

北海道のハウス栽培における層位別の土壌養分、とくに硝酸態窒素の実態と下層土診断法の有効性

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 日笠, 裕治 坂本, 宣崇
発行元	日本土壌肥料学会
巻/号	80巻1号
掲載ページ	p. 14-22
発行年月	2009年2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



北海道のハウス栽培における層位別の土壤養分、 とくに硝酸態窒素の実態と下層土診断法の有効性

林 哲央^{1,2}・日笠裕治^{1,3}・坂本宣崇^{1,4}

キーワード ハウス, 下層土, 土壤診断, 硝酸態窒素, 可給態窒素

1. はじめに

ハウス土壤の生産性を維持するためには、土壤診断による適切な施肥管理で塩類集積を回避する必要がある。ハウスにおける土壤診断は多くの場合、作土層を対象としており、特に50~60 cm以深に移動した硝酸態Nは作物生育に影響しないものと見なしてきた^{1~9)}。

しかし、栽培年数の長いハウスでは下層土に硝酸態Nが多く残存する上、たとえば深根性のトマトは追肥時期に根が下層土に達し、そこに存在する硝酸態Nを吸収する¹⁰⁾。一方、乾燥地域の土壤で認められる下層から表層へ硝酸塩が上昇する現象は^{11~13)}、降雨が遮断されるハウスでも起こることが知られている^{1,2)}。これらのことは、主に作土を対象とする現在の土壤診断法では、下層土に存在する硝酸態Nの評価が不十分なため、過剰な施肥につながりやすいことを意味している。そこで、著者らは前報¹⁰⁾でトマト等の深根性作物を対象にした下層土の窒素診断手法を提案したが、これを実際の営農現場に適用する際の効果や問題については検討しなかった。

北海道のような積雪寒冷地のハウスでは、春から秋までの作付け期間には被覆され、栽培が終了した後は被覆が剥がされて冬季は積雪下にあることが多い。しかし、近年に見られる傾向として少雪地帯では春の被覆時期が早まったり、施設の大型化で周年被覆が行われるようになった。このような積雪条件あるいはハウスの被覆期間の違いは、融雪による作土層からの養分の溶脱程度に影響すると推測される。よって、ハウスにおける肥培管理を適正化するためには、地域やハウス管理で異なると考えられる下層土に残存する養分実態の特徴をまず明らかにする必要がある。

本報告の目的は、北海道の代表的野菜栽培ハウス土壤を対象に、深さ1 mまでの層位別に無機養分、特に硝酸態N

の残存実態を調査して栽培管理方法との関係を検討するとともに、著者らが前報¹⁰⁾で報告したハウス栽培における下層土診断法の有効性を明らかにすることである。

2. 調査方法

1) 調査地域

北海道中央部の少雪地帯の平取町では2~8月および5~11月に栽培されるトマト、同日本海沿岸部の多雪地帯の余市町では4~10月に栽培されるトマト、同南部の中雪地帯の厚沢部町では5~10月に栽培されるキュウリ、同中雪地帯の知内町では4~11月に連作されるハウレンソウおよび周年栽培ニラを対象として、各品目が栽培されるハウス圃場を調査した(図1)。

2) 栽培管理実態調査

各調査対象ハウスについて栽培年数、1年当たりの堆肥施用量および施用した堆肥の種類を聞き取った。堆肥の原材料のうち家畜ふん尿の由来は牛ふんとそれ以外(馬ふん、鶏ふんおよび豚ふん)とに分けて集計した。土壌型は褐色低地土および灰色低地土を低地、黒ボク土および灰色台地土を黒ボク等、泥炭土および泥炭質グライ低地土を泥炭として集計した。各地域の降水量と平均気温、調査対象作物の作型と栽培時期を表1に示した。

3) 土壌の化学性

各々の土壌は基肥前に直径25 mmの採土器を用いて20 cm毎の層位別に深さ1 mまで、ハウス1棟につき3カ所



図1 調査地域

¹ 北海道立道南農業試験場 (069-1395 夕張郡長沼町東6北15)

² 現在、北海道立花・野菜技術センター (073-0026 滝川市東滝川735)

² 現在、北海道立中央農業試験場 (069-1395 夕張郡長沼町東6北15)

⁴ 現在 (005-0850 札幌市南区石山東6-3)

2007年5月7日受付・2008年9月22日受理

日本土壤肥科学雑誌 第80巻 第1号 p.14~22 (2009)

ずつ採取した。ただし、ハウレンソウ栽培ハウスでは1作目の施肥前に採取した。風乾後に土壌中の硝酸態Nはフェノール硫酸法で、可給態Nはオートクレーブ抽出法(105℃, 60分)で、pH、可給態リン酸(Truog法)、交換性陽イオンは定法に従って分析した¹⁴⁾。さらに、硝酸態Nについては収穫終了後にも同様に調査した。

土壌硝酸態Nについて、平取町では作型別に、余市町では土壌型別に、厚沢部町では栽培年数別に、知内町では品目別に整理した。この主な理由は、平取町は少雪地域であることを生かして促成栽培と抑制栽培とを繰り返す周年利用型ハウスが見られること、余市町は果樹園から転換したハウスが多く、それらの多くは台地にあるため、水田転換畑の低地土に立地するハウスとの比較ができたこと、厚沢部町は調査当時に農業関係機関の指導でハウス栽培が増加しつつあり、新規ハウスの土壌養分の変化を調査できたこと、知内町は夏季に被覆を剥がすニラ栽培ハウスが多く、一般的な北海道のハウスとは土壌硝酸態Nの動態が異なると想定されたためである。

4) 窒素の収支

各ハウスへの窒素投入量と持出量を算出した。投入量については、北海道で行われたハウス栽培の試験結果に基づき、堆肥中の窒素はその一部が無機化すると考え堆肥1Mgの施用につき建設後5年未満のハウスでは窒素を2kg、5年以上のハウスでは同3kg施用したと仮定した。有機質肥料では窒素全量が無機化するものとみなした。また、持出量については、各調査地域における平均収量と各作物の一般的な窒素吸収量^{15~18)}とで推定した。

