

## オガクズ牛ふんたい肥の長期施用が ハウレンソウの生育および窒素吸収に及ぼす影響

小田島ルミ子<sup>1,a</sup>・高橋正樹<sup>1</sup>・平賀昌晃<sup>1</sup>・小野剛志<sup>1</sup>・阿江教治<sup>2</sup>・松本真悟<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup> 岩手県農業研究センター 024-0003 岩手県北上市成田 20-1

<sup>2</sup> 神戸大学農学部 657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1

<sup>3</sup> 島根大学生物資源科学部附属生物資源教育研究センター 690-1102 島根県松江市上本庄町 2059

### Effect of Continuous Application of Compost Made from Cattle Waste and Sawdust on the Growth and Nitrogen Uptake of Spinach (*Spinacia oleracea* L.)

Rumiko Kodashima<sup>1,a</sup>, Masaki Takahashi<sup>1</sup>, Masaaki Hiraka<sup>1</sup>,  
Tsuyoshi Ono<sup>1</sup>, Noriharu Ae<sup>2</sup> and Shingo Matsumoto<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Iwate Agricultural Research Center, Narita, Katakami Iwate, 024-0003

<sup>2</sup>Faculty of Agriculture, Kobe University, Rokkodai, Nada-ku, Kobe, 657-8501

<sup>3</sup>Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University, Kamihonjo, Matue, 690-1102

#### Abstract

Spinach (*Spinacia oleracea* L.) is one of the major agricultural products in Iwate prefecture, Japan. To evaluate the effect of compost made from cattle waste and saw dust, the growth and nitrogen (N) uptake of spinach were examined between 1998 and 2001, compared to those with standard fertilization using a chemical fertilizer. The compost was applied annually at a rate of 45 g N·m<sup>-2</sup> before sowing, then spinach was cultivated 2–4 times per year without supplemental N application. In the standard fertilization using ammonium nitrate, super phosphate and potassium chloride, N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O were applied to the soil at rates of 16–20 g·m<sup>-2</sup>, 20–24 g·m<sup>-2</sup> and 16–20 g·m<sup>-2</sup>, respectively. Morphological index, i.e. leaf length, leaf width and number of spinach leaves in plants receiving compost were comparable to those of plants treated with chemical fertilizer. Dry matter production and N uptake in spinach applied with the compost was higher than that applied with chemical fertilizer, while the concentration of inorganic N in soil treated with compost was much lower than that treated with chemical fertilizer after every cultivation. Furthermore, the proportion of nitrate to total N in spinach receiving compost was much lower than that in spinach treated with chemical fertilizer, although N uptake was higher in spinach treated with compost than that treated with chemical fertilizer. These findings suggest that N uptake in spinach would not be fully explained by the concentration of inorganic N in soil. However, concentration of phosphate buffer extractable organic N, which is considered an easily decomposable organic N, increased in soil treated with compost compared to that in soil treated with chemical fertilizer.

**Key Words** : inorganic nitrogen, organic nitrogen

キーワード : 無機態窒素, 有機態窒素

#### 緒 言

農業生産現場では「土づくり」として、農業改良普及センター、JAなどの指導のもとにたい肥などの有機物施用が奨励されている。岩手県でも特産野菜を中心にたい肥の施用が指導されており、耕畜連携の観点から主に家畜ふんたい肥が施用されている。特に牛ふんたい肥は施用される家畜ふんたい肥の8割を占め、農業生産現場の主要な有機質

資材となっている。オガクズ、イナワラ、パーク（樹皮）などの副資材を混入した牛ふんたい肥はC/N比が20前後であり、土壌に施用された場合、含有窒素の多くが土壌微生物に取り込まれて、無機化が抑制される「窒素取り込み型」として分類され、肥料としての効果よりも土壌物理性の改善効果が高いとされている。しかし、このような窒素取り込み型のたい肥においても、長期連年施用していく間に、蓄積した有機物から無機態窒素が放出されることが認められている。(Ahmadら, 1973; 赤塚・杉原, 1970; 浅見, 1971; 原田, 1959)。すなわち、このようなC/N比の高い有機物資材を施用した場合でも、連年による無機態窒素の放出量を想定した肥培管理がなされなければ硝酸態窒素による地下水汚染および野菜における高濃度の硝酸の蓄積を

2006年10月24日 受付. 2006年5月22日 受理.

