



そ菜の無機態窒素利用に関する研究：
特に施用窒素形態と関連して

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2009-08-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 池田, 英男 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24729/00009309

そ菜の無機態窒素利用に関する研究 —特に施用窒素形態と関連して—

池田英男

Studies on the Utilization of Inorganic Nitrogen by Vegetable Crops with Special Reference to the form of Nitrogen Supplied

Hideo IKEDA

Laboratory of Vegetable Crops, College of Agriculture

Summary

In this study, at first, the growth response of vegetable crops to inorganic N (NO_3 , NH_4 , and NO_2) were compared under various environmental conditions, and the results were discussed in relation to the uptake and initial stage of assimilation of N by plants. Then effects of N sources and temperature of the nutrient solution on growth and yields of plants were investigated using practical scale of hydroponic system. These results were confirmed by soil experiments.

1. Plants supplied with NO_3 showed excellent growth except a few vegetables. In most crops the growth was inhibited with NH_4 or NO_2 , and the growth inhibition was more marked with NO_2 than NH_4 . The sensitivity of crops to these toxicities, however, was considerably different owing to plant species. Both NH_4 and NO_2 toxicity were markedly affected by pH and N concentration of the nutrient solution, i. e., the growth was better in high pH and low N concentration. Under low-N at pH 7, the growth of some vegetables cultured with NH_4 or NO_2 was as good as that of NO_3 plants. When plants were cultured with NH_4 , with a few exception, a relatively close relationship between growth response and leaf NH_4 -N concentration was observed, i. e., the better the plant growth, the lower the NH_4 -N concentration in leaves and vice versa. From the results of analysis for amide-N and insoluble-N, the possibility that N assimilation was delayed or stopped in plants injured by NH_4 was suggested. In general, NH_4 nutrition decreased leaf concentration of K, Ca, and Mg and rather increased P as compared to NO_3 . On the contrary, when plants were supplied with NO_2 , no significant interrelations were observed between growth response and leaf concentration of nitrogenous constituents. Nitrite nutrition reduced the concentration of all inorganic elements including P in leaves. From these results, NO_2 toxicity in plants was deduced to be caused mainly by inhibition of root functions such as respiration and absorption of minerals and water.

2. The preference between NH_4 and NO_3 in N absorption was different owing to vegetable species and solution pH. Thus, vegetable crops were classified into five groups based on the N absorption. From these results, it may be deduced that plants which absorb NO_3 dominantly irrespective of solution pH are sensitive to NH_4 toxicity, and plants which absorb NH_4 dominantly are tolerant.

3. The toxic effects of NH_4 were reduced or alleviated and leaf $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration was decreased with combined application of small amount of NO_3 . As compared with NO_3 nutrition, growth enhancement was often observed from the addition of NH_4 to the solution containing adequate amount of NO_3 . The concentration of leaf $\text{NO}_3\text{-N}$ was increased with increasing NO_3 concentration in the solution. At low-N level, leaf $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration was lowerd with increasing ratio of NH_4 to NO_3 in the solution. In high-N level, however, lowering of leaf $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration was hardly recognized in plants which absorbed NO_3 dominantly even if the ratio of NH_4 to NO_3 in the solution increased. Solution pH increased with NO_3 nutrition and decreased markedly with NH_4 . When plants were supplied with NO_3+NH_4 , solution pH decreased irrespective of the ratios of NO_3 to NH_4 in the solution in plants which absorbed NH_4 dominantly. In plants which absorbed NO_3 dominantly, solution pH was kept relatively constant for a long period when plants were grown with the suitable ratio of NO_3 to NH_4 in the solution.

4. When plants were cultured with the solution containing NO_3 and NH_4 , the growth was almost equal to or better than that of NO_3 fertilized plants, whereas the concentration of K and Ca in leaves was considerably lowered. When plants were fertilized with NH_4 , the growth was generally inhibited and the concentration of K and Ca in leaves was markedly lowered. Increasing K and Ca levels in the solution increased the concentrations of both elements in leaves but scarcely alleviated the NH_4 toxicity. The present results suggested that the decrease of concentration of cations such as K and Ca in leaves caused by NH_4 fertilization was not the main factor of NH_4 toxicity.

5. The results from experiments about the effects of CO_2 concentrtrion in the air and light intensity on the utilization of NO_3 and NH_4 by vegetable crops may suggest the possibility that NH_4 is rather more effective N source than NO_3 under higher air CO_2 concentration or lower light intensity. Moreover, N concentrarion in the solution need to be kept relatively high to expect the yield increase by CO_2 enrichment.

6. The growth of several leaf vegetables was increased with increasing either solution temperature or ratios of NH_4 to NO_3 . However, too high ratios of NH_4 to NO_3 in the solution under low solution temperature resulted in a smaller growth increase in winter lettuce, and caused the death of plants at seedling stage in Japanese honewort. When welsh onion plants were cultured with NO_3+NH_4 , the leaves became dark green and hard and the marketability was raised up. From these results, it was proposed that NH_4 supply could be raised up to 40 to 50 % of total N in practical hydroponic production of leaf vegetables. In these cases, however, solution temperature must be kept relatively high. Especially in lettuce production, attention should be paid to the fact that solution pH may decrease markedly when plants are supplied with mixtures of NO_3 and NH_4 .

7. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on growth, yields, and blossom end rot (BER) incidence of tomato were investigated. From the results, it may be suggested that in practical hydroponic production of tomato, the nutrient solution should exclude NH_4 in warm season when BER may easily occur. In the cool season with low light intensity, however, solutions containing NH_4 up to about one-third of total N may be recommended for promoting plant growth and keeping plant vigor.

8. From the results of soil experiment, it was proposed that suitable application of ammoniac fertilizer with nitrification inhibitor is useful for gowing plants in the ordinary fields, although attention should be paid on the species of vegetable crops and growing conditions.

目 次

緒 論	1
第1章 水耕において NO_3 , NH_4 , NO_2 を N 源とした生育反応	1
第1節 生育反応と養分吸収における果菜、葉菜および根菜の種類間差	1
第2節 N 源としての NO_2 と NH_4 の比較	6
第2章 NO_3 , NH_4 利用に及ぼす培養液組成や二、三の外的要因の影響	10
第1節 NO_3 あるいは NH_4 の優先吸収と培養液の pH 変化	10
第2節 重窒素 (^{15}N) の吸収および同化からみた N 栄養	12
第3節 培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度と比率が生育、葉中 N 成分ならびに培養液の pH に及ぼす影響	17
第4節 NH_4 害に及ぼす培養液組成の影響	22
第5節 NO_3 および NH_4 利用に及ぼす空气中 CO_2 濃度ならびに遮光の影響	25
第3章 実際のそ菜栽培における施用 N 形態	30
第1節 培養液の NO_3/NH_4 比と液温が数種葉菜の生育に及ぼす影響	30
第2節 培養液の NO_3/NH_4 比と液温がトマトの生育、収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響	33
第3節 土壌施用した NO_3 および NH_4 肥料と硝化抑制剤が数種葉菜の生育に及ぼす影響	38
総合考察	40
総合摘要	43
引用文献	44

緒 論

そ菜生産において窒素 (N) 肥料はかなりの量が施用され、生育、収量、品質等に大きな影響を及ぼしている。これまでそ菜のN施肥に関して行われた研究は、施肥量や施肥時期などを問題とするものが多く、N形態について行われたものは少ない。もっとも土耕では、尿素態や NH_4^+ 態のN肥料を施用しても通常速やかに NO_3^- 態に変化するために、N形態は問題となりにくいといえる。しかし、連作障害の回避や管理の自動化などの点で近年注目されている養液栽培では、施用されたNはほとんど形態変化せずそのままの形で植物に吸収されるので、形態を加味した施肥の考えが必要となる。従来そ菜の水耕におけるN源としては、 NH_4^+ は劣り NO_3^- が優れるとする考えが強かったが、 NO_3^- 主体の施肥が行われると、窒素が KNO_3 や $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ の形で施用されるために、窒素濃度を変えようとするれば、KやCaの濃度までも変化することになるし、一般に培養液のpHは上昇傾向となって調整に手間がかかるだけでなく、鉄やその他の微量元素が不溶化しやすくなったりする。また葉色は淡緑となり、ネギなどでは葉が折れやすくなる。そのほか特に、食品として問題となる可食部の硝酸濃度が高くなる可能性もある。一方、 NH_4^+ は NO_3^- とは対照的な性質を有しているので、 NH_4^+ をN源として併用する考えが提起できれば、これらの問題点はかなりの程度解決し得ると考えられる。また NO_2^- は植物の生育に有害とされているが、そ菜の NO_2^- 害感受性やその機作などは不明な点が多い。

本研究ではできるだけ多くのそ菜を扱い、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- (以下それぞれ NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- と略記する) の吸収および初期同化の様相を種々の環境条件下で比較し、その結果を生育反応との関連において考察した。そして実際栽培におけるN施肥技術について、従来あまり考慮されなかった施肥形態の面から新しい考え方の提示を試みようとした。

本研究は、大阪府立大学農学部教授大沢孝也博士に端緒を与えていただくとともに、遂行並びにとりまとめにあたって御指導と御助言を賜った。また同教授坂西義洋博士および同教授山口益郎博士には、本論文のとりまとめにあたって有益かつ適切な御助言をいただいた。ここに謹んで、心より深謝の意を

表するものである。

本研究を行うにあたり、養液栽培全般に関する事項を前東京教育大学農学部教授山崎肯哉博士に、また ^{15}N の分析に関してさまざまな角度から農業研究センター栄養診断研究室長米山忠克博士に、それぞれ御指導いただいた。記して謝意を表す。

本学部教務技師井上英美氏には、栽培面で多くの御助力を願った。また蔬菜学研究室の先生方および専攻の学生諸氏にも大変御世話になった。ここに厚く御礼申し上げる。

なお、本論文は既報¹⁾¹¹⁾をとりまとめ、昭和60年に大阪府立大学へ提出した学位請求論文の概要である。

第1章 水耕において NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- をN源とした生育反応

第1節 生育反応と養分吸収における果菜、葉菜および根菜の種類間差

一般に、形態を異にするN源に対しての生育反応は作物の種類によってかなり異なるとされるものの、多種あるそ菜の個々について具体的にはほとんど調べられていない。

本節では、培養液のpHとN濃度を各々2段階ずつ組合せた4種の条件下で、果菜、葉菜、根菜の合計25種を水耕することによって、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、 NO_2^- に対するそ菜の生育反応を概括的に把握し、その差異を栄養生理学的に考察した。

材料及び方法

本実験では、果菜としてキュウリ、トマト、インゲンマメなど12種、葉菜としてレタス、ホウレンソウなど8種、根菜としてニンジン、コカブなど5種の、いずれも本葉1~2枚から4~5枚程度の幼植物を供試した。育苗並びに水耕法による処理は、すべてガラス室内で行った。水耕には、直径約40cmで約15lの容積を有するポリ容器を用い、1容器当たり14lの培養液を与えて、4~8株を植えた。ブローで連続通気し、1処理につき2反復の実験を行った。共通基本培養液(N欠除液)は、 KH_2PO_4 : 1, K_2SO_4 : 2, MgSO_4 : 2, CaCl_2 : 4 mM, Fe (Fe-EDTAによる): 3, B: 0.5, Mn: 0.5, Zn: 0.05, Cu: 0.02, Mo: 0.01ppmとして、このN欠除液に低N (施用全N濃度が2 me/l一定) と高N (同じく12 me/l一定) 及びpH 5.0と7.0を組合せた4種の処理条件を設け、各処理条件下に NO_3^- 、 $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (1 :

1), NH_4 , $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (1 : 1), NO_2 の5区を設けた。なおN源としては NaNO_3 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NaNO_2 を用いた。培養液のpHは毎日調節し、各処理は原則として3週間行った。培養液中のN形態については、実験開始時にしばしばチェックしたが、特に問題となるような形態あるいは濃度の変化は認められず、毎週1回の液替えて本実験の目的上特に支障はないと判断した。なお培養液の作成には比抵抗 $10^5 \Omega/\text{cm}$ 以上の脱塩水を用いた。処理終了後、各そ菜は生育を調査し、常法によって乾物重を求め、粉碎して分析試料とした。

結果並びに考察

処理期間中、培養液のpHはいずれのそ菜においても、 NO_3 , $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$, NO_2 区では上昇傾向を示し、 NH_4 区では明らかに低下した。 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区の変化はそ菜により幾分異なったが、変化の程度は概して小さかった。

施用N形態によって、植物体に特徴のある外観症状が見られる場合があった。 NO_3 では一般に淡い緑となったが、特にトウモロコシやセリなどではその傾向が強く、pH 7では地上部が黄化した。 NH_4 の場合、マメ類やスイカ、ジャガイモなどでは下葉の黄化・枯死や葉緑のまき上がりなどが、トマト、メロン、セルリー、ダイコンなどでは地上部の黄化が観察された。またハクサイ、ハウレンソウなどは葉色が濃くなり、葉先が枯れた。根は一部に褐変や短根が多数発生するなどの症状が見られたが、概して健全であった。 NO_2 では、処理直後に一時的にしおれるものがあったが、障害が軽度のものではその後回復した。しかし晴天時など蒸散の激しい時にはしばしばしおれた。トマト、ピーマン、シュンギク、ダイコンなどでは、心葉に鉄欠乏によるクロロシスが見られ、マメ類、セリ、レタス、ニンジンなどでは枯死するものが多かった。 NO_2 害において特徴的なのは根の褐変で、障害の著しいものでは次第に腐敗状を呈した。なお、 NH_4 あるいは NO_2 処理によって発生した障害は、一般に培養液のN濃度は高いほうが、またpHは低いほうが顕著であった。

第1表は、各そ菜を3週間水耕したときの地上部乾物重の増加について、 NO_3 区を基準として比較したものである。 NO_3 区では、生育に対する培養液のpHの影響はあまり認められなかったが、トウモロコシ、セリなどではpH 7は5よりも劣った。

NH_4 区では、果菜、葉菜、根菜のいずれも、一般

にpHは高いほうが、またN濃度は低いほうが生育は良好となった。 NH_4 害に比較的強いものは、果菜ではトウモロコシ、イチゴ、葉菜ではセリ、レタスなどであり、これらはいずれの条件でもおおむね NO_3 区に匹敵する生育を示した。一方 NH_4 害を受けやすいものは、マメ類、トマト、ピーマン、ハクサイ、ハウレンソウなどで、これらは NH_4 害が生じにくいpH 7・2 me/lでも、 NO_3 区の70%以下の乾物増加でしかなかった。根菜では全般に反応の差異が小さく、pH 7でのみ NH_4 害に強いジャガイモ、ニンジンと、弱いカブ、ダイコンとに分かれた。

NO_2 のみをN源としても、pH 7・2 me/lでは比較的良好に生育し、果菜ではメロン、イチゴ、ナス、キュウリなどが、葉菜ではセルリー、シュンギク、ミツバ、ハクサイなどが、根菜ではニンジン、ジャガイモ、カブなどが NO_3 区の8~9割あるいはそれ以上の生育量を示した。このようにpHが高くN濃度が低いなど NO_2 害が軽減される条件下では、 NO_2 も有効なN源になりうると言える。しかしpH 7・12 me/lでは、トウモロコシ、オクラ、メロンで NO_3 区の7割以上の生育量を示したものの、一般にはかなり障害を受け、キュウリ、ナス、セルリー、シュンギクなどは NO_3 区の5割程度、トマト、エダマメ、スイカ、ピーマンやレタスなどは3割未満の生育となり、インゲンマメ、セリ、ジャガイモはほとんど生育しなかった。同様な傾向はpH 5・2 me/lでも認められた。またpH 5・12 me/lでは全般に更に著しく生育を阻害され、いずれもほとんど生育しないか処理途中で枯死し、供試そ菜間で生育反応に明らかな差異は認められなかった。

$\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区では処理条件の影響は少なく、いずれのそ菜も生育はおおむね良好で、 NO_3 区と同程度あるいはこれを上回る乾物増加を示した。一方 $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ 区では、 NO_2 区よりも全般に生育良好であり、pH 7・2 me/lのみならずpH 7・12 me/lやpH 5・2 me/lでも NO_3 区に匹敵する生育を示すものがあった。

処理終了時における葉中 NH_4 -N濃度を第2表に示す。 NO_3 区ではいずれのそ菜も葉中 NH_4 -N濃度は低く、処理条件の違いによる差異もあまりなかった。培養液中の NH_4 の割合が高まるにつれて、一般に葉中 NH_4 -N濃度も高まる傾向を示したが、その程度はそ菜によってかなり異なった。すなわち、 NH_4

Table 1. Comparative growth of vegetable crops grown with various N nutrition *NO₃ = 100)

	pH 5						pH 7					
	2 me/l			12 me/l			2 me/l			12 me/l		
	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂	NO ₃	NH ₄	NO ₂
1. Sweet corn	(54.16)*	112	81	(66.23)	77	4	(38.85)	134	70	(32.03)	168	102
2. Strawberry	(35.96)	87	89	(32.20)	73	0	(31.65)	119	104	(34.37)	87	17
3. Melon	(29.35)	47	65	(45.19)	29	0	(26.68)	100	105	(37.60)	57	71
4. Cucumber	(44.36)	42	71	(64.73)	31	10	(43.06)	90	90	(66.79)	50	53
5. Water melon	(19.68)	50	65	(25.48)	33	0	(17.17)	81	90	(29.83)	41	25
6. Okra	(22.49)	42	-	(29.47)	28	-	(23.96)	90	89	(24.88)	63	78
7. Egg plant	(45.08)	59	74	(67.18)	39	2	(42.39)	82	92	(68.66)	57	55
8. Tomato	(31.85)	44	31	(39.37)	31	2	(37.16)	57	76	(43.05)	47	15
9. Sweet pepper	(22.13)	49	69	(29.87)	22	-	(26.43)	69	69	(30.45)	36	26
10. Tender soybean	(17.25)	40	49	(21.12)	15	-	(22.80)	47	78	(24.78)	40	22
11. Pea	(5.81)	30	40	(6.76)	-	-	(5.95)	41	81	(6.87)	35	43
12. Kidney bean	(10.84)	14	10	(9.48)	0	-	(11.08)	20	45	(8.42)	29	0
1. Seri	(4.76)	112	30	(3.61)	106	-	(3.37)	101	66	(3.40)	85	4
2. Lettuce	(12.07)	105	19	(12.13)	87	-	(12.11)	110	64	(11.44)	82	22
3. Celery	(13.93)	69	80	(16.53)	58	0	(14.48)	91	85	(15.75)	78	55
4. Garland chrysanthemum	(20.88)	72	82	(22.93)	62	11	(21.49)	101	82	(23.41)	74	49
5. Japanese honewort	(13.43)	59	42	(12.84)	54	-	(13.66)	94	87	(12.94)	80	42
6. Cabbage	(22.88)	63	79	(26.21)	47	16	(19.22)	75	43	(21.11)	57	33
7. Chinese cabbage	(20.06)	53	48	(27.08)	38	17	(20.50)	60	89	(23.88)	36	35
8. Spinach	(13.99)	21	31	(20.07)	14	0	(14.58)	31	52	(12.48)	33	38
Potato	(16.97)	67	60	(28.02)	34	0	(17.67)	121	90	(25.02)	82	7
Carrot	(11.06)	50	47	(11.35)	45	-	(11.46)	104	101	(10.07)	84	44
Radish	(2.93)	56	49	(2.78)	49	2	(2.41)	74	57	(2.27)	64	73
Turnip	(15.55)	58	66	(22.75)	39	8	(16.32)	79	82	(25.91)	36	30
Japanese radish	(16.66)	53	39	(19.94)	32	9	(14.77)	71	50	(16.41)	33	38
Carrot	(6.50)	72	75	(7.02)	54	-	(7.82)	93	73	(8.04)	60	49
Radish	(1.59)	38	25	(1.32)	18	5	(1.02)	71	36	(1.01)	22	66
Turnip	(8.46)	82	64	(7.32)	37	11	(9.81)	60	80	(6.97)	32	46
Japanese radish	(2.12)	52	30	(1.82)	23	-	(2.02)	47	26	(2.00)	19	34

* Net dry weight of the top or root (g/pot).

Top

(3)

Root

Table 2. Concentration of $\text{NH}_4\text{-N}$ in leaves of vegetables grown with various N nutrition (% dry wt.)

	pH 5 · 2 me/l			pH 7 · 12 me/l		
	NO_3	NH_4	NO_2	NO_3	NH_4	NO_2
Sweet corn	0.015	0.015	0.016	0.020	0.050	0.048
Strawberry	0.014	0.020	0.018	0.010	0.039	0.037
Melon	0.009	0.056	0.012	0.017	0.071	0.026
Cucumber	0.017	0.062	0.034	0.019	0.074	0.032
Water melon	0.022	0.049	0.038	0.023	0.048	0.028
Okra	0.026	0.081	—	0.037	0.094	0.032
Egg plant	0.022	0.053	0.026	0.021	0.050	0.023
Tomato	0.054	0.148	0.054	0.027	0.164	0.060
Sweet pepper	0.017	0.080	0.039	0.015	0.097	0.014
Tender soybean	0.014	0.021	0.012	0.010	0.024	0.023
Pea	0.037	0.091	0.034	0.045	0.071	0.042
Kidney bean	0.034	0.141	0.032	0.027	0.198	—
Seri	0.020	0.066	0.043	0.023	0.105	—
Lettuce	0.015	0.057	0.027	0.032	0.198	0.080
Celery	0.035	0.084	0.060	0.032	0.130	0.075
Garland chrysanthemum	0.013	0.178	0.022	0.022	0.180	0.100
Japanese honewort	0.015	0.188	0.032	0.016	0.127	0.140
Cabbage	0.029	0.129	0.115	0.043	0.211	0.154
Chinese cabbage	0.044	0.185	0.169	0.074	0.669	0.180
Spinach	0.014	0.034	0.027	0.020	0.117	0.043
Potato	0.041	0.055	0.038	0.023	0.047	0.027
Carrot	0.025	0.055	0.031	0.021	0.086	0.029
Radish	0.027	0.229	0.058	0.026	0.684	0.038
Turnip	0.023	0.069	0.034	0.034	0.342	0.092
Japanese radish	0.033	0.156	0.081	0.039	0.608	0.055

区においてもトウモロコシ、イチゴ、エダマメ、セリ、レタス、ハウレンソウ、ジャガイモ、ニンジンなどは乾物中0.02~0.2%程度と低かったが、インゲンマメ、トマト、ハクサイ、キャベツ、ハツカダイコン、ダイコンなどは乾物中0.1~0.7%の高濃度となり、 NO_3 区と比較しても4~26倍と高かった。一方培養液中の NO_2 の割合が高まるにつれても葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は高まったが、その程度は NH_4 施用の場合ほどには著しくなく、そ菜間の差異も NH_4 区におけるほどは大きくなかった。amide-Nや不溶性N、 $\text{NO}_2\text{-N}$ なども測定したが、表示を省略した。amide-Nは $\text{NH}_4\text{-N}$ と同様な変化をした。また葉中 $\text{NO}_2\text{-N}$ 濃度は NO_2 区でさえも乾物中1 ppm以下の極微量で、定量的に比較するのは困難であった。

$\text{NH}_4\text{-N}$ はアミノ酸合成の初期段階に必須なものであるが、生体内である限度を超えると一般には極めて有毒であることが知られている。第1図は、果菜および葉菜について、 NH_4 をN源にした場合の生育反応と葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との関係を示したものである。これによると、両者の間にはおおむね明瞭な関係が認められ、生育良好なものは葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低く、逆に生育不良なものはこれが高いことがわかる。また葉中amide-N、不溶性Nなどの測定結果からは、 NH_4 害を受けたそ菜では、Nの同化が進んでいない可能性が推測された。しかし、果菜におけるエダマメ (No. 10) や葉菜におけるハウレンソ

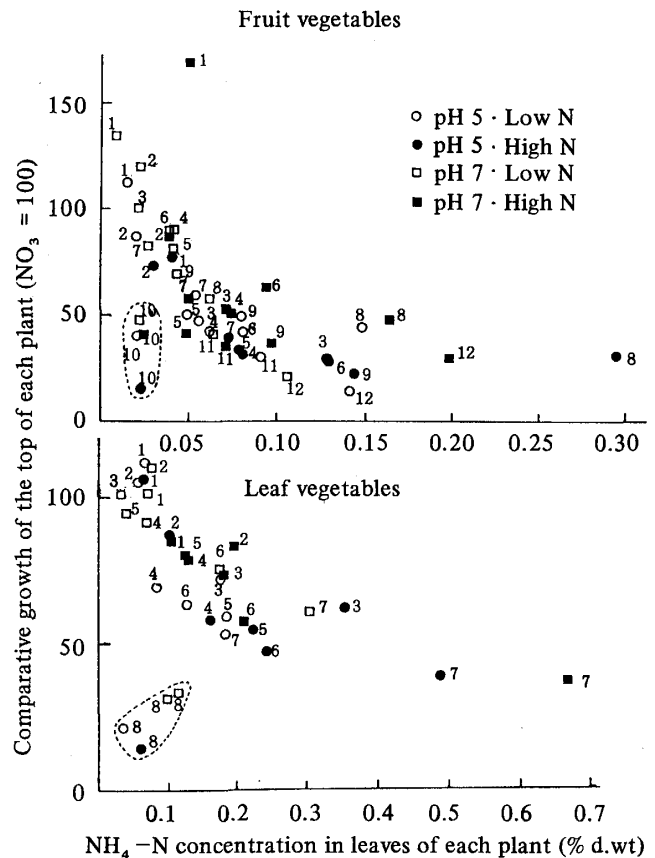


Fig. 1. Relationship between comparative growth of the top and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in leaves of vegetables. Plants were cultured with NH_4 nutrition at 2 levels of solution pH and N concentration. No. see table 1.