深さ0~1mまでの硝酸態N量は、各層位における硝酸態N(mg kg⁻¹)に基肥前の土壌含水率から推定した容積

重¹⁰⁾を乗じて各層位(厚さ20cm当たり)が保有するN量(kg ha⁻¹)を算出し、これらを合計した。

5) 下層土診断法

下層土診断法の目的は追肥窒素を減肥することにある。そこで、現行の土壌診断法(以下、現行法とする)によって追肥窒素を減肥した場合と下層土診断法で減肥した場合との比較を行った。北海道のハウス栽培における現行法では、施肥前の作土層(深さ0~20cm)に残存する硝酸態Nに対応して窒素施肥量を決定しており、追肥窒素量は、硝酸態Nが150 mg kg⁻¹未満のときに0 kg ha⁻¹、150~200 mg kg⁻¹で40 kg ha⁻¹、200 mg kg⁻¹以上で80 kg ha⁻¹を減肥する。一方、下層土診断法では深さ20~40cmおよび40~60cmに残存する硝酸態Nから前項と同様に算出した深さ20~60cmまでに残存する硝酸態N量を窒素減肥量とした¹⁰⁾。現行法と下層土診断法の各々の窒素減肥量の合計を改善法による減肥量とした。

3. 調査結果

1) 栽培管理に関する実態

(1) 地域の概略

各地域における調査ハウスの栽培年数、土壌型、主に施用された堆肥の種類と堆肥施用量を表2に示した。栽培年数は0~4年、5~9年、10年以上が各々35、29、36%であった。土壌型は調査ハウスのうち低地土が66%と多く、他の土壌では黒ボク土および台地土、泥炭土が各々17%と少なく、道内のハウスは主に低地の水田転換畑に集中していることが伺われた。施用された堆肥のほとんどは家畜ふん尿由来で、その大半は牛ふん尿由来堆肥であった(表2)。なお、道内におけるハウス野菜栽培の面積は

表1 調査地域の気象概要および対象ハウスの栽培概要

調査地域	5~10月		11~4月		対象品目 および作型	栽培時期 (定植~収穫終)	調査棟数	調査日
	降水量 ^a (mm)	平均気温 ^a (°C)	降水量 (mm)	平均気温 (°C)				
平取町	666	14.8	281	-0.8	トマト(夏秋どり)	5月~11月	28	1998年4月30日, 11月17日
〃					トマト(促成)	2月~8月	16	1999年1月29日, 9月9日
余市町	625	15.9	748	0.1	トマト(夏秋どり)	4月~10月	31	2000年4月13日, 10月30日
厚沢部町	790	15.7	587	0.4	キュウリ(夏秋どり)	5月~10月	35	1996年4月19日, 10月24日
知内町	763	15.7	569	1.3	ハウレンソウ(連作)	4月~11月 ^b	18	1998年4月15日, 11月6日
〃					ニラ(促成)	7月 ^c ~5月	10	1998年11月6日, 1999年5月26日

^a 1979~2000年の平年値。 ^b 栽培期間中に平均4回栽培。 ^c 定植年の定植期, 収穫期は2月~5月。

表2 調査対象ハウスの栽培年数, 土壌型, 年間堆肥施用量および堆肥の種類要

調査地域	(対象品目)	栽培年数(年)				土壌型			年間堆肥施用量(Mg ha ⁻¹)				堆肥の種類(由来)			
		~4	5~9	10~	平均年数	低地 ^a	黒ボク等 ^b	泥炭 ^c	~5	5~10	10~	平均施用量	牛ふん	馬ふん等 ^d	植物	無施用
		調査棟数				調査棟数			調査棟数				調査棟数			
平取町	(トマト)	5	22	17	9.0	40	4	0	6	36	2	65	19	21	0	4
余市町	(トマト)	2	3	26	15.4	13	11	7	29	2	0	20	11	10	4	6
厚沢部町	(キュウリ)	26	9	0	2.7	29	6	0	3	21	11	108	32	3	0	0
知内町	(ハウレンソウ)	13	5	0	4.1	5	0	13	0	8	10	107	18	0	0	0
〃	(ニラ)	2	1	7	12.1	5	2	3	5	5	0	47	10	0	0	0
合計		48	40	50	8.4	92	23	23	43	72	23	70	90	34	4	10
割合(%)		35	29	36	-	67	17	17	31	52	17	-	65	25	3	7

^a 褐色低地土および灰色低地土。 ^b 黒ボク土および灰色台地土。 ^c 泥炭土および泥炭質グライ低地土。 ^d 馬ふん, 鶏ふんおよび豚ふん。

2,914 ha (2004年時点)で、そのうち平取町が98 ha、余市町および近隣町が142 ha、厚沢部町および近隣町が32 ha、知内町が59 haで、本調査地域は全体の11%を占めた。

(2) 平取町

平取町はトマトが水田転換作物として組織的に導入され、道内における市町村別トマト生産量が第1位である。生産面積が年々増加しているため、15年以上栽培したハウスと5年未満のハウスとが混在するが、調査した全ハウスで定植前に土壌診断が行われていた。同町は道内の中では少雪地帯であり、夏秋どり栽培のハウスでは79%が冬期間に被覆を剥がしている一方、促成栽培のハウスは全て周年被覆していた。堆肥の年間施用量は平均65 Mg ha⁻¹であり、地域の農業関係機関が年間50 Mg ha⁻¹程度の施用を奨励していた。

(3) 余市町

余市町は道内における市町村別トマト生産量が第3位であり、トマトは水田転換作物として早くから栽培され、そのようなハウスでは15年以上栽培していた。一方、果樹園から転換したハウスが45%もあり、それらの栽培年数は3年~30年の幅があった。本調査の範囲では、定植前に土壌診断したハウスはなかった。また、周年被覆したハウスはなく、32%のハウスで融雪の1~2ヶ月前にハウス内を排雪した後に被覆していた。このようなハウスでは被覆から定植までの期間が短いことが、定植前の土壌診断が行われない一因となっていた。家畜ふん尿等に由来する堆肥の施用量が年間20 Mg ha⁻¹程度と少なく、土壌への有機物の補給を目的に、施肥が魚粕やナタネ粕等の有機質肥料を主体に行われていた。

(4) 厚沢部町

厚沢部町はハウス栽培のいわゆる新興産地で、キュウリは栽培年数が5~6年以内のハウスで栽培され、早期の熟畑化を指向して施肥量および堆肥施用量の多いハウスが多かった。調査した全ハウスで栽培終了後にビニールを剥がし、翌春の自然融雪後に被覆しており、土壌診断は定植前に行われていた。

(5) 知内町

知内町は道内の市町村別ニラ生産量が第1位であり、ハウレンソウ、ニラはともに水田転換作物として導入され、各ハウスで数年おきに両品目が交互に栽培されていた。畜産業が盛んな地域にあり、家畜ふん尿由来堆肥の施用量が