本報告の一部は、土壌保全対策事業で行った。

\* Corresponding author. E-mail: smatsu@life.shimane-u.ac.jp

<sup>a</sup> 現在：盛岡農業改良普及センター

引き起こすことが危惧される。

一方、近年、有機物を施用した作物栽培において、作物は単に有機物から無機化される無機態窒素だけではなく、土壌中に増加する有機物由来の易分解性有機態窒素も利用しているとの指摘がなされており(Chapinら, 1993; Matsumotoら, 2000a; Nashlomら, 1998; Okamotoら, 2003), 有機態窒素の動態に関しても留意する必要があることが示唆されている。

著者らは、岩手県の主要品目であるハウレンソウを対象に、県内で多量に生産されるオガクズ牛ふんたい肥を用いて数年間の連用試験を行い、土壌中の有機・無機態窒素の動態がハウレンソウの生育、窒素吸収反応および品質に及ぼす影響について調査した。その結果、ハウレンソウ栽培における有機物の施用効果に関するいくつかの知見を得たのでここに報告する。

## 材料および方法

### 1. 試験ほ場・土壌条件

岩手県農業研究センター内の表土を、縦3 m, 横4 m, 深さ1 mの有底コンクリート枠(ライシメーター)に充填した。

充填土壌は、非アロフェン質黒ボク土に属し、pH=5.6, 土性LiC, 全炭素3.2%, 全窒素0.2%および可給態窒素は $0.57 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ であった。試験区枠内の表層から0~40 cmまでの透水係数は $2.9 \sim 4.0 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (20°C), 浸透率は54~65%であった。

ライシメーターの上にビニルハウスを設置し、栽培期間である4月から11月までビニルを被覆した。11月から翌年の3月まではビニルを除去した。

### 2. 試験区の構成

本試験では1998年から2001年まで、年間2~4作のハウレンソウを作付けした。

化学肥料区には、窒素を硝安で、リン酸を重過石、カリ

を塩加カリで施用し、播種前日に施肥した。化学肥料の施用量は岩手県の栽培指針(多田, 1997)に従い、1作目は、Nを $9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ を $13 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ を $9 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ で施肥した。2作目は、Nを $7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ を $7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ を $7 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ で施肥した。3作目は、Nを $4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ を $4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ を $4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ で施肥した。4作目は無施用とした。

たい肥区では、1作目播種の2週間前にオガクズ牛ふんたい肥を生重で $8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ 施用し、2作目以降は、無施用とした。岩手県で定めている土作りとして施用する牛ふん主体のたい肥施用量は $4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ であるが、肥料としても活用できるかの検討を行うため、肥効率50%の施肥量を設定した。たい肥の成分は、4年間の平均で生重あたり水分66.7%, pH(H<sub>2</sub>O)=8.6, C/N比23.7, 窒素0.6%, リン酸0.5%, カリ0.9%, 石灰0.7%, 苦土0.2%であった。4年間の作付けおよび施肥量を第1表に示した。

### 3. 供試品種

4月~8月播種時にはアクティブ, 9月以降播種時にはアトランタを用いた。

### 4. 栽植様式

栽植密度は $100 \text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ (株間8 cm×条間12.5 cm)とし、シーダーテープ1粒播種により栽培を行った。かん水量は播種前には $50 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ を、播種後には $15 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ をスミサンスイチューブを用いて均一に行った。気温が高い場合は、適宜かん水を均一に行った。

### 5. 試料の採取法

1) 地上部試料: 収穫時に $1 \text{ m}^2$ 枠内のハウレンソウを収穫し、各試験区で中庸な20株を選択して試料とした。生育調査後、作物体窒素分析用と体内硝酸態窒素分析用に等分した。

2) 土壌試料: 試験区内4端付近と中央付近の5箇所からルートオーガーを用いて0~20 cmの土壌を採取した。表層から2 cmまでの土壌は除いた。

第1表 ホウレンソウ栽培試験の概要と供試品種および施肥量

年度	作期	播種日	収穫日	施肥量 ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )											品種
				化学肥料区					たい肥区						
				窒素	リン酸	カリ	石灰	苦土	窒素	リン酸	カリ	石灰	苦土		
1998	第1作	7月 7日	8月 20日	9	13	9	7	0.4	52	40	66	63	26	アクティブ	
	第2作	10月 6日	11月 24日	7	7	7	4	0.2	0	0	0	0	0	アトランタ	
1999	第1作	5月 16日	6月 21日	9	13	9	7	0.4	45	40	71	61	21	アクティブ	
	第2作	7月 19日	9月 2日	7	7	7	4	0.2	0	0	0	0	0	アクティブ	
	第3作	9月 11日	11月 1日	4	4	4	2	0.1	0	0	0	0	0	アトランタ	
2000	第1作	6月 12日	7月 19日	9	13	9	7	0.4	39	34	55	32	11	アクティブ	
	第2作	8月 24日	9月 28日	7	7	7	4	0.2	0	0	0	0	0	アクティブ	
	第3作	10月 6日	11月 28日	4	4	4	2	0.1	0	0	0	0	0	アトランタ	
2001	第1作	4月 27日	6月 28日	9	13	9	7	0.4	46	43	85	63	20	アクティブ	
	第2作	6月 29日	8月 1日	7	7	7	4	0.2	0	0	0	0	0	アクティブ	
	第3作	8月 8日	9月 19日	4	4	4	2	0.1	0	0	0	0	0	アクティブ	
	第4作	9月 27日	11月 14日	0	0	0	0	0.0	0	0	0	0	0	アトランタ	

