

## 愛知県内で流通する12種の有機質肥料からの窒素無機化量の推定

大橋祥範<sup>1)</sup>・日置雅之<sup>2)</sup>・糟谷真宏<sup>2)</sup>

**摘要**：有機質肥料を用いた施肥設計に役立てるために、愛知県内で流通する12種の有機質肥料について窒素無機化特性を反応速度論的に解析し、窒素無機化推定式を作成した。作成した推定式はいずれも単純型に適合し、栽培試験で、これら推定式が妥当であることを確認した。

この窒素無機化推定式を用いて、愛知県の気温条件における四半期毎の窒素無機化量を推定した。脱脂米ぬかとグルテンフィードは高温期でも、1か月以内に可分解性窒素のすべてが無機化せず、緩やかな窒素肥効を示すと推定された。

一方、魚かす、カニ殻、肉骨粉、フェザーミール、皮粉、骨粉、大豆油かす、なたね油かす、あまに油かす、ひまし油かすは、5月の気温では可分解性窒素のほぼすべてが、11月では約8割が、厳冬期の2月でも約6割が無機化し、脱脂米ぬかとグルテンフィードと比べ、速やかな窒素肥効を示すと推定された。

**キーワード**：有機質肥料、反応速度論的解析、窒素無機化推定式、窒素無機化特性値

## Estimation of the Amount of Nitrogen Mineralization from 12 Different Organic Fertilizers Distributed in Aichi Prefecture

OHASHI Yoshinori, HIOKI Masayuki and KASUYA Masahiro

**Abstract** : To encourage minimizing the overuse of organic fertilizers, we attempted to estimate, by kinetic analysis, the amount of nitrogen mineralization from 12 different organic fertilizers widely used in Aichi prefecture. We elucidated the nitrogen mineralization curves of these fertilizers best suited with the simple type model. In addition, we showed that it was possible to test these nitrogen mineralization characteristic parameters by a pot study.

We calculated the seasonally-classified amounts of nitrogen mineralization from various organic fertilizers, using these nitrogen mineralization parameters and soil temperature in Aichi. The nitrogen mineralization rates of two types of organic fertilizers (rice bran and gluten feed) were slow even in the summertime, and all of the potentially mineralizable nitrogen did not become inorganic in one month.

On the contrary, the nitrogen mineralization rates of 10 types of organic fertilizers (fish meal, crab shell, meat bone meal, feather meal, hide meal, bone meal, soybean cake, rapeseed cake, linseed cake, and castor cake) were rapid. All the nitrogen mineralization potential become inorganic in May, while 80% of it turned inorganic in November. Despite of such cold, 60% of the nitrogen mineralization potential become inorganic in February.

**Key Words** : Organic fertilizer, Kinetic analysis, Nitrogen mineralization parameters, Amount of nitrogen mineralization

<sup>1)</sup>環境基盤研究部(現企画普及部) <sup>2)</sup>環境基盤研究部

## 緒言

有機農業や減化学肥料栽培など環境保全型農業に取り組む生産者を中心に、有機質肥料への関心は高い<sup>1-3)</sup>。しかし、有機質肥料は土壌中での分解にともなって肥効が発現するため、その使い方は勘と経験に頼ることが多く、施肥設計の困難さが指摘されている<sup>4,5)</sup>。特に、窒素成分は速効性から緩効性まで肥効の幅が広いとされ、有機質肥料由来窒素の肥効特性を把握することが、その効果的な活用のための課題である。有機質肥料からの窒素無機化量を推定して数値化できれば、過剰な施肥を防ぐことができ、高位安定生産、環境負荷低減、施肥コスト削減が可能となり、施肥設計に役立つものと考えられる。家畜ふん堆肥や有機質肥料からの窒素無機化量については、保温静置培養で得られる窒素無機化量を反応速度論的に解析し、推定した事例がある<sup>6-8)</sup>。しかし、有機質肥料は種類が多く、窒素肥効特性が明らかにされていないものが多い。

