

ハウレンソウの硝酸イオン濃度低減のための下層土窒素診断法

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	林, 哲央 長尾, 明宣
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	81巻3号
掲載ページ	p. 263-266
発行年月	2010年6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





ホウレンソウの硝酸イオン濃度低減のための 下層土窒素診断法*

林 哲央・長尾明宣

キーワード 窒素, ホウレンソウ, 根系, 下層土,
土壌診断

1. はじめに

ホウレンソウ栽培では栄養生長の途中に葉を可食部として収穫するが、一般に生育盛期の葉柄は硝酸イオンを蓄積しやすく(建部ら, 2006), 収穫物の硝酸イオン濃度が高まりやすい。そのため、北海道ではホウレンソウのハウス作型において、これまで夏どり栽培での硝酸イオン濃度について独自の指標値(新鮮重当たり 3.0 g kg^{-1} 以下)および指標値を達成するための作土の土壌窒素評価などの栽培指針を示している(目黒ら, 1991)。

しかし、近年の北海道内を対象とした実態調査では、土壌中の硝酸態窒素が $20 \sim 30 \text{ mg kg}^{-1}$ 程度と低い場合にも、ホウレンソウの硝酸イオン濃度が指標値を超える事例が多く認められた(花・野菜技術センター・中央農業試験場, 2006)。このとき、土壌中の硝酸態窒素とホウレンソウの硝酸イオン濃度との間には一定の傾向が認められず、作土の硝酸態窒素を対象とする従来の土壌診断に基づいた窒素施肥技術では、ホウレンソウの硝酸イオンを指標値以下にできない場合のあることが示された。近年のホウレンソウ栽培ハウスにおける調査例では、下層土中に硝酸態窒素が残存しており(林ら, 2009)、これに起因してホウレンソウの硝酸イオン濃度を高めている可能性があるものの、そのことについて実際の農家ハウスで検討された事例はこれまでになかった。また、北海道のハウス栽培では年間の窒素施肥量が窒素持出量より $40 \sim 50 \text{ g m}^{-2}$ 多い事例があり(林ら, 2009)、窒素収支の面からも窒素施肥量を窒素持出量に近づけられるように施肥の改善が必要である。

そこで、ホウレンソウの下層土中窒素の利用特性に基づ

き、作土層に加えて下層土の残存窒素を評価した施肥改善を行い、硝酸イオン濃度を低下させる技術を開発したので紹介する。

2. 本技術の概要

ハウス栽培ホウレンソウの収穫時の根系は主に深さ $10 \sim 30 \text{ cm}$ にあり、深さ $20 \sim 30 \text{ cm}$ の層位に存在する硝酸態窒素を吸収する。このため、栽培前に深さ $0 \sim 40 \text{ cm}$ の土壌に存在する硝酸態窒素量に基づいて、窒素施肥量を $0 \sim 12 \text{ g m}^{-2}$ の範囲で増減することにより、ホウレンソウの硝酸イオン濃度を指標値以下に維持しつつ、一般的な目標収量(北海道農政部, 2002)を確保することができる。このとき窒素施肥量はホウレンソウによる窒素吸収量と同程度以下になり、長期的には土壌中の硝酸態窒素レベルの低減および環境負荷の軽減が期待される。

3. 本技術開発の手順

1) 試験方法

(1) 現地実態調査

市町村別ホウレンソウ生産面積が道内で第2位である旭川市において、2007年に4棟のハウスでホウレンソウの硝酸イオン濃度(新鮮重当たり、以下同じ)および土壌中の硝酸態窒素を周年調査した。土壌は $\phi 30 \text{ mm}$ の検土杖で採取し風乾後に分析した。硝酸態窒素は蒸留水で振とう抽出後に定量し、熱水抽出性窒素は 105°C でオートクレーブ抽出後、硫酸分解液のアンモニウム態窒素を定量した。ホウレンソウの硝酸イオン濃度はフードプロセッサで粉碎した後、蒸留水を添加してホモジナイザーで微粉碎して分析した。

(2) 根系の窒素吸収特性調査

ホウレンソウの収穫時の根系を細粒質普通灰色台地土(北海道滝川市)のハウスにおいて2007年に、ライン交差点法(山内, 1998)に基づき 50 mm 四方の枠と交差する根の本数により調査し、根長密度を算出した。また、土壌の深さ別の硝酸態窒素の吸収パターンを2007年秋まきと2008年夏まきとの作型別に調査した。栽植密度を 100 株 m^{-2} 、1区面積を 0.04 m^2 として2反復で発芽始期に株間に $\phi 30 \text{ mm}$ の穴を開けて、深さ $10 \sim 70 \text{ cm}$ (秋まき作型では深さ 50 cm まで)の範囲に 10 cm 刻みで埋設位置を変えて硝酸カルシウム ($^{15}\text{N} 5\% \text{ atom}$) で硝酸態窒素を 5 g m^{-2} 施用し、各区でホウレンソウを栽培した。

