

農業と科学

1988
8

CHISSO-ASAHI FERTILIZER CO LTD

寒冷地における

硝酸態Nの肥効と品質に及ぼす影響

北海道立中央農業試験場 相馬 暁
農産化学科長

1. 寒地における作物栽培時の硝酸態Nの役割

作物にとってN肥料は人間の主食、ゴハンに相当する。さしずめ、有機態Nや地力Nは米か玄米、稲、アンモニア態Nはゴハン、硝酸態Nはおカユと言えよう。

多くの作物は、とりわけ野菜類や幼植物(生育初期)は硝酸態Nを好んで吸収利用する。アンモニア態Nを好むとされる少数派のイネ、オオムギ、レタスでも、前2者は全量アンモニア態Nより硝酸態+アンモニア態のほうが初期生育が良く、アンモニア態Nのみを好むのはレタスのみとなる。

逆に、全量硝酸態Nで生育が最も旺盛になるものとしてはコカブ、テンサイ、カラシナ、タバコ、アズキ、キュウリなどがあり、ダイコン、タマネギ、ハクサイ、キャベツ、トマト、トウガラシ、ダイズ、バレイシヨなども硝酸態N:アンモニア態N=2:1で良好な生育が得られる好硝酸性作物である。言うなれば、多くの作物はおカユ好である。

ところで、土壌中の硝酸態Nは施肥に由来するもの以外に、有機物・土壌中の易分解性Nの分解によって生ずるアンモニア、施肥に由来するアンモニアの、硝酸化成によって生ずる硝酸態Nがある。一般的に、畑地では硝酸化成菌(亜硝酸菌と硝酸菌)によって、アンモニア態Nはすみやかに、硝酸態Nに変化し、この変化を硝酸化成作用(硝化作用)と呼んでいる。

硝化作用は15℃以下の低温で著しく遅れ、また、pH 5.0以下あるいは総塩類濃度1,000ppm、NとしてNH₄⁺、NO₂⁻濃度が100ppmを超える条件で、抑制される。北国・北海道においては、春先や無加温ハウスで、地温を確保し得ず硝化作用が遅れ、N吸収が抑制され、生育遅延の原因となることが多い。また、野菜栽培ではとかく

多肥となりがちで、特にハウスでは施肥成分の集積が著しく進み、塩類濃度が高まり、硝化作用を抑制している事例をよく見る。

一方、硝酸態N施肥条件下で作物のN吸収について、地温・気温との関係をキュウリで検討したところ(図1)低気温条件下では地温の低下につれN吸収は顕著に抑制され、体内濃度は著しく低下する。また高気温条件下でも19℃を切る地温低下で、体内濃度は低下する。一方、高・低気温条件の比較を行うと、低気温で、N吸収は抑えられるが、その折、地温確保によってN吸収は相当量回復する。なお、比較としてP吸収状況を示したが、低・高気温条件下での地温低下はN以上の吸収抑制をひき起していた。

これらのことは、寒地におけるN吸収に、低気温・低地温、とりわけ低地温が硝化作用の遅延、作物のN吸収力の低下を通じ強く関与していることを示している。

ところで、気温20℃と25℃条件下で各種作物の硝酸態N・アンモニア態N適応性を比較検討したデータ(表1)によると、タマネギ、ヒエは温度条件に関係なく、硝酸態、アンモニア態N間に生育差が認められなかったが、他の作物は硝酸態N施用区で生育が良好となり、特