ハウレンソウで年平均107 Mg ha⁻¹と多かった。ハウレンソウの播種前には65%のハウスで土壌診断が行われていた。ニラ栽培では11月頃~翌春の5月頃までハウスを被覆、2月~5月に収穫する。この11月~5月の期間には施肥せず、収穫後、ビニールを剥ぎ取り、施肥して露地状態で6月~10月頃までにニラの株を養成していたが、この間に土壌診断が行われたハウスはなかった。

2) 作土層の土壌化学性

栽培前の作土層(深さ0~20 cm)における化学性の平均値はpHが5.9~6.3、可給態Nが66~108 mg kg⁻¹、可給態リン酸が758~2,568 mg kg⁻¹、交換性カリウム、カルシウムおよびマグネシウムが各々461~817, 2,991~7,139 および368~910 mg kg⁻¹の範囲であった(表3)。pHは概ね適正であったが、可給態リン酸と交換性陽イオンは北海道における土壌診断基準値¹⁹⁾よりも明らかに高かった。

また、可給態N、可給態リン酸および交換性カリウムは、いずれの町のハウスでも作土層で高く、下層土(深さ20 cm以下)では深くなるほど低下した(図2)。産地間を比較すると、ひとつの養分の高い産地では他の養分も高い傾向が認められ、可給態N、可給態リン酸および交換性陽イオンの各養分とも、知内町の可給態リン酸の他は、概ね余市町>知内町>平取町>厚沢部町の順で高かった(表3)。

作土層の可給態Nは66~108 mg kg⁻¹の範囲にあり、ハウス栽培年数や年間堆肥施用量との間に一定の関係は認められなかった(データ省略)。ただし、ハウス栽培開始後の堆肥施用合計量(ハウス栽培年数×年間堆肥施用量)との間に有意な相関($p < 0.01$)が認められた(図3)。

3) 作土層と下層の土壌硝酸態窒素含量

全調査地点の層位別の硝酸態Nを平均値で表4に示した。収穫終了後の作土層(0~20 cm)が94 mg kg⁻¹、下層土では深さ20~40 cmが64 mg kg⁻¹、40~60 cmが52 mg kg⁻¹で、本調査における各地域の多くのハウスでは、深さ20~60 cmの下層土に硝酸態Nが残存していた。

平取町では基肥前の硝酸態Nが作土層で下層の各層よりも高かった(表5)。これは、少雪地帯であるとともに促成栽培で周年被覆したハウスが多く、融雪水による硝酸態Nの下層移動が少なかったためである。ただし、下層土でも18~115 mg kg⁻¹の硝酸態Nが残存していた。基肥前と収穫終了後との変化は、促成栽培の0~40 cmを除くと、作土層、下層とも小さかった。また作型別に見ると、

表3 各調査地域における作土層(深さ0~20 cm, 施肥前)の土壌化学性

調査地域 (棟数)	pH	可給態 N	可給態 P ₂ O ₅	交換性陽イオン		
				K ₂ O	CaO	MgO
mg kg ⁻¹						
平取町 (n=44)	6.3±0.3 ^a	76±24	1,206±458	514±284	3,021±700	684±314
余市町 (n=31)	5.9±0.6	107±42	2,568±1,206	817±368	7,139±2,560	910±336
厚沢部町 (n=35)	6.0±0.6	66±28	758±460	461±131	2,991±1,216	368±154
知内町 (n=28)	6.2±0.5	108±54	799±478	634±335	4,877±1,607	613±227
平均	6.1±0.5	87±35	1,249±644	593±275	4,315±1,433	640±261
土壌診断基準値 ^b	6.0~6.5	—	150~300	150~300	1,800~3,500	250~400

^a ±標準偏差。表4以下も同じ。^b 北海道施肥ガイド¹⁹⁾による。

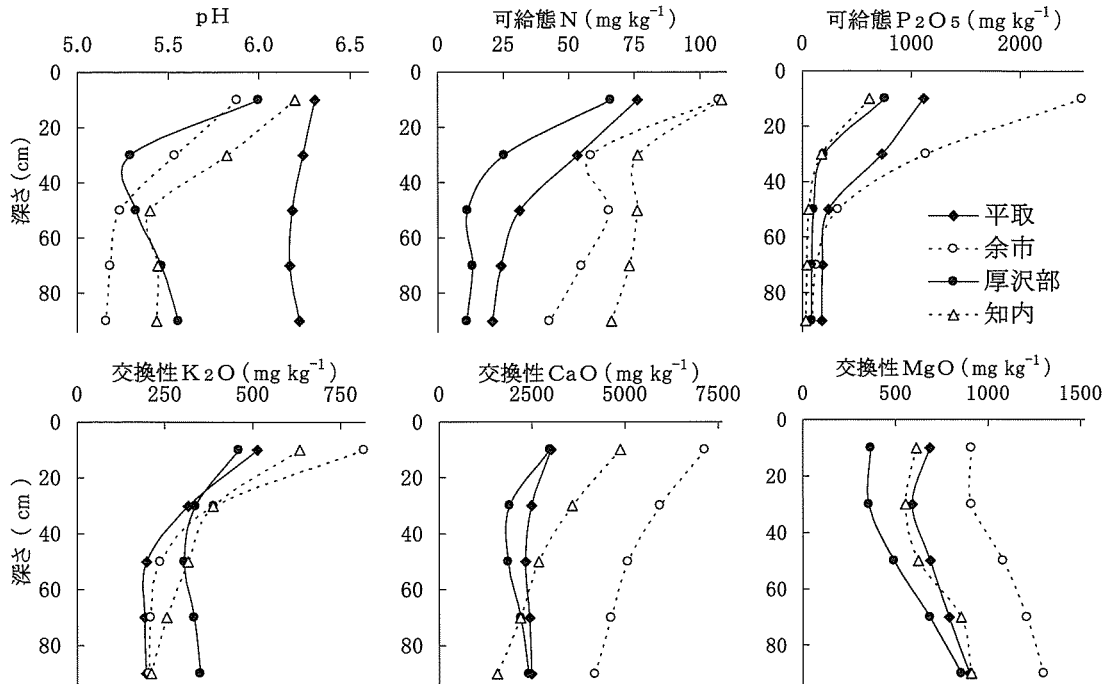


図2 各調査地域における深さ別の土壌化学性（施肥前）

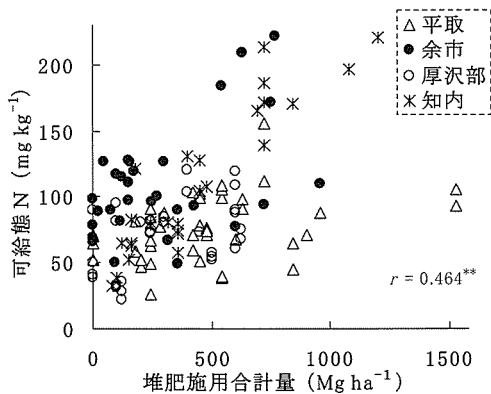


図3 ハウス栽培開始後の堆肥施用合計量と可給態窒素との関係

表4 調査ハウス平均の土壌 NO₃-N

深さ cm	mg kg ⁻¹	
	基肥前	収穫後
0~20	35±41	94±111
20~40	36±46	64±87
40~60	48±69	52±79
60~80	39±52	35±57
80~100	24±26	30±48