そこで本試験では、有機質肥料の効率的な利用を目的とし、現在、愛知県内で流通している主要な有機質肥料12種16銘柄の窒素無機化特性値を算出し、窒素無機化量の推定式を作成した。また、栽培試験でその妥当性を確認するとともに、愛知県の気温条件における施用時期別の窒素肥効の推定を試みた。

## 材料及び方法

### 1 有機質肥料

本試験では有機質肥料として、魚かす3銘柄、カニ殻、鶏豚肉骨粉、フェザーミール、皮粉、骨粉、大豆油かす、なたね油かす2銘柄、あまに油かす、ひまし油かす、脱脂米ぬか2銘柄、グルテンフィードの12種16銘柄を供試した(表1)。肥料取締法に基づく普通肥料の公定規格では、それぞれ魚かす粉末、甲殻類質肥料粉末、肉骨粉、蒸製毛粉、蒸製皮革粉、蒸製骨粉、大豆油かす及びその粉末、なたね油かす及びその粉末、あまに油かす及びその粉末、ひまし油かす及びその粉末、米ぬか油かす及びその粉末、副産植物質肥料に分類された<sup>9)</sup>。これら有機質肥料は、いずれも愛知県内で流通している製品とした。

供試した有機質肥料は、水分、全炭素、全窒素を測定した。全炭素と全窒素含量は全炭素・全窒素/水素同時定量装置(MACRO CORDER JM1000CN、ジェイ・サイエンス・ラボ株式会社、京都)を用い、乾式燃焼法<sup>10)</sup>で測定した。

### 2 培養試験

培養試験は、愛知県豊橋市飯村町(東三河農業研究所)の露地畑土壌(細粒質台地黄色土、土性LiC)を供試した。その土壌の化学性を表2に示した。

乾土10 g相当量の土壌を120 mL容のガラス瓶に量り取

表1 供試有機質肥料の水分、全窒素及び全炭素含量とC/N比

分類	肥料の種類 <sup>1)</sup>	肥料名	水分 %	TC <sup>2)</sup> %	TN <sup>2)</sup> %	C/N比
動物質肥料	魚かす粉末	魚かす A	7.6	36.9	8.3	4.4
	〃	魚かす B	8.1	44.5	10.6	4.2
	〃	魚かす C	4.1	51.9	9.5	5.5
	甲殻類質肥料粉末	カニ殻	4.5	24.8	4.1	6.1
	肉骨粉	鶏豚肉骨粉	1.1	43.2	9.7	4.5
	蒸製毛粉	フェザーミール	7.9	53.5	13.2	4.0
	蒸製皮革粉	皮粉	6.0	42.1	13.5	3.1
	蒸製骨粉	骨粉	4.5	22.0	4.6	4.8
植物質肥料	大豆油かす及びその粉末	大豆油かす	9.9	45.6	8.4	5.4
	なたね油かす及びその粉末	なたね油かす A	11.0	46.3	6.6	7.0
	〃	なたね油かす B	8.3	48.9	5.8	8.4
	あまに油かす及びその粉末	あまに油かす	8.7	46.6	5.9	7.8
	ひまし油かす及びその粉末	ひまし油かす	9.1	49.0	5.9	8.3
	米ぬか油かす及びその粉末	脱脂米ぬか A	10.2	41.7	3.3	12.5
	〃	脱脂米ぬか B	10.0	42.5	3.5	12.2
	副産植物質肥料	グルテンフィード	7.1	47.3	3.7	12.7

1) 肥料取締法に基づく普通肥料の公定規格での分類

2) 乾物あたり

表2 供試土壌の化学性

用途	pH (H <sub>2</sub> O)	EC	TC	TN	可給態 窒素	CEC	交換性塩基			可給態 リン酸
		(1:5)					cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>			
		dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	mg kg <sup>-1</sup>
培養試験	6.7	—	8.4	1.0	15.4	—	—	—	—	—
栽培試験	5.6	0.04	10.6	1.1	45.8	12.0	2.4	0.9	0.3	166

り、全窒素250 mg kg<sup>-1</sup>乾土相当量の未粉碎で現物の有機質肥料を混和した。この土壌に蒸留水を添加し、ポリエチレンフィルムと輪ゴムで覆いをした後、定温器内で静置培養した。なお、本試験では水分条件を最大容水量の40%とした<sup>11)</sup>。