Table 3. Relative value of concentration of N, P, K, Ca and Mg in leaves of vegetables grown with NH_4 or NO_2 nutrition ($\text{NO}_3 = 100$)

	N form in the nutrient solution											
	NH_4		NO_2		NH_4		NO_2		NH_4		NO_2	
	N		P		K		Ca		Mg			
Sweet corn	104	116	99	94	88	95	83	111	75	113		
Strawberry	111	106	88	83	90	88	77	63	82	82		
Melon	124	103	128	77	96	88	37	86	47	106		
Cucumber	129	117	91	89	94	81	40	58	52	81		
Water melon	100	100	156	89	64	78	25	81	38	87		
Okra	122	101	146	—	124	—	28	—	67	—		
Egg plant	113	106	85	86	72	96	49	84	57	96		
Tomato	123	106	139	95	53	72	37	76	50	100		
Sweet pepper	165	140	116	107	49	80	31	73	42	72		
Tender soybean	103	98	144	59	95	73	56	84	65	84		
Pea	88	84	223	79	103	84	96	88	123	121		
Kidney bean	96	107	152	75	101	69	56	68	97	99		
Seri	102	89	129	70	87	81	90	94	82	82		
Lettuce	102	95	125	63	71	65	72	98	101	89		
Celery	86	87	79	56	110	77	68	84	100	116		
Garland chrysanthemum	111	95	167	98	79	78	81	97	95	112		
Japanese honewort	124	91	108	67	75	81	71	82	75	73		
Cabbage	122	117	141	86	80	68	54	69	81	94		
Chinese cabbage	112	102	127	93	96	85	66	73	81	96		
Spinach	114	111	178	84	57	63	47	91	34	47		
Potato	106	98	130	100	91	90	33	57	52	73		
Carrot	102	94	89	73	95	83	82	96	72	91		
Radish	90	91	159	115	138	88	67	64	82	92		
Turnip	109	108	147	118	97	81	56	66	76	101		
Japanese radish	116	109	192	98	114	68	51	60	89	98		

ウ (No. 8) のように、葉中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が低いのに NH_4 害を強く受ける例外的な作物も存在し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の過剰集積が NH_4 区での生育不良の原因という考え方からは、生育反応を明確に説明できない場合もある。一方、 NO_2 を N 源としたときには葉中の $\text{NO}_2\text{-N}$ は極めて微量であり、培地中の NO_2 濃度が増加すると葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度も高まるものが多かったことから、体内に取り込まれた NO_2 は速やかに N の同化過程に入っていくものと推察され、 NO_2 栄養は NH_4 栄養と共通した面もあるようにも考えられる。しかしながら、 NO_2 の場合各野菜の生育反応と N 成分組成の間には明らかな関連を見出すのは困難であり、生育反応の差異を N 同化の面から説明するのはむずかしい。

葉の無機要素組成を第 3 表に示す。これは各無機要素濃度を 4 種の異なる処理条件においてそれぞれ、 NO_3 区を 100 として NH_4 区および NO_2 区について指数を求めたものの平均値である。陰イオンである NO_3 に比べて陽イオンである NH_4^+ を与えられたときには、葉中の全 N および P 濃度は上昇し、K, Ca,

Mg 濃度は低下する作物が多いが、 NH_4 害の程度との関連性は明らかではない。一方陰イオンである NO_2^- を与えられたときは、全 N 濃度は NO_3 区と同程度のものが多く、P, K, Ca, Mg 濃度はそれよりも低下する作物が多い。また野菜の NO_2 害感受性とこれら無機要素の葉中濃度との関連も認められない。

摘 要

N 処理として NO_3 , NH_4 , NO_2 および $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ (1 : 1), $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ (1 : 1) の計 5 区を設けて 25 種の野菜を水耕した。その結果、 NO_3 区ではセリなど一部の野菜を除いて、いずれも良く生育した。それに対し、 NH_4 あるいは NO_2 区では、従来一般に認められたように生育を阻害されるものが多く、特に後者の場合に著しい障害が認められた。しかし生育阻害の程度は、野菜の種類や培養液の pH, N 濃度によってかなり異なり、pH は高いほうが、N 濃度は低いほうが生育阻害は軽かった。pH 7.2 me/l では、 NH_4 区、 NO_2 区でも NO_3 区に匹敵する生育を示す野菜があった。 NO_3 と NH_4 が併用された場合には、野菜の NH_4 害は著しく軽減あるいは除去さ

れ、NO₃区を上回る生育すら認められた。一方NO₂害は、pH 7・2 me/lではNO₃の併用によってある程度まで軽減できたが、pH 5・12 me/lではほとんど軽減されなかった。

体内成分との関係を見ると、一部のそ菜を例外として、NH₄区では生育反応と葉中NH₄-N濃度との間には明瞭な関係が認められ、生育良好なものは葉中NH₄-N濃度は低く、生育不良なものは高かった。また葉中のamide-Nや不溶性Nなどの分析結果から、NH₄害を受けたものはN同化が進んでいない可能性がうかがわれた。NH₄の施用によって葉中K, Ca, Mg濃度は低下し、P濃度は変わらないかむしろ上昇した。一方NO₂施用では、生育と体内N成分とは明らかな関連がなく、またPをも含めいずれの無機要素濃度も低下した。

第2節 N源としてのNO₂とNH₄の比較

前節において、一般に有害であるとされるNO₂を施用しても、pHが高い場合にはかなり良好な生育を示すそ菜があり、更に植物体のNO₂濃度は一般に極めて低かったことなどから、植物体内に取り込まれたNO₂-Nは速やかに還元されてNH₄-Nとなり、更に引き続くNの同化過程に入っていくものと推察された。したがってN同化の進行という観点からは、NO₂栄養とNH₄栄養は類似したものとも思われる。一方pHが低い場合などに、NO₂処理後極めて短時間のうちに発現する植物体の“しおれ”と、その後に認められる根の褐変や腐敗は、NO₂が植物の根に強い害作用をもたらしていることを示唆している。

本節では、実験1としてNO₂耐性を異にする数種そ菜を供試して水耕試験を行い、そ菜のNO₂害を主としてN同化の初期過程の面からNH₄害と比較検討した。また実験2では、NO₂害に関して培養液中のNO₂の絶対濃度と、共存するNO₃との濃度比のいずれが重要な要因であるかを検討した。更に、NO₂が根の活性に及ぼす影響をみるために、NO₂処理後のTTC還元力及び呼吸量の変化を測定した。

実験1. NO₂害とNH₄害の比較

材料及び方法

NO₂耐性が比較的強いそ菜としてキュウリ及びセルリーを、また比較的弱いそ菜としてピーマン及びレタスを選んだ。なおレタスはNH₄害に強く、ピーマンは逆に弱いものでもある。N処理として、NaNO₃とNaNO₂の比率を

変えたNO₂シリーズ、及びNaNO₃と(NH₄)₂SO₄の比率を変えたNH₄シリーズを設けた。両シリーズともpHは7.5と5.0の2段階とした。いずれも施用全N濃度を12 me/l一定として、NO₂あるいはNH₄の濃度をpH 7.5ではそれぞれ0, 4, 8, 12 me/l、またpH 5.0ではそれぞれ0, 2, 4, 8 me/lとする各区を設けた。

結 果

外観症状

NO₂処理：pH 7.5では、キュウリ、セルリーの地上部は比較的健全であったのに対し、ピーマンではFe欠乏クロロシスが著しく、レタスではしおれや枯死葉が発生した。地下部は、程度の差はあるもののいずれも褐変し、ピーマン、レタスでは腐敗状を呈するものがあつた。pH 5.0でのNO₂害症状は、pH 7.5におけるよりもかなり激しく、根の褐変、腐敗や枯死株の発生が著しかった。なお各そ菜ともNO₂処理ではしばしば新根の再生が見られたが、伸長し液面に達すると障害を受けた。

NH₄処理：pH 7.5のNH₄単用で、セルリー、レタ

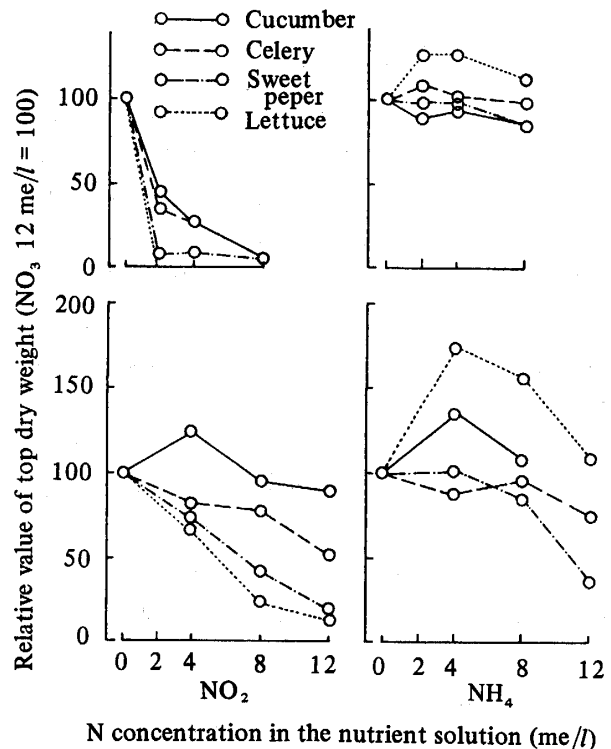


Fig. 2. Effects of NO₂ and NH₄ concentration in the nutrient solution on growth of vegetables. (Above: pH 5.0, Below: pH 7.5)

スは根の褐変が、ピーマンでは中～下位葉のカッピングが認められた程度であり、上記のNO₂害症状よりも一般に軽症であった。pH 5.0では、各そ菜ともpH 7.5のような諸症状は発生せず、外観は正常であった。

生 育

第2図に示すように、pH 7.5におけるNO₂シリーズの生育は、各そ菜とも培養液中のNO₂濃度が高まるにつれて抑制され、NO₃単用で最低となったが枯死株は生じなかった。生育反応からみたNO₂耐性は、強いほうからキュウリ>セルリー>ピーマン、レタスの順であり、NO₃単用に対するNO₂単用の生育量は、キュウリで約9割、セルリーで約5割、ピーマン、レタスで1～2割であった。

一方pH 7.5のNH₄シリーズでは、各そ菜ともNO₂シリーズより良好な生育を示し、特にNO₂耐性の

最も弱いレタスは、NH₄処理によってむしろNO₃単用をかなり上回る生育を示す場合があった。このような生育反応からみた好NH₄性ないしNH₄耐性の順位は、レタス>キュウリ>セルリー>ピーマンであった。

pH 5.0でのNO₂処理は、pH 7.5の場合に比べて著しい生育阻害をもたらし、NO₂に最も弱いレタスはいずれのNO₂濃度でも全株が枯死した。他のそ菜もNO₂ 2 me/lでNO₃単用の5割以下の生育量となり、8 me/lではセルリー、ピーマンに枯死株を生じた。しかしpH 5.0のNH₄処理では、各そ菜の生育量にさほど著しい影響はなく、レタスの生育はNO₃単用をやや上回った。

植物体の分析結果

本実験においても、葉中NO₂-N濃度はNO₂単用の場合ですら極めて低く、定量的な比較は困難であっ

Table 4. Effects of N source in the nutrient solution on N constituents in leaves of vegetables (pH 7.5). Data are expressed with % on dry weight basis.

	NO ₃	NH ₄ (me/l)	NO ₂	NH ₄ -N	amide-N	insol-N	total-N
Cucumber	12			0.021	0.055	4.14	5.80
	8	4		0.026	0.051	4.58	6.02
	4	8		0.049	0.063	4.80	6.50
		12		—	—	—	—
	8		4	0.025	0.047	4.48	5.91
	4		8	0.029	0.045	4.82	6.05
Celery			12	0.044	0.056	4.83	6.21
	12			0.062	0.083	2.29	4.91
	8	4		0.084	0.130	2.76	5.00
	4	8		0.159	0.209	2.66	5.11
		12		0.275	0.429	2.55	4.91
	8		4	0.078	0.115	2.71	4.55
Sweet pepper	4		8	0.098	0.132	2.81	4.62
			12	0.081	0.292	2.80	4.75
	12			0.035	0.036	3.82	5.85
	8	4		0.059	0.064	4.12	6.49
	4	8		0.083	0.116	4.96	7.21
		12		0.355	0.417	4.93	8.31
Lettuce	8		4	0.054	0.078	3.70	6.46
	4		8	0.088	0.281	3.74	6.56
			12	0.186	0.312	3.28	6.03
	12			0.076	0.089	2.58	5.22
	8	4		0.173	0.210	2.78	5.45
	4	8		0.247	0.240	2.74	5.59
Lettuce		12		0.299	0.351	3.00	5.45
	8		4	0.104	0.136	2.52	4.61
	4		8	0.117	0.164	2.39	4.12
			12	0.185	0.261	2.42	4.39

た。第4表に示すように、pH 7.5では一般的傾向として、 NO_2^- 、 NH_4^+ 両処理により葉中の $\text{NH}_4\text{-N}$ やamide-N濃度の高まりが認められたが、両N成分の NH_4^+ 単用/ NO_3^- 単用比は NH_4^- 耐性の弱いそ菜ほど大であった。一方 NO_2^- 耐性順位との関係においては、そのような関連は見出せなかった。またこれら両N成分濃度は、多くの場合生育阻害の弱い NH_4^+ 処理のほうが、生育阻害の著しい NO_2^- 処理よりも高い値を示した。

pH 7.5において NO_2^- 、 NH_4^+ 両処理が各要素の葉中濃度に及ぼす影響は一様でないが、特に濃度の低下をもたらした場合を挙げてみると、次のとおりである。 NO_2^- 処理は一般に各そ菜のP、K、Ca、Mg、Feの濃度を低下させ、更にレタスではMn濃度を著しく低下させた。一方 NH_4^+ 処理は各そ菜のCa、Mg濃度を低下させ、ピーマン、レタスではKをも低下させた。なお NH_4^+ 処理はキュウリ、ピーマン、レタスでMn濃度も低下させた。ここで各要素について、葉中濃度を両N処理間で比較すると、レタスでは各要素とも例外なく NO_2^- 処理のほうが低い。他の3種そ菜では、P、K、Feは多くの場合 NO_2^- 処理のほうが低いが、Ca、Mg、Mnは逆に NH_4^+ 処理のほうが低い。なお、そ菜の NO_2^- 耐性あるいは NH_4^- 耐性順位と各種無機要素濃度との間には、明らかな関連を見出しにくい。

実験2. NO_2^- 害に及ぼす培養液中の共存 NO_3^- 濃度の影響

材料及び方法

供試そ菜はナス、セルリー、ピーマン、インゲンマメの4種で、処理法は実験1と同様である。施用全N濃度は12、24、36 me/lの3段階とし、それぞれについて NO_2^- 濃度をpH 7.5の場合には0、4、8、12 me/l、またpH 5.0の場合には0、1、2、4 me/lとし、残りは NO_3^- を施用した。

結果

第3図に示すように、 NO_2^- 処理による各そ菜の生育阻害は、いずれのpHにおいても共存する NO_3^- の濃度が高まっても改善されなかった。また $\text{NO}_2^- + \text{NO}_3^-$ の組合せ濃度 (me/l) がそれぞれ4+8、8+16、12+24の各区 ($\text{NO}_2^- : \text{NO}_3^-$ の濃度比はいずれも1:2で同一) を比較してみても、 NO_2^- の絶対濃度が高い場合に生育阻害が著しいことがわかる。以上の傾向は特にpHが低い場合に明瞭であった。

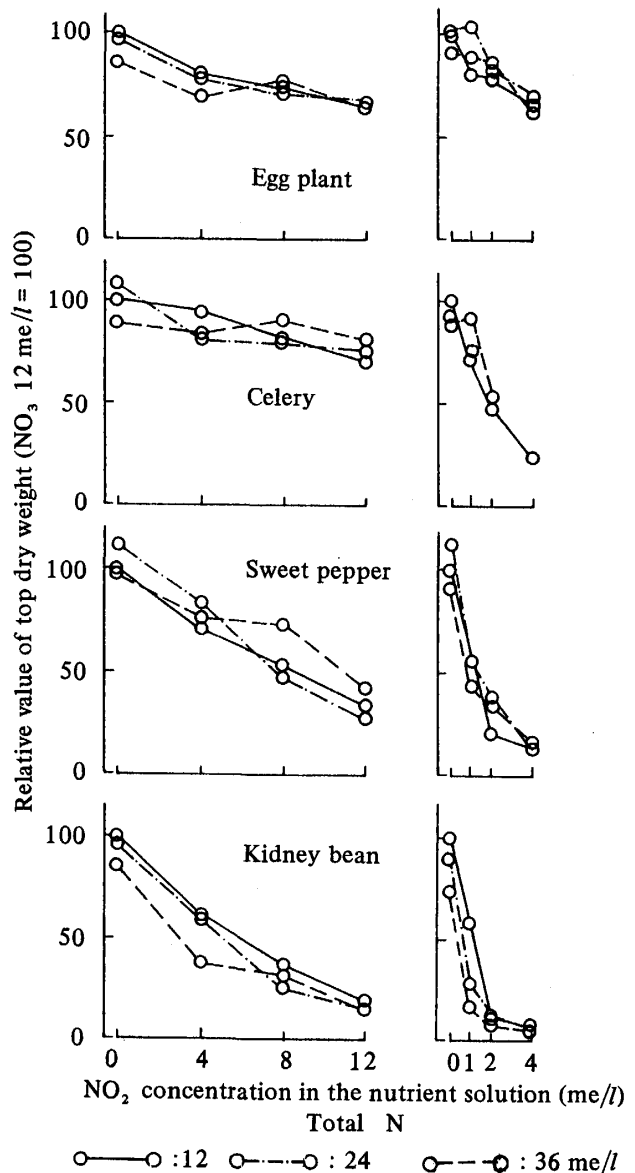


Fig. 3. Effects of NO_2^- concentration in the nutrient solution on NO_2^- toxicity of vegetables (Left: pH 7.5, Right: pH 5.0)

考察

実験1はそ菜の NO_2^- 害を NH_4^- 害と比較するために行ったものである。外観症状からみた場合、両者の類似点としては、pH 7.5における根の褐変が挙げられるが、同症状は NO_2^- 処理のほうが顕著であった。またpH 5.0では、 NH_4^- は外観的な異常をきたさなかったのに、 NO_2^- は根の褐変、腐敗など激しい障害をもたらした。また、 NO_2^- 、 NH_4^- 両処理に対する生育反応の面から比較すると、pH 7.5における NO_2^- 耐性は強いほうからキュウリ>セルリー>ピー

マン>レタスの順で、大沢の報告¹²⁾の pH 7.0 の場合とはほぼ一致した。一方、pH 7.5 における NH₄処理では、各野菜とも NO₂処理より良好な生育を示し、好 NH₄性ないし NH₄耐性の順位はレタス>キュウリ>セルリー>ピーマンとなった。したがってキュウリ、セルリー、ピーマンの3種野菜では NO₂及び NH₄に対する耐性順位が一致しており、両耐性の間に何らかの関連性があるようにも思われる。しかしレタスは両Nに対して著しく異なる生育反応を示した。pH 5.0 では、NO₂処理が各野菜の生育を著しく阻害したのに対して、NH₄処理はさほど大きな影響を与えなかったことは、NO₂害と NH₄害の機作が低 pH において異なることを示す。すなわち症状の面からもうかがわれるように、低 pH における NO₂害は根に対する直接的な障害が主要因をなすように思われる。

ところで、前述のように高 pH の NO₂処理で、野菜によってはかなり良好な生育がみられたことは、NO₂が有効なN源になり得ることを示すものである。本実験においても第1節の結果と同様に、NO₂単用においてすら葉中 NO₂-N 濃度は極めて低かった。このことから、吸収された NO₂は速やかに還元されて NH₄となり、更に引き続くNの同化過程に入っていくものと推定されるので、NO₂栄養と NH₄栄養には類似点があるように思われる。これまで、NH₄処理により生育が抑制された植物では、NH₄害の一因と考えられる遊離の NH₄-N 濃度が高く、また過剰な NH₄-N の一種の貯蔵形態、あるいは解毒作用に関係があると考えられている amide-N など、可溶性有機態Nの濃度も高いことが報告されている¹³⁾。本実験においても、葉中の NH₄-N や amide-N 濃度について NH₄単用と NO₃単用の比をとってみると、NH₄耐性の弱い野菜ほどその値は大となり、NH₄耐性と葉中 NH₄-N や amide-N 濃度との間の関連性が示唆された。また NO₂処理によっても葉中の両N成分は増加する傾向が認められたが、これは NO₂害の場合にもこれらN成分の体内蓄積が関与することを示唆するものかもしれない。しかし、同一野菜が NO₂、NH₄両処理に対して示す生育反応の差異を、植物体中の NH₄-N や amide-N の蓄積のみから説明することは困難である。例えばレタスでは、NO₂処理よりもはるかに生育の優れた NH₄処理のほうが、上記両N成分の葉中濃度はかえって高い値を示した。

同様のことは他の3種野菜の場合にもおおむね認められた。

次に pH 7.5 における各種野菜の葉中無機要素についてみると、NO₂処理によって一般に P, K, Ca, Mg, Fe 濃度が低下し、更にレタスでは Mn 濃度が低下した。これは第1節の結果とほぼ一致している。一方 NH₄処理によって Ca, Mg や K などの主要カチオン要素や Mn 濃度が低下したのは、NH₄とこれらカチオン要素との間の相互作用によると思われる。しかしアニオン要素である NO₂の処理によって、上記のようにカチオン要素を含む多くの要素の葉中濃度が低下したことは、NO₂処理によって根の機能が障害を受けたためと考えられる。このことは、NO₂害症状としてまず、NO₂処理後短時間内に吸水阻害による地上部のしおれが認められ、次いで根の褐変が起こることからも推測される。また実験2において、同一 pH 条件下では、NO₂処理による各種野菜の生育障害は、培養液中の共存 NO₃濃度の高まり、ひいては NO₂/NO₃比の低下によっても改善されず、NO₂の絶対濃度が支配的要因であったことも、NO₂害が NH₄害とは機作を異にする面があることを示すものと言えよう。本実験とは別に、キュウリについて、NO₂処理が根の TTC 還元活性と酸素吸収に及ぼす影響を調べたところ、いずれの根の機能も低 pH 条件下の NO₂処理によって速やかに低下しており、NO₂がこれら作物根の好気呼吸を阻害することがわかった。

