

# 有機栽培野菜畑土壌における施用有機物の窒素無機化特性(1)

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	唐澤,敏彦 長岡,一成 浦嶋,泰文 橋本,知義
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	89巻4号
掲載ページ	p. 321-325
発行年月	2018年8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



## 有機栽培野菜畑土壌における 施用有機物の窒素無機化特性

### I. 有機栽培・転換中・慣行栽培の土壌に 添加した米ぬかからの窒素無機化量の違い

唐澤敏彦・長岡一成・浦嶋泰文・橋本知義

キーワード 有機栽培, 転換期, 窒素無機化, 米ぬか,  
土壌酵素活性

#### 1. はじめに

有機栽培への転換後に、慣行栽培に比べて収量が低くなる事例が観察されている (USDA, 1980; 大森・三島, 1991; Tu *et al.*, 2006; Gopinath *et al.*, 2008). この有機栽培への転換後にみられる低収は、有機栽培への新たな取り組みや有機栽培の継続を困難にする一因とされる一方、収量は、その後、徐々に回復すると言われている (Temple *et al.*, 1994; Clark *et al.*, 1999; Russo and Taylor, 2006).

有機栽培において、最も収量を制限する要因の一つは、窒素栄養である (Clark *et al.*, 1999). そこで、収量が低くなる転換期間中には、特に窒素栄養が不足している可能性が考えられる (Pang and Letey, 2000; Briar *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2011). 有機栽培への転換初期の圃場では、土壌微生物の働きが不十分であるため (MacRae *et al.*, 1990; Dick, 1992), 施用した有機物からの窒素の無機化が遅く、その結果、窒素不足による低収が引き起こされているのかもしれない。

有機栽培での作物の安定生産には、施用した有機物が土壌中で分解され、作物の養分吸収パターンに見合った養分供給がなされる必要がある (中辻ら, 2008). このような養分供給を実現するためには、各種有機物の肥効特性を理解するだけでなく、対象とする土壌の有機物分解能のレベルを的確に把握しておくことが重要である (中辻

ら, 2008). これは、土壌によって、施用した有機物を分解する能力が異なることを意味している。そこで、もし、有機栽培に転換した後、最初は土壌の有機物分解能が低く、徐々に有機物分解能が高まるのであれば、有機栽培転換期の低収とその後の収量の回復に、施用有機物を分解する土壌の能力の変化が関係している可能性がある。

土壌中での養分の循環や無機化には、土壌酵素が関係している (Zaman *et al.*, 1999). 有機栽培への転換を再現した試験圃場において、各種土壌酵素活性を経時的に測定した結果、市販の有機質肥料を施用し始めた転換初年目から各種の土壌酵素活性が有意に高まること、その後、転換期間を通して、各種土壌酵素活性が変化し、それが収量の変動と関係している可能性のあることが示された (Karasawa *et al.*, 2015). これは、同一圃場で、有機質資材の施用の有無を変えて、土壌酵素活性などを経時的に調べた結果であるが、栽培作物や栽培管理が様々に異なる現地の有機栽培農家と慣行栽培農家で、土壌酵素活性に一定の傾向があるかどうかは明らかにされていない。

本研究では、有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌で、施用した有機物からの窒素の無機化に違いがあるのかを明らかにすることを目的に、つくば市内の露地野菜農家圃場から、有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌を採取し、モデル有機物として米ぬかを添加する区と無添加の区を設けて静置培養し、窒素の無機化量を経時的に調べた。また、培養の前後に、各種土壌酵素活性を測定し、土壌の窒素無機化能などと関係があるのか検討した。