培養温度は10、20、30℃の3段階とし、培養期間は0、3、7、14、28、56、84日とした。この期間、14日毎に蒸発した水分を重量から算出して補給した。

培養期間終了後は、ガラス瓶に100 g L<sup>-1</sup>塩化カリウム溶液100 mLを加え、30分間水平振とうした。その後、No. 5Bのろ紙でろ過し、アンモニア態窒素と硝酸態窒素を連続流れ分析装置(AA2型、ビーエルテック株式会社、大阪)を用い、それぞれの窒素量をインドフェノール青吸光度法、銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン吸光度法で測定した<sup>12)</sup>。

有機質肥料由来の窒素無機化量は、有機質肥料を混和した土壌から前述の操作を同様に行った有機質肥料を混和しない土壌の値を差し引いて求めた。それを投入した全窒素量で除して、みかけの窒素無機化率を算出した。

### 3 反応速度論的解析

培養試験で温度別に得られた窒素無機化率については、培養日数を温度変換日数法<sup>13)</sup>により変換し、25℃での無機化曲線に残差平方和が最小となるように最小二乗法ではめた。この曲線として、有機態窒素の無機化の基本的なモデルである単純型モデル、単純並行型モデル、有機化・無機化並行型モデル<sup>6)</sup>の3つを設定した。最適モデルは、赤池の情報量(AIC)が最小となるモデルに決定した。

### 4 栽培試験

培養試験に基づき作成した窒素無機化推定式の妥当性を確認するため、コマツナを用いた栽培試験を行った。

供試した有機質肥料は魚かすA、カニ殻、鶏豚肉骨粉、フェザーミール、皮粉、大豆油かす、なたね油かすA、あまに油かす、ひまし油かす、脱脂米ぬかAの10種10銘柄とし、未粉碎の現物を用いた。

供試植物のコマツナ(品種：夏楽天)は1/5000 aワグネルポットに3株仕立てとし、各区3連とした。土壌は愛知県豊橋市飯村町(東三河農業研究所)の樹園地跡土壌(細粒質台地黄色土、土性LiC)を供試した。その化学性を表2に示した。

炭酸苦土石灰を用いてpHを6.7に調整した風乾土をポットあたり3.2 kg充填した。施肥量は窒素、リン酸、加里いずれも1平方メートルあたり20 g相当量とした。窒素を基準として有機質肥料毎に施肥量を算出し、不足するリン酸と加里はそれぞれ過リン酸石灰と塩化加里で施肥した。

2015年10月22日に播種し、無加温のガラス温室で栽培した。2015年12月9日に収穫した後、地上部の重量と窒素含有率を測定した。なお、灌水は必要に応じて少量ずつ行い、できるだけ排水が発生しないように管理した。

この試験では、コマツナの地上部窒素吸収量を求め、棚橋ら<sup>14)</sup>の方法により、有機質肥料の窒素肥効を化学肥料の窒素肥効相当量で評価した。すなわち、化学肥料(硫酸アンモニウム)を用いて施肥窒素量を0 g-N pot<sup>-1</sup>~0.36 g-N pot<sup>-1</sup>の4段階で窒素施肥量を設け、前述の有機質肥料と同様にコマツナを栽培した。得られたコマツナ地上部窒素吸収量と化学肥料窒素施肥量との関係式を作成し、有機質肥料で栽培したコマツナの地上部窒素吸収量から化学肥料窒素肥効相当量を算出した。

また、土壌表面から深さ10 cmに温度計を埋設し、データロガーを用いて栽培期間の地温を1時間毎に測定し、日平均地温を算出した。

### 5 土壌及び植物体分析

培養及び栽培試験に供試した土壌の化学性を分析した<sup>12)</sup>。分析項目はpH、EC、全炭素、全窒素、可給態窒素、可給態リン酸、CEC、交換性陽イオン(石灰、苦土、加里)とした。