## 6. 試料の分析法

1) ホウレンソウ地上部の窒素吸収量：全窒素含有率は、風乾した作物体を粉碎した後、ガンニング変法により湿式分解してアンモニア態窒素とし、オートアナライザー（ブランルーベ社 AAI型、以下、同機使用）を用いて分析した。同機種によるアンモニア態窒素の定量はインドフェノール法による比色定量である。

2) ホウレンソウの硝酸態窒素：収穫後速やかに細断し、サンプル管（アズワン製、ガラスサンプル管瓶）に5g秤量した。この試料に、15 mLの蒸留水を加え、ポリトロンで磨砕し、水を加えて洗いながら50 mLに定容した。これをNo. 2のろ紙でろ過し、10 mLのろ液を遠沈管に取り、10,000 rpmで10分間遠心分離して、上清を得た。上清中の硝酸イオンをHPLCで定量した。

3) 土壌化学性：風乾土10gに10%塩化カリウム100 mLを加えて室温で1時間振とうした後、No. 5Bのろ紙でろ過し、ろ液を分析試料とした。無機態窒素はオートアナライザーを用いて分析し、アンモニア態窒素はインドフェノール法、硝酸態窒素は銅・カドミウム還元-ナフチルエチレンジアミン法によりそれぞれ比色定量した。

土壌中の易分解性有機態窒素については、風乾土300 mgに1/15 Mリン酸緩衝液を3 ml加えて、室温で1時間振とうした後、シリンジフィルター（ADVANTEC製、0.45 μm）でろ過したろ液を分析試料とし（樋口、1982）、全窒素量を乾式燃焼法で測定した。

## 結果および考察

## 1. ホウレンソウ収穫時の外観形質、収量および窒素吸収量

第2表に収穫時の外観形質を示した。4年間の栽培試験を通じて、葉数、草丈および葉幅ともに、年次や作期により若干の変動はあるものの、たい肥区で化学肥料区よりも上回る傾向が認められ、収穫時の生育はたい肥区で進んでいた。

第3表にホウレンソウの収量、収穫時の窒素含有率および窒素吸収量を示した。作期ごとの変動はあるものの全重、調整重および乾物収量の年次別合計は、いずれの年次もたい肥区が化学肥料区を上回る傾向が認められた。両処理間の差は試験開始当初よりもたい肥の連用年数が進んだ2000年、2001年にかけて明瞭となった。窒素含有率は、2000年を除いたその他の3年間は化学肥料区で高い傾向があった。窒素吸収量は乾物収量と同様に、例外的な作期はあるもののたい肥区の方が化学肥料区よりも高く、4年12作の合計では約1.5倍となった。

一般にたい肥施用により土壌物理性が変化し、生育や収量に影響が生じることが知られている（土屋、2004）。しかし、本試験においては処理の違いによる透水係数、土壌硬度の顕著な差は認められず（データ省略）、たい肥施用による土壌物理性の変化がホウレンソウの生育、収量に及ぼす影響は大きなものではなかったと推察される。

たい肥区の窒素施用量は第1表に示したとおり、全量たい肥由来窒素として1年当たり45 g・m<sup>-2</sup>であり、化学肥料の施用量である16～20 g・m<sup>-2</sup>よりも大幅に多い。一般