#### 2. 材料および方法

##### 1) 供試土壌

2012年10月に、茨城県つくば市の露地野菜栽培農家の有機栽培圃場、有機栽培転換中圃場 (有機栽培3年未満)、慣行栽培圃場から土壌を採取した (表1). 土壌の種類は全て黒ボク土で、いずれの圃場も3km四方内に点在している。このうち、A1~A5", B1~B6" は、それぞれ、隣接する圃場であり、A1~A4', B1~B4', B5"~B6" は、それぞれ、同一農家が管理する圃場である (引用符が二つ(")の圃場名は慣行、一つ(')の圃場名は転換中、引用符がついていない圃場名は有機を示す)。各圃場とも、0~15cmの表層の土を5カ所から採取し、混合した後、2mmの篩を通した。それぞれの土壌の理化学性は、表2に示した。

##### 2) 米ぬかを添加した土壌の培養

土壌に添加した米ぬかからの窒素の無機化量は、恒温器内で培養試験を行うことにより算出した。培養試験は、荒巻ら (2007) の方法を一部改変した方法で行った。すなわち、100mL容のガラス容器で、窒素で10mg相当の米ぬかを土壌20g (生土) と混合し、畑状態 (随時、水分が土壌の最大容水量の60%となるよう調製) として、30°Cの恒温器内で、最長8週間行った。培養は、それぞれ3反復で行った。用いた米ぬかは、生米ぬかであり、

Toshihiko KARASAWA, Kazunari NAGAOKA, Yasufumi URASHIMA and Tomoyoshi HASHIMOTO: Characteristics of nitrogen mineralization from the organic matter applied to the organic vegetable farm soil. I. Comparison of N mineralization from rice bran applied to the soil of organic, organic transition and conventional farm  
農研機構中央農業研究センター (305-8666 茨城県つくば市観音台2-1-18)

Corresponding Author: 唐澤敏彦 tkarasaw@affrc.go.jp  
2017年11月16日受付・2018年5月18日受理  
日本土壌肥科学雑誌 第89巻 第4号 p. 321~325 (2018)

表1 供試した土壤試料を採取した圃場の概要

圃場名 <sup>1)</sup>	栽培法	栽培作物 <sup>2)</sup>	主な施肥 <sup>3)</sup>
A1	有機	コマツナ, カブ	牛ふん堆肥, ボカシ
A2	有機	ブロッコリ, カブ	牛ふん堆肥, ボカシ
A3	有機	ブロッコリ	牛ふん堆肥, ボカシ
A4'	転換中	コマツナ	牛ふん堆肥, ボカシ
A5''	慣行	ハクサイ	化成肥料
B1	有機	ニンジン	牛ふん堆肥, ボカシ
B2	有機	ニンジン	牛ふん堆肥, ボカシ
B3	有機	スイートコーン	牛ふん堆肥, ボカシ
B4'	転換中	ベビーリーフ	牛ふん堆肥, ボカシ
B5''	慣行	ネギ	化成肥料
B6''	慣行	ネギ	化成肥料
C1'	転換中	カブ	牛ふん堆肥, ボカシ

<sup>1)</sup> A1~A5'', B1~B6'' は隣接する圃場で, A1~A4', B1~B4', B5''~B6'' は, それぞれ, 同一農家が管理. 引用符が二つ('')の圃場名は慣行, 一つ(')の圃場名は転換中, 引用符がついていない圃場名は有機を示す.

<sup>2)</sup> 土壤の採取時に栽培されていた作物, あるいは, 前作物.

<sup>3)</sup> A1~A4' のボカシは, 米ぬか, 籾殻, かつお節かす, 糖蜜などから作ったもの, B1~B4' のボカシは, 鶏ふん主体の原料から作ったもの, C1' のボカシは, 米ぬか, 籾殻, 魚かすなどから作ったもの.