pHはガラス電極法で、ECは1:5水浸出法で電気伝導率・pHメータ(WM-50EG、東亜ディーケーケー株式会社、東京)を用いて測定した。全炭素と全窒素含量は全炭素・全窒素測定装置(N. C-ANALYZER SUMIGRAPH NC-22F、住化分析センター株式会社、大阪)を用い、乾式燃焼法で測定した。可給態窒素含量は保温静置法(畑土壌)に準じて、連続流れ分析装置(AA2型、ビーエルテック株式会社、大阪)を用いて培養試験と同様に測定した。可給態リン酸含量はトルオグ法で抽出した後、分光光度計(UV-160A、島津製作所、京都)を用い、モリブデン青吸光度法で測定した。CECはセミマイクロSchollenberger法に準じて測定し、この1N酢酸アンモニウム浸透液を用いて交換性陽イオンを原子吸光度計(Z-5310、株式会社日立ハイテクノロジーズ、東京)を用いて測定した。

栽培試験で収穫したコマツナは80°Cで3日間通風乾燥し、粉碎試料を調整した<sup>10)</sup>。この試料の全窒素含有率は供試土壌と同様に乾式燃焼法で測定した。

## 試験結果

### 1 有機質肥料の成分

有機質肥料の成分組成を表1に示した。動物質由来の肥料の全窒素含量は皮粉が13.5%と最も多く、次いでフェザーミール、魚かすB、鶏豚肉骨粉がそれぞれ13.2%、10.6%、9.7%であった。カニ殻と骨粉はそれぞれ4.1%、4.6%と他の動物質由来の肥料と比べ、少なかった。

植物質由来の肥料の全窒素含量は大豆油かすが8.4%と最も多かった。また、なたね油かす、あまに油かす、ひまし油かすは5.9%~6.6%の範囲で同程度であったが、グルテンフィードと脱脂米ぬかは3.3%~3.7%と少なかった。

C/N比は動物質由来の肥料で比較的小さく、全窒素含量が少なかったカニ殻と骨粉でも6.1、4.8であった。植物質由来の肥料では、大豆油かすが5.4と最も小さく、グルテンフィードと脱脂米ぬかは12.2~12.7と高かった。

### 2 培養試験に基づく窒素無機化推定式の作成

温度別の培養試験で得られた窒素無機化率を反応速度論的に解析した結果、次式で示される単純型モデルに最も適合した。得られた窒素無機化特性値を表3に示した。

$$N = N_0((1 - \exp(-k \times t)) + b$$

$$t = \exp(Ea(T-298)/(8.317 \times T \times 298))$$

N：窒素無機化率(%)

N<sub>0</sub>：可分解性有機態窒素量(%)

k：25°Cにおける窒素無機化速度定数(day<sup>-1</sup>)

t：温度変換日数(day)

b：無機態窒素量(%)

Ea：見かけの活性化エネルギー(J mol<sup>-1</sup>)

T：絶対温度(°C)

N<sub>0</sub>は、フェザーミールが最も多く72.9%であった。次いで、魚かすA、大豆油かす、鶏豚肉骨粉、骨粉がそれぞれ67.6%、65.1%、64.5%、62.4%であった。一方、グルテンフィードは最も少なく31.4%であった。いずれの肥料も全窒素量のすべては無機化しなかった。

kは、脱脂米ぬかとグルテンフィードが0.04 day<sup>-1</sup>~0.05 day<sup>-1</sup>と小さかった。bは、皮粉とグルテンフィードがそれぞれ8.8%、1.3%であった他は、いずれも0.0%であった。Eaは、なたね油かすBが79556 J mol<sup>-1</sup>、皮粉が

表3 有機質肥料の窒素無機化特性値

肥料名	N <sub>0</sub> <sup>1)</sup> %	K <sup>2)</sup> day <sup>-1</sup>	b <sup>3)</sup> %	Ea <sup>4)</sup> J mol <sup>-1</sup>
魚かすA	67.6	0.20	0.0	68909
魚かすB	72.0	0.25	0.0	58333
魚かすC	64.8	0.18	0.0	57274
カニ殻	55.9	0.14	0.0	54945
鶏豚肉骨粉	64.5	0.18	0.0	61014
フェザーミール	72.9	0.14	0.0	62485
皮粉	47.0	0.18	8.8	74491
骨粉	62.4	0.17	0.0	50856
大豆油かす	65.1	0.24	0.0	66821
なたね油かすA	56.7	0.20	0.0	65254
なたね油かすB	54.3	0.12	0.0	79556
あまに油かす	56.4	0.18	0.0	58823
ひまし油かす	58.7	0.20	0.0	69249
脱脂米ぬかA	37.4	0.05	0.0	43843
脱脂米ぬかB	42.3	0.04	0.0	51862
グルテンフィード	31.4	0.04	1.3	37356