各層位とも促成作型で高く、例えば基肥前の作土層では 121 mg kg⁻¹ と夏秋どり作型の 3 倍程度あった。

余市町では硝酸態 N は基肥前にはいずれの土壌型でも作土層で 10~22 mg kg⁻¹ と少なかったが、下層において高かった（表 6）。収穫終了後には各層位とも概ね基肥前よりも高まり、特に作土層では著しく上昇し、低地土、黒ボク土、泥炭土で各々 67, 78, 224 mg kg⁻¹ であった。

表5 平取町（トマト）の土壌 NO₃-N および含水率

作型	深さ cm	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)		基肥前の含水率 g kg ⁻¹
		基肥前	収穫後 ^a	
夏秋 (n=28)	0~20	41±37	33±41	199±44
	20~40	24±19	23±29	203±51
	40~60	23±30	16±27	210±66
	60~80	23±26	15±32	255±100
	80~100	18±17	15±29	250±79
促成 (n=16)	0~20	121±72	73±33	232±22
	20~40	115±75	67±39	246±41
	40~60	60±35	51±29	244±36
	60~80	42±29	39±22	251±37
	80~100	36±27	35±20	272±39

^a 調査日（基肥前、収穫後）は夏秋どり作型で4月30日、11月17日、促成作型で1月29日、9月9日。

表6 余市町（トマト）の土壌 NO₃-N および含水率

作型	深さ cm	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)		基肥前の含水率 g kg ⁻¹
		基肥前	収穫後 ^a	
低地 (n=13)	0~20	12±12	67±57	327±24
	20~40	25±18	45±32	308±24
	40~60	27±15	26±15	319±44
	60~80	23±12	20±11	338±43
	80~100	19±9	21±21	360±80
黒ボク (n=11)	0~20	22±17	78±61	298±58
	20~40	22±18	61±47	313±45
	40~60	28±21	33±23	329±59
	60~80	25±13	24±18	318±57
	80~100	24±12	20±13	329±64
泥炭 (n=7)	0~20	10±7	224±194	388±61
	20~40	44±38	147±131	428±91
	40~60	235±226	191±180	708±247
	60~80	171±150	193±171	749±264
	80~100	43±35	138±176	792±146

厚沢部町でも基肥前の硝酸態Nは、作土層で5~9 mg kg⁻¹と低いが、下層では栽培年数が経過するとやや高まる傾向にあった(表7)。

知内町におけるハウレンソウ栽培での硝酸態Nは、基肥前では作土層より下層で高かったが、栽培終了後では作土層と深さ60 cmまでの下層で152~308 mg kg⁻¹と著しく高まった。これに対して、ニラ栽培では下層の硝酸態Nの残存量は10~29 mg kg⁻¹程度であり、作土層より少なく、また各層とも施肥前と収穫終了後との変化が小さかった(表8)。

4) 窒素投入量と窒素収支

各地域における年間の平均窒素投入量を表9に示した。平取町では促成作型で412 kg ha⁻¹あり、夏秋どり作型の279 kg ha⁻¹よりも多かった。両作型の違いは堆肥施用量にあり、有機質肥料および化成肥料による投入量に差は認められなかった。

余市町における窒素投入量は低地土、黒ボク土で各々578, 652 kg ha⁻¹に対して、泥炭土で356 kg ha⁻¹と少なかった。泥炭土では有機質肥料による投入量が少なかった。

厚沢部町における窒素投入量は新規建設ハウスで496 kg ha⁻¹、栽培年数が5年以上のハウスで568 kg ha⁻¹と両者に大差がなかった。

知内町では窒素投入量に作物間差が認められなかった。ニ

ラ栽培では堆肥は定植時にのみ施用され、栽培期間が3~4年にわたるため、1年当たりの堆肥由来の窒素投入量がハウレンソウ栽培よりも少なかったが、その分、有機質肥料と化成肥料による投入量がハウレンソウ栽培よりも多かった。

各産地の調査ハウスにおける窒素収支を表10に示した。跡地の深さ0~1 mまでに存在する硝酸態Nの平均値を見ると、平取町では基肥前より低下したが、他の地域では基肥前より高まった事例が多かった。窒素の投入量と持出量との差を見ると、平取町では大差がなかったが、他の地域では明らかに投入量が持出量を上回った。知内町のハウレンソウ栽培で栽培期間中の窒素動態を見ると、窒素の投入量と持出量に土壤間差は認められなかったが、跡地に存在する硝酸態Nは、泥炭土が灰色低地土の約2倍であった(表11)。

5) 下層土診断法の適用

各地域における基肥前の土壤硝酸態Nから追肥窒素の減肥量を算出した(表12)。現行法では各産地とも少なく、0~7 kg ha⁻¹であった。深根性の果菜類を栽培することを想定して深さ20~60 cmの硝酸態Nから下層土診断すると、トマト産地である平取、余市両町で242および136 kg ha⁻¹、厚沢部町および知内町では90および96 kg ha⁻¹の減肥量になった。北海道における夏秋どりトマト1作当たりの追肥窒素量は、一般的な7段どりの場合に200 kg ha⁻¹であり¹⁹⁾、これを基に試算すると、上記の減肥可能量はトマト1作当たりの追肥窒素量の45~121%に相当した。

表7 厚沢部町(キュウリ)の土壤NO₃-Nおよび含水率

作型	深さ cm	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)		基肥前の含水率 g kg ⁻¹
		基肥前	収穫後 ^a	
新規 (n=8)	0~20	5±3	42±44	425±40
	20~40	7±6	28±37	416±31
	40~60	5±3	14±10	347±55
	60~80	6±5	16±22	275±21
	80~100	5±3	15±21	291±20
1~4年 (n=18)	0~20	9±6	35±67	413±39
	20~40	16±16	33±66	416±25
	40~60	27±31	28±37	356±68
	60~80	28±27	26±35	300±26
	80~100	24±24	26±39	292±18
5~6年 (n=9)	0~20	9±3	54±42	411±29
	20~40	28±29	42±50	422±23
	40~60	59±71	31±34	351±57
	60~80	75±60	34±37	299±75
	80~100	67±46	35±32	298±45