表2 供試土壤の理化学性

圃場名	pH	全炭素 (gkg <sup>-1</sup> )	全窒素 (gkg <sup>-1</sup> )	可給態 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	交換性塩基 (mgkg <sup>-1</sup> )			可給態窒素 (mgkg <sup>-1</sup> )	硝酸態窒素 (mgkg <sup>-1</sup> )	アンモニア態 窒素 (mgkg <sup>-1</sup> )	リン酸 吸収係数
						K <sub>2</sub> O	MgO	CaO				
A1	6.8	35.4	3.5	174	34.0	1085	710	4349	72.1	17.6	6.6	1850
A2	6.9	37.1	3.7	164	34.9	1771	954	6230	80.4	27.3	7.1	1920
A3	7.1	37.1	3.7	58	34.9	1612	808	5655	69.8	18.2	7.5	2068
A4'	7.0	35.4	3.4	177	36.3	1009	714	5603	65.4	23.7	8.1	1865
A5''	6.7	25.5	2.6	21	32.7	756	610	5816	35.9	73.7	5.5	2245
B1	7.3	44.1	4.3	1093	46.3	1498	1075	10281	107.3	18.4	5.6	1974
B2	7.2	44.1	4.3	1212	47.9	1565	1020	9253	104.5	19.6	6.2	1934
B3	7.1	53.9	4.9	2203	48.8	2006	1296	9627	157.2	22.0	5.8	1700
B4'	6.2	30.2	2.6	69	25.9	845	651	2287	41.4	46.7	5.3	1733
B5''	7.4	37.1	3.2	480	35.6	1165	796	8874	107.1	25.3	5.7	1681
B6''	7.3	36.0	3.1	433	35.9	1507	712	7817	87.5	25.8	6.2	1698
C1'	5.5	60.9	4.5	83	35.0	578	338	1772	71.4	55.2	8.1	2086

水分112gkg<sup>-1</sup>, pH 6.26, 全窒素22.2gkg<sup>-1</sup>, 全炭素407gkg<sup>-1</sup>, C/N比18.3, 全リン酸45.4g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg<sup>-1</sup>, 全カリウム17.9g K<sub>2</sub>Okg<sup>-1</sup>, 全カルシウム0.84g CaOkg<sup>-1</sup>, 全マグネシウム14.2g MgOkg<sup>-1</sup>であった. 米ぬかは, 利用まで密封して, 冷蔵保存したものをを用いた.

### 3) 土壤分析

米ぬかを添加の有無を変えて, 4, 8週間培養した土壤20gに, 80mLの2NKCl溶液を入れて30分間振とうしてろ過した. ろ液のNH<sub>4</sub>-NとNO<sub>3</sub>-Nは, オートアナライザ(QuAatro2-HR, BL-TEC)で測定した.

培養4週間後の米ぬかからの窒素無機化量は, 米ぬかに無機態窒素がほとんど含まれていなかったことから, 米ぬかを添加して4週間培養した区の無機態窒素量から, 無添

加で4週間培養した区の無機態窒素量を差し引いた値とした. 同様に, 8週間で米ぬかから無機化した窒素量は, 米ぬかを添加して8週間培養した後の無機態窒素量から, 無添加で8週間培養した土壤の無機態窒素量を差し引いた値とした.

採取した土壤(培養前の土壤)および米ぬかの有無を変えて4週間培養した後の土壤のデヒドロゲナーゼ, β-グルコシダーゼ, β-ガラクトシダーゼ, α-グルコシダーゼ, セルラーゼ, プロテアーゼ活性は, それぞれ前報に従って分析した(Karasawa *et al.*, 2015).

### 3. 結果および考察

#### 1) 米ぬかからの窒素無機化

各土壌に同じ量の米ぬかを添加したにもかかわらず、米ぬかからの窒素無機化量は、土壌によって異なった。培養4週間で無機化した窒素量は、有機栽培土壌 A1, A2, A3, B2, B3 で全ての慣行栽培土壌よりも有意に高く、有機栽培土壌 B1 でも、隣接する転換中の土壌 B4', 隣接する慣行栽培土壌 B5'', B6'' よりも有意に高かった。転換中の土壌のうち、A4' と C1' は、米ぬかからの窒素無機化量が有機栽培の土壌なみに多い一方、B4' は、慣行栽培の土壌なみに少なかった(図1A)。培養8週間で米ぬかから無機化した窒素量は、全ての有機栽培の土壌で、全ての慣行栽培の土壌に比べて有意に多かった。転換中の土壌のうち、A4', C1' は、窒素無機化量が有機栽培の土壌なみに多い一方、B4' は、有機栽培の土壌よりも有意に少ない値を示した。ただ、転換中の B4' も、隣接する慣行栽培の土壌 B5'', B6'' よりも窒素無機化量が有意に多かった(図1B)。