1) 可分解性有機態窒素量

2) 25°Cにおける窒素無機化速度定数

3) 無機態窒素量

4) 見かけの活性化エネルギー

表4 コマツナの収量と窒素含有率及び窒素吸収量

肥料名	地上部乾物重 g pot <sup>-1</sup>	窒素含有率 %	窒素吸収量 mg pot <sup>-1</sup>
魚かす	13.0	2.1	277
カニ殻	13.0	1.8	234
鶏豚肉骨粉	11.8	2.3	268
フェザーミール	12.0	2.4	291
皮粉	10.5	2.6	273
大豆油かす	12.2	2.6	314
なたね油かす	10.1	2.6	265
あまに油かす	6.9	3.6	240
ひまし油かす	10.0	2.4	235
脱脂米ぬか	9.5	2.1	197

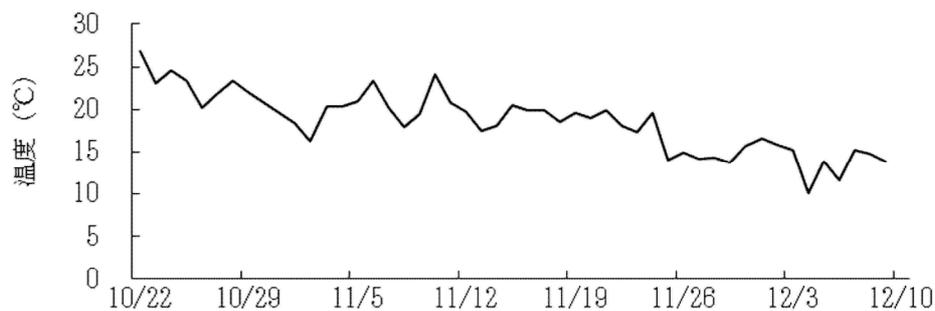


図1 コマツナ栽培期間の日平均地温の推移(2015年)

74491 J mol<sup>-1</sup>と大きく、次いで、ひまし油かす、魚かすAがそれぞれ69249 J mol<sup>-1</sup>、68909 J mol<sup>-1</sup>と大きかった。一方、グルテンフィードは37356 J mol<sup>-1</sup>と最も小さかった。

### 3 栽培試験

コマツナの地上部乾物重と窒素含有率、これらから算出した地上部窒素吸収量を表4に示した。地上部窒素吸収量は大豆油かすが314 mg pot<sup>-1</sup>と最も多く、脱脂米ぬかが197 mg pot<sup>-1</sup>と最も少なかった。

コマツナ栽培期間の日平均地温の推移を図1に示した。日平均地温の最高は26.7°C、最低は16.2°Cで平均は20.4°Cであった。

コマツナ地上部窒素吸収量と化学肥料窒素施肥量との関係式を図2に示した。これらの間には正の相関関係( $y=1.32x-131.41$ 、 $r^2=0.990$ 、 $p<0.01$ )が認められた。