摘 要

NO₂害に強かったキュウリ、セルリーおよび弱かったピーマン、レタスを水耕し、NO₂、NH₄を NO₃と種々の比率で与えて NO₂と NH₄が生育に及ぼす影響を比較した。その結果、培養液の pH が 7.5 の場合、生育反応から見た NO₂耐性は強いほうからキュウリ>セルリー>ピーマン>レタスの順であったのに対し、NH₄耐性はレタス>キュウリ>セルリー>ピーマンの順で、レタスが著しく異なった反応を示した。一方 pH 5.0 では NO₂処理による生育阻害は著しく、NO₂耐性の弱い野菜では枯死株を生じたが、NH₄処理は各野菜の生育にさほど著しい影響を与えなかった。なお、NO₂による生育阻害は共存 NO₃濃度が高まっても改善されず、NO₂害は NO₂の絶対濃度が支配的要因であると判断された。また別に行った実験で、pH が低い場合には NO₂処理は短時間のうちに根の TTC 還元活性や呼吸能を阻害することが示された

ことから、 NO_2 害は NH_4 害とは異なり、 NO_2 によって根の呼吸や養水分吸収などの機能が阻害されることが主因をなすと推論した。

第2章 NO_3 、 NH_4 利用に及ぼす培養液組成や二、三の外的要因の影響

第1節 NO_3 あるいは NH_4 の優先吸収と培養液のpH変化

植物はN吸収において“し好性” (NO_3 と NH_4 のどちらを好んで吸収するかという性質)を有するとされる。また前章で既に明らかにしたように、 NO_3 のみをN源にすると培養液のpHは上昇し、 NH_4 のみでは逆に著しく低下する。しかし、両Nが共存する場合については十分に検討されていない。

本節では、pHが異なる条件において、 NO_3 と NH_4 が等濃度で共存する培養液でそ菜を水耕し、生育に伴って生ずる培養液中の両Nの濃度変化を調査するという間接的方法で、 NO_3 および NH_4 の吸収特性を比較した。またその際の培養液のpH変化も調査した。更にこれらの結果と、第1章で認められた結

果との関連性について考察した。

材料及び方法

供試そ菜はトマト、レタス、カブなど20種類である。口径18 cm、容積約2.5 lのポリ容器に2.0 lの培養液を入れ、植物1個体を植えた。N処理は、N欠除液に NH_4NO_3 を与えて行い、1, 3, 6 mM (me/l比で $\text{NO}_3:\text{NH}_4 = 1:1, 3:3, 6:6$ となる)の3段階の濃度を設けた。培養液のpHは5と7の2段階とし、毎日ないし1日おきに変化を調べて、その都度設定値となるように補正した。1区3反復とし、培養液は連続通気した。実験はガラス室内で5~9日間行ったが、期間中毎日ないし1日おきに、培養液中の NO_3 と NH_4 濃度を測定した。ただしN濃度測定時には、培養液の採取に先立ち、別に設けた空試験区で蒸発による水分損失量を求め、これを純水で各容器に補った。

結果

実験期間中継続して、空試験区における培養液中のN形態変化をチェックしたが、N形態の変化はほとんど認められなかった。

第4図は、培養液中の NO_3 および NH_4 濃度とpH

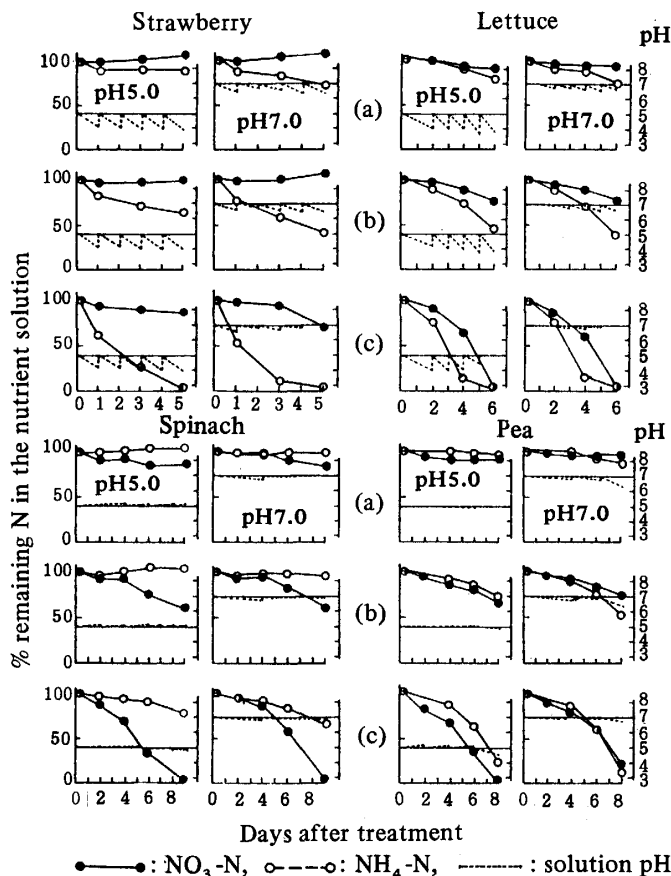


Fig. 4 Nitrate- and ammonium-N absorption by plants from the nutrient solution containing NH_4NO_3 and the simultaneous change of solution pH as influenced by solution pH and N concentration in the nutrient solution. The $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ ratio on me/l in the nutrient solution was (a) 6:6, (b) 3:3, and (c) 1:1 respectively.

の変化について、代表例を示したものである。一般に NH_4 は培養液の pH が高い場合に、 NO_3 は逆に低い場合に多く吸収された。

まずイチゴについて見ると、 $1\text{ mM} \cdot \text{pH } 7$ では培養液中の NH_4 は処理開始と同時に速やかに吸収され、3日後には処理開始時の10%程度の濃度となり、5日後にはほぼ全量が吸収されたことがわかる。これに対し、 NO_3 の吸収は緩慢で、3日後でもほぼ処理開始時の濃度を保ち、培養液中の NH_4 がなくなった5日後になって NO_3 のかなりの吸収が認められた。 $1\text{ mM} \cdot \text{pH } 5$ の場合も NH_4 の吸収は速やかに行われ、5日後にはほぼ全量が吸収された。これに対し NO_3 の吸収は少なく、5日後でも処理開始時の約90%の濃度があった。一方、3あるいは6 mM の場合には、処理時間の経過に伴って培養液中の NH_4 濃度は低下したのに対し、 NO_3 濃度はむしろ処理開始時より高まる傾向が認められた。培養液の pH は毎日の調整にもかかわらずかなり低下したが、 $1\text{ mM} \cdot \text{pH } 7$ の場合には、 NH_4 が培養液中になくなった5日後には低下しなかった。

レタスの場合も、培養液の pH と関係なく、 NH_4 は NO_3 よりも速やかに濃度が低下した。すなわち、 $1\text{ mM} \cdot \text{pH } 5$ の場合には、2日後には処理開始時の NO_3 は約90%、 NH_4 は約75%の濃度となり、4日後にはそれぞれ約60、15%となった。培養液の pH の低下はレタスの場合にも著しく、pH 5 の各区は翌

日には4.0程度まで下がった。しかし1 mM ではいずれの pH においても、 NH_4 が吸収され尽くした6日後には、も早 pH は低下しなかった。

ホウレンソウは前記2種そ菜とは逆に、いずれの pH でも NO_3 を優先的に吸収した。1 mM では両 pH とも、9日後には培養液中の NO_3 濃度はほとんど検出されなくなるまで低下したのに対し、 NH_4 濃度は同時期に開始時の70%程度に低下したにすぎなかった。また3あるいは6 mM でも、培養液中の NO_3 濃度は処理時間の経過とともに次第に低下したが、 NH_4 濃度には変化がほとんど認められなかった。培養液の pH は、設定値が5の場合にはそれより幾分高まる傾向を示したが、7ではほとんど変化しなかった。

エンドウも pH 5 の場合には NO_3 を優先的に吸収し、1 mM では6日後に培養液中の NO_3 濃度が処理開始時の35%、 NH_4 は60%となり、8日後にはそれぞれ0、20%となった。また同処理では、培養液中に NO_3 が残存していた6日後までは培養液の pH は高くなる傾向を示したが、 NO_3 が吸収され尽くした8日後には逆に低下した。一方 pH 7 の場合には、両 N 濃度の低下はほぼ同様であり、培養液の pH もほとんど変化しなかった。第5表は、本実験で明らかとなった N 吸収特性からそ菜を分類したものである。

考 察

本実験においては空試験区で N 形態変化が認めら

Table 5. Classification of vegetable crops owing to the preference of N form in absorption

	Vegetables which absorbed				each form of N almost equally
	more NH_4 than NO_3		more NO_3 than NH_4		
pH 5.0	Sweet corn	Lettuce	Pea	Sweet pepper	Eggplant
	Strawberry	Celery	Water melon	Spinach	Tender soybean
	Melon	Seri	Kidney bean	Chinese cabbage	
	Cucumber	Mitsuba	Tomato	Cabbage	
	Garland chrysanthemum			Turnip	
pH 7.0	Sweet corn	Lettuce	Spinach		Kidney bean
	Strawberry	Celery	Chinese cabbage		Cabbage
	Melon	Seri	Turnip		Pea
	Cucumber	Eggplant			Tomato
	Tender soybean				Water melon
	Sweet pepper	Mitsuba			
Garland chrysanthemum					

れなかったこと、および栽培容器から蒸発によって失われた水分量は純水で補われたことから、培養液中の各N濃度の低下は植物の吸収によるものと見なせる。イチゴは培養液中に NH_4 が存在する間はこれを選択的に吸収し NO_3 はそのまま残るために、N濃度が3ないし6 mMの場合、吸水によって液量が減少する関係で、処理後の培養液中 NO_3 濃度は処理開始時よりもむしろ高くさえた。 NO_3 の吸収は NH_4 がなくなった後に開始されるようである。また、イチゴの示すN吸収特性は、培養液のpHの影響をほとんど受けないほど強いものであった。一方、 NH_4 を優先的に吸収するという点では、レタスもイチゴと同様なN吸収のし好性を有するものと考えられるが、レタスの場合には NH_4 と同時に NO_3 をもある程度吸収するという点で、イチゴとは幾分異なるN吸収特性を持つと考えられる。

更にイチゴやレタスなどでは、培養液のpHは NH_4 が吸収されている間は低下し、培養液中に NH_4 がなくなると変化しないかむしろ上昇する傾向を示すことから、培養液中の NH_4 の有無は、直接測定しなくてもpHの測定によってある程度正確に判断できると言えよう。

本実験において、ハウレンソウやハクサイ、コカブのように、 NO_3 を優先的に吸収するそ菜があったことは大変興味深い。これまでは、 NO_3 と NH_4 が等濃度で共存する場合、一般に NH_4 のほうが吸収されやすい¹⁴⁾と考えられており、そ菜が NH_4 害を受けやすいのもこれが一因となっていたとされてきた。本実験と第1章の実験は、実施年度は異なるもののほぼ同時期に同じ温室内で行い、供試そ菜の品種も同じで、生育ステージも同程度のものであった。そこで両実験の結果を併せ考えると、トウモロコシ、イチゴ、レタス、セリなどのように、本実験においていずれのpHの場合も、選択的あるいは優先的に NH_4 を吸収したそ菜はいずれも NH_4 害を受けにくい種類であり、逆にハウレンソウやハクサイなど NH_4 害を受けやすいそ菜では NO_3 を優先的に吸収する傾向が強いものである、と解することができる。

摘 要

NH_4 、 NO_3 をN源としたpH 5および7の培養液で20種のそ菜を水耕し、培養液のN濃度ならびにpHを測定して、これらの経時的变化に基づいてそ菜間の NO_3 および NH_4 の吸収特性を比較した。その結果 NO_3 あるい

は NH_4 のいずれを優先的に吸収するかは、そ菜の種類ないしは培養液のpHによって異なり、培養液のpHと無関係に NH_4 を優先吸収するもの、逆に NO_3 を優先吸収するもの、pHによってその特性が変わるものなどに分類できた。また培養液のpHは NH_4 が優先吸収される場合には低下し、 NH_4 が吸収し尽くされると変化しないか上昇した。

以上の結果と第1章の結果を併せ考えると、pHと無関係に NO_3 を優先的に吸収するそ菜はいずれも NH_4 害を受けやすいものであり、逆に NH_4 を優先的に吸収するそ菜は NH_4 害に強いものであることが理解され、そ菜の NH_4 害感受性とN吸収特性との間には関連性があると判断された。

第2節 重窒素(^{15}N)の吸収および同化からみたN栄養

前節においては、培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度変化を測定するという間接的方法で、そ菜のN吸収特性を比較した。本節では、実験1として前節と同様な設定の実験を ^{15}N を使って行い、植物体に吸収された ^{15}N 量を測定するという直接的な手法でそ菜のN吸収特性を調べた。またその際、N形態に対する反応が著しく異なるレタスとハウレンソウについてN同化を比較した。実験2では、第3花房開花期のトマトを供試して、この時期に48時間施用された $^{15}\text{NO}_3$ と $^{15}\text{NH}_4$ の植物体各器官への分布を調査した。更に実験3では、 NH_4 害を受けた作物の葉中にしばしば認められる高濃度の $\text{NH}_4\text{-N}$ が、根からの直接の転流に由来するものであることを確認するために、 NH_4 過剰障害の発現しやすいインゲンマメとトマトを供試して、 NH_4 施用後の xylem sap 中の $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度変化を測定した。

実験1. 培養液中に等濃度で共存する $^{15}\text{NO}_3$ および $^{15}\text{NH}_4$ の吸収と同化からみたN栄養特性

材料及び方法

供試そ菜はトマト、インゲンマメ、レタスなど7種である。N処理は、N欠除液に NaNO_3 および $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を、10.6 atom%の ^{15}N を含むものと含まないものを組合せて行った。培養液のN濃度は両Nとも4.0 me/lとし、pHは6.0に調節して、連続通気で栽培した。処理開始から3日後および7日後に3~4個体の植物を採取し、常法によって分析試料を作成した。 ^{15}N は発光分光法で測定した。

Table 6 ^{15}N content of plants grown with $^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ or $\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$ (mg/plant)

Days after treatment	N source	Sweet corn	Tomato	Sweet pepper	Kidney bean	Tender soybean	Lettuce	Spinach
3	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	0.98	1.57	1.09	1.19	0.27	0.63	0.88
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	1.68	1.45	0.83	0.65	0.28	1.31	0.25
7	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	1.83	5.38	2.80	4.62	1.19	2.12	2.67
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	3.15	5.12	1.71	2.67	1.02	4.00	1.30

Table 7. Content of ^{15}N in insoluble- and NH_4 -N of lettuce and spinach leaves

Days after treatment	N source	Insoluble-N			NH_4 -N	
		% d.wt	^{15}N		% total- ^{15}N	^{15}N atom % excess
			Atom % excess	mg plant		
Lettuce						
3	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	2.41	1.28	0.43	79.6	1.86
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	2.48	2.78	0.83	76.1	4.66
7	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	3.23	2.40	1.26	67.4	3.11
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	3.05	4.16	2.42	70.6	6.02
Spinach						
3	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	3.61	1.92	0.42	52.5	4.00
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	3.59	0.83	0.16	88.9	0.79
7	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	3.81	3.87	1.43	60.3	5.23
	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$	3.89	1.89	0.70	74.5	1.77

結 果

植物体中の ^{15}N 量(第6表)は、トウモロコシ、レタスでは NH_4 由来の ^{15}N が NO_3 由来のもの2倍程度と多く、インゲンマメ、ホウレンソウでは逆に NO_3 由来の ^{15}N が NH_4 由来のもの1.7~3.9倍と多かった。

第7表に示すように、処理3日および7日後のいずれにおいても、レタスでは葉の不溶性N中に NH_4 由来の ^{15}N が NO_3 由来のもの約2倍存在した。また NH_4 -N中でも NH_4 由来の ^{15}N 濃度が高かった。葉中全 ^{15}N に占める不溶性 ^{15}N の割合は、処理3日後および7日後とも、両N区で同程度であった。これに対しホウレンソウでは、不溶性N中の ^{15}N は NO_3 由来のものが明らかに多く、処理3日後で NH_4 由来のもの2.6倍、7日後でも2倍存在した。更に NH_4 -N中には、 NO_3 由来の ^{15}N が NH_4 由来のもの

の3~4倍の濃度で検出された。しかし、葉中全 ^{15}N に占める不溶性 ^{15}N の割合は、処理後のいずれの日でも、 $^{15}\text{NH}_4$ 区のほうが明らかに高かった。

実験2. トマトの $^{15}\text{NO}_3$ あるいは $^{15}\text{NH}_4$ 吸収特性と体内分布

材料及び方法

トマトは第3花房が開花を始めるまで、1/2単位の園試処方均衡培養液で水耕した。各個体は1本仕立てとして第3花房上2葉を残して摘心し、各花はトマトランにより着花を促進した。処理は、7.07 atom%の $\text{Na}^{15}\text{NO}_3$ と7.01 atom%の $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ をN欠除液に加えることにより、 $^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ (6 + 6 me/l)、 $\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$ (6 + 6 me/l) 並びに $^{15}\text{NO}_3$ (6 me/l)、 $^{15}\text{NH}_4$ (6 me/l)の4区を設けた。第3花房の2~3花が開花した時に、生育の良くそろった植物体を選び、根を純水で良く洗浄後各容器に移して48時間 ^{15}N を吸収させた。処理終了後、

Table 8. Percent distribution of labeled nitrogen in tomato plants

Position of plant parts		$^{15}\text{NO}_3$	$^{15}\text{NH}_4$	$^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$	$\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$
Fruit	3	2.10	2.84	1.73	2.46
	2	3.94	8.66	5.82	7.36
	1	9.87	12.66	12.82	16.48
Total		15.91	24.16	20.37	26.30
Leaf blade	3	12.24	9.25	12.10	9.60
	2	10.57	7.52	12.01	7.74
	1	8.84	6.36	10.30	5.48
	0	6.45	5.22	6.57	4.98
Total		38.10	28.35	40.98	27.80
Petiole	3	3.31	2.65	3.65	2.79
	2	3.10	2.74	3.78	3.45
	1	3.22	2.61	3.82	2.86
	0	2.90	2.89	3.18	3.01
Total		12.53	10.89	14.43	12.11
Stem	3	2.00	2.55	1.97	2.38
	2	2.14	2.60	1.94	2.21
	1	1.98	2.66	1.93	2.18
	0	3.88	4.99	4.05	6.00
Total		10.00	12.80	9.89	12.77
Root		23.45	23.80	14.32	21.02

植物体を根際部より切り取り、まず各花房の上2葉、下1葉、計3葉をつけて茎を4部位に分割した。次いでそれぞれを茎、葉、果実の各器官に分解したが、葉は更に葉身と葉柄に分けて分析試料とし、それぞれについて ^{15}N 濃度を測定した。

結 果

第8表に示したのは、 NO_3 あるいは NH_4 で施用した ^{15}N の48時間後の体内分布である。 $^{15}\text{NO}_3$ 単用の場合、最も多く分布したのは葉身で38.1%に達した。次に多かったのは根で、23.5%であった。これらに比べると他の器官への分布はかなり低く、果実、葉柄、茎へはそれぞれ15.9、12.5、10.0%となった。 $^{15}\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ の場合の ^{15}N 分布も $^{15}\text{NO}_3$ 単用のときと同様な傾向を示したが、根への分布はそれより明らかに低かった。これに対して $^{15}\text{NH}_4$ 単用では、葉身への分布が最も多かったものの28.4%に過ぎず、果実への分布率が高く、根(23.8%)と同程度の24.2%となったのが注目される。 $\text{NO}_3 + ^{15}\text{NH}_4$ では葉身と果実の分布率の差が更に小さくなって、それぞれ27.8%及び26.3%となり、根(21.0%)より明らかに高かった。N源としての $^{15}\text{NO}_3$ と $^{15}\text{NH}_4$ を比較すると、前者は葉身及び葉柄への、後者は果実及び茎への分布が多かった。

次に各器官の部位別分布を見ると、 NO_3 あるいは NH_4 のいずれをN源とした場合も、葉身では上位のものほど、また果実では逆に下位のものほど分布率が高かった。葉柄では部位別の分布差はあまりなかった。茎では根に近い最下位の部分に多かったが、それ以外の部位ではほとんど差がなかった。

実験3. NH_4 害症状発現前後の xylem sap 中 NH_4 -N 濃度

材料及び方法

供試そ菜は、 NH_4 過剰障害の発現しやすいインゲンマメとトマトである。両そ菜とも展開本葉数4~5枚の大きさの時に、 NO_3 12 me/lおよび NH_4 2, 12 me/lの3種のN処理区に移し、水耕法で処理を開始した。その後、第I期(処理開始後数日の、 NH_4 害がまだ発現しない時期)、第II期(ごく軽微な NH_4 害が発現した時期)および第III期(NH_4 害が明瞭に認められた時期)にそれぞれ xylem sap を採取した。sap は、植物体の地際部を1 cm 程度残してナイフで切断し、2分間経過後内径1 mm のガラス細管で10分間採取したが、いずれも午前9時半頃に作業を開始し、午前中に終るようにした。採取した sap は直ちに氷冷貯蔵し、その後 ^{15}N 希釈法により NH_4 -N と全Nを測定した。培養液のpHは6.0とし、3反復の実験を行った。

Table 9. Concentration of NH_4 - and total-N in xylem sap of plants grown with different form and concentration of N.

	Sampling stage*	NH_4 -N (ppm)			Total-N (ppm)			NH_4 -N/Total-N (%)		
		NO_3	NH_4		NO_3	NH_4		NO_3	NH_4	
		12	2	12	12	2	12	12	2	12
Kidney bean	I	18.5	42.7	67.5	561.5	330.2	410.3	3.29	12.93	16.45
	II	23.5	30.8	53.2	522.9	303.7	276.9	4.49	10.14	19.21
	III	23.5	41.3	58.1	674.6	416.0	475.8	3.48	9.92	12.21
Tomato	I	36.7	102.9	130.7	387.6	710.9	602.2	9.47	14.47	21.70
	II	—	32.1	101.4	—	221.0	424.6	—	14.52	23.88
	III	49.8	51.1	125.5	596.0	320.6	624.3	8.36	15.93	20.10

* I. NH_4 toxicity was not recognized.