今回の結果は、土壌への有機物施用の状況によって、施用した有機物に含まれる窒素を無機化する能力に差がある

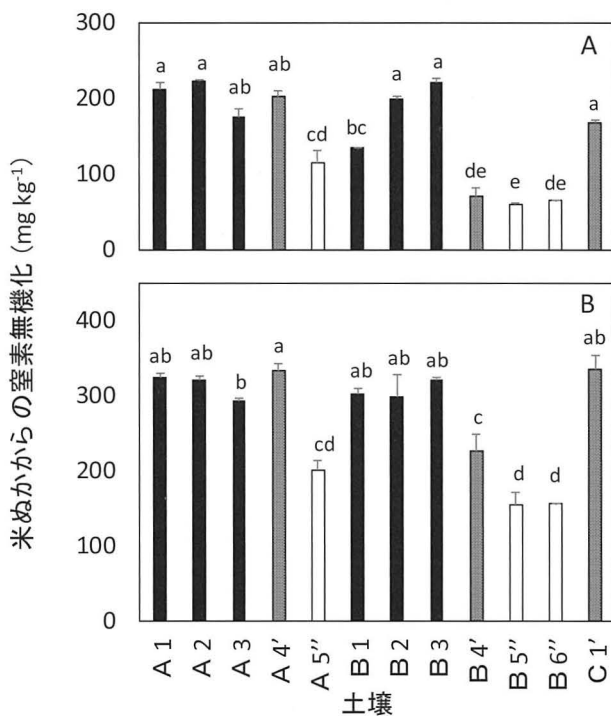


図1 土壌に添加した米ぬかから4週間(A), 8週間(B)で無機化した窒素量

米ぬかから無機化した窒素量は、米ぬかを添加して培養した土壌に含まれる無機態窒素量から米ぬかを添加せずに培養した土壌に含まれる無機態窒素量を差し引いた値。添加した米ぬかの全窒素量は、土壌 kg あたり 860 mg であり、米ぬかからの窒素無機化が約  $430 \text{ mg kg}^{-1}$  の場合に、米ぬかの窒素無機化率が 50% となる。なお、いずれの土壌においても、無機化した窒素の 97.9~100% は硝酸態として存在した。エラーバーは標準偏差を示す。図中の異なる英文字間には、窒素無機化量に有意差があることを示す (Tukey,  $p < 0.05$ )。

ことを示している。これは、各種有機物の肥効特性を理解するだけでなく、対象とする土壌の有機物分解能のレベルを的確に把握しておくことも重要とした中辻ら (2008) の結論を支持している。今回供試した土壌は、いずれも茨城県つくば市内の 3 km 四方という狭い範囲から採取した黒ボク土であるが、その中の全ての有機栽培土壌で、全ての慣行栽培土壌よりも窒素無機化能が高いことが示された。これは、有機栽培転換初期には、施用有機物からの窒素の無機化が遅いのに対して、有機栽培を継続した圃場では土壌の窒素無機化能が高まり、施用した有機物から比較的速やかに窒素が無機化する可能性を示している。今回用いた転換中の土壌には、有機栽培の土壌なみに窒素無機化能が高い土壌と慣行栽培の土壌に近いものがみられたが、それも、有機栽培の継続によって、段階的に窒素無機化能が高まっていく過程を示していたと解釈できる。これらの結果から、米ぬかを添加し、培養することなどにより、土壌の窒素無機化能を評価する手法が開発されることも期待される。こうした方法により、有機栽培を開始する前や転換中の土壌を評価すれば、施用有機物の無機化が進みやすい土壌か、進みにくい土壌かがわかる可能性がある。この判定ができれば、無機化能が低い土壌では、窒素無機化量が多く分解しやすい有機質資材を施用するなどの対策をとることができるようになる。

