雨よけハウレンソウに適した土壌窒素供給量の評価法と適正施肥の提案

小田島ルミ子^{1a}・阿江教治^{1b}・松本真悟^{2*}¹ 神戸大学大学院農学研究科 657-8501 神戸市灘区六甲台町² 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

Evaluation of Nitrogen Availability Based on the Amount of Extractable Soil Organic Nitrogen and Suggestion for the Proper Fertilization in Rain Shelter-grown Spinach

Rumiko Kodashima^{1a}, Noriharu Ae^{1b} and Shingo Matsumoto^{2*}¹ Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Rokkodai, Nada-ku, Kobe, Hyogo 657-8501² Education and Research Center for Biological Resources, Faculty of Life and Environment Science, Shimane University, Kamihonjo-cho, Matsue, Shimane 690-1102

Abstract

Absorbance at 280 nm in soil extracts with 0.4 M sulfate solution was highly correlated with the concentration of total N in the extracts of different soils. Therefore, we proposed an easy detection procedure for evaluating available N in soil. To estimate the total N uptake of spinach grown triannually under a rain shelter, the amount of 0.4 M sulfate-extractable organic nitrogen in the soil was determined before cultivation in the Andosol area in Iwate prefecture, Japan. Total nitrogen uptake of spinach grown without fertilizer in 8 experimental sites showed a tendency to increase when the amount of 0.4 M sulfate-extractable organic nitrogen in soil was increased, while N uptake efficiency tended to decrease when there was over 540 mg · kg⁻¹ of the extractable organic N in soil. Application of manure compost was effective in increasing the yield, while reducing internal nitrate concentration of spinach. However, the internal nitrate concentration in spinach exceeded the criterion value (3,000 mg · kg⁻¹) when there was over 540 mg · kg⁻¹ of 0.4 M sulfate-extractable organic nitrogen in soil. These findings indicate that the determination of 0.4 M sulfate-extractable organic nitrogen in soil might contribute to the fertilization of rain shelter house-grown spinach.

Key Words : fertilization, manure compost, nitrogen uptake, sulfate-extractable organic nitrogen**キーワード** : 窒素吸収量, 家畜ふん堆肥, 硫酸抽出有機態窒素, 施肥法

緒 言

岩手県で栽培されている雨よけハウレンソウの施肥基準では、堆肥の施用が奨励されている(岩手県, 2004)。小田島ら(2006)は堆肥施用の効果を化学肥料施用区と比較検討した結果、ハウレンソウ(*Spinacia oleracea* L.)の窒素吸収量(生育)は、土壌中の無機態窒素の存在量だけでなく、土壌中の有機態窒素からも影響をうけることを指摘した。すなわち、有機物の投入によって、土壌中に存在する硝酸態窒素が有機化されることによって無機態窒素量が減少し、ハウレンソウ中の硝酸態窒素濃度は減少したが、ハウレンソウの窒素吸収量(生育)はむしろ増加した。この結

果は菜種油かすを施用した条件で、ハウレンソウは窒素吸収量および乾物重が増加し、有機物の施用効果が高いとするこれまでの報告(松本ら, 1999)とも一致した。このため、ハウレンソウの利用可能な窒素源として、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にも注目する必要があると考えた。そこで、小田島ら(2005)はハウレンソウが利用可能な窒素源を明らかにする目的で、土壌有機態窒素の形態別逐次抽出法の開発を行った。この逐次抽出法を用いてハウレンソウとトウモロコシの栽培跡地土壌を分析したところ、無作付けおよびトウモロコシ土壌と比較して、ハウレンソウ土壌では0.4 M 硫酸で抽出される窒素量の減少が認められた。すなわち、ハウレンソウは、中性リン酸緩衝液で抽出される画分よりもさらに難溶性の、0.4 M 硫酸で抽出される画分も吸収窒素源として利用できることを明らかにした(小田島ら, 2007)。堆肥の施用を前提とするハウレンソウの栽培体系では、土壌中の無機態窒素だけを窒素供給源とすると、大量の過剰な窒素施肥を促し、長期的には、地下

