口武則・原田靖生・築城幹典：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 (2000)

### Effect of combined applications of $^{15}\text{N}$ -labeled ammonium sulfate and cattle composts on nitrogen dynamics in upland soil conditions.

Masahiko KATOH<sup>1</sup>, Yasuhito HAYASHI<sup>1,2</sup>, Fukuyo TANAKA<sup>3</sup> and Hiromasa MORIKUMI<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>JA ZEN-NOH R&D Cent., <sup>2</sup>Present address: JA ZEN-NOH Cent. Office, <sup>3</sup>Natl. Agric. Res. Cent.

We examined the effects of combined applications of  $^{15}\text{N}$ -labeled ammonium sulfate and cattle composts on nitrogen dynamics under upland soil conditions in comparison with a single application of compost or of  $^{15}\text{N}$ -labeled ammonium sulfate in incubation experiments. The amount of inorganic nitrogen (N) derived from the ammonium sulfate was smaller in the combined application than in the single application, indicating that some N derived from the ammonium sulfate was immobilized. The degree of immobilization was correlated with the amount of easily decomposable carbon (C) in the compost. Immobilized N tended to be re-mineralized during the incubation. The 1-month N mineralization rates of the composts increased by 5% to 10% after the application of ammonium sulfate. This increase was negatively correlated with the  $\text{C}/(\text{N} + \text{fAN})$  ratio, where C and N represent the C and N contents derived from the compost, and fAN represents the amount of N derived from the ammonium sulfate. These results suggest that the pattern of N mineralization from compost was changed by the application of N fertilizer. Appropriate application rates can thus be calculated from the  $\text{C}/(\text{N} + \text{fAN})$  ratio. In addition, it will be necessary to select composts that induce little immobilization of applied fertilizer N.

**Key words:**  $^{15}\text{N}$ -labeled ammonium sulfate, combined application, cattle compost, immobilization, mineralization

(Jpn. J. Soil Sci. Plant Nutr., **79**, 163–171, 2008)