第2表 たい肥の連用がホウレンソウの草丈、葉数、葉幅に及ぼす影響

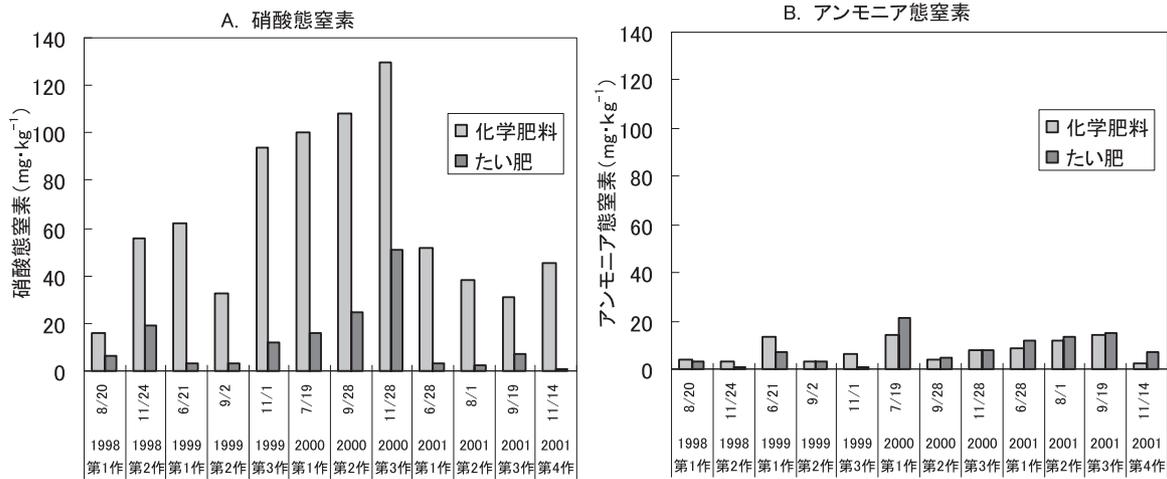
年次	作期	草丈 <sup>z</sup> (cm)		葉数 <sup>z</sup> (枚)		葉幅 <sup>z</sup> (cm)	
		化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥
1998	第1作	15.4 ± 0.5	16.2 ± 0.4	13.6 ± 1.0 a	20.4 ± 1.1 b	5.7 ± 0.1 a	6.2 ± 0.2 b
	第2作	16.5 ± 0.4 a <sup>y</sup>	21.3 ± 0.6 b	11.1 ± 0 a	11.9 ± 0 ab	4.9 ± 0.2 a	6.1 ± 0.2 b
1998年の平均		16.0	18.8	12.4	16.2	5.3	6.2
1999	第1作	18.4 ± 0.5 a	21.4 ± 0.5 b	12.8 ± 0.3 a	14.1 ± 0.4 b	6.1 ± 0.2	6.2 ± 0.4
	第2作	20.7 ± 0.7 a	17.9 ± 0.9 b	23.9 ± 0.3 a	14.3 ± 0.3 b	4.8 ± 0.3	4.5 ± 0.2
	第3作	15.7 ± 0.5 a	24.4 ± 0.5 b	10.0 ± 1.0	9.6 ± 1.3	4.0 ± 0.2 a	5.5 ± 0.1 b
1999年の平均		18.3	21.2	15.6	12.7	5.0	5.4
2000	第1作	8.7 ± 0.3 a	18.9 ± 0.5 b	10.4 ± 0.5 a	23.5 ± 1.0 b	2.5 ± 0.2 a	6.7 ± 0.9 b
	第2作	10.5 ± 0.3 a	19.6 ± 0.5 b	12.0 ± 0.4 a	22.3 ± 1.9 b	2.6 ± 0.1 a	6.1 ± 0.3 b
	第3作	15.3 ± 0.2 a	21.2 ± 0.3 b	17.1 ± 0.4 a	11.6 ± 0.2 b	3.3 ± 0.1 a	4.0 ± 0.1 b
2000年の平均		11.5	19.9	13.2	19.1	2.8	5.6
2001	第1作	24.1 ± 0.7 a	33.4 ± 1.2 b	17.5 ± 1.1 a	14.7 ± 2.7 ab	4.6 ± 0.2	4.9 ± 0.3
	第2作	11.9 ± 0.2 a	12.9 ± 0.2 b	11.2 ± 0.4 a	10.4 ± 0.3 ab	4.0 ± 0.3	4.3 ± 0.1
	第3作	12.4 ± 0.3 a	18.1 ± 0.5 b	16.6 ± 0.9	17.6 ± 1.0	3.8 ± 0.1 a	5.3 ± 0.2 b
	第4作	13.3 ± 0.2 a	22.7 ± 0.6 b	13.3 ± 0.3	12.7 ± 0.5	3.4 ± 0.1 a	6.4 ± 0.2 b
2001年の平均		15.4	21.8	14.7	13.9	4.0	5.2
1998～2001の平均		15.2	20.7	14.1	15.2	4.1	5.5