2009年4月10日 受付。2010年2月4日 受理。

本研究の一部は、高度化事業「野菜における硝酸塩蓄積機構の解明と低減化技術の開発」で行った。

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

^a 現在: 一関農業改良普及センター^b 現在: 酪農学園大学

水や水系への硝酸態窒素汚染を招くことになる。

岩手県は、ライシメーター試験でハウレンソウへの施肥が地下への養分溶脱量に及ぼす影響について調査した結果、慣行栽培を行った場合、窒素で $260 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、リン酸で $390 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、カリで $160 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ が毎年土壤中に蓄積することになり、施用量を減らす必要があると指摘した（岩手県，2004）。しかし、現行の施肥基準では、堆肥から供給される養分量についてだけでなく、土壤の窒素肥沃度に対応した施肥法についても十分に検討されていないため、適正な施肥法が確立されていない。

一方、ハウレンソウの安定出荷および産地ブランドの育成のためには品質を向上させることが必要であり、糖、ビタミンCなどの栄養素を増加させ、硝酸およびシュウ酸などを減少させることが求められている（野菜茶業研究所，2006）。ハウレンソウの体内硝酸濃度については、窒素施肥法の改善によって減少が期待できるとされ、そのためにも、施肥法の確立が重要である。栄養生長の途中で収穫されるハウレンソウでは、土壤中の硝酸態窒素を硝酸還元酵素の能力以上に過剰に吸収した場合、余剰の硝酸を液胞に蓄積し、蓄積された硝酸は再利用されにくい（米山・建部，1992）。そのため、土壤からの窒素供給量の違いによって、生長量は同じでも体内硝酸濃度に違いがあるとも考えられる。すなわち、土壤からの窒素供給量を過小評価し、過剰な施肥が行われれば、品質の低下も懸念される。また、農業改良普及センターなどでの分析を考慮すれば、より簡易な評価法が求められており、リン酸緩衝液抽出法においても、抽出液の全窒素を測定するのではなく、比較的簡易に取り扱うことのできる抽出液の吸光度の測定が採用されている（斉藤，1988）。松本ら（2000）は、土壤の0.4 M 硫酸による抽出溶液をサイズ排除 HPLC で分析した場合、280 nm で検出されるピークはリン酸緩衝液抽出液と同様なピークを示し、0.4 M 硫酸でもリン酸緩衝液と同質の有機態窒素が抽出されることを示している。そのため、0.4 M 硫酸抽出法を採用する場合でも、紫外外部吸光度（280 nm）の測定による簡易な可給態窒素推定法が可能と推察される。そこで、本研究では簡易な可給態窒素量の推定を行う目的で、岩手県内の主要なハウレンソウ産地から採取した土壤を用いて、リン酸緩衝液抽出法との比較をもとに0.4 M 硫酸抽出溶液の紫外外部吸光度法の妥当性を検証した。また、現地栽培農家の圃場で窒素施用を行わずにハウレンソウを栽培し、作付け前に行った0.4 M 硫酸抽出法による窒素供給量の推定とハウレンソウの窒素吸収量との関係を検討した。さらに、0.4 M 硫酸抽出法による肥沃度の異なる圃場において慣行栽培を行い、ハウレンソウの生育と体内硝酸濃度に及ぼす影響を検討し、雨よけハウレンソウの施肥管理基準を策定するための土壤肥沃度の評価法を検証した。

材料および方法

1. 0.4 M 硫酸で抽出した溶液の吸光度法（UV）による土壤の窒素肥沃度の簡易推定

1) 供試土壤

岩手県の32地点から、ハウスでハウレンソウ栽培した跡地土壤（深さ2～20 cm，採取時期11～12月，1試験区につき5か所）を採取した。その内訳は、黒ボク土25点，グライ台地土1点，黄色土1点，褐色低地土1点および灰色低地土4点である。それぞれの採取地点では、岩手県の施肥基準に基づいた雨よけハウレンソウ栽培を行っている。その耕種概要は、以下の通りである。3～11月まで4～5作のハウレンソウを栽培し、1年に1回土づくり資材として、牛ふん堆肥の場合 $40 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、鶏ふん堆肥の場合 $12 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ 施用する。施肥は化学肥料で行い、1作目に、窒素を $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、リン酸を $130 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、カリを $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 施用する。2作目には、窒素、リン酸、カリをそれぞれ $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 、3作目に窒素、リン酸、カリをそれぞれ $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ 施用し、4作目以降は無施用にする。