Tetsuo HAYASHI and Akinobu NAGAO: A diagnostic method for measuring nitrogen in the subsoil to decrease the nitrate accumulation in spinach

* 本技術は2009年1月の北海道農業試験会議で指導参考事項となった。

北海道立総合研究機構 花・野菜技術センター (073-0026 滝川市東滝川 735)

2009年11月17日受付・2010年3月5日受理

日本土壌肥科学雑誌 第81巻 第3号 p.263~266 (2010)

(3) 窒素診断の対象土層の検討

2007年2月～2008年10月の2年間に旭川市内の4棟の農家ハウス（何れも褐色低地土）においてホウレンソウを1年当たり5回栽培し、窒素施肥試験を行った。試験は、2007年は上述の(1)で実態調査したハウスの一部、2008年は新たに選定したハウスを用いて行った。処理は各作期の施肥前に、①作土（深さ0～20 cm）、②深さ0～40 cm、③深さ0～60 cmの各々に存在する硝酸態窒素に基づいて窒素施肥量を決定した区、および④無窒素区を設定し、各区におけるホウレンソウの硝酸イオン濃度および粗収量を調査した。

処理区③における窒素施肥量は、深さ0～20 cm (a)、20～40 cm (b)、40～60 cm (c)の各層位における土壤中の硝酸態窒素含量を0～40 cmまで (a+b)、あるいは0～60 cmまで (a+b+c) 足し合わせた数値 (d) を各区における残存窒素量と見立て、表1により行った。表1の右半分において土壤中の硝酸態窒素含量 (d) を 50 mg kg^{-1}

ごとに区切り、各々に窒素施肥量を設定した。土壤中の硝酸態窒素と窒素施肥量との対応関係は、既存の北海道施肥ガイドにおける窒素施肥対応表（北海道農政部, 2002）に準じて作成した。なお、調査期間中の1作当たりの平均栽培日数は36.9日であり、品種は当該農家が各作期に栽培したものを用いた。

2) ホウレンソウの硝酸イオン濃度と土壤中の硝酸態窒素の現地実態

各ハウスは2～11月頃にビニール被覆され、冬期間は積雪下にあった。これは当該地域における一般的なハウス管理形態である。各ハウスでは13～31年にわたりホウレンソウが連作されており、調査期間中に各々で年間5回栽培された。年間の窒素施肥量は北海道施肥ガイド（北海道農政部, 2002）に基づき $39 \sim 51 \text{ g m}^{-2}$ の範囲で行われていた。土壌は何れも褐色低地土で、熱水抽出性窒素は $57 \sim 196 \text{ mg kg}^{-1}$ の範囲にあった。各ハウスにおける収穫時のホウレンソウの硝酸イオン濃度、深さ0～20 cm（作土層）、