<sup>z</sup>平均 ± 標準誤差 (n = 20) <sup>y</sup>同項目、同行で異なる文字は、分散分析により5%水準で有意差あり

第3表 たい肥の連用がホウレンソウの収量および窒素吸収に及ぼす影響

年次	作期	乾物収量 <sup>z</sup> (g・m <sup>-2</sup> )		窒素含有率 <sup>z</sup> (%)		窒素吸収量 <sup>z</sup> (g・m <sup>-2</sup> )		全重 <sup>z</sup> (g/株)		調整重 <sup>z</sup> (g/株)	
		化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥
1998年	第1作	124 ± 6.2 a <sup>y</sup>	157 ± 7.2 b	4.9	4.4	6.0 ± 0.3 a	6.9 ± 0.3 b	12.8 ± 0.7 a	15.7 ± 0.7 b	11.3 ± 0.6 a	13.9 ± 0.7 b
	第2作	102 ± 8.1 a	147 ± 8.9 b	4.8	4.1	4.8 ± 0.4 a	6.0 ± 0.4 b	9.3 ± 1.0 a	13.2 ± 1.2 b	8.3 ± 1.0 a	12.2 ± 1.1 b
1998年合計		226	304	—	—	10.9	12.9	22.0	28.9	19.6	26.1
1999年	第1作	119 ± 4.9 a	191 ± 7.1 b	4.1	3.0	4.9 ± 0.2 a	5.7 ± 0.2 b	13.2 ± 0.8 a	19.2 ± 1.0 b	11.5 ± 0.7 a	16.1 ± 0.9 b
	第2作	123 ± 4.6 a	81 ± 5.2 b	4.4	4.3	5.5 ± 0.2 a	3.5 ± 0.2 b	21.0 ± 0.9 a	15.0 ± 1.0 b	19.9 ± 0.8 a	13.2 ± 0.9 b
	第3作	50 ± 7.4	57 ± 8.2	5.0	4.3	2.5 ± 0.4	2.4 ± 0.4	7.0 ± 1.4 a	11.8 ± 2.3 b	6.0 ± 1.3 a	10.3 ± 2.2 b
1999年合計		293	329	—	—	12.9	11.6	28.0	26.8	25.9	23.5
2000年	第1作	35 ± 1.8 a	189 ± 8.6 b	3.6	4.2	1.3 ± 0.1 a	8.0 ± 0.4 b	3.4 ± 0.3 a	17.7 ± 1.1 b	3.0 ± 0.2 a	15.9 ± 1.0 b
	第2作	56 ± 2.2 a	273 ± 23 b	4.2	4.2	2.4 ± 0.1 a	11.4 ± 1.0 b	3.9 ± 0.2 a	23.2 ± 2.1 b	3.6 ± 0.2 a	21.7 ± 2.0 b
	第3作	122 ± 0.6	121 ± 3.9	4.6	5.1	5.6 ± 0.0 a	6.2 ± 0.2 ab	8.7 ± 0.1 a	10.8 ± 0.5 b	7.5 ± 0.1 a	8.7 ± 0.4 b
2000年合計		213	584	—	—	9.3	25.5	12.6	34.0	11.1	30.3
2001年	第1作	161 ± 7.5 a	213 ± 27 b	3.9	3.3	6.3 ± 0.3 a	7.0 ± 0.9 ab	19.5 ± 1.3 a	25.6 ± 4.2 b	18.4 ± 1.2 a	21.3 ± 3.9 ab
	第2作	48 ± 2.6 a	53 ± 2.1 ab	3.9	3.0	1.9 ± 0.1 a	1.6 ± 0.1 ab	6.8 ± 0.4 a	8.5 ± 0.4 b	6.0 ± 0.4 a	7.3 ± 0.3 ab
	第3作	95 ± 3.1 a	177 ± 9.0 b	4.5	3.9	4.3 ± 0.1 a	6.8 ± 0.4 b	8.0 ± 0.4 a	16.1 ± 1.2 b	7.2 ± 0.3 a	14.6 ± 1.1 b
	第4作	94 ± 3.2 a	318 ± 17 b	4.3	3.6	4.0 ± 0.1 a	11.4 ± 0.6 b	6.7 ± 0.3 a	22.8 ± 1.7 b	5.8 ± 0.3 a	19.7 ± 1.5 b
2001年合計		399	761	—	—	16.5	26.8	14.7	38.9	13.1	34.4
1998～2001の合計		1131	1978	—	—	49.6	76.9	120	200	108	175

<sup>z</sup>平均 ± 標準誤差 (n = 20) <sup>y</sup>同項目, 同行で異なる文字は, 分散分析により5%水準で有意差あり



第1図 跡地土壌の無機態窒素含量の推移

に作物は有機物に含まれる窒素を直接吸収・利用するのではなく、微生物により無機化された窒素がその吸収源と考えられている。そのため、本研究においては、たい肥から無機化された窒素量が化学肥料のそれを上回ったことにより、たい肥区のホウレンソウの生育および窒素吸収量が化学肥料区よりも大きかったのではないかと考えられる。しかしながら、無機化窒素推定パラメータに基づいた計算(杉原ら, 1986)によると、たい肥から無機化されると想定される窒素量は、連用1年目の1998年において4.8 g・m<sup>-2</sup>であり、その後、若干増加する傾向にあるものの連用4年目の2001年においても8.3 g・m<sup>-2</sup>である。これらは、化学肥料により施用される無機態窒素量20 g・m<sup>-2</sup>より極めて低