2) 抽出溶液の吸光度による窒素含量の推定

リン酸緩衝液による抽出法（土壤養分測定法委員会，1997）：上記32地点の風乾細土（2 mm 篩）5 g に1/15 M リン酸緩衝液50 mL を加えて1時間振とうした後、ろ過した（No. 5B, Advantec）。このろ液を20倍に希釈し、その希釈液の波長280 nm の吸光度を測定した。一方、このろ液をフィルター（0.45 μm , Advantec）に通したものの全窒素量を全窒素分析計（TN-100, 三菱化学）で測定した。

0.4 M 硫酸による窒素の抽出（松本ら，2000）：風乾細土（2 mm 篩）5 g に0.4 M 硫酸溶液50 mL を加えて1時間振とうした後ろ過し（No. 5B, Advantec 製）、ろ液を100倍に希釈した。その希釈液の波長280 nm の吸光度を測定した。一方、このろ液をフィルター（0.45 μm , Advantec）に通したものの全窒素量を全窒素分析計（TN-100, 三菱化学）で測定した。

2. ハウレンソウの窒素吸収量と0.4 M 硫酸による抽出窒素量との関係

1) 試験方法

2003～2004年まで、ハウレンソウを年間3作栽培している現地農家で栽培経過を観察した。また、同様の栽培を岩手県農業研究センターでも行った。各圃場の作付前の土壤条件を第1表に示す。この一連の圃場試験では、無肥料栽培を行い、ハウレンソウによる年間窒素吸収量と栽培前の土壤中の有機態窒素量を上述の吸光度法（UV）によって測定した（リン酸緩衝液抽出法および0.4 M 硫酸抽出法）。8か所の栽培前土壤養分は、無機態窒素11～147 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、可給態リン酸198～3,014 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、交換性カリ356～1,416 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ であった。一般的なハウレンソウの年間吸収量は窒素160 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、リン酸80 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、カリ600 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ であり、2年目の1部圃場（B圃場）のカリ以外はハウレ

第1表 栽培試験を行った圃場の来歴と栽培前の土壌の化学性

圃場 ²	場所	ハウレンソウ 作付年数	土壌型	0.4 M 硫酸抽出 有機態窒素 推定量 (mg・kg ⁻¹)	無機態 窒素量 (mg・kg ⁻¹)	作付前可給態 リン酸 (P ₂ O ₅ mg・kg ⁻¹)	作付前交換性 カリ (K ₂ O mg・kg ⁻¹)
A	遠野市	6	非アロフェン質黒ボク土	370	35	2,157	646
	遠野市	7	非アロフェン質黒ボク土	380	22	2,656	717
B	八幡平市 西根平笠	11	アロフェン質黒ボク土	430	11	389	356
C	八幡平市 西根平笠	10	アロフェン質黒ボク土	440	20	414	790
	北上市	7	非アロフェン質黒ボク土	520	63	222	928
D	北上市	6	非アロフェン質黒ボク土	540	65	198	1,175
E	八幡平市 西根帷子	8	アロフェン質黒ボク土	570	104	3,014	1,416
F	八幡平市 西根帷子	7	アロフェン質黒ボク土	620	147	2,924	1,175