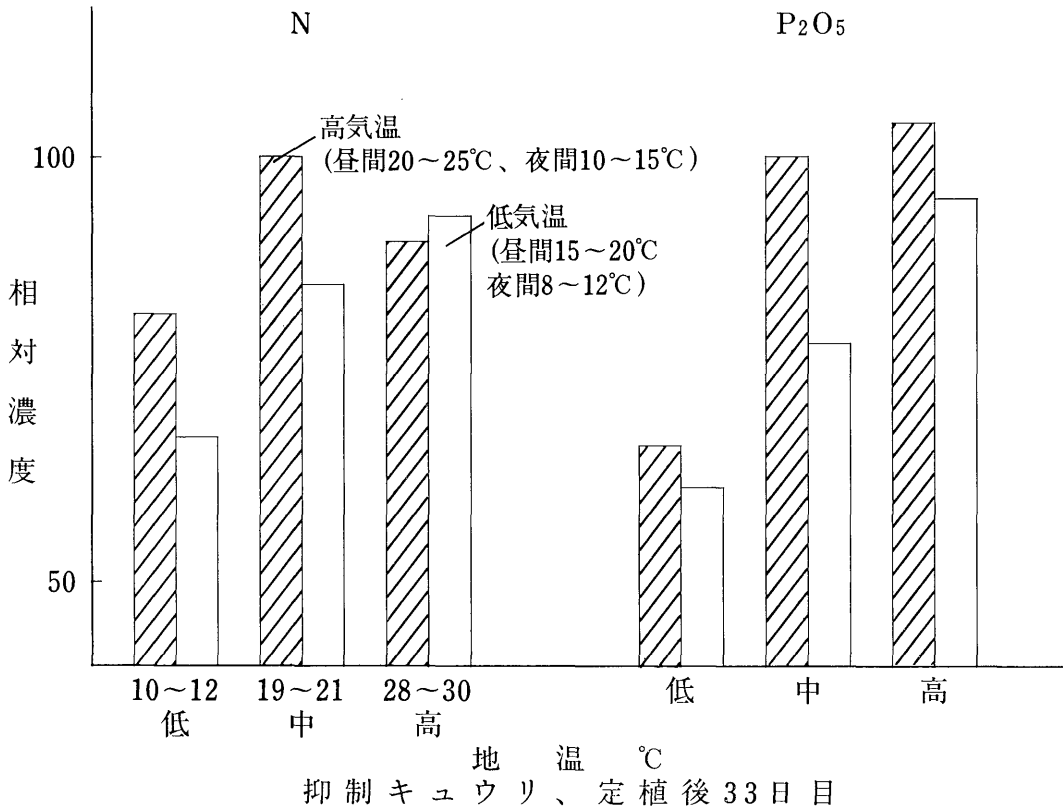
本号の内容

§ 寒冷地における
硝酸態Nの肥効と品質に及ぼす影響……………(1)

北海道立中央農業試験場農産化学科長

相馬 暁

第1図 キュウリのN吸収と気温地温の関係



第1表 各種作物の生育量 新鮮重 me/plant (18日目)

原田登五郎日土肥誌35 (5) 181 (1964)

双子葉植物	ダイコン		ハクサイ		キュウリ		カンラン		単子葉植物	タマネギ		トモロコシ		ライグラス		ヒエ	
	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C		20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C	20°C	25°C
	NO ₃ -100	538	620	487	520	1,200	1,600	418		460	NO ₃ -100	40	50	2,560	3,400	75	80
NH ₄ -100	220	510	174	400	600	1,100	200	280	NH ₄ -100	40	50	1,650	3,450	60	80	30	50

に、その差異は低温区で顕著となっていた。

以上の事は、多くの作物にとって、とりわけ生育初期、言うならば赤ん坊の時は、かたいゴハン（アンモニア態N）よりおカユ（硝酸態N）を好み、また、不良条件下（例えば低温）でもおカユの方が役に立つことを示している。

2. 養分蓄積時の硝酸態Nの役割

土壌中の硝化作用に関与する要因として、地温条件以外にも共存イオン・塩類濃度の影響が考えられる。特に、多肥条件下にある野菜畑においては、一般的に塩基蓄積、リン酸蓄積が進み、ハウスではそれに加えて窒素

集積が著しく進んでいる。

表2に、北海道のハウス土壌を中心に一部露地野菜畑の養分蓄積状況を取りまとめた。露地（沖積土）の野菜畑で、Truog-P₂O₅が84mg/100gも蓄積し、石灰、苦土、加里も相当量の蓄積を示している。ハウスにおいては、リン酸、塩基蓄積が一段と進み、さらにEC値で示されるような窒素集積が認められる。

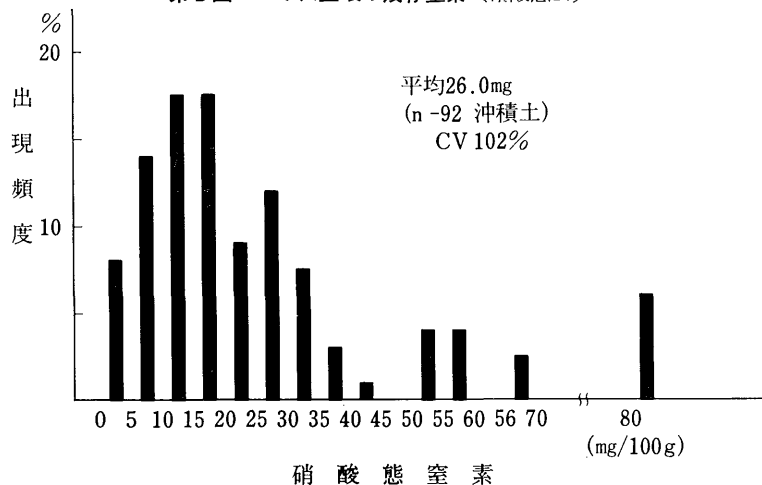
この点を、より詳細に検討すると、硝酸態Nのハウスにおける残存量は、収穫跡地で平均26.0mg/100g（≒26kg/10a）であり、中には80mg/100gを超える場合もある（図2）。