表8 知内町(ハウレンソウ, ニラ)の土壤NO₃-Nおよび含水率

作型	深さ cm	NO ₃ -N (mg kg ⁻¹)		基肥前の含水率 g kg ⁻¹
		基肥前	収穫後 ^a	
ハウレンソウ (n=18)	0~20	9±7	308±313	386±39
	20~40	27±21	191±244	459±106
	40~60	72±56	152±212	601±158
	60~80	44±49	55±92	589±173
	80~100	21±29	34±54	605±159
ニラ (n=10)	0~20	51±97	68±81	421±75
	20~40	21±49	29±47	409±82
	40~60	18±29	24±30	463±136
	60~80	16±22	14±14	447±60
	80~100	10±17	13±18	492±108

^a 調査日(基肥前, 収穫後)はハウレンソウで4月15日, 11月6日, ニラで11月6日, 5月26日。ハウレンソウの収穫後は概ね4作後に相当。

表9 各ハウスにおける年間平均窒素投入量

調査 地域	(棟数)	kg ha ⁻¹			合計
		堆肥	有機質肥料	化成肥料	
平取町	夏秋 (n=28)	129±78	2±8	149±55	279±91
	促成 (n=16)	243±51	19±28	149±60	412±49
余市町	低地 (n=13)	71±89	427±197	80±57	578±225
	黒ボク (n=11)	42±50	380±258	230±355	652±203
	泥炭 (n=7)	99±47	210±99	47±36	356±80
厚沢部町	新規 (n=8)	200±0	0	296±7	496±7
	1~4年 (n=18)	213±81	0	316±23	528±96
	5~6年 (n=9)	253±139	0	314±29	568±114
知内町	ハウレンソウ (n=18)	246±60	5±16	443±86	695±107
	ニラ (n=10)	95±48	41±46	552±357	688±356

表10 各産地の調査ハウスにおける窒素収支

調査地域	(棟数)	深さ0~1 mまでのNO ₃ -N ^a (kg ha ⁻¹)		施肥と堆肥のN投入量 ^b (kg ha ⁻¹)	作物体のN持出量 ^c (kg ha ⁻¹)
		基肥前	跡地		
平取町	夏秋 (n=28)	342	274	279	249
	促成 (n=16)	946	670	412	365
余市町	低地 (n=13)	226	382	578	164
	黒ボク (n=11)	262	476	652	164
	泥炭 (n=7)	343	934	356	164
厚沢部町	新規 (n=8)	57	219	496	260
	1~4年 (n=18)	216	291	528	260
	5~6年 (n=9)	504	384	568	260
知内町	ハウレンソウ (n=18)	177	1,189	695	237
	ニラ (n=10)	193	244	688	230

^a 各層位の硝酸態N (mg kg⁻¹) に基肥前の土壌含水率から推定した容積重¹⁰⁾ を乗じて各層位が保有するN量を算出し、これらを合計。

^b 堆肥からのN供給量を1 Mgにつき2~3 kg¹⁶⁾ として算出。

^c 各調査地域における平均収量から推定して算出。

表11 知内町のハウレンソウ栽培ハウスにおける窒素収支

土壌型	(棟数)	深さ0~1 mまでのNO ₃ -N ^a (kg ha ⁻¹)		施肥と堆肥のN投入量 ^b (kg ha ⁻¹)	作物体のN持出量 ^c (kg ha ⁻¹)
		被覆前	跡地		
灰色低地土	(n=5)	181	749	779	228
泥炭土	(n=13)	176	1,358	662	240

^a 各層位の硝酸態N (mg kg⁻¹) に基肥前の土壌含水率から推定した容積重¹⁰⁾ を乗じて各層位が保有するN量を算出し、これらを合計。

^b 堆肥からのN供給量を1 Mgにつき2~3 kg¹⁶⁾ として算出。

^c ハウレンソウのN吸収量を1作当たり6 g m⁻²として算出。

表12 土壌窒素診断の改善による追肥の減肥効果

調査地域	(棟数)	基肥前の作土のNO ₃ -N濃度 (mg kg ⁻¹) 別棟数			深さ20~60 cm層のNO ₃ -N (kg ha ⁻¹) 別棟数			診断法別の追肥N減肥量 (kg ha ⁻¹)			
		0~150	150~200	200~	0~100	100~200	200~	現行法	下層土診断法	改善法 ^b	
											(kg ha ⁻¹)
平取町	夏秋 (n=28)	28	0	0	15	9	4	0	128 (64) ^c	128	
	促成 (n=16)	9	6	1	0	3	13	20	441 (221)	461	
	全体 (n=44)	37	6	1	15	12	17	7	242 (121)	249	
余市町	低地 (n=13)	13	0	0	5	7	1	0	114 (57)	104	
	黒ボク (n=11)	11	0	0	8	1	2	0	108 (54)	108	
	泥炭 (n=7)	7	0	0	2	2	3	0	222 (111)	222	
	全体 (n=31)	31	0	0	15	10	6	0	136 (68)	136	
厚沢部町	新規 (n=8)	8	0	0	8	0	0	0	23 (12)	23	
	1~4年 (n=18)	18	0	0	14	2	2	0	81 (40)	81	
	5~6年 (n=9)	9	0	0	6	1	2	0	167 (83)	167	
	全体 (n=35)	35	0	0	28	3	4	0	90 (45)	90	
知内町	ハウレンソウ (n=18)	18	0	0	11	5	2	0	113 (57)	113	
	ニラ (n=10)	8	1	1	9	0	1	12	66 (33)	78	
	全体 (n=28)	26	1	1	20	5	3	4	96 (48)	100	

^a 各ハウスごとの減肥量の平均値。

^b 改善法は現行法と下層土診断法との合計。

^c 夏秋どり (7段) トマトの追肥窒素量 (200 kg ha⁻¹) に対する減肥割合 (%)。

4. 考 察

1) 寒冷地のハウス栽培における窒素収支の特徴

平取町と余市町はともに古くからのハウストマト産地であるが、平取町では年間窒素投入量が余市町よりも少なく(表9)、窒素の投入量と持出量との差は30~50 kg ha⁻¹程度で窒素収支のバランスは比較的良好であった(表10)。平取町では周年被覆の促成作型のハウスのほうが夏秋どり作型よりも土壌の硝酸態Nが高かったが、これは雨や雪