土壌の理化学性(表2)と静置培養で米ぬかから無機化した窒素量との相関を調べた結果、全窒素は、4週間培養後の窒素無機化量との相関係数が  $0.626^*$ 、8週間培養後の窒素無機化量との相関係数が  $0.671^*$  であった。この他、アンモニア態窒素が8週間培養後の窒素無機化量との相関係数  $0.584^*$  と有意な相関関係にあった。また、4・8週間培養後の無機化窒素量は、全炭素、CEC、可給態窒素とも、正に相関する傾向がみられた。今回の試験のように、比較的狭い地域から採取した同じ種類の土壌は、もともと似たような理化学性をもち、全窒素など有機物の施用履歴等を反映している可能性がある。このため、今回の試験では、全窒素などの理化学性が添加した米ぬかからの窒素無機化の遅速と関係が深かったものの、より広い範囲の土壌や種類の異なる土壌では、理化学性等だけでは、窒素無機化能を説明できない可能性もある。

#### 2) 土壌酵素活性

土壌酵素活性のうち、セルラーゼ活性には、有機栽培の土壌で高く、慣行栽培の土壌で低い傾向がみられた一方、他の酵素活性は、農法の違いによる一定の傾向は認められなかった(表3)。各土壌酵素の活性と米ぬかからの窒素無機化量との相関を調べた結果、セルラーゼにのみ有意な相関がみられた。セルラーゼ活性と4週間培養して米ぬかから無機化した窒素量との相関係数は  $0.749^{**}$ 、8週間培養は  $0.766^{**}$  であった。

今回供試した土壌には、限られた戸数の有機農家の土壌が含まれているのみで、同一農家は同じような施肥をしており、施用有機物の種類も3パターン程度であった。そこ

表3 供試土壌の土壌酵素活性

圃場名	デヒドロゲナーゼ $\mu\text{mole formazan g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\beta$ -グルコシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\beta$ -ガラクトシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\alpha$ -グルコシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	セルラーゼ $\mu\text{mole glucose g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	プロテアーゼ $\mu\text{mole leucine g}^{-1}\text{hr}^{-1}$
A1	0.046	0.726	0.229	0.119	0.021	0.555
A2	0.060	0.958	0.251	0.144	0.099	0.938
A3	0.062	1.110	0.319	0.148	0.092	0.829
A4'	0.053	0.688	0.228	0.111	0.076	0.565
A5''	0.022	0.465	0.064	0.053	0.003	0.383
B1	0.024	0.640	0.071	0.070	0.042	0.778
B2	0.026	0.675	0.111	0.086	0.057	0.842
B3	0.039	0.755	0.184	0.119	0.082	1.225
B4'	0.012	0.508	0.141	0.073	0.006	0.512
B5''	0.046	0.583	0.146	0.165	0.012	0.939
B6''	0.049	0.657	0.181	0.120	0.012	0.888
C1'	0.034	0.911	0.313	0.190	0.093	0.938