² アルファベット A～F がついた圃場は、実験3を実施した圃場

第2表 栽培試験に用いたハウレンソウ品種と栽培経過

圃場 ²	場所	実施 年度	第1作			第2作			第3作		
			播種日	収穫日	品種	播種日	収穫日	品種	播種日	収穫日	品種
A	遠野市	2004	3月30日	5月7日	イーハトーブ	5月24日	6月28日	ライズ	7月5日	8月11日	アクティブ
	遠野市	2003	4月6日	5月14日	イーハトーブ	5月24日	6月18日	サンライズ	7月1日	7月30日	アクティブ
B	八幡平市 西根平笠	2004	3月20日	5月13日	アクティブ	6月5日	7月6日	プリウス	7月18日	8月31日	サンライズ
C	八幡平市 西根平笠	2003	5月7日	6月12日	アクティブ	7月16日	8月19日	サンライズ	8月22日	9月18日	サンライズ
	北上市	2003	4月26日	5月24日	アクティブ	6月2日	7月7日	アクティブ	7月25日	8月20日	アクティブ
D	北上市	2004	4月24日	5月27日	アクティブ	6月5日	7月8日	アクティブ	8月1日	9月6日	アクティブ
E	八幡平市 西根帷子	2004	3月30日	5月6日	サンライズ	6月25日	7月27日	サンライズ	9月10日	10月13日	サンライズ
F	八幡平市 西根帷子	2003	4月20日	5月22日	アクティブ	6月20日	7月22日	サンライズ	8月17日	9月16日	サンライズ

² アルファベット A～F がついた圃場は、実験3を実施した圃場

ソウが生育するためのリン酸、カリは十分含まれていた。

2) 試験圃場

試験圃場は以下の4か所、すなわち遠野市（農家圃場、非アロフェン質黒ボク土）、北上市（岩手県農業研究センター、非アロフェン質黒ボク土）、八幡平市西根平笠（農家圃場、アロフェン質黒ボク土）、八幡平市西根帷子（農家圃場、アロフェン質黒ボク土）のハウス栽培土壌で行った（第1表）。

3) 供試品種

ハウレンソウ品種は、各産地の推奨品種を用いた。その詳細を第2表に示す。すなわち、3～5月期には抽だいの遅い「アクティブ」および「イーハトーブ」、6～8月にかけて栽培期間が短くても収量性の高い「プリウス」および

「サンライズ」である。

3. 0.4 M 硫酸抽出法による窒素供給量に基づいたハウレンソウの適正施肥の提案

1) 試験方法

第1表にアルファベット（A～F）で示した6つの圃場で、2003～2004年にかけて年間3作のハウレンソウを栽培した。試験区には、堆肥施用の有無や化学肥料の有無を評価するために第3表に示す化学肥料区、化学肥料+堆肥区、堆肥区の3処理を設けた。化学肥料の窒素は硝安、リン酸、カリは重過石、塩化カリを施用した。リン酸、カリは化学肥料区のみ1作目でP₂O₅として13 g・m⁻²、K₂Oとして9 g・m⁻²、を施用した。2作目ではP₂O₅およびK₂O

第3表 土壌の窒素肥沃度に対応した施肥基準の検討のために用いた試験区の堆肥施用量と化学肥料由来窒素施用量

試験区	1 作目		2 作目		3 作目	
	堆肥施用量 (kg・m ⁻²)	化学肥料 由来窒素 ^z (g・m ⁻²)	堆肥施用量 (kg・m ⁻²)	化学肥料 由来窒素 ^z (g・m ⁻²)	堆肥施用量 (kg・m ⁻²)	化学肥料 由来窒素 ^z (g・m ⁻²)
化学肥料 ^y	0	9	0	7	0	4
化学肥料 ^y +堆肥	4	9	0	7	0	4
堆肥	4	0	0	0	0	0