い値である(第4表)。

また、実際に試験期間の全作期において作付終了後の無

第4表 1年間で牛ふんたい肥から無機化される窒素推定量

年度	無機化窒素推定量 <sup>z</sup> (g・m <sup>-2</sup> )	化学肥料区 (g・m <sup>-2</sup> )
1998	4.8	16.0
1999	6.6	20.0
2000	7.6	20.0
2001	8.3	20.0

<sup>z</sup>1999年以降は、前年と当年に施用したたい肥の積算無機化推定量から前年に無機化したと推定される窒素量を差し引いた値

機態窒素量を測定した場合、たい肥区の硝酸態窒素は化学肥料区に比べて極めて低い値で推移していた（第1図A）。アンモニア態窒素は両処理区間に明瞭な差が認められなかった（第1図B）。アンモニア態窒素は硝酸態窒素に比べれば極めて低い値であることから、結果的に土壤中の無機態窒素量は常にたい肥区が化学肥料区よりも低い値で推移していた。したがって、たい肥区において乾物収量、窒素吸収量が化学肥料区に比べ増加したのは、たい肥からの窒素の無機化量が化学肥料の施用量を上回ったことによるものではないと推察される。

## 2. ホウレンソウの体内硝酸態窒素

ホウレンソウ中の硝酸態窒素含量は、一部の作期を除いて、たい肥区が化学肥料区より極めて低い値を示した（第5表）。さらに、ホウレンソウ中の全窒素に占める硝酸態窒素の比率も化学肥料区に比べてたい肥区では極めて低くなった。建部ら（1996）は被覆肥料を条施用することにより、慣行栽培よりもホウレンソウ中の硝酸含量が低下することを報告し、その原因について被覆肥料の条施用により土壤中での硝化が抑制され、ホウレンソウ根域土壌ではアンモニアが主要な窒素形態として存在した結果、アンモニア態窒素が相対的に多く吸収されるためとしている。本試験では前述の通り、4年間の栽培期間を通して、たい肥区の土壌中の硝酸態窒素含量は化学肥料区よりも極めて低い値で推移しており、このためホウレンソウ中に蓄積される硝酸態窒素含量が化学肥料区よりも低くなったものと推察される。一方で土壌中のアンモニア態窒素含量は両処理間

に大きな差は認められなかった（第1図）ことから、化学肥料区に比べてたい肥区では、土壌中の無機態窒素に占めるアンモニア態窒素の比率が相対的に高くなったことも原因の一つかもしれない。しかし、水耕栽培において、培地の硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率が2:8でもホウレンソウの両形態窒素吸収量は等量であることが示されている（建部ら, 1995）ことから、アンモニア態窒素の比率が高い場合であってもホウレンソウが優先的にアンモニア態窒素を吸収したとは考えにくい。そのため本試験において、たい肥区の窒素吸収量が化学肥料区を上回る値を示したことについて、土壌中の無機態窒素量および硝酸態窒素とアンモニア態窒素の比率から推定することには疑問があると言わざるを得ない。

## 3. 有機態窒素の動態とホウレンソウの窒素吸収反応

近年、土壌中の無機化窒素量の推定のために、培養法に代わる抽出法の検討が行われる一方、抽出される有機態窒素の理化学性についても検討が加えられ、可給態窒素の実態を明らかにする研究が進められている（Matsumoto・Ae, 2004）。欧米では0.1 M CaCl<sub>2</sub>, 0.5 M K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>などの塩溶液による抽出法（Appel・Mengel, 1992）、日本では樋口（1982）によって提案された1/15 M中性リン酸緩衝液抽出法が普及している。Matsumoto・Ae（2004）は、これらの溶液によって抽出される有機態窒素のC/N比、アミノ酸組成は極めて類似しており、本質的には同様の有機態窒素が抽出されているのではないかと推察している。また、Matsumotoら（2000b）は、中性リン酸緩衝液によって抽出される易分解