第2表 ハウス土壤の養分含量

	地点数	pH (H ₂ O)	E C (ms)	置換性塩基(mg/100g)			C E C (m e)	塩 基 飽和度 (%)	Truog P ₂ O ₅ (mg/100g)	りん酸 吸 収 係 数
				CaO	MgO	K ₂ O				
沖 積 土	140	6.2 (10.9)	0.74 (69.6)	485 (39.5)	116.2 (46.9)	97.6 (52.5)	23.7 (29.0)	109.6 (32.4)	182 (56.0)	955 (33.8)
火山性土	97	6.3 (7.1)	0.42 (131.0)	334 (48.7)	69.7 (74.5)	41.2 (101.1)	13.7 (27.7)	120.4 (49.7)	108 (69.1)	676 (31.6)
洪 積 土	24	6.4 (8.1)	0.65 (89.7)	351 (77.3)	85.7 (62.7)	87.1 (49.5)	21.0 (99.0)	108.7 (39.5)	188 (51.4)	571 (30.4)
泥 炭 土	22	6.4 (12.8)	1.42 (76.1)	739 (36.1)	110.5 (41.6)	134.3 (55.6)	31.7 (26.2)	111.6 (27.9)	240 (82.7)	1,443 (25.9)
参考(露地)*	118	6.2 (11.6)	0.17 (76.8)	385 (44.7)	47.1 (52.1)	50.7 (60.5)	20.4 (28.2)	84.4 (35.8)	84 (72.0)	~

・なお()内はCV値 ・*露地野菜栽培土壌(沖積土) ・土壌採取地域数: 汭(6), 火(3), 洪(2), 泥(2), 露地(4)

第2図 ハウス土壤の残存窒素(硝酸態N)



このように、養分のタップリ貯った野菜畑やハウスは、人間でたとえるならば、肥満体(野菜畑)が糖尿病の高血圧患者(ハウス)と言えよう。そのような人々の体内生理が乱れているように、野菜畑やハウスでは硝化作用も乱れている。

まず、リン酸を多投するタマネギ畑では、多量施用時(タマネギ畑造成時)には、表3に示すように、硝化作用が遅れ、土壌中の硝酸態N量が少なく、アンモニア態N量が多い。これはEC値の上昇で示される総塩類濃度の高まりもさることながら、多量施用されるリン酸資材に随伴して持込まれる硫酸根などアニオンの影響も考えられる。

また、アンモニアや硝酸が集積しても硝化作用は抑制される。そのような意味では多肥条件下や窒素集積条件下では、アンモニアの施用は避けた方がよい。なぜなら、アンモニア集積は濃度障害以前に、イオン特異性による障害をひき起すからである。

アンモニア毒性(アンモニア障害)は、生育上の現象

として葉色が濃緑色となり、葉面に凹凸が生じ、生育末期にはカリ欠乏に似た症状を呈する。時には、そこに至る前に枯死する。その障害の発現は低pH、多窒素・低温条件で強く出る。このようなアンモニア障害は、吸収されたアンモニア態Nが、タンパク合成へ同化される速度が硝酸態Nより劣り、体内にアンモニア集積が生じるため、及び、体内アミノ酸のアンバランスが生じるために起ると考えられている。

結局、赤ん坊(生育初期)や病人(不良環境条件下)にたきたての硬いゴハンを与えると、胃をこわし、体調を乱すように、アンモニア態Nを多量に寒地で施用することは、作物の体調を乱す危険性が高い。また、アンモニア態N多施用に伴い葉中のビタミンC含量が低下することは(表4)、品質の劣化として留意すべきである。

このように考えるならば、温度が低く、養分蓄積の進んでいる寒地の野菜畑、ハウスにおいては、基肥窒素を全量アンモニア態Nで施用するのではなく、硝酸態Nの併用を見直すべきでなからうか。