^z窒素は硝安で施用した

^yリン酸、カリは化学肥料区にのみ重過石、塩化カリウムで施用した

1 作目では P₂O₅ として 13 g・m⁻²、K₂O として 9 g・m⁻²、を施用した

2 作目では P₂O₅ および K₂O として 7 g・m⁻² を、3 作目では P₂O₅ および K₂O として 4 g・m⁻² を施用した

として 7 g・m⁻² を、3 作目では P₂O₅ および K₂O として 4 g・m⁻² を施用した。

堆肥区の 1 作目では、4 kg・m⁻² (現物) 施用した。その後の 2 作目、3 作目では、無施用とした。

2) ホウレンソウの採取と分析

ホウレンソウは、草丈 25 cm 前後に達した株を 10 株採取し、縦 2 等分に切断し、1/2 の試料は風乾、粉碎し、残りの 1/2 は細断した。さらにその乾燥物 (50°C, 48 時間) は、ガンニング変法 (作物分析法委員会, 1975) 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, AAI 型) で分析した。細断した試料は、硝酸濃度を分析するため、サンプル管 (アズワン, ガラスサンプル管瓶) に 5 g ずつ秤量した。この試料に、15 mL の蒸留水を加え、ポリトロンホモジナイザーで磨砕し、水を加えて洗いながら 50 mL に定容した後ろ過し (No. 2, Advantec), ろ液 10 mL を遠沈管に採り、10,000 rpm, 10 分間遠心分離して、上清を得た。この上清をフィルター (0.45 μm, Advantec) に通したものの硝酸イオンを HPLC (Shimadzu, カラム: Shimadzu shimpackH101, 検出器: UV 210 nm) で定量した。

結果および考察

1. 0.4 M 硫酸で抽出した溶液の吸光度法 (UV) による土壌の窒素肥沃度の簡易推定

第 1 図にリン酸緩衝液および 0.4 M 硫酸溶液で抽出した溶液中の全窒素量と 280 nm の吸光度で示す値との関係を示した。0.4 M 硫酸による抽出液の全窒素量と 280 nm の吸光度との間には、1% 水準で有意な正の相関関係が認められた ($r^2=0.84$)。この 0.4 M 硫酸で抽出された有機態窒素量は、1/15 M リン酸緩衝液で抽出される有機態窒素量の 2~6 倍の値を示した。また、リン酸緩衝液抽出法よりも回帰直線の決定係数は高い値を示し、広範な肥沃度の土壌に対応できると考えられた。

一方、リン酸緩衝液抽出法では、抽出液中の全窒素量と 280 nm の吸光度との間にも正の相関がみられたが、0.4 M 硫酸のそれよりも相関が弱く、抽出される有機態窒素量の範囲も 0.4 M 硫酸抽出法より限定的であった。日置ら (2003) は淡色黒ボク土、厚層多腐植質黒ボク土、灰色低地土およ

第 1 図 0.4 M 硫酸およびリン酸緩衝液で抽出した溶液の全窒素量とその吸光度 (280 nm)

^z ** は、1% 水準で有意を表す

び黄色土で同様の検討を行い、本研究に供試した土壌型の一つである厚層多腐植質黒ボク土では広い範囲の有機態窒素量が同一の吸光度になることを明らかにし、比較的肥沃度の高い黒ボク土では、リン酸緩衝液で抽出された土壌有機態窒素量と吸光度との相関関係が認められない可能性を指摘した。松本ら (2000) は供試したすべての土壌とリン酸緩衝液との間に 1% 水準で有意な相関関係を認めたが、リン酸緩衝液よりも 0.4 M 硫酸の方が高い相関が認められたと報告している。藤井ら (1990) はグライ土で同様の検討を行い、肥沃度の高い土壌では 0.5 M 硫酸抽出法が適していることを認めた。これらの知見と本研究の結果を考慮すれば、黒ボク土を主体とする岩手県のホウレンソウ栽培における肥沃度の推定には、広範囲な肥沃度の土壌にも対応できる 0.4 M 硫酸抽出法が適していると考えられた。これまでに、ホウレンソウへ可給化される窒素が中性リン酸緩衝液抽出画分よりもさらに難溶性の 0.4 M 硫酸抽出画分にも及ぶことが認められていることから (小田島ら, 2007), 本研究では、ホウレンソウ栽培土壌における可給態窒素の簡易推定法として 0.4 M 硫酸抽出による吸光度を測定する方法を採用した。

第2図 無肥料で栽培したハウレンソウの年間窒素吸収量（3作合計）と土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の関係（A）およびハウレンソウの窒素吸収効率係数と0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量との関係（B）

^z ハウレンソウの窒素吸収量 ($\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{m}^{-2}$) $\div$ 0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量 ($\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$)