II. Slightly visible symptom of NH_4 toxicity was recognized.

III. Visible symptom of NH_4 toxicity was recognized clearly.

結 果

第9表に示すように、 NO_3 区においては sap 中の NH_4 -N はいずれの時期にも確認されたが、時期による差はあまりなく、インゲンマメでは 20 ppm 前後、トマトではこれより高い 40 ppm 前後であった。 NH_4 を N 源とした場合には 2me/l 区でも NO_3 12me/l 区より高濃度であり、かつ培養液中の NH_4 -N 濃度よりも高濃度であった。sap 中の NH_4 -N 濃度は NH_4 12me/l 区で最も高くなり、インゲンマメは 50~70 ppm、トマトは 100~130 ppm の値を示した。sap 中で NH_4 -N が全 N に占める割合は、 NO_3 12 me/l 区ではインゲンマメで 3~4%、トマトで 9% 前後と低かったのに、 NH_4 区では 2me/l ですらインゲンマメでは 10~13%、トマトでは 14~16% となり、12 me/l の場合にはこれより更に高い割合となった。また sap 中 NH_4 -N 濃度には時期的変化も認められ、また NH_4 害の発現が認められない NH_4 処理開始数日後の第 I 期に最も高く、わずかに NH_4 害の発現が認められた第 II 期にはそれより低下し、 NH_4 害が明瞭となった第 III 期に再び上昇した。

考 察

前節において認められたようなそ菜の N 吸収特性は、 ^{15}N を用いて行った本節の実験 1 によっても確認された。

ところで本実験では、 NH_4 害に強いものとしてレタスを、また弱いものとしてホウレンソウを選び、N の吸収だけでなく同化についても比較した。その

結果、レタスでは葉中の NH_4 -N にも不溶性 N にも NH_4 由来の ^{15}N が多かった。しかし処理 3 日後及び 7 日後の両日において、 $^{15}\text{NO}_3$ あるいは $^{15}\text{NH}_4$ のいずれの場合も、葉中全 N のそれぞれ 76~80% あるいは 67~71% が不溶性 N となっていた。このことから、レタスは NH_4 を優先的に吸収し NO_3 の吸収は少ないが、吸収した後は NO_3 も NH_4 もほぼ同様に同化しているものと考えられる。これに対し、ホウレンソウでは葉中の NH_4 -N、不溶性 N のいずれにおいても NO_3 由来の ^{15}N が明らかに多かった。しかし処理 3 日後には吸収された全 ^{15}N のうち、 NO_3 由来のものは 53% が、 NH_4 由来のものは 89% が不溶性 N となり、7 日後にはそれぞれ 60、75% が不溶性 N となっていた。以上のことから、ホウレンソウ葉中の NH_4 -N や不溶性 N に NO_3 由来の ^{15}N が多いのは NO_3 の吸収が優先していることの反映であって、ホウレンソウでは吸収された後は NO_3 よりむしろ NH_4 のほうが同化速度が速いものと考えられる。

実験 2 においては、植物に吸収された NO_3 あるいは NH_4 は体内分布にそれぞれ特徴があることが観察された。すなわち、 NO_3 で吸収された N は葉身への移行が際立って多く、葉柄、茎、果実などへの移行は少なかった。それに対し、 NH_4 で吸収された N は葉身と果実に多く、葉柄、茎には少なかった。ただし、葉柄には NO_3 由来の N が多く、茎には NH_4 由来の N が多かった。葉身の中では最も若い最上位の

部分へ、果実では最下位の肥大期のものへの移行が目立った。このようなN形態の差異と体内分布との関係を調べた研究は非常に少ない。Yoneyama¹⁵⁾が、成熟葉と伸長葉への移行を比較すると、NO₃由来のNは両者に移行するが、NH₄由来のNは後者により集中するような移行パターンを示す、とする程度である。植物に吸収されたNO₃は根で一部は還元されるものの、大部分はそのまま地上部へ送られる¹⁶⁾。更にNO₃の体内移動は蒸散流に大きく依存する¹⁷⁾。したがって、NO₃由来のNは蒸散量の多い葉身、それも比較的若い部分で多く検出されることになるのであろう。

実験3においてNH₄のみをN源とした場合、xylem sap中にはかなりの濃度のNH₄-Nが検出された。しかもその濃度はまだNH₄過剰障害の発現以前が最も高かった。Wilcoxら¹⁸⁾も、トマトでN源をNO₃からNH₄に変えるとxylem sap中のNH₄-Nは次第に増加し、3日後がピークとなりその後は低下したが、7日後にNO₃区の7倍もの濃度があったことを報告している。これらの結果から、これまでの実験でNH₄単用区のそ菜葉中にしばしば認められた高濃度のNH₄-Nはそのかなりの部分が、根から吸

収されたNH₄が未同化のまま葉へ移動したものと判断できる。

摘 要

培養液中に等濃度で共存するNO₃とNH₄の一方を¹⁵Nで標識し、植物体に吸収された¹⁵Nを分析することによって7種のそ菜のN吸収特性を調べたところ、前節の実験と良く一致する結果が得られた。更に、¹⁵Nを用いて第3花房開花期のトマトに48時間施用されたNO₃とNH₄の施用直後の植物体各器官への分布について調べた。そしてNO₃で吸収されたNは葉身への移行が際立って多く、葉柄、果実、茎には少ないのに対し、NH₄で吸収されたNは葉身のほか果実にも多く他には少ないなど、吸収されたNO₃とNH₄の分布にはかなり異なった特徴があることを明らかにした。またNH₄害の発現しやすいインゲンマメとトマトにおける、NH₄施用後のxylem sap中のNH₄-Nの濃度変化を¹⁵N希釈法により測定した。その結果、NH₄施用後間もないまだNH₄害症状が発現しないうちからxylem sap中にはかなりの濃度のNH₄-Nが検出されることから、第1章で認められたようなNH₄害を受けた場合に検出された葉中の高濃度のNH₄-Nは、かなりの部分が根からの直接の転流に由来するものと判断した。

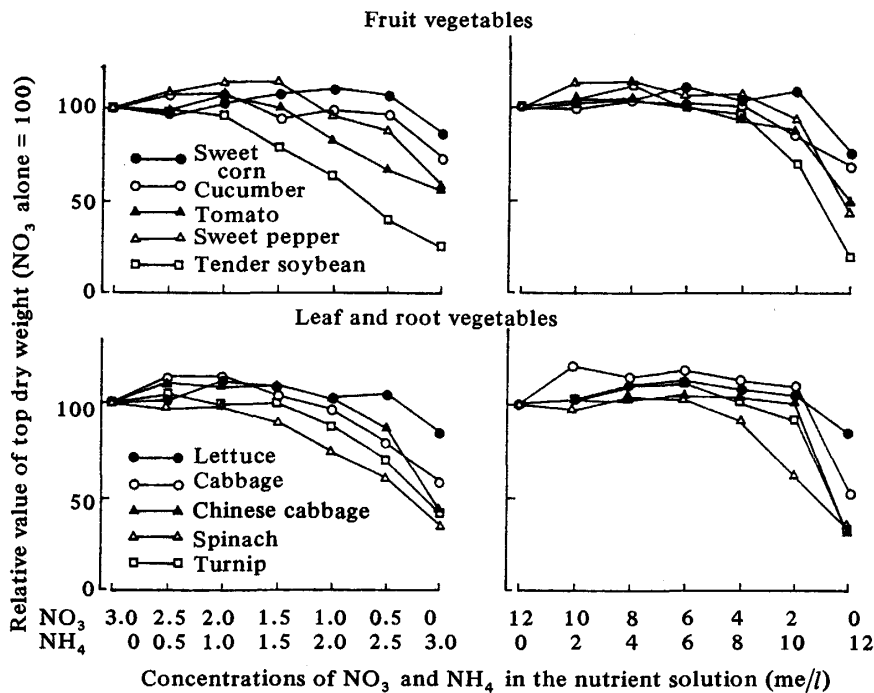


Fig. 5. Effects of NO₃/NH₄ ratios and N levels in the nutrient solution on growth of plants.

第3節 培養液中のNO₃とNH₄の濃度と比率が生育、葉中N成分ならびに培養液のpHに及ぼす影響

第1章第1節では、NH₄のみをN源にすると生育を阻害されるそ菜が多く、NO₃とNH₄を等量併用すると、NO₃のみを施用したときよりも良好な生育を示すものがあつた。また一般に培養液のpHは、NO₃のみをN源にすると上昇気味に推移し、NH₄のみでは逆に著しく低下するが、両Nが共存すると変化の様相はそ菜の種類によって異なつた。

本節では培養液中のNO₃とNH₄の濃度および比率を多様に変えた水耕実験を行い、両N併用がそ菜の生育、葉中N成分、ならびに培養液のpHに及ぼす影響を検討した。

実験1. 培養液中のNO₃とNH₄の濃度ならびに比率の影響

材料及び方法

供試そ菜は第5図に示す10種類である。処理区として、NaNO₃と(NH₄)₂SO₄を用いて、me/l値でNO₃/NH₄比が3.0/0~0/3.0(低Nシリーズ)と12/0~0/12(高Nシリーズ)の各7区を設けた。この場合、NO₃単用、NH₄単用以外の処理区のNO₃/NH₄比は、低Nシリーズと高Nシリーズで同一に設定した。培養液のpHは6.0に調節した。

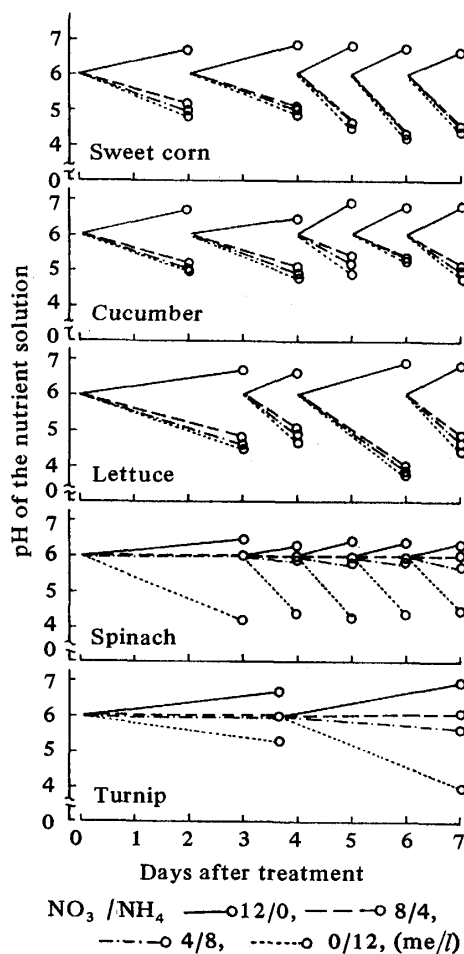


Fig. 6. Effects of NO₃/NH₄ ratios on the change of solution pH.

Table 10. Effects of NO₃/NH₄ ratios and N levels in the nutrient solution on NO₃-N concentration in leaves of plant (% d.wt)

Treatment (me/l)		Lettuce	Chinese cabbage	Spinach	Turnip
NO ₃	NH ₄				
3.0	0	1.62	1.77	0.96	1.08
2.5	0.5	1.42	1.88	0.77	1.07
2.0	1.0	1.01	1.95	0.68	0.69
1.5	1.5	0.72	1.37	0.37	0.79
1.0	2.0	0.59	1.02	0.21	0.56
0.5	2.5	0.26	0.51	0.10	0.20
0	3.0	tr	tr	tr	tr
<hr/>					
12	0	1.66	2.10	1.39	2.27
10	2	0.93	2.64	1.08	2.16
8	4	0.99	2.70	1.22	1.98
6	6	0.90	2.25	1.24	1.95
4	8	0.72	2.12	0.99	1.84
2	10	0.64	1.62	0.58	0.92
0	12	tr	tr	tr	tr

結 果

第5図に示すように、低N、高NシリーズともNH₄害はエダマメ、ホウレンソウで特に著しかった。トマト、キャベツ、コカブでは、0.5/2.5においてNH₄による生育阻害が認められたが、これよりNO₃の比率が高い場合にはNH₄害はほとんど生じなかった。一方トウモロコシやレタスは、供試そ菜の中ではNH₄害が最も軽微であり、明らかにNH₄害が認められたのは0/3.0のみであった。ところで低Nシリーズにおいて、トウモロコシでは3.0/0に比べ、2.0/1.0~0.5/2.5の範囲内では、NH₄の比率が高まるほど生育は良好となった。またピーマン、レタス、キャベツ、ハクサイなどでも、両N併用により地上部重が増加した。このような両N併用による生育促進効果は、高Nシリーズでも認められた。

葉中NO₃-N濃度(第10表)は、一般に高Nシリーズのほうが低Nシリーズよりも高かった。また低N、高Nシリーズとも、NO₃単用で最も高く、培養液中のNO₃の比率が低くなるにつれて低下したが、NO₃/NH₄比が同じ場合、低下の程度は低Nシリーズより高Nシリーズで緩慢であった。更にハクサイ、ホウレンソウ、カブでは、4/8のように、培養液中のNH₄の比率が高くても共存NO₃濃度がある程度高いと、葉中NO₃-N濃度はあまり低下しなかった。

培養液のpH(第6図)は、いずれのそ菜でもNO₃

単用では上昇し、NH₄単用では逆に著しく低下した。両N併用の場合、トウモロコシ、キュウリ、レタスなどでは、NO₃/NH₄比の大小にかかわらずpHの低下が著しく、NH₄単用の場合とほとんど変わらなかった。これに対し、ホウレンソウ、カブなどでは8/4ないし4/8のように、両Nの比率によっては培養液のpH変化がかなり小さい処理区があった。

実験2. 培養液中に一定濃度のNO₃が存在する場合のNH₄濃度の影響

材料及び方法

供試そ菜はレタス、キャベツ、シュンギク、ホウレンソウの4種類である。処理は、NO₃単用(1~24 me/l)、NH₄単用(1~12 me/l)、及びNO₃4 me/l+NH₄(1~12 me/l)、NO₃12 me/l+NH₄(2~12 me/l)の4シリーズ計20区とした。

結 果

第7図のように、NO₃4 me/l+NH₄シリーズの場合、レタス、キャベツでは、NH₄1~8 me/lまでは同N濃度のNO₃シリーズよりも明らかに生育良好であり、NH₄12 me/lでもNO₃16 me/lと同程度の生育を示した。シュンギク、ホウレンソウでもNH₄1~4 me/lでは、N濃度の等しいNO₃単用をかなり上回る生育量であった。一方NO₃12 me/l+NH₄シリーズでも生育促進効果が認められ、それぞれのそ

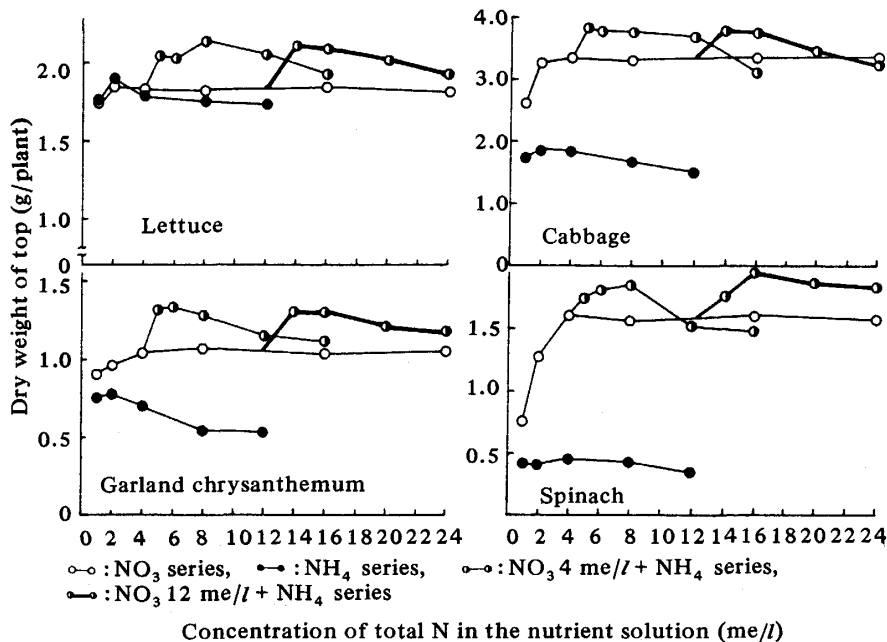


Fig. 7. Effects of N source, concentration and the combination of NO₃ and NH₄ on growth of plants.

Table 11. Effects of N source, concentration and the combination of NO₃ and NH₄ on NH₄-N and NO₃-N concentration in leaves of plants (% dry wt)

Treatment (me/l)		NH ₄ -N			NO ₃ -N		
NO ₃	NH ₄	Lettuce	Cabbage	Spinach	Lettuce	Cabbage	Spinach
1	0	0.029	0.027	0.030	0.23	0.13	0.12
2	0	0.029	0.030	0.033	0.85	0.82	0.36
4	0	0.031	0.034	0.033	1.18	1.54	0.61
8	0	0.031	0.037	0.035	1.28	1.64	0.76
16	0	0.028	0.040	0.036	1.34	1.72	0.94
24	0	0.029	0.041	0.030	1.41	1.90	0.93
0	1	0.054	0.054	0.058	tr	tr	tr
0	2	0.123	0.165	0.075	tr	tr	tr
0	4	0.169	0.211	0.068	tr	tr	tr
0	8	0.167	0.282	0.104	tr	tr	tr
0	12	0.196	0.392	0.154	tr	tr	tr
4	1	0.057	0.045	0.033	0.67	1.23	0.50
4	2	0.104	0.051	0.033	0.44	1.05	0.52
4	4	0.097	0.061	0.042	0.38	1.25	0.62
4	8	0.121	0.076	0.040	0.35	1.11	0.63
4	12	0.130	0.130	0.048	0.32	1.03	0.57
12	2	0.073	0.052	0.040	0.69	1.59	0.98
12	4	0.094	0.060	0.048	0.66	1.69	1.07
12	8	0.100	0.085	0.054	0.67	1.48	1.10
12	12	0.125	0.114	0.050	0.59	1.52	1.18

菜で最も生育が良い場合には、同濃度の NO₃単用を15~30%上回った。

処理終了時の葉中 NH₄-N 濃度 (第11表) は、各そ菜とも NO₃ シリーズでは 0.03~0.04% と低かった。これに対し NH₄ シリーズでは、0/1 においてすら NO₃ シリーズの最高値を上回っており、培養液中の NH₄ 濃度が高くなるにつれて更に著しい蓄積が認められた。しかし、同じ NH₄ 処理濃度でも NO₃ が併用されると、葉中 NH₄-N 濃度は大幅に低下した。

葉中 NO₃-N 濃度 (第11表) は、NO₃ シリーズでは培養液中の NO₃ 濃度の増加につれて顕著に増加し、24/0 は 1/0 に比べレタスでは約6倍、キャベツでは約15倍、ホウレンソウでは約8倍もの高濃度であった。一方 NO₃ 4 me/l + NH₄ シリーズの場合、レタスの葉中 NO₃-N 濃度はいずれの NH₄ 併用も 4/0 よりかなり低くなったが、培養液中の NH₄ 濃度にも影響され、NH₄ 濃度が高くなるにつれて葉中 NO₃-N 濃度は低下した。キャベツでも NH₄ 併用では 4/0 よりも葉中 NO₃-N 濃度が低かったが、ホウレンソウでは NH₄ 併用の効果がほとんど認め

られなかった。また NO₃ 12 me/l に NH₄ を併用すると、NO₃ 4 me/l に NH₄ を併用したものに比べ、一般に葉中 NO₃-N 濃度は高くなり、培養液中の NH₄ 濃度の影響は判然としなかった。

実験3. NH₄害に及ぼす培養液中の共存 NO₃濃度の影響

材料及び方法

本実験では、果菜としてキュウリ、トマト、インゲンマメを、葉菜としてレタス、キャベツ、ホウレンソウを供試した。N処理として、NO₃単用 (4, 12, 18 me/l), NH₄単用 (4, 12 me/l) 及び NO₃ (0.5, 1, 2 me/l) + NH₄ 4 me/l, NO₃ (1, 2, 4, 6 me/l) + NH₄ 12 me/l の4種、計12区を設けた。

結果

果菜類、葉菜類ともに、NO₃単用では良く生育した (第8図)。一方 NH₄単用では、そ菜によって程度の差はあるが NO₃単用よりも生育不良となった。しかしこのような NH₄による生育阻害は、各そ菜とも培養液中に NO₃を 0.5~2.0 me/l 併用するだけで、大幅に軽減ないし除去された。また、トマトの

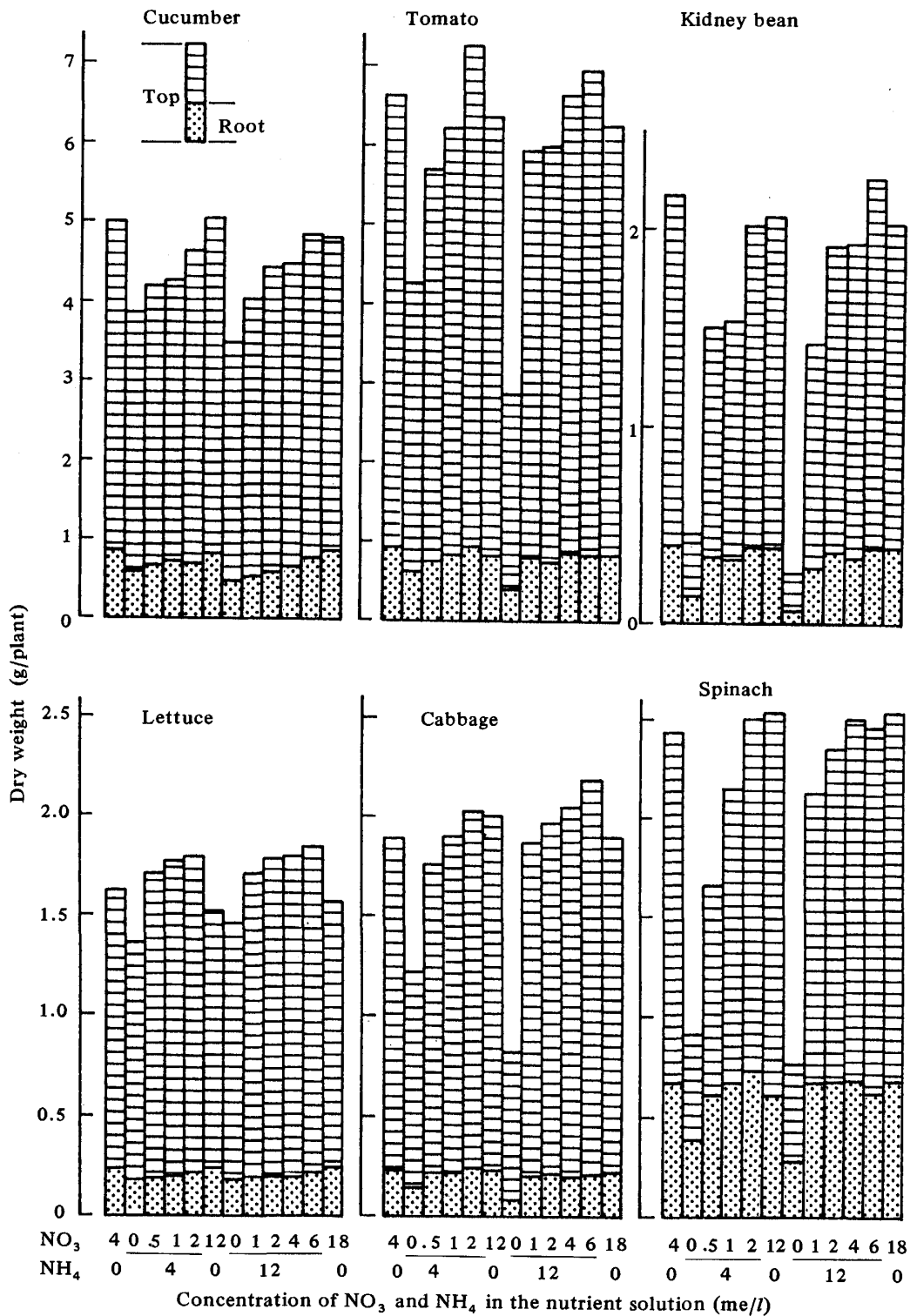


Fig. 8. Effects of NO_3 concentration in the nutrient solution on NH_4 toxicity of plants.