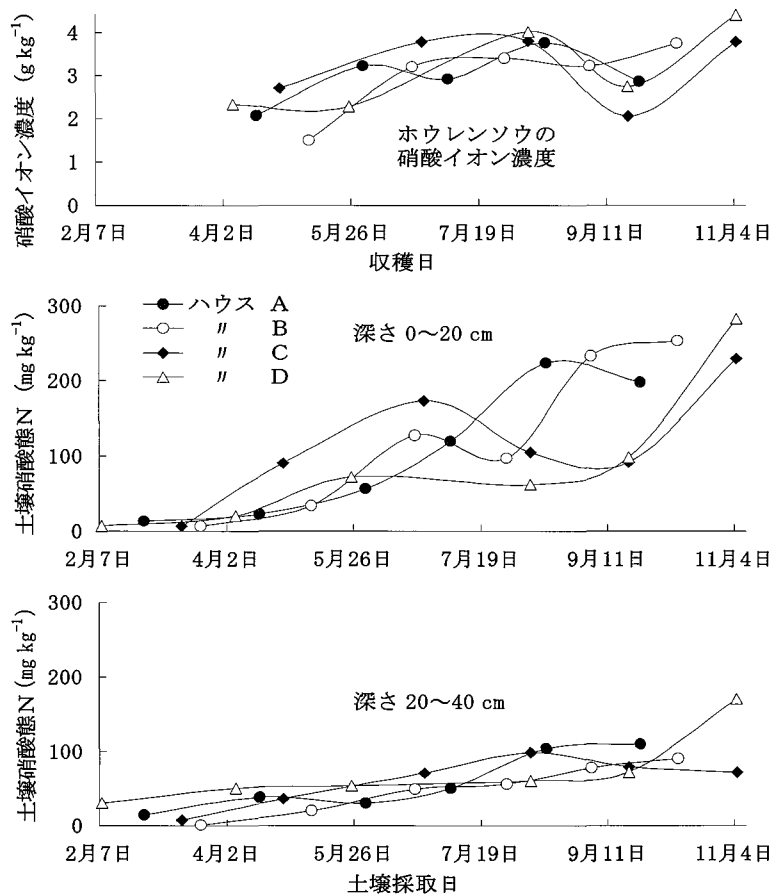


図1 現地圃場におけるホウレンソウの硝酸イオン濃度と土壌硝酸態窒素の季節推移

表1 土壌硝酸態窒素に基づいた窒素施肥量決定における評価対象土層深の検討方法

深さ (cm)	土壌硝酸態窒素 (mg kg ⁻¹)	評価対象土層深さ (cm)	各層位での濃度を足し算	左記の数値 d (土壌硝酸態窒素)						
				~50	50~100	100~150	150~200	200~		
0~20	a	} ⇒	0~20	a = d	⇒ 施肥量 (g m ⁻²)	12	9	6	3	0
20~40	b		0~40	a+b = d						
40~60	c		0~60	a+b+c = d						

同 20~40 cm の土壤中の硝酸態窒素はいずれも 1 作目で低く、栽培回数を経過するほど高まった (図 1)。市販ハウレンソウの硝酸イオン濃度は夏に高まり秋に低下する傾向にあるが (藤原ら, 2005), 同一圃場内では窒素施肥量による差のほうが季節間差より大きく (建部ら, 2006), 硝酸イオン濃度は主に窒素施肥や土壌窒素レベルにより変動するものと考えられる (亀野ら, 1990)。本調査では 11 月に収穫した 5 作目の硝酸イオン濃度が最も高かったが、これは当分の生育期間中における土壤中の硝酸態窒素が高かったことに起因すると考える。本調査における窒素施肥量は作土層に残存する硝酸態窒素に対応して減肥したが、作土層に加えて深さ 20~40 cm の硝酸態窒素が栽培期間中に高まる傾向を示したことが、ハウレンソウの硝酸イオン濃度を高めた要因のひとつであると考えられた。

3) ハウレンソウ根系の窒素吸収特性

根系は深さ 40~50 cm に達しており、主要な根群は主に深さ 10~30 cm に存在した (表 2)。ハウレンソウの原産地は中央あるいは西アジアの乾燥地帯と考えられており、根系は播種後 70 日で深さ 1.2 m に達する (香川, 1989)。北海道におけるハウレンソウの平均的な栽培日数は 35 日程度であるが、収穫時点で根系が作土層より下に伸長していることは明らかであった。

ハウレンソウは深さ 10~60 cm の土壤に埋設された窒素を吸収しており、深さ 20~30 cm から相当の窒素を吸収した (図 2)。夏まき・秋まきの両作型ともに同様の傾向にあっ

表 2 ハウレンソウ根の土壤深別分布

深さ (cm)	根長密度 (mm ⁻³)
0~10	157 ± 51
10~20	373 ± 105
20~30	231 ± 97
30~40	69 ± 50
40~50	20 ± 21
50~60	5 ± 14

± 以下は標準誤差。

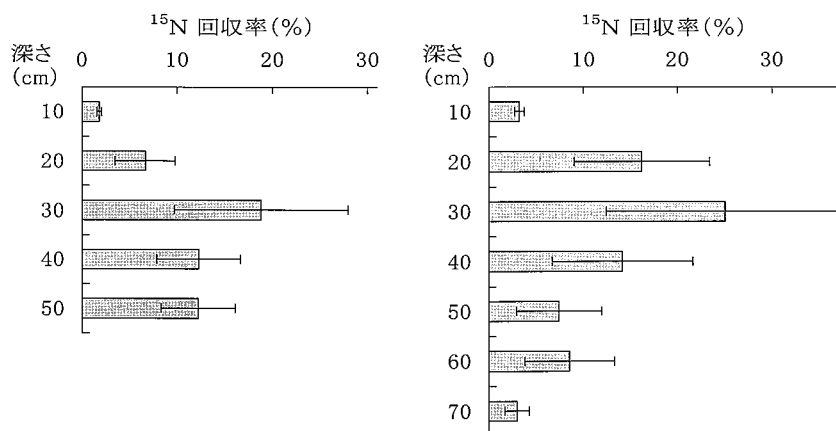


図 2 深さ別に施肥した ¹⁵N 標識硝酸カルシウム中窒素のハウレンソウによる回収率
左；秋まき (秋まきの調査は深さ 50 cm まで), 右；夏まき
発芽始期に株間に φ30 mm の穴を開け、深さ 10 cm 刻みで ¹⁵N 標識硝酸カルシウムを施用。