第3表 P多量施用に伴う硝化作用の変化

P 添加 割合*	採取年次	pH (H ₂ O)	EC (1:5) ms	(A)	(B)	A/B ×100 %	Truog-P mgP ₂ O ₅ /100 g	水溶性P
				NO ₃ -N	無機態N**			
				mg/100 g				
0	1980	5.65	0.203	4.43	7.72	36.4	70.8	20.6
	1983	6.30	—	—	—	—	35.4	14.1
5	80	5.65	0.251	3.90	7.68	33.6	114.4	36.9
	83	6.40	—	—	—	—	42.4	12.9
30	80	6.12	0.270	2.56	9.05	22.0	198.6	146.6
	83	6.60	—	—	—	—	86.3	26.8
60	80	6.26	0.276	0.75	10.14	6.8	290.9	215.5
	83	6.65	—	—	—	—	145.2	40.6
100	80	6.25	0.439	0.40	17.03	2.2	485.7	349.8
	83	6.65	—	—	—	—	211.1	57.8
200	80	6.18	0.464	0.22	17.70	1.2	640.6	500.2
	83	6.75	—	—	—	—	466.2	108.8

注) *: P吸収係数に対するP添加割合 ** : 無機態N = NO₃-N + NH₄-N mg/100 g
採取年次: 1980年6月20日及び1983年10月29日

第4表 各種形態窒素の施用濃度と葉中アスコルビン酸含量*
(1953年) 岩田正利, 国学雑29(1) 21 (1958)

濃度 \ 形態	NaNO ₃	NH ₄ NO ₃	(NH ₄) ₂ SO ₄
0 m.e.	131 mg%		
1	116	119	72
3	85	105	37
5	100	94	23
10	96	91	30
20	98	98	26
40	89	69	15
60	96	71	—
80	114	94	—
120	83	83	—

*還元型(新鮮物当り)11月28日定量

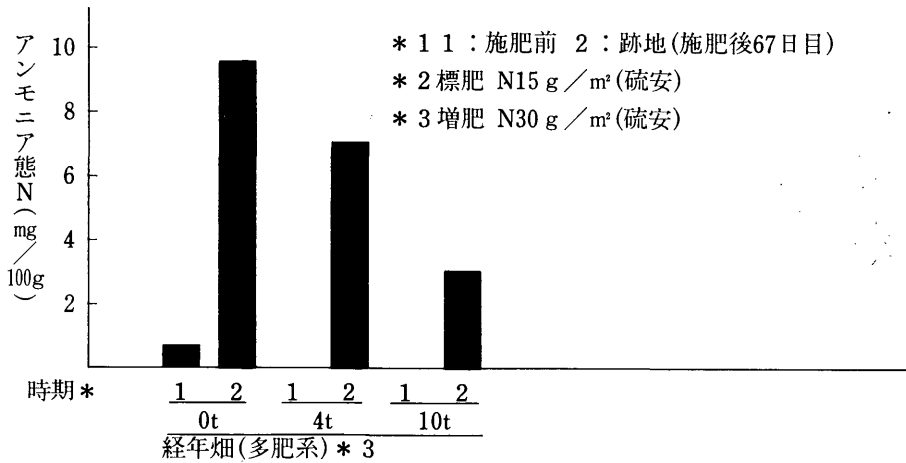
また、一部の野菜畑やハウスにおいて、化学肥料に頼り切り、堆肥・有機物施用がおろそかになっているが、これなども硝化作用を抑制し、アンモニア障害をひき起し、生育・収量・品質を低下させている。

図3は、堆肥連用・非連用の経年ハウスにおいて、施用したアンモニア態Nがどの程度残存しているか検討したものであるが、まず、多肥(N30g/m²)栽培の経年

畑では、堆肥施用量が少ないほどアンモニア態Nの残存量が多く、硝化作用が抑えられていることが明らかとなった。なお、表示しなかったが、少肥(N15g/m²)栽培下の経年畑においては、硝化作用は比較的スムーズに進んでいることから、堆肥の連用のみならず多肥による養分蓄積が硝化作用を遅らせている事が示唆された。

すなわち、多肥・無堆肥栽培は、土壤中の微生物活性を全体的に落とし、施用した肥料の“こなれ”を悪くしている。土壤中の硝化菌は、言うなればやさしい母親で、子供(作物)のため、セッセと米(易分解性N、有機態N)をゴハン(アンモニア態N)に、ゴハンをおカユ(硝酸態N)にたいてくれている。堆肥・有機物無施用と言うことは、この母親に食事(炭素源)を与えず、塩(肥料)づけにするようなものである。温度条件の不리한寒地ほどやさしい母親を大切にしたいものである。それが子供(作物)をスクスク育てるポイントであろう。