2/4, 6/12, インゲンマメの 6/12 などは, NO_3 単用より明らかに良い生育を示した。

考 察

本節における一連の実験からは, 極端に NH_4 害

を受けやすい野菜を例外とするなら, 2 me/l 程度のかかなり低濃度の NO_3 の共存によって, NH_4 害は軽減ないし防止し得るものと考えられる。またその際に葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度がかかなり低下したことは, 共存

する NO_3 が NH_4 の同化を促進させる働きをしたか、あるいは NH_4 の吸収を抑制したかのいずれかによるものと考えられる。最近 Goyal ら^{19,20)} は、ハツカダイコンの NH_4 害は NO_3 の共存により除去あるいは軽減されるが、その理由は共存 NO_3 が NH_4 の同化を促進することによる、と報告している。しかし、 NO_3 が NH_4 の吸収を抑制することも十分に考えられる。既に第1節で明らかにしたように、 NH_4 害を受けやすいそ菜では NH_4 よりも NO_3 を優先して吸収する傾向が強い。このような作物では、培養液中にある程度の NO_3 があればそれが優先的に吸収されるために、結果として NH_4 の吸収を抑えることになるであろう。

Goyal らはまた、 NO_3 による NH_4 害の軽減効果については、培養液中の N 濃度よりも両 N の比率の方が重要で、少なくとも 1 : 10 であれば NO_3 単用と同程度の生育となる、としている。しかし実験1において、低Nシリーズと高Nシリーズでは NO_3/NH_4 比は同じであるにもかかわらず、前者において NH_4 害がかなり認められた。また実験3では、 NH_4 害を強く受けたインゲンマメでは、4 me/l の NH_4 が存在する場合、0.5 あるいは 1 me/l の NO_3 併用では生育改善効果は弱く、4/0 の 70% 程度の生育でしかなかった。しかし、2 me/l の NO_3 を併用すると NO_3 4 me/l の生育にはほぼ匹敵した。同様な結果は NH_4 12 me/l の場合にも認められ、1 me/l の NO_3 併用では NH_4 害改善効果は弱かったが、2 me/l の NO_3 併用では NO_3 単用の生育とほぼ等しくなった。このような結果から見る限りでは、インゲンマメでは NH_4 害除去のためには 2 me/l 以上の NO_3 濃度が必要と言えよう。以上のように、 NH_4 害を除去する NO_3 については、両 N の比率が有効とはいき切れない部分も多い。作物の NO_3 あるいは NH_4 利用は、作物の種類によっても大きく異なるし、周囲のさまざまな要因によってもかなり変化すると考えられるので、 NO_3 による NH_4 害の軽減効果に関して NO_3/NH_4 比と NO_3 濃度のどちらが重要かという問題には、単純には結論づけられない。

ところで本節の実験においては、 NO_3 単用に比べ NO_3 と NH_4 を併用したほうが生育良好となる例がしばしば認められたが、このような結果はこれまでも幾つか報告されている²¹⁾。植物体内での同化について NO_3 と NH_4 を比較すると、吸収された NO_3

はいったん NH_4 に還元されないと同化利用できないが、 NH_4 は吸収されるとそのまま同化できるので、植物体内での代謝速度は NO_3 より速く、また還元のためのエネルギーも要らないなど、N源としては NO_3 よりもむしろ優れているとも考えられる。このような考え方を基に、Cox・Reisenauer²²⁾ は、 NO_3 に NH_4 を併用することによる生育促進は、タンパク合成のためのエネルギーが NO_3 単用の場合よりも少なくて済むこと、及び NH_4 を併用することによって体内のタンパク濃度が高まり、光合成能が増大することによる、としている。実験2においてそ菜の生育量は、4 me/l までは施用 NO_3 濃度の高まりと共に増加したもののそこではほぼ一定に達し、それ以上施用 NO_3 濃度を高めても葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が高まるのみで生育量はあまり変わらなかった。これは NO_3 の還元速度が生育の律速因子になったため、このような状態の場合には、併用された NH_4 が還元を受ける必要のない N 源として有効に利用され、生育量が増加したと考えられる。

葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、両 N 併用に比べ NO_3 単用の場合に高く (実験1)、 NO_3 シリーズでは施用 NO_3 濃度の上昇につれて高くなった (実験2)。実験1の場合、低Nでは培養液中の NO_3/NH_4 比の低下に伴ない葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も低下した。しかし高Nでは、培養液中の NO_3/NH_4 比の影響は余り認められず、ハクサイ、ホウレンソウ、カブでは 4/8 以上に NO_3 濃度が高いと低Nシリーズの 3.0/0 を上回る葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度となり、培養液中の NO_3/NH_4 比よりも NO_3 濃度の影響が顕著に現れた。同様な結果は実験2でも認められ、レタスでは両 N 併用で葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低下したものの、キャベツ、ホウレンソウでは NO_3 4 me/l + NH_4 シリーズでも、 NO_3 12 me/l + NH_4 シリーズでもほとんど低下しなかった。培養液中の NO_3/NH_4 比あるいは両 N 濃度が葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に及ぼす影響については、第1節で示したようなそ菜の NO_3 、 NH_4 吸収特性と密接な関連が推察できる。すなわち、レタスなどのように両 N 併用条件下で NH_4 を優先的に吸収するそ菜では、培養液中に NO_3 が比較的高濃度で存在しても、 NH_4 が併用されればそれを優先的に吸収利用するため、葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低下する。しかし、キャベツやホウレンソウのように、両 N 併用下で NO_3 を優先的に吸収するそ菜では、 NH_4 を併用しても NO_3 の吸収割合が高

いために、葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の低下はあまり期待できないものと考えられる。

培養液の pH の変化は一般に NO_3 あるいは NH_4 の吸収とかなり密接な関係があり、 NO_3 のみを N 源にすると上昇し、 NH_4 では著しく低下する。したがって両 N 併用の場合には、培養液の pH 変化はどちらの N を優先的に吸収するかという特性と強い関係がある。本実験における培養液の pH 変化の様相は、供試そ菜によって異なるが、大きく 2 つのグループに分けることができる。一つは両 N 併用の場合に培養液中の NO_3/NH_4 比に関係なく常に pH が低下するもので、トウモロコシ、キュウリ、レタスなどが含まれる。これらは NH_4 を優先的に吸収する傾向の強いそ菜である。もう一つのグループは、培養液中の NO_3 と NH_4 の比率を適当な値に設定することによって、pH 変化がほとんどないまま、あるいは少ないまま栽培できるもので、トマト、インゲンマメ、ハクサイ、ホウレンソウ、カブなどが含まれる。これらは両 N 併用の場合に、 NO_3 を優先的にあるいは両 N を同程度に吸収するそ菜である。植物が NO_3 と NH_4 のどちらを優先的に吸収するかは、植物の種類²³⁾や生育段階²⁴⁾、培地の pH²⁵⁾や温度²⁶⁾などによっても異なるが、後者のグループに属するそ菜については、実際の栽培においても適当な栽培条件を設定することによって、培養液の pH の変化がほとんどないままあるいは少ないまま、かなり長期間栽培できるものと考えられる。

摘 要

各種そ菜を供試し、培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度ならびに比率を多様に変えた水耕実験を行った。なお pH は 6.0 とした。その結果、 NH_4 単用では葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高く生育が阻害されたものでも、少量の NO_3 を併用すると葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は低下し、 NH_4 害は軽減あるいは防止された。また生育に充分な NO_3 が存在する状態での NH_4 の併用は、 NO_3 のみで同じ全 N 濃度を施用した場合に比べ生育を促進することが多かった。葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、一般に培養液中の NO_3 濃度が高まるにつれて高くなったが、培養液中の全 N 濃度が低い場合には NH_4 の比率が高まると低下した。これに対し全 N 濃度が高い場合には、 NO_3 を優先吸収するそ菜では、培養液中の NH_4 の比率が高まっても葉中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の低下はほとんど認められなかった。培養液の pH は NO_3 単用では上昇し、 NH_4 単用では著しく低下した。両 N 併用の場合、 NH_4

を優先吸収するそ菜では培養液中の NO_3/NH_4 比とかわりなく pH は低下したが、 NO_3 を優先吸収するそ菜では両 N の比率を適当な値に設定すると、長期間 pH はほとんど変化しなかった。

第 4 節 NH_4 害に及ぼす培養液組織の影響

第 1 章でも明らかにしたが、一般のそ菜では NO_3 よりも NH_4 を N 源とするほうが生育は不良となり、同時に植物体中の K、Ca などのカチオン濃度はかなり低下する。本節では、実験 1 において培養液中の K あるいは Ca 濃度が NH_4 害に及ぼす影響について検討した。また実験 2 では、K あるいは Ca とともに施用した Cl^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 SiO_3^{2-} などの数種陰イオンが、 NH_4 害に及ぼす影響について検討した。

実験 1. 培養液中の K、Ca 濃度が NH_4 害に及ぼす影響 材料及び方法

本実験では、トマト、レタスなど 8 種そ菜を供試した。処理は NO_3 、 NO_3+NH_4 (1:1)、 NH_4 の各 N 区 (いず

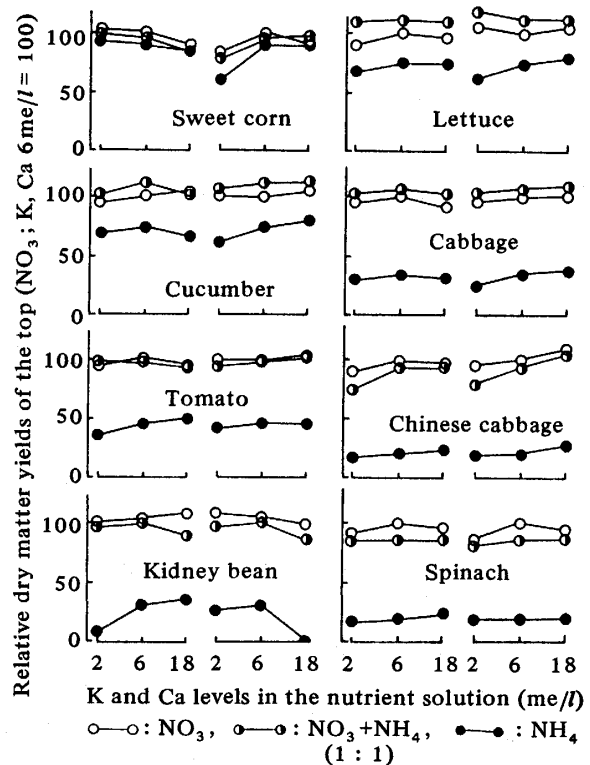


Fig. 9. Effects of N source and K and Ca levels in the nutrient solution on the relative yields of the top of plants.

れも全N濃度は 12 me/l) と, K 2, 6, 18 me/l (Ca は 6 me/l 一定) を組合せた N-K シリーズ, 及び Ca 2, 6, 18 me/l (K は 6 me/l 一定) を組合せた N-Ca シリーズである。培養液の pH は 6.0 に調節した。

結 果

NH₄をN源とした場合, トマト, インゲンマメ, キャベツ, ハクサイ, ホウレンソウでは処理後半に下葉の枯死や葉縁部の黄化あるいは地下部の異常が認められた。しかし, 培養液中のKあるいはCa濃度の違いが, これらの症状に及ぼす影響は明らかではなかった。

第9図に示すように, NO₃あるいはNO₃+NH₄区では, いずれの供試野菜も良好に生育し, 培養液中のKあるいはCa濃度が変化しても, 生育量の差異はほとんど認められなかった。しかしNH₄区では, トウモロコシはNO₃区にはほぼ匹敵する生育を示したものの, 他の供試野菜はいずれも生育を阻害された。培養液中のK濃度が増加すると, トマトやイン

ゲンマメではNH₄による生育阻害が幾分軽減されたものの, NO₃区における生育量にははるかに及ばなかった。またその他の野菜では, 培養液中のK濃度が増加してもNH₄害を軽減する効果はほとんど認められなかった。一方, キュウリ, レタス, キャベツなどでは, 培養液中のCa濃度を高めるとNH₄害の軽減効果が認められたが, その場合でもNO₃区の生育に匹敵するものはなかった。

葉中全N濃度に関しては, 培養液中のKあるいはCa濃度の影響は認められなかった。葉中K濃度(第12表)は, NO₃+NH₄区ではNO₃区と同程度ないし幾分低い程度の濃度であった。これに対し, NH₄区では一般にNO₃区より低い値となり, ホウレンソウではほぼ半減し, トマトやレタス, キュウリでもNO₃区の6~7割程度に低下した。しかし, 培養液中のK濃度が高まるとそれに対応して葉中K濃度も高くなり, NH₄区でもK 18 me/lではNO₃区のK 2ないし6 me/lと同程度の葉中濃度を示すそ

Table 12. Concentrations of K and Ca in leaves of vegetables as influenced by N form and K or Ca levels in the nutrient solution

Treatment		Sweet corn	Cucumber	Tomato	Kidney bean	Lettuce	Cabbage	Chinese cabbage	Spinach
N form	K, Ca level								
	K me/l				K, % dry wt				
NO ₃	2	6.26	2.70	1.62	4.32	6.82	2.88	4.90	9.10
	6	6.44	3.34	3.66	5.07	7.74	3.96	5.40	10.38
	18	7.08	5.10	4.30	6.84	8.82	6.32	7.28	10.96
NO ₃ +NH ₄ (1:1)	2	5.68	2.48	1.76	3.94	5.96	3.06	5.02	9.44
	6	6.00	3.08	3.62	4.14	6.32	3.80	5.62	10.34
	18	6.26	4.80	4.78	5.50	7.58	6.86	5.90	10.76
NH ₄	2	4.80	2.20	1.92	3.26	3.08	2.76	3.80	4.60
	6	5.80	2.36	2.08	4.12	4.92	3.70	4.98	4.96
	18	6.32	3.80	2.52	5.34	6.18	4.96	5.74	5.46
	Ca me/l				Ca, % dry wt				
NO ₃	2	0.23	1.96	1.82	1.68	0.53	1.70	1.78	0.62
	6	0.32	3.64	3.42	2.88	0.72	3.74	3.08	0.84
	18	0.39	5.36	4.26	4.10	0.75	5.10	4.44	1.26
NO ₃ +NH ₄ (1:1)	2	0.16	1.02	1.06	1.32	0.39	1.48	0.61	0.50
	6	0.23	1.58	1.94	2.28	0.60	2.90	1.23	0.66
	18	0.34	2.54	2.90	2.96	0.63	4.22	3.26	1.24
NH ₄	2	0.15	0.78	0.68	1.11	0.29	0.45	0.68	0.24
	6	0.15	1.20	1.00	1.66	0.42	0.75	0.95	0.40
	18	0.29	1.74	1.46	2.64	0.62	2.80	3.10	0.70

菜が多かった。葉中 Ca 濃度 (第 12 表) に対する N 形態の影響は K の場合よりも顕著であり、すべてのそ菜で $\text{NO}_3 > \text{NO}_3 + \text{NH}_4 > \text{NH}_4$ の順に低くなった。NH₄区で葉中 Ca 濃度の低下が特に著しいそ菜はキュウリとトマトで、NO₃区の 3~4 割の濃度となった。またいずれの N 処理の場合でも、培養液中の Ca 濃度が高まると葉中濃度も高くなった。しかし Ca では K ほど施用濃度の影響が植物体に認められず、NH₄区の Ca 18 me/l でも NO₃区の Ca 2 me/l あるいは NO₃+NH₄区の Ca 6 me/l と同程度の葉中濃度にならなかった。

実験 2. K あるいは Ca と共に施用した数種陰イオンが、NH₄害に及ぼす影響

材料及び方法

NH₄害に強いそ菜としてレタスを、また弱いそ菜としてホウレンソウを供試した。処理は NH₄ 12 me/l を N 源として、実験 1 と同様な K シリーズ及び Ca シリーズを設けた。K 塩としては KCl, K₂CO₃, K₂SO₄ 及び K₂SiO₃ を、Ca 塩としては CaCl₂, CaCO₃, CaSO₄ 及び CaSiO₃ を施用した。また別に、NO₃ 12 me/l と K (KCl による) あるいは Ca (CaCl₂ による) の 2, 6, 18 me/l とを組合せた処理区を作成し、NH₄害を検討する上での基準とした。なお植物体の分析の際に、SiO₃ 塩処理区の試料についてはあらかじめ Si 分離の操作を行った。

結 果

K あるいは Ca の各塩と pH 変化との関連について 6 me/l で比較すると、NO₃ を N 源とした場合、処理第 1 週目は pH 5.9~6.2 とあまり変化はなかったが、第 2 週目以降は設定値より高めに推移した。NH₄ を N 源とした場合、CaCO₃ では、第 1 週目は pH 7.5~6.5 と設定値よりもかなり高くなる傾向を示し、第 2 週目以降も 6.3~5.8 と他の処理区より高めに維持された。しかし他の塩ではいずれも、第 2 週目以降は毎日調節しても翌日には pH 5.5~4.1 と、設定値よりかなり低下した。

レタス、ホウレンソウとも地上部の外観については、培養液中の K, Ca 濃度あるいは随伴する陰イオンの違いによる影響は認められなかった。しかしホウレンソウの地下部に発生した NH₄害症状は、K₂SiO₃ の 6 me/l 及び CaSO₄, CaSiO₃, CaCO₃ の 18 me/l ではかなり改善された。

第 10 図に示すように、両そ菜とも NO₃ 区では培養

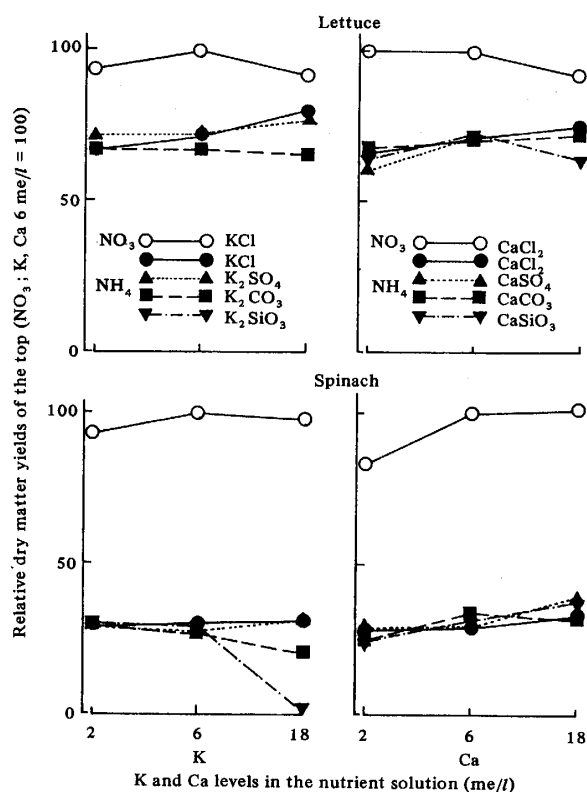


Fig. 10. Effects of N source and levels of various K and Ca salts in the nutrient solution on the relative yields of the top of lettuce and spinach plants.

液中の K, Ca 濃度にあまり影響されず良好に生育したが、NH₄区では生育を阻害された。そしてこのような NH₄害はいずれの K, Ca 塩を施用した場合でも、またその濃度を 18 me/l まで高めても軽減されなかった。

葉中 K, Ca 濃度については随伴陰イオンの影響は明らかではなく、いずれの K, Ca 塩を施用しても NH₄区では NO₃区の 5~7 割程度と低い値を示した。また培養液中の K, Ca 濃度が高くなると、それに応じて NH₄区でも葉中 K, Ca 濃度が高くなり、NH₄区の K 18 me/l は NO₃区の K 2 me/l と、また NH₄区の Ca 18 me/l は NO₃区の Ca 2 ないし 6 me/l と同程度の値となった。

考 察

実験 1 において NO₃ を N 源とした場合、培養液中の K あるいは Ca 濃度が 6→18 me/l と増加ないしは 6→2 me/l と減少すると、供試そ菜のいずれにおいても葉中 K, Ca 濃度はかなりの程度増加あるいは減少した。しかし NO₃区では、このような葉中 K, Ca 濃度の著しい差異にもかかわらず、い

ずれも良好に生育した。同様な関係は $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区でも認められた。特に同区における葉中 Ca 濃度は、Ca 2 me/l では NO_3 区の Ca 6 me/l の 2 ~ 3 割程度となるものがあったが、このような場合でも、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区の生育は NO_3 区と同程度かこれを上回った。このような結果から、本実験で認められた程度の葉中 K, Ca 濃度の低下は、そ菜に K あるいは Ca 欠乏を引起し、生育を阻害するほどのものではないと判断できる。また NH_4 区では NO_3 区に比べて葉中 K, Ca 濃度はかなり低下したが、培養液中の K, Ca 濃度を高めると葉中濃度も高まった。しかし、培養液中 K 濃度の増加により生育が改善されたのはトマトやインゲンマメのみであり、Ca 濃度の増加により生育が改善されたのは、トウモロコシ、キュウリ、レタス、キャベツのみであった。しかもその場合でも、 NO_3 区の生育にははるかに及ばなかった。このように、本実験の結果からは NH_4 施用によって生ずる葉中 K, Ca 濃度の低下は、生育阻害の程度とは関連が認められない場合が概して多く、また培養液中の K, Ca 濃度を高めても NH_4 による生育阻害はほとんど軽減されないことから、 NH_4 害の主要因ではないと考えた。

実験 2 において、K あるいは Ca とともに施用したいずれの陰イオンによっても、 NH_4 害はほとんど軽減されなかった。施用塩類のうち K 及び Ca の SiO_3 塩、 CO_3 塩は、他の塩類に比べて培養液の pH を高く保つ効果があったが、この中で特に CaCO_3 はその効果が強く、処理期間中 pH 5.8 以下にはならなかった。しかし、このように培養液の pH が高めに維持された場合でも、レタスやハウレンソウでは NH_4 害は軽減されなかった。したがって、これらの作物では NH_4 を施用した場合の培養液の pH の低下は、生育不良の主因とは考えられない。

摘 要

培養液中の K, Ca 濃度を 2 ~ 18 me/l の範囲で変えて、8 種そ菜の NH_4 害に及ぼす影響を検討した。 NO_3 と NH_4 の等量併用では、生育は NO_3 単用と同程度かもしくはそれを上回り、培養液中の K, Ca 濃度によりほとんど影響されなかった。なおいずれの培養液中 K, Ca 濃度でも、葉中 K, Ca 濃度は NO_3 単用より低かった。一方 NH_4 単用では、一般に生育は阻害され葉中 K, Ca 濃度はかなり低下した。培養液中の K, Ca 濃度を高めると葉中の K, Ca 濃度は増加したが、 NH_4 害軽減効果

はあまり認められなかった。更に K や Ca に随伴する陰イオンの種類がレタス、ハウレンソウの NH_4 害に及ぼす影響について検討したところ、K や Ca の CO_3 又は SiO_3 塩を施用した場合には、 NH_4 単用でも培養液の pH は長期間高めに維持されたが、 NH_4 害はほとんど改善されなかった。

以上の結果より、 NH_4 施用によって生ずる葉中の K, Ca などの陽イオン濃度の低下や、培養液 pH の低下は、それ自身が NH_4 害の主因ではないと判断した。

第 5 節 NO_3 および NH_4 利用に及ぼす空气中 CO_2 濃度ならびに遮光の影響

光合成は植物の N 代謝と強く結びついてるので、まず光合成に直接影響する空气中 CO_2 濃度が、水耕そ菜の NO_3 あるいは NH_4 利用に及ぼす影響を検討した。次に、光合成や NO_3 の吸収・還元にも強く影響する光強度を変えた場合についても、同様な検討を行った。

実験 1. CO_2 濃度の影響

材料及び方法

供試そ菜は、レタス、トマト、インゲンマメである。これらを周囲をビニールフィルムで囲んだ、容積約 6 m^3 の簡易グロースチェンバー内で、これまでの実験と同様な方法で水耕法により栽培した。なおこの装置はガラス室内に設置した。 CO_2 は市販の液化炭酸ガスを用い、360 (空気)、800, 1300, 1800 ppm の 4 段階の濃度を設定して、毎日午前 8 時から午後 3 時まで施用した。各 CO_2 濃度のチェンバー内には、N 処理として NO_3 区 (2, 6, 12 me/l)、 $\text{NO}_3 + \text{NH}_4$ 区 (6/2, 6/6, 6/12 me/l) 及び NH_4 区 (1, 2, 6 me/l) を設けた。なお、栽培期間中のチェンバー内の風速は 0.2 ~ 0.7 m/秒であった。