た。作物が根系の伸長した深さまでの下層土に存在する硝酸態窒素を吸収、利用する事例はトマトでも認められており (林ら, 2004), 深根性作物であるハウレンソウにおいても、硝酸イオン濃度を低下させるためには、下層土に存在する硝酸態窒素を評価する必要があると考えられた。

4) 下層土に存在する硝酸態窒素に対応した窒素施肥

窒素診断の対象土層の検討において、各年における施肥前の土壤中の硝酸態窒素を深さ別に見ると (表 3), 1 作目の作土ではほとんどのハウスで 10~30 mg kg⁻¹ 程度であったが、深さ 20~40 cm には 100 mg kg⁻¹ 以上あるハウスも見られ、2 作目以降には各層位とも作期が進むにしたがい徐々に高まった。深さ 20 cm 以下の土層に残存する硝酸態窒素を作土と合わせて評価すると、深い土層まで評価するほどハウレンソウの硝酸イオン濃度が低下する傾向が認められた (表 4)。評価対象土層を深さ 40 cm までとすると、硝酸イオン濃度の年平均値が北海道における独自指標値 (3.0 g kg⁻¹ 以下) を下回った。このときの粗収量は作土の診断のみで窒素施肥量を定める現行法よりやや低かったものの、年平均で 1.2 kg m⁻² 程度得られた。評価対象土層を深さ 60 cm までとすると、硝酸イオン濃度はさらに低下したが、7 月以降の粗収量も低下する傾向が見られた。ハウレンソウでは粗収量のうち 70~80% が調整後収量になるため (黒島, 2004), 評価対象土層を深さ 40 cm までとしたときの粗収量 1.2 kg m⁻² は概ね 0.9 kg m⁻² の出荷時収量に相当する。これは北海道の春夏~夏まき作型における一般的な目標収量が 0.8 kg m⁻² であることから見て (北海道農政部, 2002), 良好な収量レベルが得られた。

下層まで土壤中の硝酸態窒素を評価した場合の年合計窒素施肥量を従来法と比較すると、深さ 0~40 cm を評価した場合で 15~16 g m⁻², 0~60 cm で 23~27 g m⁻² の減肥になった。深さ 0~40 cm まで評価したときの窒素施肥量はハウレンソウによる吸収量と概ね同程度かあるいは下回った。

以上のことから、ハウレンソウにおいて収量性を維持しながら硝酸イオン濃度を低下させるためには、施肥前(あ

表3 各作期の施肥前における深さ別の土壤硝酸態窒素量¹

調査年	深さ (cm)	硝酸態 N (mg kg ⁻¹)							可給態 N ² (mg kg ⁻¹)
		3月	5月	7月	8月	9月	跡地	平均	
2007	0~20	8± 5	42± 34	108± 67	96± 48	162± 98	241±112	109± 51	123± 71
	20~40	14± 12	36± 20	51± 27	67± 35	83± 39	111± 62	60± 28	69± 24
	40~60	38± 31	54± 36	50± 25	71± 41	106± 57	107± 62	71± 38	34± 13
2008	0~20	24± 23	126± 59	139± 44	187±107	243±194	227±164	155± 92	157±105
	20~40	102±111	91± 82	139± 59	126± 64	162±129	172±100	128± 87	68± 25
	40~60	135±100	152±104	311±114	230±142	197±164	131± 78	182±111	36± 15

¹ 試験した4ハウスの各調査年ごとの平均値, ±以下は標準誤差.

² 1作目の施肥前, オートクレーブ抽出法 (105℃, 60分).

表4 評価対象とする土層の範囲と窒素収支, ホウレンソウの硝酸イオン濃度および収量との関係¹

調査年	評価対象土層の深さ (cm)	硝酸イオン濃度 g kg ⁻¹	粗収量 kg m ⁻²	年合計 N (g m ⁻²)	
				施肥量	吸収量
2007	0~20	3.09±0.77	1.26±0.49	45.0± 6.9	25.4±3.4
	0~40	2.91±0.98	1.20±0.50	29.3± 6.6	24.4±3.5
	0~60	2.64±1.15	1.04±0.49	18.0± 5.4	21.0±4.3
	-N	1.67±0.32	0.78±0.21	0	16.4±1.3
2008	0~20	3.09±1.20	1.35±0.48	28.5± 9.0	25.2±5.2
	0~40	2.58±1.06	1.18±0.41	13.5±12.4	23.8±3.1
	0~60	2.58±1.18	1.12±0.45	6.0± 7.3	22.9±4.4
	-N	2.36±0.75	1.04±0.22	0	22.3±1.4

¹ 試験した4ハウスの各調査年ごとの年平均値, ±以下は標準誤差.