^{*}は、5%水準で有意を表す

2. ハウレンソウの窒素吸収量と0.4 M 硫酸による抽出窒素量との関係

現地農家圃場6か所および岩手県農業研究センター内圃場2か所、合わせて8か所の圃場で行われた無肥料のハウレンソウ栽培における窒素吸収量（年間3作の合計量）と、栽培前に採取した土壌の0.4 M 硫酸溶液による抽出液の吸光度（280 nm）による推定有機態窒素量との関係を第2図Aに示した。調査圃場全体では両者に有意な相関は認められなかったものの、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の増加により、ハウレンソウの窒素吸収量も増加する傾向が認められた。一方、最も高い有機態窒素量（620 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）であったF圃場において、ハウレンソウの窒素吸収量は減少する傾向が認められたことから、ハウレンソウの窒素吸収における0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の有効な範囲を確認するために、窒素吸収効率を検討した結果を第2図Bに示した。ハウレンソウの窒素吸収量（ $\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）を栽培前の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量（ $\text{g} \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$ 単位に換算）で除した値を窒素吸収効率係数とした場合、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の増加に伴って、窒素吸収効率係数は増加するものの、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量

が500 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上になると頭打ちとなり、さらに減少する傾向が認められた。すなわち、これらの結果は、土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が一定範囲を超えた場合には、必ずしもハウレンソウの窒素吸収量を増加させるものではないことを示唆していると考えられる。

一般に、土壌肥沃度の向上を目的として堆肥などの有機物が施用されるが、その基準は明確ではない。堆肥の連年施用によって、可給態リン酸、交換性カリなどの養分が集積される（岩手県農業研究センター, 2003）。本研究においても、供試した圃場では、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が高い圃場ほど交換性カリ含量も高い値を示していた（第1表より、 $Y = 3.64X + 831$, $r^2 = 0.68^*$, Y : 交換性カリ含量, X : 0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量）。さらに、供試土壌の中でも抽出された有機態窒素量が最も高いFおよびそれに続くE圃場では、極めて多量の可給態リン酸と交換性カリが集積されていた。すなわち、F圃場においてハウレンソウの窒素吸収量ならびに窒素吸収効率係数が減少した要因の一つとして、堆肥の連用による塩類集積により、ハウレンソウの生育が抑制された可能性も考えられる。一方、これまでに小田島ら（2006）は、ハウレンソウの生育には無機態窒素の存在量だけではなく、易分解性有機態窒素を考慮する必要があることを示し、0.4 M 硫酸で抽出される窒素もハウレンソウに利用されることを示してきた。以上のことから、土壌の0.4 M 硫酸抽出液の紫外外部吸光度を測定する方法は、ハウレンソウ栽培における土壌窒素供給量およびハウレンソウの吸収窒素量を推定する方法の1つとして有効であると考えられる。ただし、堆肥の連用に伴って生じる塩類集積による生育抑制も考慮に入れてその施用を検討する必要があることが示唆された。

3. 0.4 M 硫酸抽出法による窒素供給量に基づいたハウレンソウの適正施肥の提案

第1表に示したA～F圃場でハウレンソウを年間3作栽培し、その1作あたりの平均収量と体内硝酸濃度に及ぼす土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量および化学肥料と堆肥施用の影響を第4表に示した。各圃場土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量と収量の間には一定の傾向がみられず、有意差は認められなかった。一方、施肥の違いと収量には有意差が認められた。化学肥料+堆肥区では他の2処理区に比べて高い収量となった。また、堆肥区と化学肥料区では有意差は認められなかったものの堆肥区で高い傾向を示したことから、堆肥の施用はハウレンソウの収量向上に効果的であると考えられた。ハウレンソウの収量が堆肥の施用により化学肥料と同等以上であったことは、小田島ら（2007）と一致し、ハウレンソウ栽培における有機態窒素の重要性が示唆された。一方、ハウレンソウ中の硝酸濃度は0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の増加とともに上昇した。E圃場およびF圃場では、他の区に比べてハウレンソウ中の硝酸濃度が高い値を示した。これらの結果は、0.4 M 硫酸で抽出される有機態窒素量が高いほど無機化窒

第4表 ホウレンソウの収量と体内硝酸濃度（年間3作の平均）に及ぼす土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量および化学肥料と堆肥施用の影響