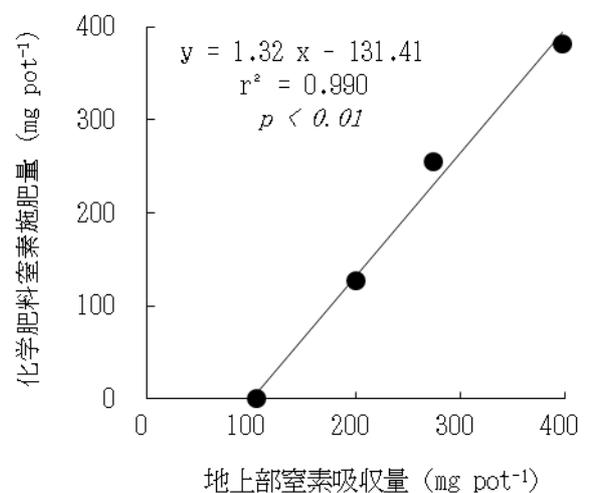


図2 地上部窒素吸収量と化学肥料窒素施肥量の関係

## 考 察

### 1 窒素無機化推定式の検証

培養試験で得られた窒素無機化特性値(表3)に基づいて作成した窒素無機化推定式を用い、栽培試験における日平均地温(図1)から推定窒素無機化量を算出した。この推定窒素無機化量とコマツナの地上部窒素吸収量(表4)から推定された有機質肥料の化学肥料窒素肥効相当量を比較した(図3)。これらは概ね1対1の関係が見られ、本試験での窒素無機化推定式は妥当であると考えられた。

魚かすとなたね油かすについて、培養試験を反応速度論的に解析する方法で窒素無機特性値を算出した報告<sup>15,16)</sup>がある。これによると $N_0$ は、それぞれ43.9%~73.3%、51.6%~88.2%、 $k$ は、0.06~0.27、0.07~0.23、 $E_a$ は、26372 J mol<sup>-1</sup>~80861 J mol<sup>-1</sup>、24278 J mol<sup>-1</sup>~101092 J mol<sup>-1</sup>であった。これらと本試験で得られた窒素無機化特性値(表3)を比べると、 $N_0$ は、魚かすが64.8%~72.0%、なたね油かすが54.3%~56.7%、 $k$ は、それぞれ0.18~0.25、0.12~0.20、 $E_a$ は、57274 J mol<sup>-1</sup>~68909 J mol<sup>-1</sup>、65254 J mol<sup>-1</sup>~79556 J mol<sup>-1</sup>で、いずれも既往の報告の範囲内の数値であった。また、本試験では魚かすは3銘柄、なたね油かすは2銘柄と同種を複数銘柄で供試したが、これら銘柄間の差は既往の報告の範囲の幅と比べ、小さかった。

### 2 全窒素含量及びC/N比と窒素無機化特性値の関係

一般に、有機物からの窒素発現の総量は全窒素含量から、速度はC/N比から判断される場合が多い。そこで、本試験で得られた無機化特性値の $N_0$ と $b$ の和を最大無機化窒素量とし、全窒素含量とC/N比との関係を図4に示した。