第5表 収穫時のホウレンソウ中の硝酸態窒素及び全窒素含量

作期	硝酸態窒素 <sup>2</sup> (g・kg <sup>-1</sup> DW)		全窒素 (g・kg <sup>-1</sup> DW)		硝酸態窒素/全窒素 (%)		
	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	化学肥料	たい肥	
1998年	第1作	15.9 ± 0.2 a <sup>y</sup>	2.4 ± 0.0 b	48.7	43.8	32.7	5.4
	第2作	5.4 ± 0.1 a	7.2 ± 0.0 b	47.5	41.0	11.5	17.6
1998年平均		10.7	4.8	48.1	42.4	22.1	11.5
1999	第1作	15.0 ± 0.0 a	0.8 ± 0.0 b	41.4	29.7	36.2	2.6
	第2作	17.8 ± 0.1 a	1.0 ± 0.0 b	44.4	43.4	40.0	2.3
	第3作	10.2 ± 0.0 a	12.6 ± 0.1 b	49.6	42.8	20.5	29.5
1999年平均		14.3	4.8	45.1	38.6	32.3	11.4
2000	第1作	12.0 ± 0.2 a	3.1 ± 0.0 b	36.2	42.1	33.1	7.3
	第2作	8.2 ± 0.1 a	5.8 ± 0.1 b	41.9	41.6	19.5	14.0
	第3作	—	7.2 0.0	46.1	50.9	—	14.1
2000年平均		10.1	5.4	41.4	44.9	26.3	11.8
2001	第1作	8.4 ± 0.1 a	1.7 ± 0.0 b	39.1	32.9	21.5	5.1
	第2作	16.0 ± 0.0 a	1.8 ± 0.1 b	38.7	30.0	41.3	6.0
	第3作	5.7 ± 0.1 a	0.7 ± 0.0 b	44.9	38.5	12.7	1.9
	第4作	8.8 ± 0.1 a	0.2 ± 0.0 b	43.0	35.9	20.5	0.7
2001年平均		10.2	0.9	42.2	34.8	24.8	2.9
1998～2001の平均		11.2	3.7	43.5	39.4	26.3	8.9

<sup>2</sup>平均 ± 標準誤差 (n=3)

<sup>y</sup>同項目、同行で異なる文字は、分散分析により5%水準で有意差あり

第6表 リン酸緩衝液で抽出した有機態窒素量<sup>2</sup> (mg・kg<sup>-1</sup>)

	1998 作付前 <sup>2</sup>	2001 作付後
化学肥料区	97.8	90.9
たい肥区	98.0	127.8

<sup>2</sup>リン酸緩衝液抽出有機態窒素 = 抽出液中の全窒素 - 抽出液中の無機態窒素<sup>2</sup> 化学肥料, たい肥施用前に採取

性の有機態窒素が, 土壌の種類および肥培管理の違いにかかわらず, 分子量 8000 ~ 9000 の比較的均一な物質群として存在し, いずれの有機物においても一定期間を経てこの物質群に収斂され, 可給態窒素の給源となることを報告している. 近年, 植物がこれら土壌中の無機化前の可給態窒素を吸収・利用している可能性を示す報告が行われ (Chapin ら, 1993; Nashlom ら, 1998; Okamoto ら, 2003; 森, 1979; 山縣ら, 1997), 土壌中における植物の吸収窒素源は単に土壌や施用有機物から無機化された無機態窒素のみに限定されないのではないかと指摘されるようになってきた. それらの試験の多くはポット栽培や水耕栽培条件下によるものであるが, ほ場条件下で行われた本試験においても, 4年間の栽培試験期間を通じて土壌中の無機態窒素量はたい肥区が化学肥料区に比べて低く推移していたにもかかわらず, たい肥区の窒素吸収量が化学肥料区を上回ることが認められた.

そこで, 土壌中の無機態窒素に代わる窒素供給源として上記の中性リン酸緩衝液抽出窒素に注目すると, 実験開始年である 1998 年の作付前土壌ではたい肥区と化学肥料区ではほぼ同程度であったが, たい肥を 4年間連用した跡地の土壌では, 化学肥料区で実験開始前よりも減少し, たい肥区では増加した (第6表). このようにたい肥を連用することで, 土壌中の可給態窒素 (中性リン酸緩衝液抽出窒素) が増加することは明白である. 但し, たい肥区で増加した可給態窒素が直接的にハウレンソウの窒素吸収量に及ぼす影響については, 本試験の結果からは不明である. しかし, 無機態窒素が低いたい肥区の窒素吸収量が増加する原因について考察するには, 本試験の結果は示唆に富んだデータであり, ハウレンソウが吸収可能な窒素形態については土壌中の無機態窒素だけではなく, 有機物施用によって増加する易分解性有機態窒素の動態も含めてさらに詳しく調査をする必要がある.

## 摘 要

岩手県の主要品目であるハウレンソウを対象に 1998 年から 2001 年まで, 県内で産出するオガクズ牛ふんたい肥の連用試験を行い, 年間 2 ~ 4 作のハウレンソウを作付けして, 生育, 窒素吸収反応に及ぼす影響について調査した.

化学肥料区には, 年間で窒素を硝安で 16-20 g・m<sup>-2</sup>, リン酸を重過石で 20-24 g・m<sup>-2</sup>, カリを塩加カリで 16-20 g・m<sup>-2</sup>, 施肥した. たい肥区では, 1 作目播種の 2 週間前にオガクズ牛ふんたい肥を 45 gN・m<sup>-2</sup> 施用し, 2 作目以降は無施用

とした.