るいは前作の栽培終了時)の深さ40cmまでの土壤中の硝酸態窒素に基づいて施肥量を定めることが適当と判断された. 具体的には, 深さ0~20cm, 20~40cmの各々の土壤中の硝酸態窒素を算出し, 前掲(表1)の方法で窒素施肥量を定める. 診断時の状況により, 深さ0~40cmを一括分析して得られた値(mg kg⁻¹)を2倍した数値に基づいて決定することも可能である.

窒素施肥量は, 土壤中の硝酸態窒素の蓄積したハウスではホウレンソウの窒素吸収量と同程度あるいは下回ることから, 本診断法を続けることにより長期的には土壤中の硝酸態窒素レベルが低減し, 地下水などの環境への負荷が軽減されるものと考えられる.

なお, 本試験を行った農家ハウスでは夏期に窒素施肥量を減らした区で, 土壤病害に起因してホウレンソウが出芽後に枯死して欠株を生じ, 収量の低下した事例が数回みられた. ホウレンソウ根腐病は土壤の硝酸イオン濃度が高い条件下で発病が抑制されるため(Akashi *et al.*, 1987), 作土の硝酸態窒素の減少が発病を助長した可能性がある. 従って, 道内のホウレンソウ産地で下層土窒素診断を推進するためには, 連作を避ける, あるいは土壤消毒するなどの基本技術を並行して進める必要がある.

4. 本技術適用上の留意点

有効土層が深さ40cm以上確保されたハウス土壤を対象とする. 土壤型については従来の診断法と同様に特に限定しない.

謝辞: 北海道農業研究センター岡紀邦博士, 北海道立中央農業試験場環境保全部長志賀弘行博士並びに同花・野菜技術センター中野雅章研究部長には本稿をご校閲頂き, 現地試験および調査では北海道上川農業改良普及センター, 旭川青果物出荷組合連合会にご協力頂いた. 以上の

各位に謝意を表す.

文 献

Akashi, K., Maeda, K., and Ogoshi, A. 1987. Soil environment in relation to the incidence of *Aphanomyces* root rot of spinach I Effect of Nitrate Nitrogen on disease Outbreak. *Ann. Phytopath. Soc. Jpn.*, **53**, 323-328.

藤原隆広・熊倉裕史・大田智美・吉田祐子・亀野 貞 2005. 市販ホウレンソウのL-アスコルビン酸および硝酸塩含量の周年変動. *園学研*, **4**, 347-352.

花・野菜技術センター・中央農業試験場 2006. 道産野菜の硝酸塩含量の実態と変動要因, 北海道農政部編 平成18年普及奨励ならびに指導参考事項. p. 182-184.

林 哲央・日笠裕治・中住晴彦 2004. ハウス土層の下層土診断による窒素施肥改善. *土肥誌*, **75**, 617-621.

林 哲央・日笠裕治・坂本宣崇 2009. 北海道のハウス栽培における層別別の土壤養分, とくに硝酸態窒素の実態と下層土診断法の有効性. *土肥誌*, **80**, 14-22.

北海道農政部 2002. 北海道施肥ガイド. p. 86, 141, 札幌.

香川 彰 1989. ホウレンソウ生育のステージと生理生態. *野菜園芸大百科9*, p. 165-170. 農文協, 東京.

亀野 貞・木下隆雄・楠原 操・野口正樹 1990. ホウレンソウの栽培条件及び品種と品質関連成分の変動. *中国農試研報*, **6**, 157-177.

黒島 学 2004. 北海道のホウレンソウ栽培における溝底播種技術の導入. *北海道園芸研究談話会報*, **37**, 12-13.

目黒孝司・吉田企世子・山田次良・下野勝昭 1991. 夏どりホウレンソウの内部品質指標. *土肥誌*, **62**, 435-438.

建部雅子・岡崎圭毅・鍵下恵太・唐澤敏彦 2006. ホウレンソウの硝酸イオン含有率低減に対する養液土耕栽培の効果. *土肥誌*, **77**, 9-16.

山内 章 1998. 根長の測定法. 根の事典編集委員会編 根の事典, p. 380-382. 朝倉書店, 東京.