結 果

第 11 図に示すように、各そ菜の地上部乾物重はいずれの N 形態においても CO_2 濃度が $360 < 800 < 1300$ ppm と高くなるにつれて増加し、1300 ppm では 360 ppm の 50 ~ 90% 増となった。また地上部の生育は、 NO_3 単用に比べて両 N 併用のほうが良好で、レタスでは CO_2 1300 ppm \cdot 6/12 で、トマトでは同じく 6/2 ないし 6/6 で、インゲンマメでは CO_2 1800 ppm \cdot 6/2 で全処理区中最大の乾物重を示した。地下部の生育に対する CO_2 濃度の影響は、地上部と同様であった。また N の影響についてみると、2/0, 0/1 など培養液中の N 濃度が低い場合に生育量が大き

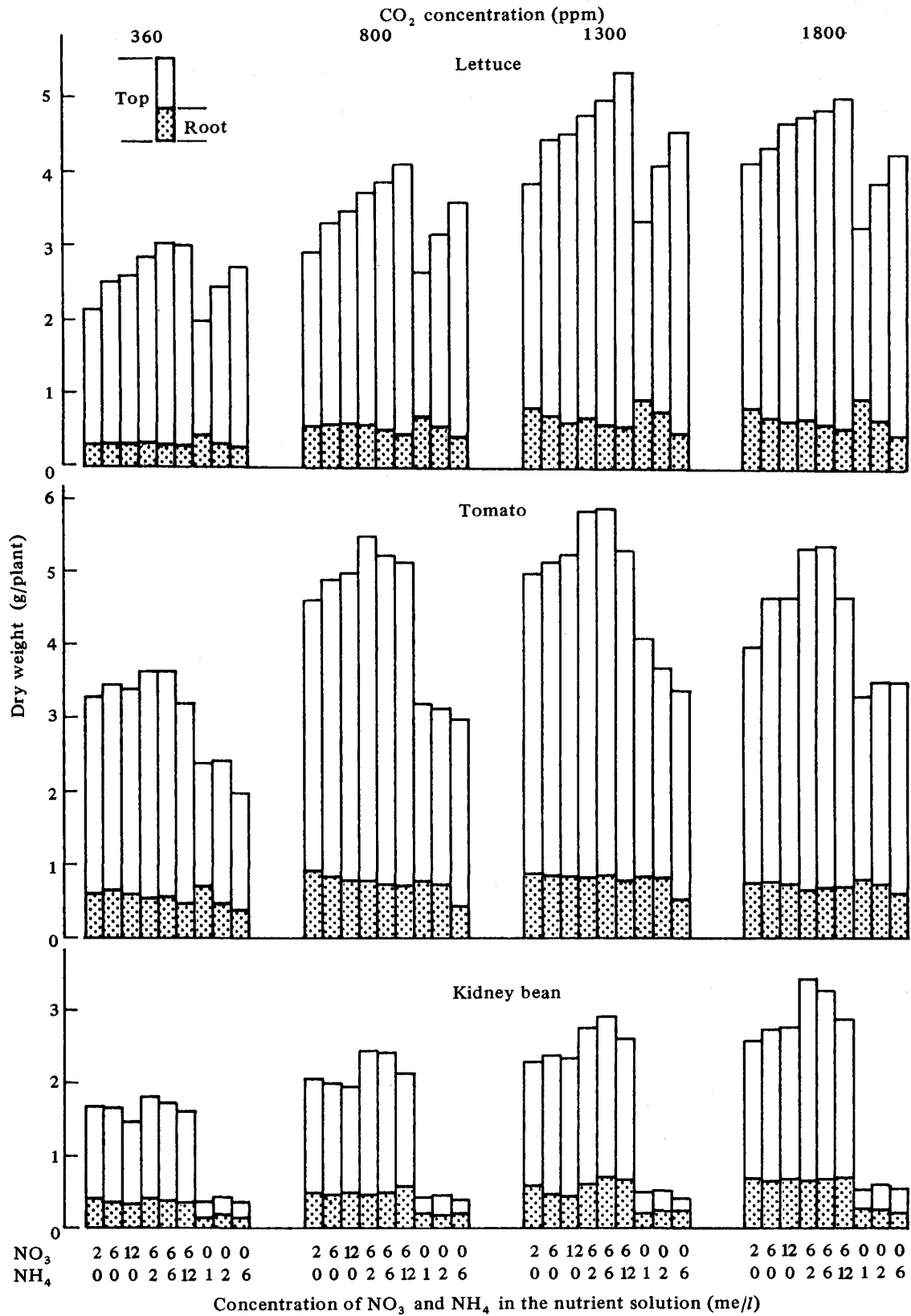


Fig.11. Effects of CO₂ enrichment and NO₃ and NH₄ concentration in the nutrient solution on growth of lettuce, tomato and kidney bean.

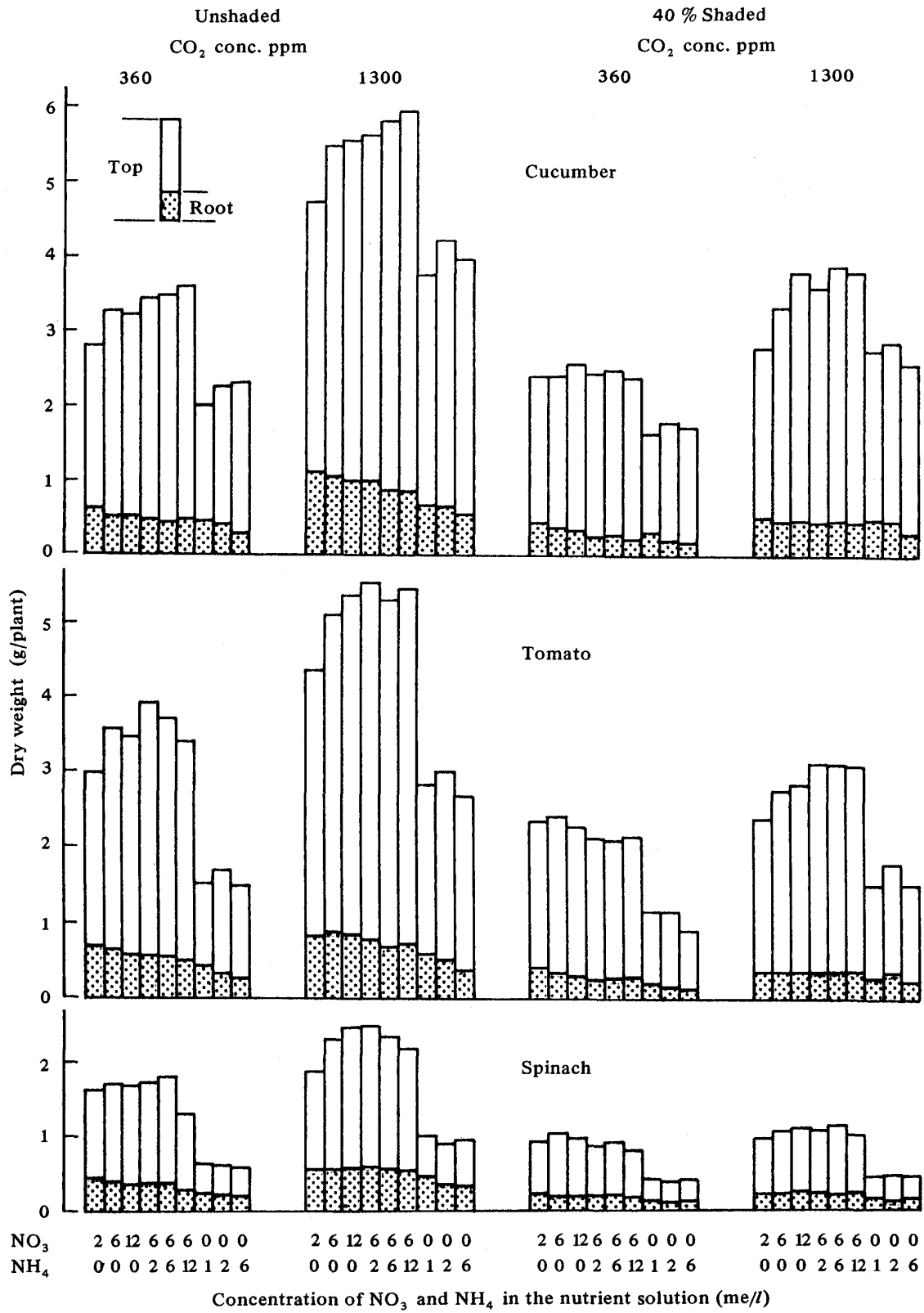


Fig.12. Effects of CO₂ enrichment and shading on growth of plants grown with NO₃ or NH₄ nutrition.

り、培養液中のN濃度が高い場合、特にNH₄濃度が高くなると生育不良となった。

以上のように、供試そ菜はいずれもCO₂施用によって乾物重が増加した。NO₃とNH₄のどちらをN源とした場合に増加の程度が大であるかを見ると、レタス、インゲンマメでは高CO₂濃度下ではNO₃をN源としたほうがNH₄よりも乾物増加率が高かったが、逆にトマトではNH₄をN源とするほうが高かった。

葉中全N濃度は、いずれのN処理でも培養液中のN濃度が上昇するにつれて高くなる傾向を示したが、培養液中のN濃度が同じ場合にはN源としてNH₄を含むほうが高くなった。また葉中全N濃度は、CO₂濃度が高まるにつれて低下する傾向を示したが、その程度は0/1、0/2あるいは2/0といったように、培養液中のN濃度が特に低い場合に著しかった。

実験2. CO₂濃度と遮光の影響

材料及び方法

本実験では、キュウリ、トマト、ハウレンソウを供試し、実験1と同様な装置を使用して栽培した。ガラス室内に設けた4基の簡易グロースチェンバーのうち2基に

は空気を、残りの2基にはCO₂を1300 ppmの濃度で、午前7時から午後4時まで施用した。またそれぞれの一方を黒色寒冷シャで覆い遮光処理を施したが、遮光率は晴天時で約40%であった。

結 果

第12図に示すように、無遮光区における各そ菜の生育はCO₂増施により明らかに増加した。特にキュウリでは、生育の劣ったNH₄区でさえもCO₂ 1300 ppmでは、360 ppmのいずれのN処理よりも乾物重が多かった。またCO₂ 360 ppmの場合、いずれのそ菜もNO₃区では2 < 6 ≒ 12 me/lと、培養液中のN濃度を6 me/l以上に高めても地上部重はほとんど増加しなかったが、CO₂ 1300 ppmでは2 < 6 < 12 me/lと、培養液中のN濃度が高まるにつれて地上部重は増加した。このような傾向は、遮光区においては一層顕著であった。遮光区におけるそ菜の生育は、無遮光区より明らかに劣ったが、遮光区でもキュウリはCO₂増施により生育が改善され、無遮光区のCO₂ 360 ppmと同程度の生育を示した。これに対し、ハウレンソウの遮光区においては、CO₂増施効果がほとんど認められなかった。またトマト

Table 13. Effects of CO₂ enrichment (CO₂ 1300 ppm) on dry weight of top of plants grown with NO₃ or NH₄ nutrition (CO₂ 360 ppm = 100).

NO ₃ (me/l)	NH ₄ (me/l)	Cucumber		Tomato		Spinach	
		Un-shaded	Shaded	Un-shaded	Shaded	Un-shaded	Shaded
2	0	167	116	145	102	114	103
6	0	168	139	142	115	135	104
0	2	185	160	178	154	144	118
0	6	171	149	179	167	161	115

Table 14. Effects of 40% shading on dry weight of top of plants grown with NO₃ or NH₄ nutrition (Unshaded = 100).

NO ₃ (me/l)	NH ₄ (me/l)	Cucumber		Tomato CO ₂ concentration (ppm)		Spinach	
		360	1300	360	1300	360	1300
2	0	70	46	78	55	53	39
6	0	69	44	67	54	50	40
0	2	49	73	69	60	54	43
0	6	64	54	61	57	62	47

では、CO₂増施により全般に生育は改善されたものの、その程度はキュウリの場合ほどではなかった。

第13表はNO₃とNH₄のどちらをN源にした場合に、CO₂施用による乾物重増加が大となったかをみたものである。無遮光区において培養液中のN濃度が2あるいは6 me/lの場合にそれぞれ比較すると、CO₂施用による乾物重増加は、いずれのそ菜もNO₃よりNH₄をN源としたほうが大きかった。また遮光区においては、この傾向が一層顕著であった。

遮光処理による乾物重低下の程度(第14表)は、キュウリ、トマトのCO₂ 360 ppmではNH₄よりもNO₃をN源としたほうが少なかった。しかしCO₂ 1300 ppmにおいては逆に、NH₄をN源としたほうが少なかった。またハウレンソウでは、いずれのCO₂濃度の場合もNH₄をN源とするほうが少なかった。

葉中全N濃度は、一般に培養液中のN濃度の上昇につれて高くなった。またキュウリやトマトの場合、無遮光区ではCO₂施用によって葉中N濃度が低下したが、その程度は2/0, 0/1, 0/2などのように培養液中のN濃度が低い場合に顕著であった。一方遮光区では、上記のようなCO₂施用による葉中N濃度の低下は全般に少なかった。ハウレンソウではCO₂濃度の影響も培養液中のN濃度の影響も他のそ菜よりはるかに小さかった。

考 察

実験1でCO₂ 360 ppmの場合、各そ菜はNO₃とNH₄の併用によってNO₃単用より生育良好となった。またCO₂施用によっても生育は促進されたが、NO₃とNH₄の併用効果とCO₂施用の効果は相乗的には働かなかった。

トマトにおいて、CO₂施用による乾物増加率をNO₃をN源とした場合とNH₄をN源とした場合で比較してみると、CO₂ 1300及び1800 ppmでは後者のほうが大で、NH₄による生育阻害はCO₂高濃度下では改善されたと言える。これはCO₂施用により、光合成が促進され炭水化物が豊富になったために、NH₄解毒のための有機酸の供給が増加したことによると考えられる。一方、レタスではトマトで認められたようなNH₄害の軽減効果は認められず、CO₂施用による乾物増加率はNO₃をN源としたほうが高かった。インゲンマメでもレタスと類似の結果であった。このように、NO₃とNH₄に対するCO₂施用効果がトマトとレタスやインゲンマメで異なった理由

は、本実験の結果からは説明できない。ただしレタスでは、CO₂施用による乾物増加が特に地下部において著しかったことが、NH₄よりもNO₃をN源とした場合にCO₂施用の効果が高かったことの何らかの原因となるのかも知れない。

実験2において無遮光の場合、CO₂ 360 ppmでNO₃をN源にしたとき、地上部重はいずれのそ菜も2 < 6 ≒ 12 me/lとなり、培養液中のN濃度を6 me/l以上に高めても生育量はほとんど増加しなかった。しかしCO₂ 1300 ppm下では2 < 6 < 12 me/lと、培養液中のN濃度が高まるにつれて地上部重も増加した。一方葉中全N濃度は、培養液中のNO₃濃度が高まるにつれて、いずれのそ菜も例外なく増加した。葉中N濃度と光合成との関係についての報告は幾つか見られるが、いずれも両者間に密接な関係があり、葉中N濃度が高い場合に光合成量も増加するとするものであり、本実験の結果ともよく一致する。すなわち、CO₂ 360 ppmでは光合成量が少ないために、培養液のNO₃濃度が高くなっても生育増加には結びつかないが、CO₂濃度を1300 ppmに高めることにより光合成が促進され、Nと結びつく炭水化物が豊富に供給されるようになって、生育増加が認められたと考えられる。このことは、養液栽培でCO₂を施用する場合には、培養液中のN濃度をある程度確保しないと、CO₂施用の効果が充分に発揮されないことを意味する。

実験2でも供試そ菜の乾物重はCO₂施用によっていずれも増加した。CO₂施用による増加の程度を、NO₃をN源とした場合とNH₄をN源とした場合で比較すると、いずれのそ菜でもNH₄をN源としたほうが高かった。すなわち、実験1のトマトの場合と同様に、CO₂施用下ではNH₄害が軽減されたと言える。この傾向は無遮光区よりも遮光区で一層明瞭であったが、CO₂施用下では光合成が促進されNH₄の同化に必要な炭水化物が多く供給されることと、遮光下では光依存性の強いNO₃の吸収あるいは還元が抑制され、N源とはなりにくいのにに対し、NH₄はそのような光の影響をあまり受けず有効なN源となったこと、が結びつくためと考えられる。本実験では、NH₄をN源としたほうが遮光による生育低下が少なかったが、この理由についても上記と同様に考えられる。

摘 要

N濃度・形態とCO₂濃度(360~1800 ppm)を組合せた

処理を行い、レタス、トマト、インゲンマメを水耕した。各そ菜の生育はNO₃単用よりも両N併用のほうが良かったが、CO₂増施による生育増加の程度は、単用、併用間に差がなかった。またN濃度・形態およびCO₂濃度(360, 1300 ppm)処理に光条件(無遮光, 40%遮光)を組合せてキュウリ、トマト、ハウレンソウを水耕したところ、いずれのNおよび光条件下でもCO₂施用による乾物増加が顕著に認められた。ただし、ハウレンソウの遮光区ではCO₂施用の効果は小さかった。NO₃をN源とした場合、CO₂ 360 ppmでは遮光区、無遮光区とも培養液のN濃度を2~12 me/lの範囲で高めても生育量はあまり増加しなかった。しかしCO₂ 1300 ppmでは、いずれの光条件下でも培養液のN濃度が高まるにつれて生育は良くなった。CO₂増施による乾物増加は、各そ菜ともNO₃よりNH₄を与えたほうが大であり、遮光による生育低下はNH₄のほうが小さかった。

以上の結果より、実際栽培でCO₂施用効果を期待するためには、施用N濃度をある程度高くする必要があると思われる。また本実験の結果、CO₂施用時や低照度下ではNO₃よりもむしろNH₄のほうが有効なN源となり得る可能性が示唆された。

第3章 実際のそ菜栽培における施用N形態

第1節 培養液のNO₃/NH₄比と液温が数種葉菜の生育に及ぼす影響

これまで明らかにしたように、水耕においてNH₄のみを施用されたそ菜の多くは、NO₃のみを与えられたものより生育が劣る。しかしこのNH₄害は、低濃度のNO₃の併用で軽減あるいは除去された。

また十分な濃度のNO₃が存在する場合のNH₄の併用は、NO₃単用よりも優れた生育をもたらした。一方地下部温度は、根の形態²⁶⁾だけでなく、呼吸²⁷⁾、養水分の吸収^{26, 28)}、水分の移動や蒸散²⁹⁾といった植物が有する様々な機能に対しても強く影響し、作物生育の大きな支配的要因となっているものと考えられる。

本節では、養液栽培での生産が多い数種葉菜を、実際栽培に準じた大型水耕装置を用いて栽培し、液温とNO₃/NH₄比の組合せが生育、収量並びに葉中無機要素組成に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

供試そ菜はレタス、ミツバ、シュンギク、ネギであり、それぞれをビニールハウス内で栽培した。実験装置は、内側を発泡スチロールで断熱加工し、その上にビニールフィルムを張った木製栽培槽(180×90×12 cm)と、これと同様な貯液槽(180×90×22.5 cm)を、鉄製アングルを介して上下に組合せたものである。下側の貯液槽の培養液(300 l)は、昼間は1時間毎に、夜間は1.5時間毎にそれぞれ15分間、ポンプで上側の栽培槽に送られ、少量ずつ再び貯液槽に自然還流するようにした。液温の設定は貯液槽内の培養液について行い、pHはいずれも5.5~6.5に調整した。

レタス：1/2単位の園試処方培養液で水耕育苗し、冬作は本葉4~5枚時に、夏作は3~4枚時に1区当たり30株を定植した。冬作は4週間、夏作は2週間栽培したが、途中液替えは行わなかった。処理は冬作ではNO₃/NH₄=12/0, 10/2, 8/4, 6/6 (me/l比)の4種のN区と、12, 18, 24℃の3段階の液温とを組合せた12区であり、夏作ではNO₃/NH₄=12/0, 9/3, 6/6,

Table 15. Yields of lettuce plants at the end of treatment as influenced by NO₃/NH₄ ratio and temperature of the nutrient solution (g/plant, Winter crops)

N source (me/l)	NO ₃	NH ₄	Top			Root		
			Solution temp.			Solution temp.		
			12	18	24°C	12	18	24°C
12	0		3.77	4.61	4.66	0.94	0.84	0.71
10	2		4.39	5.15	5.99	0.98	0.73	0.68
8	4		4.72	5.77	6.29	0.97	0.77	0.73
6	6		4.41	5.65	6.47	0.99	0.79	0.77

3/9 (me/l比)と18, 24, 30℃とを組合せた12区である。

ミツバ：ウレタンキューブに播種したものを、子葉展開後1キューブ当たり8株となるように調整して供試した。栽培の方法はレタスの場合とおおむね同様であるが、時期を変えて3回の実験を行った。処理は、いずれの時期もNO₃/NH₄=12/0, 9/3, 6/6, 3/9 (me/l比)と11, 18, 25℃とを組合せた12区である。

シュンギク及びネギ：シュンギクは園試処方培養液で育苗し、展開本葉数が4~5枚になった時に、ネギはウレタンキューブに播種したものが3~4 cmに生育した時に、それぞれ処理を開始した。なおネギでは、カーネーション栽培用のネットを2段に張って、葉が折れるのを防止した。処理は、シュンギクは11, 18, 25℃、ネギは14, 21, 28℃と、それぞれNO₃/NH₄=12/0, 9/3, 6/6, 3/9 (me/l比)とを組合せた12区である。

結 果

レタス：第15表に示すように、冬期のハウス栽培におけるレタスの地上部生育は、一般に液温が高くなるほど良好であり、24℃の場合は12℃に比べて12/0では24%, 6/6では47%の収量増力であった。またN形態の影響も大きく、特に24℃では12/0 << 10/2 < 8/4 < 6/6の順でNH₄の比

率が高くなるほど生育良好となり、6/6は12/0より約40%も乾物重が多かった。一方12℃では、実験終了時に最も生育が良かったのは8/4であり、6/6はそれより生育不良であった。地下部の生育は地上部の生育とは逆に、液温が低いほど良好であったが、N形態の影響は明らかではなかった。

夏作では、生育途中で抽だいしたために実験は2週間で打切ったが、培養液の温度とNO₃/NH₄比が生育に及ぼす影響は、冬作とはほぼ同様な傾向が認められた。ただし、30℃では18, 24℃と異なり、6/6まではNH₄の比率が高まるほど地上部重も大となったが、3/9では12/0と同程度の生育でしかなかった。

生育が進むにつれて葉中NH₄-N濃度は高くなったが、特に12℃・6/6では処理後半の顕著な高まりが目についた。液温の影響を最も強く受けたのはPで、高温ほど葉中濃度は高かった。培養液中のNO₃とNH₄の比率の違いにより、各種要素の葉中濃度は明らかな差異を示すことが多かった。全Nは、いずれの液温でも12/0 < 10/2 < 8/4の順で、培養液中のNH₄の比率が高くなるにつれて葉中濃度も高くなる傾向が認められた。葉中K, Ca, NO₃-Nなどは、常に12/0が最も高濃度であり、6/6が

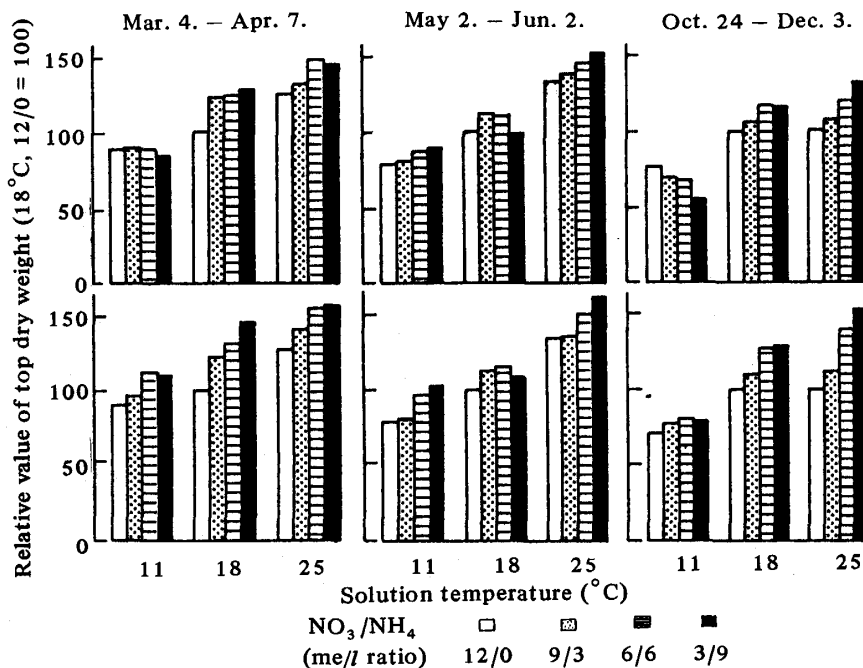


Fig.13. Effects of NO₃/NH₄ ratios and temperature of the nutrient solution on growth of Japanese honewort.