による溶脱がなかったことによると考える。促成作型のハウスでは下層土にも硝酸態Nが蓄積しており、このため、下層土診断に基づいた追肥窒素の減肥可能量が多かったが、平取町の夏秋どり作型と余市町の低地土、黒ボク土とで比べると、それぞれ128, 114, 108 kg ha⁻¹で大差はなかった(表12)。

一方、余市町では窒素投入量が多かったため、窒素投入量と持出量との差(表10より算出)は施肥前に深さ20~60 cmに残存して下層土診断で評価される窒素量(表12)

に対して、低地土、黒ボク土、泥炭土の順に3.6倍、4.5倍、0.9倍と大きく、余剰に投入された窒素が農業系外にも負荷を与えている²⁰⁾と推察する。

なお、両町における調査年の平均収量を北海道農林水産統計年報により比較すると、平取町が104.0 Mg ha⁻¹、余市町が65.6 Mg ha⁻¹で、平取町が余市町よりも1.5倍以上多かった。平取町の単収が著しく高い要因は、作型の違いや病害虫発生程度あるいは栽培管理の違いにあると考えられるが、平取町では余市町と比べて窒素施肥量が少なく、土壌診断に基づいて土壌pHや可給態リン酸と交換性陽イオンを比較的適正なレベルに維持しており、そのような土壌管理の違いも収量の違いに影響した要因の一部であったものと推察する。

厚沢部町のキュウリ栽培ハウスでは栽培年数が経過するほど硝酸態Nが高まる傾向にあり、下層にも残存していた。年間窒素投入量はキュウリ1作で持ち出される窒素量の約2倍に相当し(表10)、このような多施肥が繰り返されたため短期間のうちに下層にまで硝酸態Nが多量に残存するようになったと考える。ただし、融雪後に被覆するので、施肥前の作土層に残存する硝酸態Nは少なかった。知内町のハウレンソウ栽培ハウスでも、年間窒素投入量が1年間の栽培による持ち出し量の約3倍と多く(表10)、キュウリの場合と同じように多施肥栽培により栽培期間中の硝酸態Nが作土層と下層ともに高まり続けたものとする。

一方、知内町のニラ栽培ハウスの硝酸態Nは下層土にも10~29 mg kg⁻¹と僅かに残存していたが、被覆開始時から収穫終了時まで作土を含めて各層位ともほとんど変動せず、ハウレンソウ栽培よりも低く推移した。これは上記の期間中に追肥がなかったことと、ニラは5月~11月頃までの株養成期に被覆を剥がした露地状態で栽培され、調査を開始した11月には施肥窒素が深さ1 m以下に溶脱していたためと考える。

このように、北海道の周年およびこれに近い期間が被覆されるハウス土壌では、いずれも栽培期間中に作土層のみならず下層にまで硝酸態Nが蓄積していた。硝酸態Nの蓄積を起ささないためには、窒素投入量を作物体による持ち出し量と同程度にする必要があり、そのためには各作物について生育と窒素吸収特性に基づいた窒素施肥法を構築する必要がある。また、冬期に被覆を剥がすと雨や雪で溶脱して作土層の硝酸態Nは低下するが、多くの場合は下層には残存している。すなわち、秋の栽培終了時に被覆を剥がし、春の栽培開始前に再び被覆するという寒冷地の一般的なハウス栽培様式では、冬の期間のみで根域の硝酸態Nを十分に低下させることは困難と考える。

ハウス土壌の養分管理については、これまでに大西²⁹⁾や江口³⁰⁾の一連の研究をはじめ数多くの報告があるが、それらの多くは暖地を対象としたものである。例えば江口³⁰⁾は、鹿児島県で5月末に栽培を終えたハウスの被覆を剥がして11月に再び被覆するまでの間に深さ0~60 cmの無機態窒

素が下層へ溶脱することを示している。しかし、本稿の各地域における硝酸態Nは基肥前に作土層および深さ20~60 cmの下層土に残存している事例が多かった。

一般に西南暖地の年降水量は1,500~2,500 mm程度あるのに対して、北海道では年降水量が1,000~1,300 mm程度であり、このうち被覆を剥がしている期間の雪による降水量は150~300 mm程度である。また、少雪地域では周年被覆される例もあり、この場合は雨や雪により養分が溶脱することが少ない。したがって、北海道のような積雪寒冷地では降水による溶脱量の少ないことが、下層に硝酸態Nが残存する主因であると考えられる。さらに、その残存窒素を評価した施肥対応が十分に行われないうままに施肥あるいは追肥を行うと、その分は過剰に施肥されることになり、これも下層に硝酸態Nが残存するのを助長すると考える。

以上のことから、寒冷地のハウスでは硝酸態Nが下層に残存しやすくなっているものとする。

2) 下層土診断による窒素追肥量の低減効果

北海道のハウス栽培における窒素施肥法は主に基肥窒素を減肥することに重きを置いており、追肥窒素については基肥前の作土層に硝酸態Nが150 mg kg⁻¹以上あるときのみ減肥することとしている。しかし、この方法では多くのハウスが追肥窒素を減肥する対象にならない。著者らは前報¹⁰⁾で下層土診断に基づいて追肥窒素を減肥する方法を提案し、これを実際の営農現場に適用した際の有効性について検討した。下層土診断はトマト等の深根性作物を対象にした方法であるが、一般にハウス栽培では輪作や交互作が行われ、トマトの前後作に他の品目を栽培する事例が多い。従って、トマト栽培が行われている平取町と余市町はもとより、他の地域についても深根性作物が栽培されることを想定して試算を行った。

本調査地域では現行の作土層に対する土壌診断で追肥窒素を減肥すべきハウスは殆ど存在しなかったが、下層土診断した結果は、下層土診断法を用いて窒素減肥できるハウスが北海道において実際に数多く存在することを示している(表12)。したがって、下層に残存する硝酸態Nを評価して追肥量を決定することが肥培管理を適正化する上で重要になることが明らかになった。

なお、余市町と知内町において硝酸態Nの残存量は泥炭土で他の土壌型よりも多かった(表6, 11)。これは作土層や下層に混在している泥炭が分解するため^{21, 22)}と解釈できる。また、北海道の泥炭土では地下水位が0.5~1.0 m付近にある^{23, 24)}。乾燥地帯では一般に地下水位が0.7~2.0 mにあるときに最も塩類土壌が生成されやすく²⁵⁾、下層深くにある硝酸塩も上昇しやすい。これからすると、両町の泥炭ハウスでは深さ1 m以下に存在する泥炭由来の窒素が、被覆期間中に上昇して下層や作土層に供給されたとの解釈もできる。