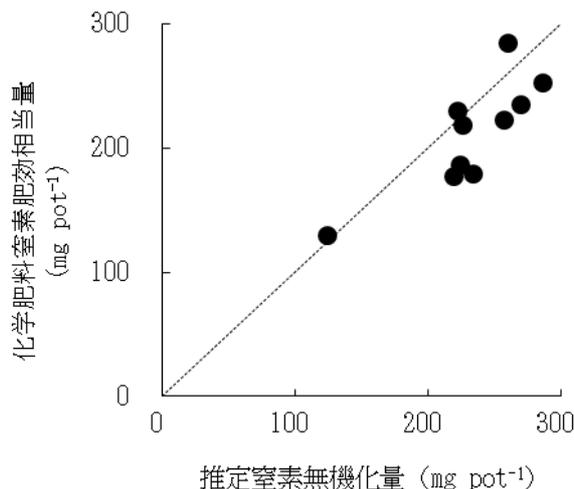


図3 有機質肥料の推定窒素無機化量と化学肥料窒素肥効相当量の関係

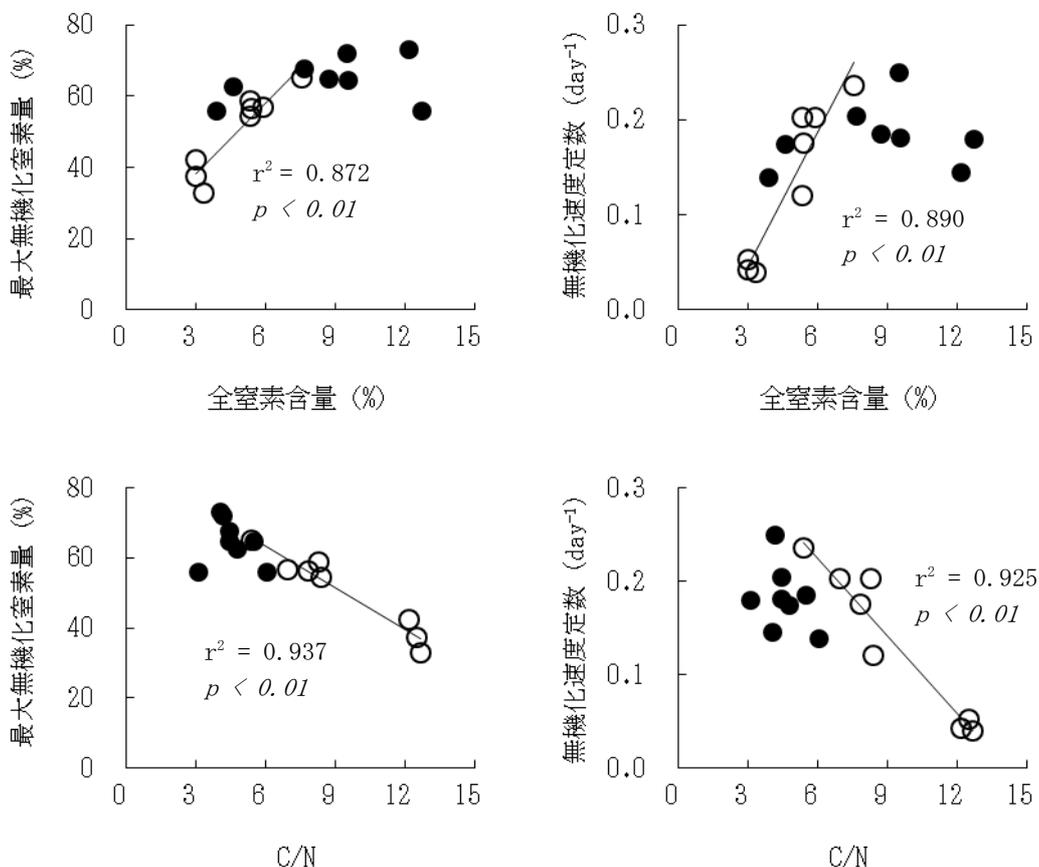


図4 有機質肥料の成分組成と窒素無機化特性値の関係

●動物質肥料 ○植物質肥料

注) 図中の決定係数は植物質を対象とした。

表5 豊橋市飯村町の露地畑の地温で推定した各月の窒素無機化率(%)

肥料名	2月 <sup>1)</sup>	5月	8月	11月
魚かす	41.9 (62) <sup>2)</sup>	66.9 (99)	67.6 (100)	57.6 (85)
カニ殻	34.6 (62)	54.1 (97)	55.8 (100)	45.5 (81)
鶏豚肉骨粉	42.2 (65)	63.6 (99)	64.5 (100)	55.4 (86)
フェザーミール	40.0 (55)	70.3 (96)	72.8 (100)	56.4 (77)
皮粉	24.9 (53)	46.2 (98)	47.0 (100)	37.2 (79)
骨粉	45.5 (73)	61.5 (99)	62.4 (100)	55.4 (89)
大豆油かす	45.9 (71)	64.9 (100)	65.1 (100)	59.0 (91)
なたね油かす	37.1 (65)	56.2 (99)	56.7 (100)	49.2 (87)
あまに油かす	38.1 (68)	55.7 (99)	56.4 (100)	49.0 (87)
ひまし油かす	36.2 (62)	58.1 (99)	58.7 (100)	49.9 (85)
脱脂米ぬか	13.8 (37)	27.0 (72)	33.2 (89)	19.2 (51)
グルテンフィード	12.4 (35)	21.7 (65)	26.7 (81)	16.2 (47)

1) 各月1日に有機質肥料を施肥したと仮定した

2) 括弧内は可分解性有機態窒素量(N<sub>0</sub>)に占める割合(%)