Above: Dry weight per urethane cube.

Below: Dry weight per plant.

最も低濃度であった。反対に葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、培養液中の NH_4 の比率が高くなるほど高くなった。

レタスは、夏、冬作とも、 NH_4 併用区では培養液の pH 低下が著しかった。

ミツバ：第 13 図に示すように、植物 1 個体当たりで比較すると（下段）、いずれの時期でもおおむね液温は高いほうが、また培養液中の NH_4 の比率も高いほうが良好に生育し、 $25^\circ\text{C} \cdot 3/9$ は $18^\circ\text{C} \cdot 12/0$ の 50% 以上も多い地上部重となった。一方ウレタンキューブ当たりの地上部重（上段）は、いずれの時期に栽培しても液温が高いほど大であり、液温 25°C では NH_4 の比率が高いほど大であった。しかし 11°C 、 18°C では、 NH_4 の比率が高まっても地上部重はあまり増加しないで、逆に低下する場合すらあった。

葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は、培養液中の NH_4 の比率が高くなるにつれて高くなったが、特に 11°C での NH_4 併用区における高まりが目立った。

シュンギク及びネギ：シュンギクはレタス同様、地上部重は高液温ほど大となり、地下部は逆に高温ほど小さい値を示した。また、地上部、地下部ともいずれの液温でも培養液中の NH_4 の比率が高まるにつれて乾物重は増加した。地上部におけるこのような生育促進効果は、 11°C よりも 18°C や 25°C の場合に顕著であった。

ネギの葉は、いずれの液温でも $12/0$ では淡緑色となり、軟らかで折れやすかったが、 NH_4 併用区では濃緑色で直立していた。ネギの地上部生育は、 $12/0$ で比較した場合 14°C と 21°C ではほぼ同程度であり、 28°C ではそれよりやや優れた。一方両 N 併用による生育促進は、いずれの液温下でも顕著であり、特に $6/6$ や $3/9$ でその効果が著しかった。

考 察

冬作レタスは、 $12/0$ では液温を 24°C に上げることにより、 12°C に比べて 24% の生育増となったが、 12°C のままでも $8/4$ の比率で NO_3 と NH_4 を併用すると 25% の生育増となり、両 N 併用は液温上昇と同程度の生育促進効果を示した。また、このような両 N 併用の効果は、液温が高い場合に顕著であった。一方これとは別に、処理途中で抽だいしたために 2 週間で実験を打切った夏作でも、冬作と同様な両 N 併用と液温上昇による生育促進効果が認められた。しかしここで注目しなければならないのは、冬期に

液温が低い状態で、また夏期に液温が高い状態で、培養液中の NH_4 の比率を高め過ぎることは、 NH_4 害を引起す可能性があることである。このことは、冬作において $12^\circ\text{C} \cdot 6/6$ で処理後半に葉中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が著しく高くなっていることから推察できる。第 1 章第 1 節で既に述べたように、一般にそ菜の NH_4 害は葉中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と関連がある。Frota・Tucker³⁰⁾ は、レタスの NO_3 吸収は NH_4 吸収よりも温度の影響を強く受けるため、低温下では NH_4 の吸収割合が高くなることを報告している。また根温は、N の吸収のみならず同化に対しても影響する¹⁷⁾。このようなことから、冬期の液温が低い条件下では、相対的に NH_4 の吸収が多いにもかかわらず同化速度が遅いため、葉中に $\text{NH}_4\text{-N}$ の集積が起り、両 N 併用による生育促進効果が低下したと考えられる。また夏期には、液温が高く根の同化活性が低下しているときに多量の NH_4 が吸収され、生育促進効果が低下したと推察される。

ミツバの個体当たりの重量は、いずれの液温でも培養液中の NH_4 の比率の増加に伴って増加したが、ウレタンキューブ当たりの重量は低温区で低下した。これは同区で枯死株が発生したためである。ミツバの枯死株数は培養液中の NO_3/NH_4 比と液温に強く影響され、低温条件下で多く発生した。また第 14 図は、ホーグランド第 1 液で育苗したものを、異なる生育ステージの時にそれぞれ N 処理を開始し、4 週間後に枯死株の発生率を調査した結果である。これによって、 $6/6$ 以上に NH_4 の比率が高い場合には、若苗ほど NH_4 害が生じやすいこと、及び展開本葉数 1.2 枚程度以上の苗になれば、培養液中の

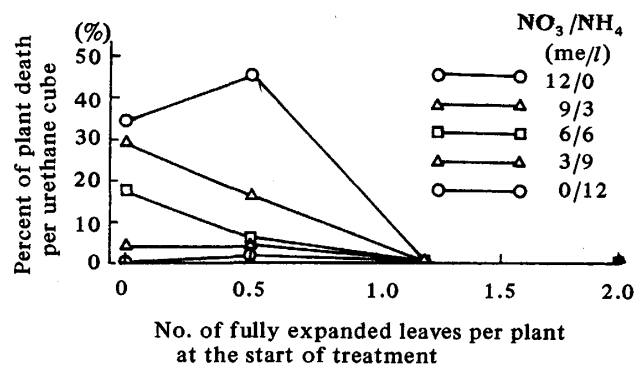


Fig. 14. Effects of NO_3/NH_4 ratios in the nutrient solution on the percentage of plant death of Japanese honewort caused by NH_4 toxicity.

NH_4 の比率が高くて枯死株はほとんど生じないこと、が理解できる。

いずれのそ菜においても、葉中KやCa濃度は培養液中の NH_4 の比率が高まるにつれて低下したが、 NH_4 の施用によって生ずる、これら陽イオンの葉中濃度の低下は一般に認められた事実であり、第2章第4節で明らかにしたように、 NH_4 害の主要因ではない。

摘 要

レタス、ミツバ、シュンギク、ネギを供試し、慣行栽培の温度を中心とする3段階の液温と4段階の NO_3/NH_4 比(12/0~3/9 me/l)を組合せて水耕した。その結果、いずれのそ菜も液温の上昇、更に NH_4 比率の増大により生育は促進され、レタスの冬作では $24^\circ\text{C} \cdot 6/6$ で、ミツバ、シュンギクでは $25^\circ\text{C} \cdot 3/9$ で、ネギでは $28^\circ\text{C} \cdot 3/9$ で全処理区中最高の収量が得られた。しかし液温が低い場合に NH_4 の比率が高いと、レタスでは NH_4 併用による生育促進の程度が小さくなり、ミツバでは展開本葉数1~1.5枚期までの幼苗期に枯死株が発生した。なおネギの葉は液温にかかわらず、 NO_3 単用では淡緑色で軟らかく折れやすかったが、両N併用では濃緑色で硬く直立し、商品性が高められた。

以上の結果より、実際に葉菜を養液栽培する場合には、培養液中の NO_3/NH_4 比で3:2ないし1:1程度まで NH_4 の比率を高めても良いと考えた。ただしこの場合、液温は低過ぎないようにする。また特にレタスの場合、 NH_4 併用では培養液のpH低下が著しいので注意を要する。

第2節 培養液の NO_3/NH_4 比と液温がトマトの生育、収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響

本節では、前節と同様な実験を果菜類であるトマトについて行い、培養液の NO_3/NH_4 比と液温が生育、健全果収量ならびに尻腐れ果の発生に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

実験に用いた水耕装置は、前節の実験で使用したのと同じものである。1装置を1処理区として8本のトマト‘TVR-2’を植えた。トマトは1本仕立てとして上部より垂らしたひもで誘引し、第3果房の上2葉を残して摘心した。いずれも開花時にトマトランを散布して着果を促すとともに、各果房は着果数を5果に制限した。実

験は1983年と1984年の2年にわたって行った。

1983年：主として液温の影響について検討した。処理は、春作では $\text{NO}_3/\text{NH}_4=12/0$ と $9/3$ (me/l比)の2種類のN区と、15, 20, 25, 30, 35°C の5段階の液温とを組合せた10区を、秋作では 35°C を除いた8区を設けた。なお、秋作は12月に入って疫病が蔓延したために12月10日で栽培を打切った。

1984年：主として培養液中の NO_3 と NH_4 の比率の影響について検討した。処理は、春、秋作とも $\text{NO}_3/\text{NH}_4=12/0, 10/2, 8/4, 6/6$ (me/l比)と、低温(18°C)、高温(28°C)及び放任(液温無調整)とを組合せた計12区を設けた。

本実験では液温の急激な変化を避けるために液替えは行わず、培養液の減少分は適宜純水で補うと同時に、培養液を分析して各成分を設定濃度となるようにした。なお、培養液のpHは5.5~6.5に調整した。

結 果

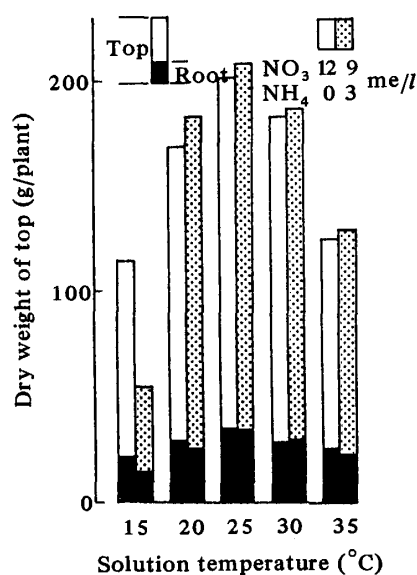


Fig.15. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on growth of tomato plants. (1983 Spring)

1983年春作：第15図のように、地上部の生育は 15°C を除き $9/3$ のほうが $12/0$ よりもおおむね優れたが、地下部の生育に関してはN処理の影響は明らかではなかった。またいずれのN処理の場合も地上部、地下部の生育は 25°C で最も良く、それ以外の温度では劣った。その中で $15^\circ\text{C} \cdot 9/3$ での生育不

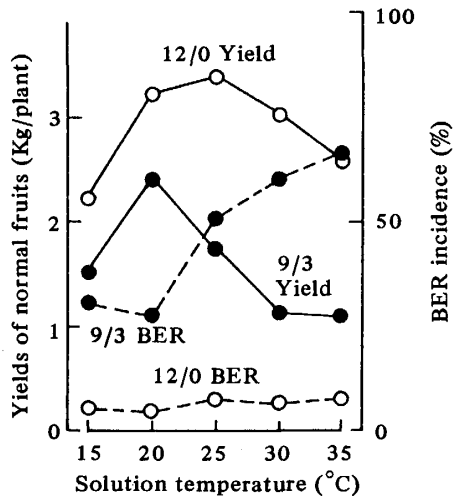


Fig.16. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on the yields of normal fruits and BER incidence of tomato. (1983 Spring)

良は特に著しく、最も生育の良かった25°Cの25%程度でしかなかった。

12/0では、20~30°Cで1株当たり3kg以上の高い収量が得られたが(第16図)、35°Cでは2.6kgと低下し、15°Cでは最も低い2.2kgしか得られな

かった。一方9/3では、20°Cで最も高収量となったが2.4kgに過ぎず、30、35°Cでは1.1kg程度しかなかった。

尻腐れ果の発生は、12/0ではいずれも5~7.5%と低く、液温の影響はほとんど認められなかった。これに対し、9/3での尻腐れ果発生率は12/0より明らかに高かった。また15、20°Cでは30%程度の発生率であったものが、25°C以上では液温が上昇するにつれて高くなり、35°Cでは65%に達した。

第16表のように、葉中N、P濃度は9/3が12/0より高かったが、K、Ca、Mgは逆にいずれも9/3のほうが低かった。両N処理の差が最も顕著に認められたのはCaであり、9/3は12/0の平均60%程度の濃度であった。葉中Ca濃度は12/0では20°Cが、9/3では15°Cが最も高く、液温が上るにつれて低下したが、特に25°C以上の高温での低下が著しかった。

1983年秋作：秋作では、第1果房の収穫がほぼ終了した時点で病気が蔓延し実験を打切ったために、植物体重は測定しなかった。健全果収量は春作の場合と異なり、12/0よりも9/3のほうが多かった。尻腐れ果は12/0ではいずれの液温でも全く発生せ

Table 16. Concentration of total-N, P, K, Ca and Mg in leaves of tomato plants as influenced by NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution (% d. wt. 1983 Spring).

NO_3/NH_4 (me/l)	Solution temperature (°C)				
	15	20	25	30	35
	[N]				
12/0	3.08	3.22	3.17	3.09	2.85
9/3	3.49	3.46	3.66	3.42	3.38
	[P]				
12/0	0.52	0.69	0.72	0.67	0.63
9/3	0.68	0.88	0.91	0.88	0.76
	[K]				
12/0	3.23	3.37	3.52	3.38	2.81
9/3	3.23	3.63	3.76	2.96	2.05
	[Ca]				
12/0	5.28	5.39	5.13	4.82	4.48
9/3	3.96	3.63	2.73	2.77	2.24
	[Mg]				
12/0	0.58	0.67	0.57	0.53	0.51
9/3	0.61	0.56	0.51	0.51	0.38

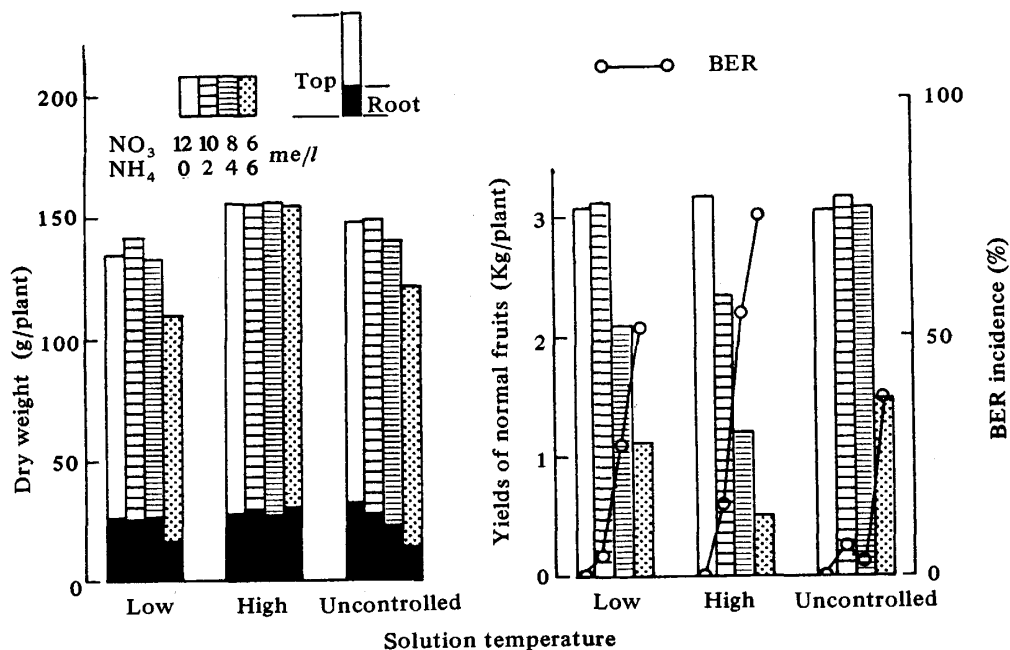


Fig.17. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on growth, yields of normal fruits, and BER incidence of tomato (1984 Spring).

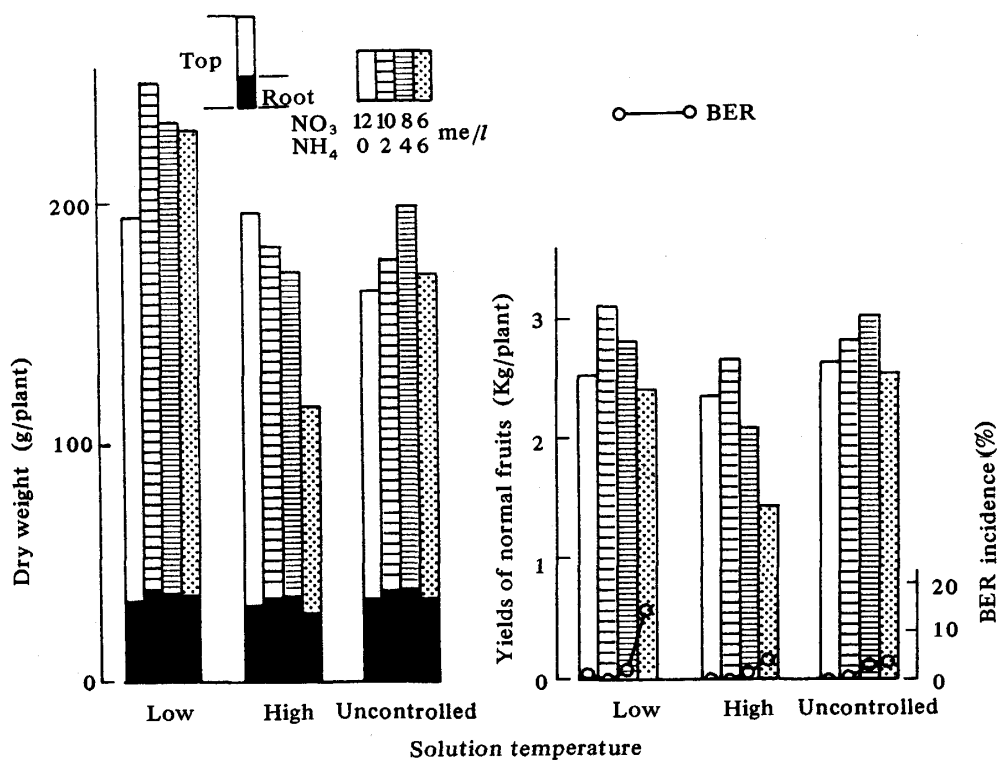


Fig.18. Effects of NO_3/NH_4 ratios and temperature of the nutrient solution on growth, yields of normal fruits, and BER incidence of tomato (1984 Autumn).

ず、9/3では20℃以上で発生を認めたものの、4～9%と低かった。

1984年春作：放任区の液温は、処理開始の4月初め頃は低温区（18℃）よりもかなり低く、6月末の実験終了時には高温区（28℃）とほぼ同じになった。

乾物重から地上部生育をみると（第17図左），低温区では10/2が最も良く、10/2 > 12/0，8/4 > 6/6の順に乾物重は低下した。地下部の生育は12/0～8/4では同程度であり、6/6でのみ低下した。高温区における生育は全般に低温区より良く、N処理の影響は明らかではなかった。放任区では、10/2は12/0と同程度であったものの、それ以上にNH₄の比率が高くなると次第に生育不良となった。一方地下部乾物重は、NH₄の比率が高まるにつれて低下し、6/6は12/0の半分以上となった。

健全果収量（第17図右）は、低温区の12/0，10/2では1株当たり3kg以上と高かったが、培養液中のNH₄の比率が8/4以上に高まると明らかに低下し、6/6では1.1kg程度しかなかった。高温区ではNH₄による収量低下が低温区よりも強く、6/6では1株で500g余りと低収量であった。一方放任区では、8/4までは12/0と同程度の1株当たり3kg以上の高い健全果収量となったが、6/6では半減した。

いずれの液温でも、尻腐れ果の発生は12/0ではほとんど認められなかったものの、培養液中のNH₄の比率が高まるにつれて増加した。この傾向は特に高温区で顕著であった。

1984年秋作：放任区の液温は9月の実験開始時にはかなり高く、高温区と同様に日中は30℃を超えることがあった。その後次第に低下し、実験終了時には10℃前後となった。低温区及び放任区では植物体に外観上の異常を認めなかったが、高温区の6/6では栽培末期に下葉が黄化し、根は褐変した。

植物体の生育に関してまず地上部をみると（第18図左），低温区における両N併用の各処理はいずれもNO₃単用（12/0）をかなり上回った。これに対し、高温区では12/0が最も良い生育であり、培養液中のNH₄の比率が高まるにつれて生育不良となった。放任区では、8/4までは培養液中のNH₄の比率が高まるにつれて生育が良くなったが、6/6は

12/0と同程度でしかなかった。地下部の生育については、培養液のN形態や温度の影響が明らかではなかった。

健全果収量（第18図右）は、低温区の場合12/0では1株当たり2.5kg強で、春作より劣った。10/2は低温区中最も高収量で、春作と同程度の3kg以上が得られた。しかし8/4以上にNH₄の比率が高まると健全果収量は低下し、6/6は12/0より幾分劣った。同様な傾向は高温区でも認められ、6/6は10/2の半分程度に低下した。放任区では8/4まではNH₄の比率が高まるにつれて健全果収量も増加し、8/4は12/0の15%増となったが、6/6は12/0より劣った。

尻腐れ果の発生率は、いずれの液温でも春作に比べ大幅に減少した。低温区では、12/0から8/4まではほとんど発生しなかったが、6/6では14%の発生をみた。高温区及び放任区では、培養液中のNH₄の比率が高まるにつれて尻腐れ果の発生も増加する傾向をみせたが、最も発生率の高かった6/6でも4～5%でしかなかった。

考 察

1983年春作における地上部の生育は、いずれのN処理でも25℃が最も良く、15℃・9/3では著しく

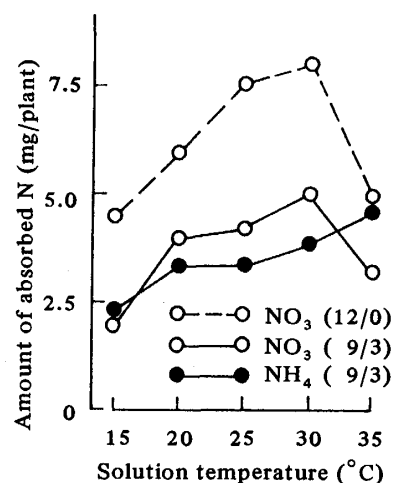


Fig.19. Absorption of NO₃ and NH₄ of tomato plants as influenced by NO₃/NH₄ ratios and temperature of the nutrient solution (1983 Spring).