余市町の泥炭土で栽培期間中に深さ0~1 mに土壌から供給されたと考えられる窒素量が399 kg ha⁻¹(表10より算出)、知内町では760 kg ha⁻¹(表11より算出)であり、

これに対して、近年の北海道の泥炭土における水田で土壌から1年間に供給される窒素量は 40 kg ha^{-1} 程度²⁶⁾である。このことから、本調査地域で泥炭土から供給される窒素量のうちの多くは、前年までに無機化した窒素に由来する可能性が高いものと推察する。同様の現象は北海道南部の北檜山町の泥炭地域でも認められており²⁷⁾、北海道では泥炭地で栽培するハウスも多いことから、泥炭地の下層から供給される窒素を評価^{27,28)}することは今後の重要な課題である。

3) 堆肥施用による土壌可給態窒素の増加

本調査では堆肥の施用により土壌可給態Nの高まることが認められた。一般にハウス土壌では露地栽培土壌よりも無機態N濃度ははるかに高いレベルにあるため、作物生育に影響を与える窒素供給において可給態Nの影響が相対的に小さいと考えられており、これまで、ハウス土壌における可給態Nについての知見は少なかった。このため、ハウス土壌の可給態Nについて寒冷地と暖地との比較をするための事例数は少ないが、寒冷地では、暖地よりも有機物の分解が遅いにもかかわらず、1年当たりの堆肥施用量は暖地における実態^{29~31)}と大差ないので、経年的に堆肥由来の可給態Nが高まりやすい可能性がある。堆肥を施用したときには、そこに含まれている化学肥料相当分の施肥窒素を減らす¹⁹⁾、堆肥中の窒素全量を評価しているわけではないので、堆肥を連用すると徐々に可給態Nが高まることになる。

しかし、北海道のハウス栽培では暖地の場合と同様に、栽培前に無機態Nを診断するのみで、可給態Nを評価した施肥対応を行わないため、可給態Nの高まったハウスで分施あるいは追肥を行うと、前述したようにその分が過剰に施肥されることになる。

現状ではハウスの可給態Nの評価基準が存在しないので、北海道の露地野菜畑の基準を適用してトマト栽培ハウスで可給態Nを評価してみると、作土の可給態Nが 50 mg kg^{-1} 以上あるときに、栽培品目別に $30\sim 50 \text{ kg ha}^{-1}$ 程度の施肥窒素を減肥するので¹⁹⁾、平取町で86%、余市町で97%のハウスが窒素減肥の対象になる。ハウス栽培では露地畑よりも地温が高く栽培期間が長いため、露地畑以上に減肥が可能になるものと考え。仮に可給態Nが 50 mg kg^{-1} 以上あるハウスで、窒素を 50 kg ha^{-1} 減肥した場合、平取町で平均 43 kg ha^{-1} 、余市町で同 49 kg ha^{-1} の窒素を減肥できることになる。ところが、本調査の範囲では両町において各ハウスの土壌可給態Nと窒素施用量との間に一定の相関は認められず、窒素を施肥する上で可給態Nが考慮されていないことは明らかであった。

以上のことから、適正な施肥管理を行うためにはハウス栽培においても、堆肥の施用によって高まった可給態Nを評価して施肥量を決定する必要がある。土壌の可給態N濃度と窒素施用量との関係を明らかにすることは今後の課題であるが、露地野菜畑と同様に作土の可給態Nが 50 mg kg^{-1} 以上あるときには、一定の施肥窒素を減肥すべきと考える。

5. 要 約

北海道のハウス土壌を対象に、深さ1mまでの層別別に無機養分、とくに硝酸態Nの残存実態を明らかにして栽培管理方法との関係を検討するとともに、ハウス栽培における下層土診断法の有効性を明らかにした。

1) 作土層の各養分の平均値はpHが6.1、可給態Nが 87 mg kg^{-1} 、可給態リン酸が $1,249 \text{ mg kg}^{-1}$ 、交換性カリウム、カルシウムおよびマグネシウムが各々593, 4,315および 640 mg kg^{-1} であり、可給態リン酸と交換性陽イオンは北海道における土壌診断基準値よりも明らかに高かった。

2) いずれの作物のハウスでも作土や下層土での硝酸態Nの残存が認められた。深さ0~1mまでに存在する硝酸態Nが基肥前より栽培終了時で高く、窒素投入量が窒素持出量を大きく上回っているハウスが多かった。北海道のハウスでは非栽培期間の降水量が少ないため、硝酸態Nが根域全体から溶脱し切らず、作土層の他に下層にも残存しやすいと考えた。

3) 各ハウスにおける基肥前の深さ20~60cmの硝酸態N量に基づいて下層土診断して追肥窒素の減肥量を算出すると、 $90\sim 242 \text{ kg ha}^{-1}$ となった。これは北海道の標準的なトマト1作当たりの追肥窒素量の45~121%に相当する。

4) 多くのハウスで堆肥の連用に起因して土壌の可給態Nが高まっており、ハウス栽培においても可給態Nを評価して施肥量を決定する必要があると判断した。

5) 以上のことから、雨や雪による溶脱の少ない条件下で深根性の果菜類を栽培する場合には下層土の硝酸態Nを評価すること、また、寒冷地においては作土の可給態Nを評価することが、適正な施肥量を決定する上で重要であることを明らかにした。

謝 辞：北海道立中央農業試験場環境保全部長木曾誠二博士には本稿をご校閲頂き、同道南農業試験場川原祥司元専門研究員には多くの助言を頂き、実態調査では北海道日高・後志・檜山・渡島の各農業改良普及センター、厚沢部町農業活性化センターに協力頂いた。以上の各位に謝意を表す。

文 献

- 1) 嶋田永生・武井昭夫：被覆そ菜栽培における施肥と土壌管理、農及園, 39, 1549~1552 (1964)
- 2) 景山美葵陽・正木 敬・片井政一：被覆下そ菜園土壌の生産力低下防止に関する研究 第4報 土壌中の可溶性塩類の除去に関する試験1, 園試報告, B8, 43~77 (1968)
- 3) 吉村修一・伊藤 清・赤木禎二・木村 康・左手勝巳：ハウスナス連作土壌の対策調査 [I], 大阪農技セ研報, 9, 87~98 (1972)
- 4) 水田昌宏・浅野 亨：塩類集積防止に関する研究 (第2報) 灌水除塩の方法と除塩効果, 奈良農試研報, 6, 51~57 (1974)
- 5) 柳井利夫：ハウス土壌の湛水処理が土壌に集積した物質の変化におよぼす影響, 高知農林研報, 10, 29~36 (1978)