第3図 堆肥4年連用・非連用土壌のアンモニア態N



3. 窒素施肥と野菜の品質

作物生産に最も強く影響する施肥成分は、言うまでもなく窒素肥料である。窒素施肥が過剰であると、既に述べてきたようにアンモニア障害や濃度障害をひき起す。また、硝酸態Nの多量の残存が濃度障害の最大の要因であることは、ハウス栽培で広く指摘されているところである。

しかし、窒素施肥量が不足しても生育は劣り、品質も広々として低下する。また、窒素追肥を必要とする作物への適期追肥をのがすと、収量のみならず品質低下をもたらす。

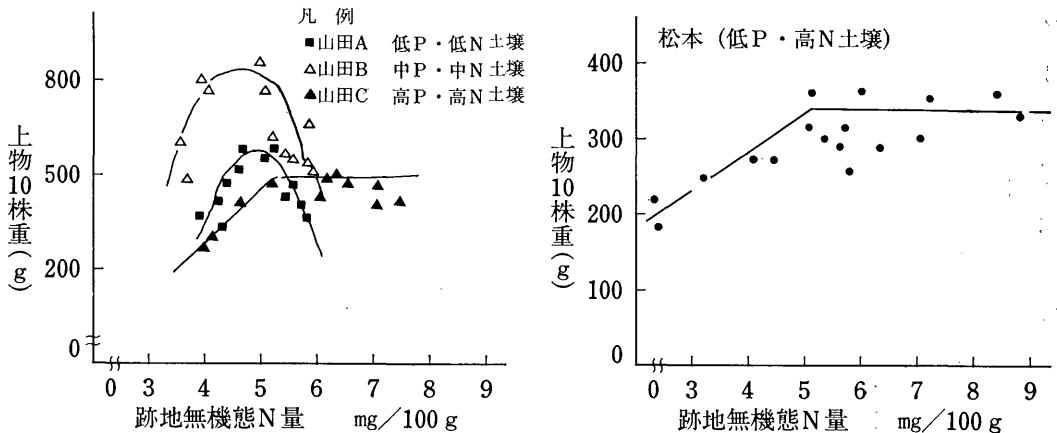
例えば、ホウレンソウの場合、生育期間中に土壌中の無機態N、主として硝酸態Nが欠除すると、上物収量は減少する。この点を収穫時の土壌中残存硝酸態N量と上物収量(真空子冷後、黄化した下葉を摘除した収量)との関係から検討すると、硝酸態N 4~5 mg/100gを切ると、上物収量は低下する(図4)。これは黄化した下葉の摘除による減量のためである。同様なことは栄養生長

と生殖生長が同時進行するトマトやキュウリにも言え、土壌中の無機態Nが10mg/100gを切ると、栄養生長の衰退をもたらし、花芽の付きが悪くなり、収量が低下する。

すなわち、ホウレンソウのような栄養生長型野菜は、栄養生長体である葉を、栄養生長の最中に収穫するのだから、収穫時点まで、作物としての活性を維持していなければ、葉色の低下を通じ、上物収量の減少につながる。一方、トマトやキュウリのような栄養生長・生殖生長同時進行型野菜は、作物の活性を長期にわたり維持しなければ、調和のとれた栄養生長と生殖生長(収穫)の進展が望めない。ここにN施肥のポイントがある。