その結果, たい肥区の草丈, 葉幅, 葉数は化学肥料区のそれを上回った. また, 乾物収量, 窒素吸収量もたい肥区が化学肥料区より多かった. 各作付後の跡地土壌の無機態窒素含量はたい肥区が化学肥料区より低かった. さらに, ハウレンソウ中の全窒素に占める硝酸態窒素の比率は, 化学肥料区に比べてたい肥区は極めて低い値を示した. これらの結果は, たい肥を施用した場合, ハウレンソウの生育および窒素吸収量が栽培期間中の土壌中の無機態窒素の存在量に対応していないことを示唆するものであった. 一方, 中性リン酸緩衝液によって抽出される土壌中の易分解性有機態窒素は, 化学肥料区で実験開始前よりも減少し, たい肥区では増加した.

**謝 辞** 本研究を行うにあたり, 農業環境技術研究所化学環境部重金属グループ土壌生化学ユニット 杉山 恵氏, 村上政治氏, 石川 覚博士に討論していただいた. ここに記して厚くお礼を申し上げる.

## 引用文献

- Ahmad, Z., Y. Yashiro, H. Kai and T. Harada. 1973. Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized IV. Chemical nature of the organic nitrogen becoming decomposable due to the drying of soil. *Soil Sci. Plant Nutr.* 19: 287-298.
- 赤塚 恵・杉原 進. 1970. 畑における施肥窒素の行動, とくにその有機化と無機化について. *土肥誌.* 41: 314-318.
- Appel, T. and K. Mengel. 1992. Nitrogen uptake of cereals on sandy soils as related to nitrogen fertilizer application and soil nitrogen fractions obtained by electroultrafiltration (EUF) and CaCl<sub>2</sub> extraction. *Eur. J. Agron.* 1: 1-9.
- 浅見輝男. 1971. 水田土壌中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究 (第2報) 新たに有機化された窒素化合物の無機化過程と土壌有機態窒素の無機化過程の相違. *土肥誌.* 42: 22-25.
- Chapin, F. S., L. Moilanen and K. Kielland. 1993. Preferential use of organic nitrogen for growth by a non-mycorrhizal arctic sedge. *Nature* 361: 150-153.
- 原田登五郎. 1959. 農技研報 B9, p. 132.
- 樋口太重. 1982. 緩衝液で抽出される有機窒素化合物について. *土肥誌.* 53: 1-5.
- Matsumoto, S. and N. Ae. 2004. Characteristics of extractable soil organic nitrogen determined by using various chemical solutions and its significance for nitrogen uptake by crops. *Soil Sci. Plant Nutr.* 50: 1-9.
- Matsumoto, S., N. Ae and M. Yamagata. 2000a. possible direct uptake of organic nitrogen from soil by chingensai (*Brassica campestris* L.) and carrot (*Daucus carota* L.). *Soil*

- Biol. Biochem. 32: 1301-1310.
- Matsumoto, S., N. Ae and M. Yamagata. 2000b. The Status and origin of Available Nitrogen in Soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 46: 139-149.
- 森 敏. 1979. 有機態窒素と無機態窒素の共存条件下での植物の窒素吸収能について (第1報) 前処理窒素条件が本処理窒素の吸収に及ぼす影響. *土肥誌.* 50: 40-48.
- Nashlom, T., A. Ekblad, A. Nordin, R. Giesler, M. Hogberg and P. Hogberg. 1998. Boreal forest plants take up organic nitrogen. *Nature* 392: 914-916.
- Okamoto, M., K. Okada, T. Watanabe and N. Ae. 2003. Growth responses of cereal crops to organic nitrogen in the field. *Soil Sci. Plant Nutr.* 49: 445-452.
- 杉原 進・金野隆光・石井和夫. 1986. 土壌中における有機態窒素無機化の速度論的解析法. *農環研報告.* 1: 127-166.
- 多田勝郎. 1997. 岩手県土壌・施肥管理指針. p. 85. 岩手県.
- 建部雅子・石原俊幸・石井かおる・米山忠克. 1995. 培地の窒素形態およびCa:K比がハウレンソウとコマツナの硝酸, アスコルビン酸, シュウ酸含有率に与える影響. *土肥誌.* 66: 535-543.
- 建部雅子・佐藤信仁・石井かおる・米山忠克. 1996. 緩効性肥料の施用がハウレンソウのシュウ酸, アスコルビン酸, 糖, 硝酸含有率に与える影響. *土肥誌.* 67: 147-154.
- 土屋一成. 2004. 西南暖地の水田輪作における資材の適正利用と作物生産. p. 15-16. ほ場と土壌. 第10-11号.
- 山縣真人・中川建也・阿江教治. 1997. <sup>15</sup>N 利用による米ぬか窒素吸収の作物間比較. *土肥誌.* 68: 291-294.