同様に、kとそれらの関係を図4に示した。

本試験で供試した12種16銘柄の有機質肥料全体では、全窒素含量及びC/N比と無機化特性値の間に一定の関係は認められなかった。しかし、これらを植物質由来と動物質由来で分けると、植物質由来の有機質肥料で全窒素含量と最大無機化窒素量及びkとの間に正の相関関係が認められた。また同様に、C/N比とそれらとの間に負の相関関係が認められた。このことから植物質由来の有機質肥料は、その全窒素含量とC/N比から、およそその窒素無機化率とその無機化速度の推定が可能であると考えられた。

### 3 有機質肥料からの窒素発現量の時期別の違い

愛知県豊橋市飯村町(東三河農業研究所)の露地畑における地温の実測値(2016年2月、5月、8月、11月)を用いて有機質肥料の窒素無機化率を月毎にそれぞれ推定し、その結果を表5に示した。なお、各月の日平均地温の月平均は6.7℃、21.7℃、30.8℃、13.1℃であった。

N<sub>0</sub>、b、kの値から他の有機質肥料と比べ、窒素肥効が緩やかと考えられたグルテンフィードと脱脂米ぬかは、高温期の8月の窒素無機化率がそれぞれ26.7%、33.2%であり、厳冬期の2月が12.4%、13.8%と、地温に対する依存性が高いと推定された。

一方、グルテンフィードと脱脂米ぬかを除く10種の有機質肥料は、地温の低い2月でもN<sub>0</sub>の53%~73%の窒素が発現すると推定された。また、11月は5月や8月と比べ、窒素発現量が10%~20%程度少なくなると推定された。

以上のように、12種類の有機質肥料の窒素無機化推定式と地温から愛知県の気温条件における施用時期別の窒素無機化率が推定できた。これにより有機質肥料を用いた効果的な施肥設計が可能になると考えられた。

### 引用文献

- 藤沼喜亮, 田中房江, 福島正文. 施設栽培における有機質肥料の施用実態. 日本土壌肥科学雑誌. 43, 36-40(1972)
- 小野寺政行, 中本洋. 北海道における堆肥と各種有機質肥料を用いた露地野菜の無化学肥料栽培. 日本土壌肥科学雑誌. 78, 611-616(2007)
- 中本洋. 各種露地野菜における有機質肥料の化学肥料窒素代替性. 北海道立総合研究機構農業試験場集法. 96, 35-41(2012)
- 日本農業研究所. 有機農業指導推進事業関係資料集. (2007)
- 石橋英二. 土壌施肥管理システムの開発. 岡山県農業総合センター農業試験場研究報告. 23, 33-41(2005)
- 杉原進, 金野隆光, 石井和夫. 土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法. 農業環境技術研究所報告. 1, 127-166(1986)
- 郡司掛則昭, 久保研一. 有機物の窒素分解特性と果菜類に対する効果的施用法. 熊本県農業研究センター報告. 5, 46-55(1996)
- 日置雅之, 北村秀教, 加藤保. 家畜ふん堆肥の肥効特性と湛水条件下での窒素発現量の推定. 日本土壌肥科学雑誌. 72, 684-688(2001)
- 農林統計協会. 肥料要覧2015/2016. (2017)
- 植物栄養実験法編集委員会. 植物栄養実験法. (1990)
- 関東東海土壌肥料技術連絡協議会. 土壌肥料試験ハンドブック. (2011)

12. 土壤環境分析法編集委員会. 土壤環境分析法. (1997)
13. 金野隆光, 杉原進. 土壤生物活性への温度影響の指標化と土壤有機物分解への応用. 農業環境技術研究所報告. 1, 51-68(1986)
14. 棚橋寿彦, 小柳渉. 酸性デタージェント可溶有機物と無機態窒素を指標とした牛ふん堆肥・豚ふん堆肥の窒素肥効評価. 日本土壤肥科学雑誌. 81, 336-342(2010)
15. 古江広治, 上沢正志. 反応速度論的手法での土壤および有機質資材の有機態窒素の無機化特性値データ集. 農業研究センター研究資料. 43, 1-50(2001)
16. 内村浩二, 三浦伸之. 黒ボク茶園における有機物資材の窒素無機化特性. 茶業研究報告. 98, 11-19(2004)