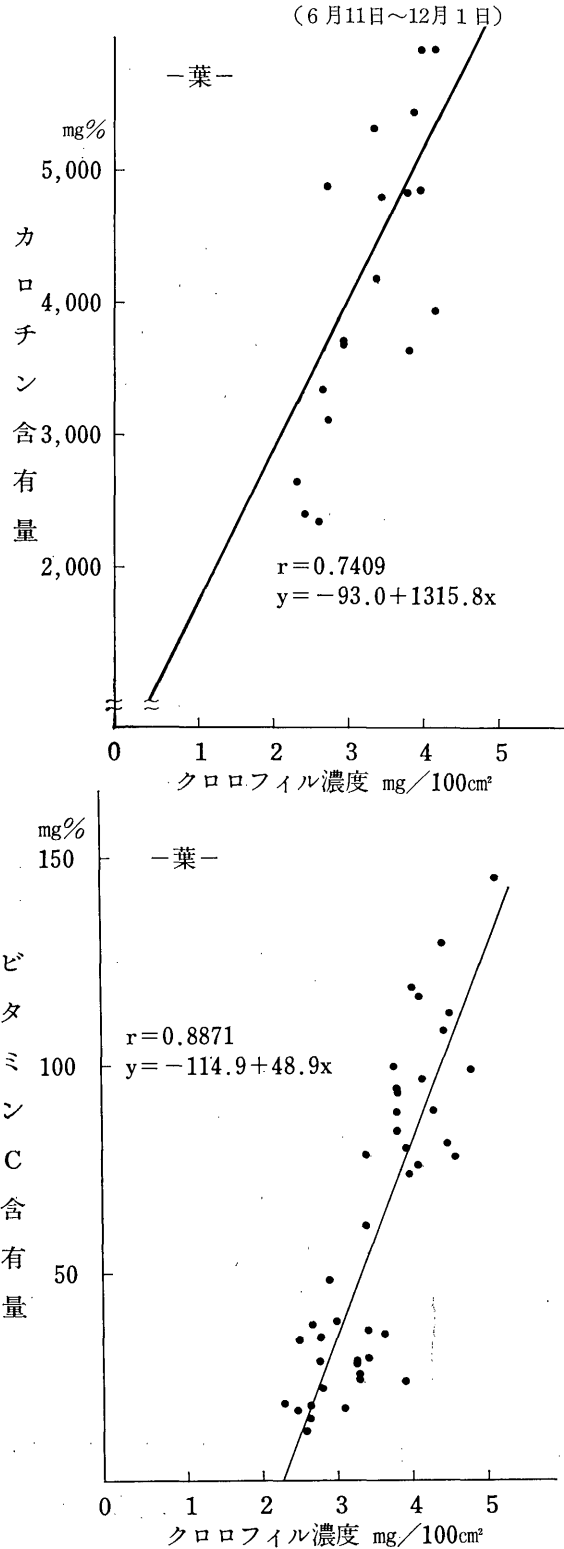
この点については後にふれるとして、品質問題に少しふれておく。今、消費者が何を目安にホウレンソウを買っているか問うたところ、横浜、札幌、函館等の3,400余名の奥さん方は、1に葉色、2いたみ、3にしおれ、4に葉の形、5に価格と答えている。さらに、どの色が好きか調べると、野菜用のカラースケールの示度5~6の緑色を好むことがわかった。

第4図 収穫時の残存N量と夏どりホウレンソウの上物収量の関係



無機態Nの95%以上が硝酸態Nである。

第5図 ホウレンソウのクロロフィル濃度とビタミンC、カロチン含量 (道南農試)



このカラースケール示度とクロロフィルメーター示度の間には高い正の相関係が認められ (n=33, r=0.905**), また、葉中のN濃度との間にも高い相関が認められる (n=19, r=0.847**)。結局、葉中N濃度が高いものほど、観察によるカラースケール示度や機械的測定であるクロロフィルメーター示度が高まり、葉色が濃くなっている。そして、クロロフィルメーターで示されるクロロフィル濃度とカロチン(ビタミンA)やビタミンCの間には、図-5に示すように、高い正の相関係が認められ、奥さん方がホウレンソウの葉色を目安にしていることが、まんざら誤りでもないことがわかる。

ホウレンソウの色は、そのような意味で、中味成分であるビタミンAやCの多少を、新鮮さを、示すよき指標であり、品質基準となり得る。この葉色を左右するのは言うまでもなく、N施肥であり、ここでもN施肥が野菜の品質に影響を及ぼしていることがわかる。なお、ことわるまでもなく必要以上のN多肥は濃度障害として生育を抑制するばかりでなく、品質の低下をもたらす。例えば、キャベツ栽培時、N増肥を行うと、糖分含量が低下し、貯蔵性・日もちが悪化する。その点有機肥料を利用すると、糖含量は高まり貯蔵性も高まるとの報告などもある。

4. 野菜の栄養特性とN施肥, 硝酸態Nの役割

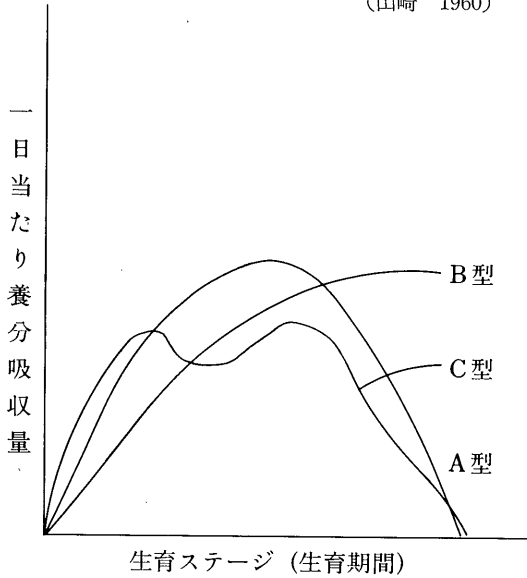
野菜は概して大食量の肥満体が多い。養分吸収量で比べると、野菜(13種の野菜の平均吸収量)は麦類に比べカリ、石灰の吸収量が多く、カリは3倍、石灰は6倍程度吸収している。また、N吸収量も1.5倍程度であり、なかでも、トマトは6t/10aの収量で20kg、ハクサイ8t/10aの収量で21kg程度の吸収量を示す。長期栽培で12~16t/10a収穫するトマトでは40~60kgのN吸収量を示す。