処理区	収量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} / \text{作}$)	硝酸濃度 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
A 圃場 (370 ²)	1.33 a ^x	1,858 a
B 圃場 (430)	1.90 a	2,259 a
C 圃場 (440)	1.76 a	1,270 a
D 圃場 (540)	1.78 a	3,317 a
E 圃場 (570)	1.40 a	3,720 b
F 圃場 (620)	1.67 a	3,985 b
化学肥料	1.37 a	3,280 a
化学肥料 + 堆肥	1.84 b	2,659 b
堆肥	1.71 a	2,266 b

二元配置の分散分析^y

圃場	ns	**
施肥	*	**
圃場 × 施肥	ns	ns

² 作付前土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量 ($\text{mg} \cdot \text{N} \cdot \text{kg}^{-1}$) を示す

^y 圃場と施肥の2要因で二元配置の分散分析を行い、5%水準で有意差があった場合にTukey法による多重検定を行った*、**はそれぞれ5%、1%水準で有意差があることを示し、nsは有意差がないことを示す

^x 異なるアルファベット間にTukey法による5%水準の有意差があることを示す

第3図 化学肥料および堆肥を施用したホウレンソウ栽培における土壌の0.4 M硫酸抽出有機態窒素推定量とホウレンソウ中の硝酸濃度（年間3作平均）の関係

^z **は、1%水準で有意を表す

素量が多くなりホウレンソウの体内に蓄積する硝酸が増えたためと考えられる。

一方、堆肥区の硝酸含量は化学肥料区に比べて低い値を示した。また、化学肥料 + 堆肥区でも堆肥区よりもやや高くなるものの、化学肥料区よりも低下する傾向が認められた。これらの結果は、堆肥の施用により、土壌中の無機態窒素が有機化され、ホウレンソウに吸収される硝酸が化学肥料区に比べて減少したためと考えられる。第3図に土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量とホウレンソウ中の硝

酸濃度との関係を示した。土壌の0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量の増加に伴っていずれの施肥処理においてもホウレンソウ中の硝酸濃度は増加する傾向が認められた。化学肥料区のホウレンソウの硝酸濃度は、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が $540 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ のD圃場で $3,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上となり、570, $620 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ のEおよびF圃場ではそれぞれ $4,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の高い値を示した。一般に、ホウレンソウの体内硝酸濃度として $3,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ が一つの目安として出荷されており、これを数値目標にしている産地の事例もある（目黒ら, 1991; 吉川ら, 1988）。これらの圃場においても、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が $500 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下であったA, BおよびC圃場と同様に、化学肥料 + 堆肥区および堆肥区では化学肥料区よりもホウレンソウの体内硝酸濃度は低下する傾向を示したが、 $3,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ を超える硝酸濃度となった。すなわち、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が $540 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上であった圃場では、堆肥施用による無機態窒素の有機化の効果よりも、肥沃度の向上による土壌からの窒素無機化量が大幅に増加したためではないかと推察された。そのため、堆肥区のホウレンソウの硝酸濃度が $3,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ を超えるのがD圃場（0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が $540 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ）であることから推察すると、0.4 M 硫酸抽出窒素量が $500 \sim 550 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の圃場では、成分品質を考慮すれば、化学肥料の施肥量および堆肥の施肥量を再検討する必要があると考えられる。以上のことから、単に窒素量だけではなく、塩類などの他養分の集積程度も反映していることも考えられるが、土壌の0.4 M硫酸抽出液の紫外吸光度を測定する方法は、雨よけホウレンソウ栽培における化学肥料と堆肥の施用を検討する際の簡易な方法として有効であると考えられる。

これらの知見は、1年間の多収を目指すために多肥傾向にある雨よけホウレンソウ土壌を見直す端緒となり、長期安定生産を行なうための土作りとして有効な技術になると考えられる。また、今後、雨よけホウレンソウ以外のハウス栽培作物にも適応できるような検討も必要である。