各土壌酵素活性は、米ぬかを添加の有無を変えて培養する前の土壌を調べた結果。

表4 米ぬかを添加して4週間培養した後の土壌酵素活性

圃場名	デヒドロゲナーゼ $\mu\text{mole formazan g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\beta$ -グルコシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\beta$ -ガラクトシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	$\alpha$ -グルコシダーゼ $\mu\text{mole p-nitrophenol g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	セルラーゼ $\mu\text{mole glucose g}^{-1}\text{hr}^{-1}$	プロテアーゼ $\mu\text{mole leucine g}^{-1}\text{hr}^{-1}$
A1	0.173	1.228	0.464	0.253	0.119	1.926
A2	0.184	1.335	0.481	0.269	0.111	2.016
A3	0.175	1.563	0.566	0.272	0.135	1.649
A4'	0.160	1.145	0.358	0.199	0.123	1.923
A5''	0.168	1.474	0.490	0.258	0.109	1.110
B1	0.149	1.427	0.466	0.235	0.154	1.698
B2	0.136	1.159	0.331	0.196	0.152	2.300
B3	0.117	0.769	0.285	0.164	0.120	2.511
B4'	0.094	0.987	0.488	0.227	0.137	1.626
B5''	0.130	1.945	0.502	0.298	0.153	3.099
B6''	0.148	2.063	0.523	0.329	0.156	2.372
C1'	0.109	1.973	0.700	0.400	0.215	2.421

で、今回の有機栽培圃場では、たまたまセルラーゼ活性が高まりやすい有機物を施用しており、他の有機物を施用している圃場では、他の酵素活性が高まっていたかもしれない。前報では、市販の有機質肥料の施用ではセルラーゼ活性は高まらず、籾殻牛ふん堆肥の施用では、顕著に高まること示された (Karasawa *et al.*, 2015)。牛ふん堆肥の成分は様々ではあるが、今回の有機栽培農家は、いずれも牛ふん堆肥を施用しており、また、B1~B4'の圃場では、籾殻入りのボカシが施用されていることから、これらが慣行栽培土壌に比べて、セルラーゼ活性が高い原因となっていた可能性がある。

米ぬかを添加して培養した後、全ての土壌で、全ての酵素活性が増加した (表3, 4)。有機栽培の土壌に比べて低かった慣行栽培の土壌のセルラーゼ活性は、米ぬかを添加して4週間後には、有機栽培土壌区と同等以上に高まっ

た。これは、土壌酵素の活性が、有機物施用に即座に応答したことを示している (Fliessbach *et al.*, 2007)。

米ぬかを添加して培養すると、土壌酵素活性は、少なくとも4週間以内に、慣行栽培の土壌でも大きく高まった。しかしながら、4週目から8週目に無機化した窒素量は、有機栽培の土壌に比べて慣行栽培の土壌で少なかったことから、有機物添加後の速やかな土壌酵素活性の増加は、窒素無機化速度の向上にはすぐには結びついていない可能性がある。すなわち、有機質資材の施用は、土壌酵素活性の速やかな上昇などに寄与するが、窒素無機化能はすぐには高まらない可能性が考えられた。そこで、有機物の施用履歴が少ない窒素無機化能が低い土壌においては、有機栽培を始めるにあたって、窒素供給が不足しないように管理することが大切で、必要に応じて、窒素無機化量が多く分解しやすい有機物の施用などが有効と考えられる。

## 4. まとめ

米ぬかをモデル有機物として添加して、4~8週間培養し、その窒素無機化量を有機栽培、転換中、慣行栽培の土壌と比較した。その結果、有機栽培の土壌では、慣行栽培の土壌に比べて、窒素の無機化能が高く、転換中の土壌では、無機化能が高いものと低いものがみられた。これにより、有機栽培転換初期には、施用有機物からの窒素無機化が、有機栽培土壌に比べて遅く、それが転換期の低収の一因となっている可能性が考えられた。

有機物分解に関係する土壤酵素については、慣行栽培を含む全土壌において、有機物を添加して4週間以内と速やかに活性が上昇した。しかし、その活性上昇は、慣行栽培の土壌ではその後の窒素の無機化速度の向上には結びついておらず、4週目から8週目までに無機化した窒素量も、有機栽培土壌より少ないままである。慣行栽培土壌などにおいて、施用有機物からの窒素無機化能を向上させるには、土壤酵素活性の向上に比べると長い期間の有機物施用等が必要と考えられた。

謝辞：本研究の実施に当たり、土壌の採取に協力いただいた農家の方々に感謝いたします。

付記：本報告の一部は、日本土壤微生物学会2013年度大会で報告した。

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「有機農業を特徴づける客観的指標の開発と安定生産技術の開発」において実施されたものである。

## 文 献

荒巻幸一郎・山本富三・小山 太・渡邊敏朗・荒木雅登・満田幸恵 2007. 県内産家畜ふん堆肥の窒素無機化特性. 福岡県農業総合試験場研究報告, **26**, 35-40.