一方、野菜の養分吸収パターン(一日の食事量の変化)から、野菜は5タイプに分けられるが、今ここでは模式的に3つに分けた。まずA型は枕膳一膳型野菜で、人間の一生と同じように、生まれたばかりの時はチョッピリ母乳を飲み、生長するにつれ一日の食事量がふえ、壮年期にはドンブリメシを食べ、年をとるにつれ食事量が減り、最後は枕膳一膳と云ったタイプ。すなわち、一日当たりの養分吸収量(食事量)が漸増し、ピークに達したのちに漸減する養分吸収パターンを示し、C型はその亜型と言えぬ。(図6)

それに対してB型は、一日当たりの養分吸収量が漸増し、収穫時まで継続するタイプで、言わば交通事故死型作物である。すなわち、交通事故にあうからと云って、朝メシを食わないで出かける人がいないように、事故にあって死ぬその日までメシを食う必要がある。

第 6 図 野菜の生育と着分吸収の模式図

(山崎 1960)



この養分吸収パターンの違いが何を意味するかと云うと、A型の枕膳一膳型作物、例えばその代表とも言える水稲は収穫時点で土壌中にN肥料が残っている必要はなく、むしろ遅い時期に追肥すると倒伏したり、登熟が悪くなり、タマネギでは長球になったり、腐り易くなったりして、品質低下、減収をまねく。それはちょうど、人間も年をとってから過食すると肥満体の糖尿病になると同じである。

パレイシヨも水稲やタマネギと同じA型の養分吸収パ

第 5 表 カンラン収穫時の葉中無機成分濃度

(乾物当り) 岩田正利 国学雑31 (1)

成分	N	P	K	Ca	Mg
m.e.	%	%	%	%	%
NO ₃ 0	3.05	0.39	2.51	1.95	0.06
Mg 0.6	2.96	0.38	2.34	1.81	0.15
4	2.66	0.35	2.46	1.53	0.53
12	2.72	0.35	2.09	1.12	0.87
NO ₃ + NH ₄ 0	3.52	0.49	2.85	1.79	0.06
Mg 0.6	3.12	0.39	2.29	1.30	0.13
4	3.42	0.47	2.54	1.18	0.49
12	3.39	0.47	2.51	0.84	0.81
NH ₄ 0	3.94	0.32	3.08	0.66	0.05
Mg 0.6	4.11	0.47	2.83	0.70	0.15
4	3.85	0.56	2.48	0.57	0.27
12	3.58	0.59	2.60	0.54	0.51

ターンを示すので、晩期のN追肥はもちろんのこと、N肥料の肥効があと効きしても、デンプン価をさげ、還元糖含量を高め、品質低下につながる。そのため、品質が一番厳しく求められる加工用パレイシヨに対しては、減肥と同時に、利用する肥料形態も肥切れのよい単肥配合で十分で、硝酸態Nの活用がまたれる。

逆に、交通事故死型作物は収穫時点もしくは収穫終了時点まで、土壌中に所定量のN成分が残存していなければならない。そのため、ハウレンソウのような短期作物に対しても、有機物施用によるN地力の培養が必要となり、トマト、キュウリのような長期作物では追肥重点の施肥にならざるを得ない。そのような時には、コーティング肥料がその力を発揮するのだが、とりわけ、寒地では硝酸態Nのコーティングが有効と思われる。

C型の養分吸収パターンを示す代表選手はハクサイ、キャベツであり、養分吸収のピークが外葉の発育最盛期(栄養生長)と結球充実期と2つある。これらの作物は石灰欠乏症が出やすい。しかも、石灰欠乏症はふち腐れ、アンコ玉と呼ばれ、その発生は品質問題として致命的とされている。

ところで、キャベツのCa吸収と硝酸態・アンモニア態Nの関係を検討した結果によると、表5に示すように、アンモニア態N単用で葉中Ca濃度が低く、硝酸態Nの利用でCa濃度が高まっていた。