摘 要

岩手県黒ボク土地帯でのホウレンソウ栽培土壌における可給態窒素量の推定法として0.4 M硫酸抽出法を採用し、抽出液の280 nmにおける吸光度と抽出窒素量との関係を検証したところ、両者には極めて高い正の相関が認められた。この結果に基づき、土壌の0.4 M硫酸抽出液における吸光度（280 nm）から求めた有機態窒素推定量を算出し、無肥料で栽培したホウレンソウ（年3作）の窒素吸収量との関係を検討した。その結果、土壌の有機態窒素推定量の増加に伴ってホウレンソウの窒素吸収量も増加する傾向が認められたが、土壌の有機態窒素推定量が $540 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の圃場では、ホウレンソウの窒素吸収効率は低下する傾向が認められた。0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が異なる圃場で化学肥料および堆肥を施用してホウレンソウを年

間3作した場合、堆肥の施用により増収となり、硝酸濃度を低減する効果も認められた。一方、堆肥の施用によりハウレンソウ中の硝酸濃度は化学肥料区よりも低くはなるものの、0.4 M 硫酸抽出有機態窒素推定量が $540 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以上の圃場では $3,000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ を超える値となった。化学肥料および堆肥の施用量を判断する簡易な方法として0.4 M 硫酸によって抽出される土壌有機態窒素量を280 nmの吸光度によって測定する方法が有効であると考えられた。

謝 辞 本研究の遂行にあたって、栽培試験では岩手県農業研究センター環境部諸氏に多大なご協力をいただいた。また、元岩手県農業研究センター所長 武田真一氏には、研究遂行に対して多大な尽力を賜った。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

引用文献

- 土壌養分測定法委員会. 1997. 土壌環境分析法. p. 259–262. 博友社. 東京.
- 藤井弘志・安藤 豊・佐藤之信, 中西政則. 1990. 速度論的解析法によって得られた可分解性有機態窒素量の簡易推定法. 土肥誌. 61: 92–93.
- 日置雅之・高橋 茂・伊藤純雄. 2003. 中性リン酸緩衝液抽出有機態窒素の簡易測定法の比較. 愛知農総試研報. 35: 39–42.
- 岩手県. 2004. 持続性の高い農業生産方式の導入に関する指針. p. 1–5. 岩手県.
- 岩手県農業研究センター. 2003. 雨よけほうれんそう長期安定出荷マニュアル. p. 14–16. 岩手県.
- 小田島ルミ子・阿江教治・吉光寺徳子・松本真悟. 2005. 土壌中に蓄積している窒素の形態分別法の検討. 土肥誌. 76: 833–841.
- 小田島ルミ子・阿江教治・松本真悟. 2007. ハウレンソウの窒素吸収能特性とその栽培跡地土壌の窒素の形態. 土肥誌. 78: 275–281.
- 小田島ルミ子・高橋正樹・平賀昌晃・小野剛志・阿江教治・松本真悟. 2006. オガクズ牛ふん堆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. 園学研. 5: 389–395.
- 松本真悟・阿江教治・山縣真人. 1999. 有機質肥料の施用がハウレンソウの生育および硝酸, シュウ酸, アスコルビン酸に及ぼす影響. 土肥誌. 70: 31–38.
- 松本真悟・阿江教治・山縣真人. 2000. 中性リン酸及び希硫酸抽出による土壌の可給態窒素の推定と抽出される有機態窒素の特性. 土肥誌. 71: 86–89.
- 目黒孝司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭. 1991. 夏どりハウレンソウの内部品質指標. 土肥誌. 62: 435–438.
- 斉藤雅典. 1988. 土壌可給態窒素量の紫外外部吸光度法による評価. 土肥誌. 59: 493–495.
- 作物分析法委員会. 1975. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. p. 64–69. 養賢堂. 東京.
- 野菜茶業研究所. 2006. 野菜の硝酸イオン低減化マニュアル. 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構野菜茶業研究所.
- 米山忠克・建部雅子. 1992. アスコルビン酸・シュウ酸・硝酸の代謝と相互関係. 農及園. 67: 1005–1062.
- 吉川年彦・中川勝也・小林 保・時枝茂行・永井耕介. 1988. 高品質ハウレンソウの生産・出荷に関する研究 (第2報). 近畿中国農業研究. 75: 77–81.