Briar, S.S., Miller, S.A., Stinner, D., Kleinhenz, M., and Grewal, P.S. 2011. Effects of organic transition strategies for peri-urban vegetable production on soil properties, nematode community, and tomato yield. *Appl. Soil Ecol.*, **47**, 84-91.

Clark, M.S., Horwath, W.R., Shennan, C., Scow, K.M., Lantni, W.T., and Ferris, H. 1999. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **73**, 257-270.

Dick, R.P. 1992. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **40**, 25-36.

Fliessbach, A., Oberholzer, H.-R., Gunst, L., and Mäder, P. 2007. Soil organic matter and biological soil quality in-

dicators after 21 years of organic and conventional farming. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **118**, 273-284.

Gopinath, K., Saha, S., Mina, B., Pande, H., Kundu, S., and Gupta, H. 2008. Influence of organic amendments on growth, yield and quality of wheat and on soil properties during transition to organic production. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **82**, 51-60.

Karasawa, T., Takebe, M., Sato, F., Komada, M., Nagaoka, K., Takenaka, M., Urashima, Y., Nishimura, S., Takahashi, S., and Kato, N. 2015. Trends of lettuce and carrot yields and soil enzyme activities during transition from conventional to organic farming in an Andosol. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **61**, 295-311.

Liu, K., Hammermeister, A., Warman, P., Drury, C., and Martin, R. 2011. Assessing soil nitrogen availability in contrasting cropping systems at the end of transition to organic production. *Can. J. Soil Sci.*, **91**, 493-501.

MacRae, R.J., Hill, S.B., Mehuys, G.R., and Henning, J. 1990. Farm-scale agronomic and economic conversion from conventional to sustainable agriculture. *Adv. Agron.*, **43**, 155-198.

中辻敏朗・坂口雅己・柳原哲司・小野寺政行・櫻井道彦 2008. 有機栽培野菜畑の窒素肥沃度指標とその簡易分析法. 土肥誌, **79**, 317-321.

大森寛文・三島徳三 1991. 有機農業の現状と方向—北竜町における有機米の取り組みを事例として—. 北海道大学農経論叢, **47**, 129-144.

Pang, X., and Letey, J. 2000. Organic farming challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **64**, 247-253.

Russo, V., and Taylor, M. 2006. Soil amendments in transition to organic vegetable production with comparison to conventional methods: yields and economics. *HortScience*, **41**, 1576-1583.

Temple, S.R., Friedman, D.B., Somasco, O., Ferris, H., Scow, K., and Klonsky, K. 1994. An interdisciplinary, experiment station-based participatory comparison of alternative crop management systems for California's Sacramento Valley. *Am. J. Altern. Agric.*, **9**, 64-64.

Tu, C., Louws, F.J., Creamer, N.G., Paul Mueller, J., Brownie, C., Fager, K., Bell, M., and Hu, S. 2006. Responses of soil microbial biomass and N availability to transition strategies from conventional to organic farming systems. *Agric. Ecosyst. Environ.*, **113**, 206-215.

USDA 1980. Report and Recommendations on Organic Farming. In USDA (ed.). Washington DC.

Zaman, M., Di, H., Cameron, K., and Frampton, C. 1999. Gross nitrogen mineralization and nitrification rates and their relationships to enzyme activities and the soil microbial biomass in soils treated with dairy shed effluent and ammonium fertilizer at different water potentials. *Biol. Fertil. Soils*, **29**, 178-186.