このことは、石灰欠乏の出やすいキャベツ、ハクサイの施肥には、アンモニア態N単用は避け硝酸態Nを併用することが望ましいことを示す。特に、低温にブツカリ易

第 5 表 カンラン収穫時の葉中無機成分濃度

(乾物当り) 39 (1962)

成分	N	P	K	Ca	Mg
m.e.	%	%	%	%	%
NO ₃ 0	3.93	0.43	0.42	1.45	0.49
K 0.5	2.68	0.33	0.64	1.17	0.34
3	2.22	0.31	1.83	0.90	0.29
NO ₃ + NH ₄ 0	4.41	0.56	0.54	1.41	0.50
K 0.5	3.73	0.49	1.00	1.33	0.41
3	2.48	0.38	2.06	0.81	0.26
NH ₄ 0	6.37	1.09	0.96	0.53	0.30
K 0.5	4.48	0.56	1.49	0.67	0.30
3	4.30	0.51	2.68	0.59	0.26

い寒地の促成、半促成栽培のハクサイやレタスでは、危険回避のためにも、考えるべき施肥技術と思われる。

5. 窒素施肥のコントロールについて

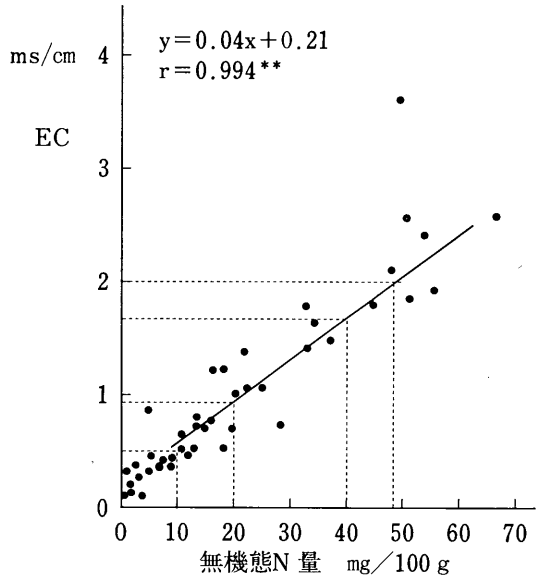
硝酸態Nは多くの利点を有する。特に、寒地における作物栽培においては、もっと活用されるべきと思われる。しかし、ハウス栽培のように、あるいはハウレンソウのように同一ほ場に年3作4作栽培される軟弱野菜畑のように、土壤中に硝酸態Nが残存した場合は、それを無視した施肥は、硝酸態Nであろうと、濃度障害をひき起し、品質を劣化させ、時には収量を皆無とする。

栄養特性からみて、トマトやハウレンソウのような交通事故死型作物は、高品質の生産物を多収していたならば収穫終了時点で換言するならば跡地に、N成分(主として硝酸態N)が残存していると考えべきで、この残存N量を次作に利活用しなければならない。

この点について、北海道においては、残存N量に対応した基肥N量の決定方式が既に普及しており、また、残存N量の推定も、各地の各土壌ごとに、硝酸態N量とEC値の相関々係を求め、その回帰直線より求める方式が実行されている。一例として札幌市有明地区のハウレンソウ栽培の場合を示すと、無機態N量とECの間に図示するような関係が認められ(図7)、それをもとに、表6のような早見表を作り、土壤診断によって必要と決定された基準N施肥量から、残存N量を減肥して、次作の施肥としている。なお、跡地の無機態Nの90%以上は硝酸態Nである。

このような、残存硝酸態N量を把握して、その量を考慮したN施肥、それが高品質野菜の安定多収の前提である。

第7図 有明地区の中・細粒質土壌における土壌中の無機態N量とEC値の関係



第6表 残存N量の推定に基づくN施肥量の補正早見表

EC値	推定による 残存N量	N施肥量(kg/10a)			
		10	15	20	25
>1.0	20	0	0	0	5
1.0 ~ 0.75	15	0	0	5	10
0.75 ~ 0.50	10	0	5	10	15
0.50 ~ 0.25	5	5	10	15	20
0.25 ~ 0	0	10	15	20	25

チッソ旭の新肥料紹介

★作物の要求に合わせて肥料成分の溶け方を調節できる画期的コーティング肥料……………

ロング <被覆磷硝安加里>

LPコート <被覆尿素>

★パーミキュライト園芸床土用資材……………**与作V1号**

★硝酸系肥料のNo.1……………**磷硝安加里**

チッソ旭肥料株式会社