- 6) 石川格司・中村 毅：ハウス土壌における集積塩類除去のための湛水効果, 農及園, 60, 49~52 (1985)
- 7) 荒垣憲一・藤井弘志・中西政則：野菜ハウス畑における土壌化学性の実態と問題点, 山形農試研報, 21, 45~62 (1986)
- 8) 池田彰弘・塩田悠賀里・武井昭夫：施設土壌のかん水・太陽熱処理による塩類の挙動と除塩効果, 愛知農総試研報, 22, 295~302 (1990)
- 9) 日本土壤肥料学会編：塩集積土壌と農業, p. 96~122, 博友社, 東京 (1991)
- 10) 林 哲央・日笠裕治・中住晴彦：ハウス土壌の下層土診断による窒素施肥改善, 土肥誌, 75, 617~621 (2004)
- 11) Wetselaar, R.: Nitrate distribution in tropical soils II Extent of capillary accumulation of nitrate during a long dry period. *Plant Soil*, 15, 110~120 (1961)
- 12) Robinson, J. B. D. and Gacoka, P.: Evidence of the upward movement of nitrate during the dry season in the Kikuyu red loam coffee soil. *J. Soil Sci.*, 13, 133~139 (1962)
- 13) 野口純隆：南九州の腐植質火山灰畑土壌における施肥養分の動態に関する定量的研究. 鹿児島農試研報, 5, 122~132 (1977)
- 14) 土壌環境分析法編集委員会：土壌環境分析法, p. 195~269, 博友社, 東京 (1997)
- 15) 川原祥司・目黒孝司・相馬 暁・古山芳広：施設栽培における窒素施肥法 (第1報) 抑制キュウリに対する施肥法, 北農, 52, 29~42 (1985)
- 16) 坂口雅己・日笠裕治・中住晴彦：ハウス夏秋どりトマトにおける窒素栄養診断法, 土肥誌, 75, 29~35 (2004)
- 17) 建部雅子・岡崎圭毅・鎌下恵太・唐澤敏彦：ハ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 (2006)
- 18) 石井 貴・河野 隆：ハウスニラ栽培における減肥試験とその養分収支, 茨城農総セ園研報, 15, 37~44 (2007)
- 19) 北海道農政部編：北海道施肥ガイド, p. 110~190, 札幌 (2002)
- 20) 竹内 誠：農耕地からの窒素・リンの流出, 土肥誌, 68, 708~715 (1997)
- 21) 石塚喜明・尾形昭逸・関矢信一郎：泥炭地における排水水位の問題 (第1報) 排水水位と泥炭地土壌の理化学性及び作物の生育との関連性, 土肥誌, 33, 483~488 (1962)
- 22) 坂柳迪夫・赤塚 恵：高位泥炭における窒素の無機化について, 北農試集報, 82, 28~35 (1963)
- 23) 上野末秋・鈴木陽一・関崎義正・三谷宗孝・沢田美智雄・田中善博・高橋朋宣：斜里町の泥炭土壌における土壌窒素および施肥窒素がテンサイの品質に及ぼす影響, てん菜研究会報, 28, 133~140 (1986)
- 24) 宮地直道・神山和則・大塚敏雄・粕渕辰昭：美唄泥炭地における地盤沈下, 土肥誌, 66, 465~473 (1995)
- 25) 松本 聡：乾燥地土壌におけるナトリウム, カルシウムの輸送と集積, 土壌の物理性, 67, 3~10 (1993)
- 26) 笛木伸彦・今野一男：泥炭土およびグライ土における下層土の窒素供給力の経年的低下が水稻の窒素吸収量・白米中蛋白含量に与える影響, 土肥誌, 73, 17~25 (2002)
- 27) 林 哲央・庄司奈都・日笠裕治・中住晴彦：道南地域の施設土壌の特性解明 第7報 泥炭地の下層窒素供給を評価したハウレンソウ施肥の検討, 土肥要旨集, 47, 166 (2001)
- 28) 石塚喜明・尾形昭逸：泥炭地における排水水位の問題 (第2報) 排水水位と窒素適量の関連性, 土肥誌, 33, 489~495 (1962)
- 29) 大西成長：厩肥の多量施用効果に関する土壌肥料学的研究, 名古屋大学学位論文, 乙02500 (1984)
- 30) 江口 洋：ハウス土壌の養分過剰集積とその改善対策, 鹿児島農試研報, 22, 1~93 (1994)
- 31) 三好昭宏・桑名健夫・西口真嗣・吉倉惇一郎：施設軟弱野菜に施用した牛糞堆肥由来窒素の吸収利用, 土肥誌, 72, 558~561 (2001)

Characteristics of nitrate and other nutrients of the subsoil under field greenhouse cultivation in Hokkaido

Tetsuo HAYASHI¹, Yuji HIKASA and Nobumitsu SAKAMOTO²

Hokkaido Donan Agric. Exp. Stn.; present addresses:

¹ *Hokkaido Ornam. Veget. Res. Cent.*, ² *Sapporo, Hokkaido*

To improve soil management during cultivation in natural soils under greenhouse conditions in Hokkaido, we investigated the nitrate levels and other characteristics of soil from the surface to a depth of 100 cm in six types of greenhouses at four sites. A summary of our results is as follows:

(1) The average pH of the plow layer was 6.1 and average levels of nutrients (all in mg kg⁻¹) were 87 for available N, 1249 for P₂O₅, 593 for K₂O, 4315 for CaO, and 640 for MgO. These results showed that all soil nutrients were present at much higher levels than standard values of soil testing criteria in Hokkaido.

(2) Soil nitrate remained in both the plow layer (0–20 cm) and the 20–100 cm depth range at harvesting time in most greenhouses. In most greenhouses, the amount of nitrogen applied to the soil was more than twice the amount of nitrogen taken up by plants. In addition, the rainfall received during the fallow season had been insufficient to leach excess nitrogen from the root zone.

(3) Based on the nitrate remaining at 20–60 cm depth before cultivation, we estimate that nitrogen fertilizer application can be reduced by 90 to 242 kg ha⁻² on average in greenhouses in Hokkaido. This represents a 45–121% saving in the amount of nitrogen topdressed in the typical greenhouse used to grow tomatoes in Hokkaido.

(4) Soil available nitrogen is steadily increasing from year to year in greenhouses in Hokkaido, but we estimate that the amount of organic nitrogen supplied by green manure is insufficient.

(5) We conclude that it is essential to evaluate soil nitrate levels in subsoil and soil available nitrogen in the plow layer in order to design fertilizer application and maintain appropriate soil fertility management under greenhouses.

Key words: greenhouse cultivation, subsoil, soil diagnosis, nitrate, available nitrogen