不良であった。前節の実験でミツバの NH_4 害が低液温下で特に著しかったことと併わせ考えると、本実験での $15^\circ\text{C} \cdot 9/3$ の生育不良は、 NH_4 過剰障害によるものと考えられる。本実験におけるトマトの NO_3 と NH_4 の吸収の差異を第 19 図に示す。 NO_3 の吸収は $12/0$ 、 $9/3$ とともに $15\sim 30^\circ\text{C}$ では高温ほど多くなる傾向を示し、 35°C では低下した。一方 NH_4 の吸収は、全温度域で液温が上昇するにつれて増加した。このように NO_3 及び NH_4 の吸収は根温に影響され、 $20\sim 30^\circ\text{C}$ では NO_3 の吸収が NH_4 を上回るものの、 15°C 及び 35°C では逆に NH_4 が多く吸収された。 15°C のような低温では根の代謝活性はかなり低いので、 NH_4 が多量に取込まれば、 NH_4 過剰害は容易に発生するであろう。

$12/0$ の健全果収量は、植物体の生育が良かった $20\sim 30^\circ\text{C}$ では、植物 1 個体当たり 3 kg ないしそれ以上と多かった。これに対し $9/3$ では、 20°C 以上においては植物体の生育が $12/0$ を上回ったにもかかわらず、健全果収量はこれを大幅に下回った。このような結果は、尻腐れ果の多発が原因と考えられる。 NH_4 が Ca の吸収を抑え、トマトの尻腐れを引起すことは一般に良く知られている。 $12/0$ に比べ $9/3$ では全般に葉中 Ca 濃度が低下したが、 20°C 以下に比べ 25°C 以上での Ca 濃度の低下が著しかったことが、尻腐れ果の発生率を高めた原因とも考えられる。培地温が高くなるほど尻腐れ果の発生が多くなる点については、Pak・Ito³¹⁾ や堀ら³²⁾ も報告している。堀らは尻腐れは気温 25°C (昼) - 18°C (夜) 以上、地温 23°C 以上で発生の可能性があり、高気温、高地温の組合せで特に発生が多かったとしている。本実験においては、5 月以降昼の気温は 25°C 以上となることが多く、液温 25°C 以上の処理は堀らの言う高気温—高地温の組合せとなって、 $9/3$ での尻腐れ果発生を助長したものと考えられる。しかしこのような環境条件でも、 $12/0$ では $5\sim 7.5\%$ とかなり低い尻腐れ果発生率であることから、 NH_4 を全く含まない培養液で栽培すれば、気温、液温がある程度高くても、尻腐れ果の発生はかなり抑えられると思われる。また途中までの実験の結果であるが、秋作のように尻腐れ果の発生しにくい時期の栽培では、 $9/3$ の健全果収量が $12/0$ のそれを上回る可能性は充分にあるものと考えられる。

1984 年春作の場合、健全果収量に対する N 形態

の影響は、生育に対する N 形態の影響がほとんど認められなかった高温区で最も強く認められ、培養液中の NH_4 の比率が高くなるにつれて収量は明らかに低下した。これは NH_4 の比率が高くなるにつれて、尻腐れ果の発生率が高くなったことによるものである。同様に低温区では $8/4$ 以上で、放任区でも $6/6$ では尻腐れ果が多発し、健全果収量は低下した。本実験でも NO_3 だけを N 源とした場合には、液温と関係なく尻腐れ果の発生率は低くなり、健全果収量は植物 1 個体当たり 3 kg 以上と高かった。

秋作における健全果収量は植物体の生育とはほぼ同様な傾向を示した。これは、秋作では尻腐れの発生が非常に少ないことが大きな理由となっている。秋作での葉中 Ca 濃度は、 NO_3 単用に比べ両 N 併用では明らかに低下したが、葉中 Ca 濃度と生育あるいは尻腐れ果発生との関連性は明らかではなかった。1983 年には途中までの実験結果から、秋作においては両 N 併用が NO_3 単用よりも健全果収量が多くなる可能性があることを推察したが、1984 年の実験ではこれを確認できた。秋作の後半は気温や地温が低下するだけでなく、光強度も低下する。 NO_3 の吸収や還元は光依存性が強く、弱光下での吸収低下は NH_4 よりも強く起こる³³⁾。また還元も行われにくいので全体として N 代謝は進みにくく、 NO_3 は NH_4 よりも N 源とはなりにくいと考えられる。したがって、秋～冬にかけて照度が低くなる時期には、 NO_3 単用よりも過剰害を起こさない程度の NH_4 を併用するほうが優れる^{34,35)} と言える。しかも秋作は尻腐れ果が発生しにくい時期となるので、 NH_4 併用で草勢の維持をはかることは、果実の収量を増加させることにつながると言えよう。

摘 要

トマトについて前節同様の方法で 2 年間にわたり、春作と秋作を行った。ただし 1 年目は主として液温の影響について、2 年目は主として NO_3/NH_4 比の影響について検討した。春作では 25°C が最も生育良好であり、両 N 併用は低温で NH_4 の比率が高い場合を除けば、概して NO_3 単用よりも生育良好であった。しかし両 N 併用では尻腐れ果発生率が高く、特に高温、高 NH_4 比率下では尻腐れ果多発によって健全果収量は著しく低下した。葉中 Ca 濃度は両 N 併用では NO_3 単用より例外なく低く、尻腐れ果発生との関連がうかがえた。一方秋作では、尻腐れ果発生率が低かったために生育と収量は比例した。

すなわち、低温では両N併用はNO₃単用より生育が良く、10/2, 8/4などでは健全果収量もNO₃単用より多かった。しかし高温でのNH₄施肥は、生育不良を引起し健全果収量をも低下させた。液温を制御しなかった区では、8/4まではNH₄の比率が高まるにつれて生育は良くなり、収量も多くなった。秋作における葉中Ca濃度は、培養液中のNH₄の比率が高くなるにつれて明らかに低下したが、生育あるいは尻腐れ果発生との関連性は明らかではなかった。

以上の結果より、実際のトマトの養液栽培では、尻腐れ果の発生しやすい高温期の栽培にはNH₄を全く含まない培養液で栽培するのが良いが、尻腐れ果の発生しにくい低温・低日射期の栽培には、植物体の生育促進や樹勢の維持をはかり健全果収量を高めるために、NO₃の1/3程度までのNH₄を併用するのがよいと考えた。

第3節 土壌施用したNO₃およびNH₄肥料と硝化抑制剤が数種葉菜の生育に及ぼす影響

これまでの実験において、水耕法では培養液中のN形態の変化は短期的にはほとんど生じないために、NH₄のみを施肥すると、そ菜の生育は多くの場合かなり不良であった。これに対し、土壌を用いる一般の栽培では、化学肥料によるN施肥には、通常尿素CO(NH₂)₂や硫酸(NH₄)₂SO₄等が用いられ、NO₃態のものは少ないにもかかわらず、NO₃化成が速やかに行われ、緩衝能も大きいなどの理由で、極端な多肥をしなければ障害は発生しない。またNH₄態は土壌に吸着されるために、流亡しにくいなどの点でも有利である。

本実験は、N形態とそ菜の生育に関して、水耕実験で得られた結果を土耕法の場合と比較するために行ったものであり、NO₃化成抑制剤の効果についても検討した。

材料及び方法

1. ポット実験

実験は1/5000 a のワグナーポットを使用し、ビニー

ルハウス内で行った。供試土壌は通称“真砂土”と呼ばれるものの未使用土で、2 mm のふるいを通して用いた。その性質を第17表に示す。これに元肥として、10 a 当たり40 KgのP₂O₅とK₂Oをそれぞれ過リン酸石灰とK₂SO₄で施用した。N処理は10 a 当たり40 kgのNをNO₃/NH₄=40/0, 30/10, 20/20, 10/30, 0/40となるように、NaNO₃と(NH₄)₂SO₄で施用した。またこれとは別に、土壌中での硝化化成を抑制するために、N処理は同じとして、硝化抑制剤MBT(2-mercapto-benzo-thiazol)を、N換算で施用Nの1%施用した区を並置した。供試そ菜は、レタス、シュンギク、ハウレンソウである。これらは11月1日にポットに播種し、その後早い時期に2週間引いて、最終的には1ポット当たり、レタス4個体、シュンギク5個体、ハウレンソウ6個体として、1月13日まで栽培した。栽培中は水道水を適宜灌水したが、ポットの下口から排出される水はほとんどなかった。なお各処理は3反復とした。

2. ほ場実験

実験は大阪府立大学農学部付属農場の、間口4 m 長さ14 m のビニールハウスを用いて、無加温で行った。この中に、幅0.6 m、長さ11 m のうねを4本設け、1うねを1 m ごとに11等分して1処理区とした。処理区の構成は前項実験と全く同じであるが、それぞれを無作為に配置した。供試そ菜はレタスとハウレンソウである。11月15日に、1処理区に長さ0.6 m のすじを4本切り、2種のそ菜を交互のすじに播種した。その後2回に分けて間引きを行い、レタスは株間12~15 cm、ハウレンソウは7~8 cm となるようにして、1月31日まで栽培した。

結果並びに考察

ポット実験で用いた“真砂土”は、一般に新設庭園や街路樹の植栽、造成地への客土などに用いられている水はけのよい砂壤土で、肥料分は極端に少ないものである。第20図に示すように、MBT無処理の場合、レタス及びシュンギクでは10/30まで、ハウレンソウでは20/20まで、NH₄の比率が高いほど

Table 17 Chemical characters of used soil

pH		EC	C	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	CEC
(H ₂ O)	(KCl)	(1:5)	%	%	mg/100 g soil				me
7.05	4.77	0.02	0.05	0.01	14.3	3.11	189.7	28.7	0.07

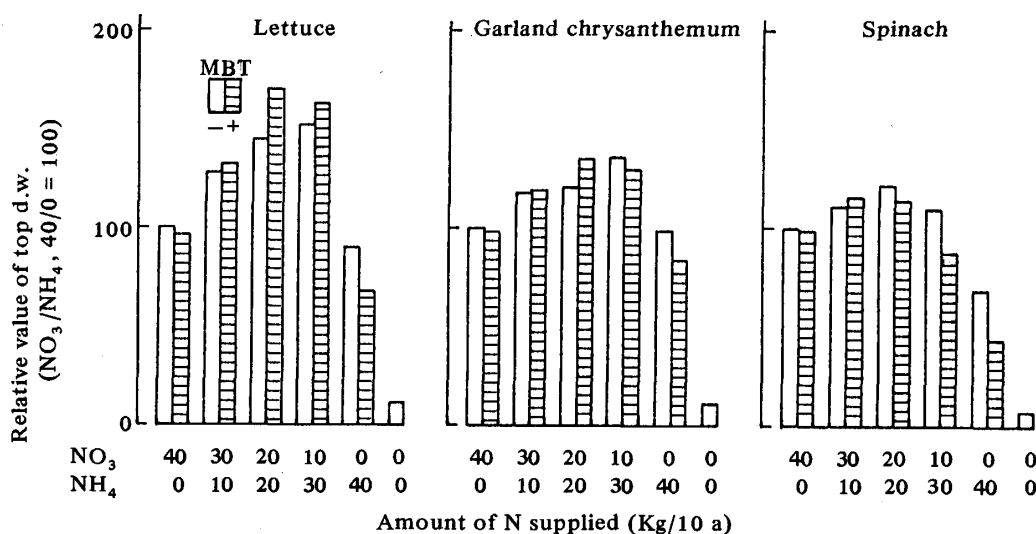


Fig. 20. Effects of N form and nitrification inhibitor (MBT) on yields of lettuce, garland chrysanthemum, and spinach grown with "Masatsuchi". (Pot experiment)

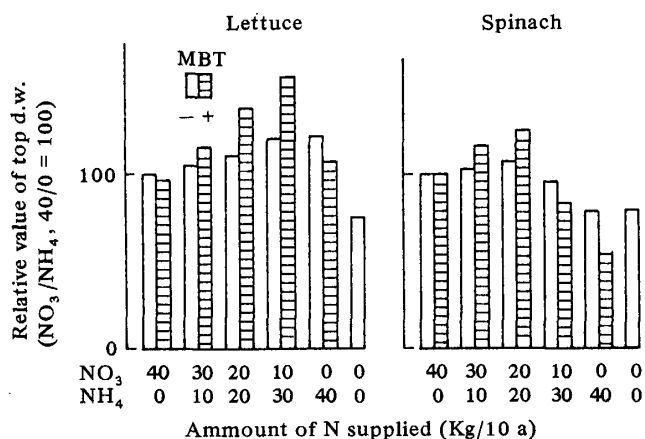


Fig. 21. Effects of N form and nitrification inhibitor (MBR) on yields of lettuce and spinach grown in the field of the university farm. (Field experiment)

生育は良くなった。0/40で乾物重が小さかったのは、直接にはNH₄害のために発芽不良となったことによると考えられる。一方MBT処理では、レタス、シュンギクは20/20が最も生育良好であり、10/30はそれよりやや劣った。また0/40はいずれのそ菜でも、MBT処理は無処理より明らかに生育不良であったが、これらではいずれもMBTによりNH₄のNO₃化成が抑制され、NH₄害が生じたと考えられる。以上のような結果は、これまでの水耕法によ

る結果とよく一致する。本実験では、土壌中のN形態の変化を調査していないので断言はできないが、ポット実験に用いた“真砂土”は未使用土でもあったことから、NO₃化成が非常に弱く、施肥後の土壌中のN形態変化があまり起こらなかったであろう。このような土壌を使って栽培する場合には、初期にはNH₄態のみならずNO₃態のN肥料をも施すことが、その後の健全な生育及び増収に結びつくと考えられる。

は場実験(第21図)では、レタス、ホウレンソウともN無施用でも良く生育し、40/0の75~80%の乾物重を示したが、このことは使用した土壌がかなり肥沃であったことを示している。MBT無処理の場合、レタスでは0/40までNH₄の比率が高いほうが生育良好であったが、MBT処理では10/30が最大の生育で0/40は劣った。すなわち、この土壌ではNO₃化成が速やかに行われているようで、NH₄のみを施用しても発芽、生育とも順調であり、レタスの生育はMBTを処理してNO₃化成を抑制したほうが明らかに良かった。一方ホウレンソウの場合には、MBT無処理では40/0~10/30の範囲内で生育に及ぼすN形態の影響はあまり認められず、0/40で生育がやや低下した程度である。しかし、MBT処理によってNO₃化成が抑制されると、20/20まで

は MBT 無処理より明らかに生育良好となり、10/30, 0/40 では逆に NH_4 により生育が抑制された。以上のように、ほ場実験においては NO_3 化成抑制剤の効果が顕著に認められ、レタスではかなりの程度生育量が増加した。しかしハウレンソウのように NH_4 害を受けやすい作物では、 NH_4 施肥および NO_3 化成抑制剤の使用については注意を要すると考えられる。

摘 要

実験は、“真砂土”と呼ばれる肥料分の極端に少ない砂壤土をポットにつめて行うものと、普通のは場を使うものに分けて行った。レタス、シュンギク、ハウレンソウを供試し、10 a 当たり 40 kg の N を $\text{NO}_3/\text{NH}_4=40/0 \sim 0/40$ となるように与えた 5 区を設け、同時に硝化抑制剤 MBT の併用効果についても検討した。真砂土の場合、MBT 処理の NH_4 単用では発芽が不良でその後の生育も悪かった。また MBT の有無と無関係に 20/20 ないし 10/30 までの NH_4 併用区は NO_3 単用区の生育を上回り、この結果はこれまでの水耕実験の結果と良く一致した。真砂土で MBT の効果があまり認められなかったのは、この土が肥料分が少なく硝酸化成が行われにくいためと考えられる。一方は場実験の土壌では MBT の効果が顕著に認められ、レタスでは 10/30 で、ハウレンソウでは 20/20 で MBT を併用した場合に最も生育良好であった。

以上より、真砂土では使用初期には NH_4 態のみではなく NO_3 態の N 肥料も施用するほうが良く、一般は場ではそ菜の種類や栽培条件等により多少の注意は必要としても、適度な NH_4 態肥料の施用と硝化抑制剤の使用が有効であると考えた。

総合考察

本研究ではまず、形態の異なる 3 種の無機態 N に対するそ菜の生育反応を、概括的に把握しようとした。その結果、生育反応はそ菜の種類によってかなり異なった。これらの結果は培養液の pH や N 濃度によっても変化したが、同時に体内成分も含め、そ菜の反応に幾つかの特徴が認められた。以下それらについて、第 2 章以降の実験結果に立脚して考察を進める。

そ菜の N 吸収における“し好性”

NO_3 と NH_4 を N 源としてそ菜の生育を比較するとき、まず考えねばならないのはこれら N 源の吸収の

問題であろう。これまでの一般的な考え方は、「 NO_3 と NH_4 が同じ濃度で存在する場合には、 NH_4 のほうが吸収されやすい」とするものであり、これはそのまま「そ菜は NH_4 害を受けやすい」とする考えにつながっていたとみられる。しかし第 2 章第 1, 2 節で明らかにしたように、 NO_3 と NH_4 が共存する場合にいずれを優先的に吸収するかは、そ菜の種類によって異なり、培地の pH によっても異なる場合があった。第 1 章とこれらの実験結果から、 NO_3 と NH_4 が共存する場合には、 NH_4 害を受けやすいそ菜は NO_3 を、逆に NH_4 害に強いそ菜は NH_4 を優先的に吸収する傾向が強いと結論される。更に第 3 章第 2 節で明らかにしたように、両 N の吸収は根温にも影響され、低温でも高温でも吸収は低下した。温度の影響は NO_3 のほうが NH_4 よりも大であり、トマトの場合 20~30℃では NO_3 の吸収が NH_4 を上回ったが、それより低温あるいは高温では逆になった。

N 吸収におけるし好性の問題は、生育反応だけでなく、植物体中の NO_3 蓄積の問題にも関係してくる。第 2 章第 3 節で明らかにしたように、N 濃度が高い培養液中で NO_3 に対する NH_4 の比率を高めると、レタスのように NH_4 を優先吸収するそ菜では葉中 NO_3 濃度は低下するが、ハクサイやハウレンソウのように NO_3 を優先吸収するそ菜では葉中 NO_3 濃度はほとんど低下しなかった。同様な結果は第 1 章においても認められた。更に、N 吸収におけるし好性の問題は、当然のことながら培養液の pH 変化にも関連してくる。

培養液の pH

施用 N 形態がそ菜の生育や養分吸収に及ぼす影響は、培養液の pH によって大きく変化する。一般に、 NH_4 害、 NO_2 害とも pH が高い場合には軽減された。また NO_3 を N 源とした場合、トウモロコシやセリの生育は pH7 より 5 のほうが明らかに優れた。

第 2 章第 1 節及び第 3 節で明らかにしたように、培養液の pH は NO_3 のみを N 源にすると上昇し、 NH_4 のみでは逆に著しく低下した。両 N を併用すると、培養液の pH 変化はそ菜の種類によって異なり、 NH_4 を優先的に吸収するそ菜では毎日の補正にもかかわらず pH は低下したが、培養液中に NH_4 がなくなると変化しないかむしろ上昇した。これに対し、 NO_3 を優先吸収するそ菜では、両 N の比率を適当に設定すると、実験期間中ほとんど pH が変化しないこと

があった。このような観点から、実際の養液栽培でも、培養液中の NO_3^- と NH_4^+ の比率を適当に設定することにより、そ菜によっては長期間 pH 変化がほとんど生じないような培養液を作成できると考えた。培養液の pH は植物による NO_3^- や NH_4^+ の利用に影響し、その結果によってまた培養液の pH は変化するので、両者の関係は複雑である。

培養液の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比

そ菜の生育にとって、 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比の問題は重要である。第2章第3節で明らかにしたように、 NH_4^+ のみを N 源にすると、程度の差はあれ生育を阻害されるものが多いものの、一般にわずかな NO_3^- を併用すると NH_4^+ 害は軽減ないし除去できる。また充分な量の NO_3^- が存在する状態での NH_4^+ の併用は、 NO_3^- 単用よりも生育が良くなることが多い。このように培養液の両 N 比は作物の生育に大きな影響を持つが、そのほかにも実際栽培上の幾つかの点で両 N 比は重要である。その一つは既に記したように、培養液の pH の安定にも役立つことである。更に、レタスのように NH_4^+ を優先吸収するそ菜では、 NH_4^+ を併用することによって体内に蓄積する NO_3^- の量を減らすことが可能である。しかし、レタスでは NH_4^+ の優先吸収が強いので、 NH_4^+ を併用すると培養液の pH はかなり低下することになる。第3章第1節で明らかにしたように、ネギでは両 N 併用が生育を促進するだけでなく、 NO_3^- 単用では淡緑色で折れやすくなる葉を、濃緑色で堅く直立したものにするなど、商品性を高める役割をも持っている。更に、第3章第2節で明らかにしたように、トマト栽培においては、開花あるいは果実肥大期が6~9月の高温期にかかる場合には、両 N の併用は植物体の生育を促進するとしても、尻腐れ果の発生を助長し、健全果の収量を低下させるのでむしろ避けるほうが良い。しかし秋以降の低温期から翌年春にかけての栽培では、尻腐れ果の発生しにくい時期であり、また低温に加えて弱光条件下のため、吸収、同化に光依存性の強い NO_3^- が適切な N 源となりにくい時期でもあるので、そのような影響を受けにくい NH_4^+ の併用は、生育促進、樹勢維持などを通して健全果収量を増加させ得ると考える。

空気中の CO_2 濃度と光条件

そ菜の無機態 N 利用に関しては、以上のほかに空気中の CO_2 濃度や光条件も関与する。植物体内に

吸収された無機態 N はまず NH_4^+ の形になり、その後有機酸と結びついて同化過程へ進んでゆく。 NH_4^+ と結合する有機酸は、一部は光合成の経路からも派生するが光合成産物が分解されて形成されるものも多い。したがって光合成を促進することは、 NH_4^+ 利用を促進することに結びつくと考えられる。

ところで空気中の CO_2 濃度を高めると、一般に植物の光合成は促進され、生育量は増加する。一方 NO_3^- と NH_4^+ の併用は NO_3^- 単用よりも生育を促進する。しかし第2章第5節で明らかにしたように、 CO_2 施用と両 N の併用は相乗効果を示さなかった。また NH_4^+ 単用は NO_3^- 単用より明らかに生育不良をきたすために、養液栽培で実際に NH_4^+ のみを N 源としてそ菜を栽培することは考えられないが、 CO_2 施用による乾物増加の程度は NO_3^- よりも NH_4^+ のほうが大となる場合が多く認められた。これは CO_2 施用によって光合成を促進すると、 NH_4^+ が良い N 源となることを証明するものであり、 NH_4^+ 害が CO_2 施用によってわずかながらも軽減できることを示すものである。

植物体内に吸収された NO_3^- は NO_3^- 還元酵素によって NO_2^- になり、 NO_2^- は NO_2^- 還元酵素により NH_4^+ になる。 NO_3^- 還元酵素の活性は光依存性が強いので、弱光下では活性が低下し、同時に NO_3^- の吸収も減少する。一方 NH_4^+ の吸収は NO_3^- のように光の影響は受けないし、吸収されたものがそのまま N 源となるので、弱光下では NO_3^- よりも良い N 源になると考えられる。第3章第2節で明らかにしたように、栽培が弱光下となる秋作トマトでは、 NO_3^- 単用よりも両 N 併用のほうが植物体の生育も健全果収量も多かった。また第2章第5節で明らかにしたように、 CO_2 施用による乾物増加効果は NO_3^- よりも NH_4^+ を N 源とした場合に強く認められ、それは無遮光下よりも遮光下で明瞭であったことも、弱光下での NH_4^+ の有効性を示すものと考えられる。

NH_4^+ 過剰害

既に述べたように、 NH_4^+ 害感受性はそ菜によってかなり異なる。また培養液の pH を上げたり NO_3^- を併用することによって、 NH_4^+ 害は軽減ないしは除去できる場合が多い。一方 NH_4^+ 処理によって葉中の K や Ca 濃度は低下するが、第2章第4節で明らかにしたように、培養液中のこれらの濃度を高めても NH_4^+ 害は軽減されなかった。また NO_3^- 単用に比べて

両N併用では、葉中のKやCa濃度は低下するのに生育はむしろ良くなることから、NH₄処理によるK、Caなどの葉中濃度の低下はNH₄害の主因ではないと判断した。

NH₄害を受けたそ菜葉中には、高濃度のNH₄-Nの蓄積が認められる場合があるが、第2章第2節ではNH₄区のインゲンマメやトマトのxylem sapのNH₄-N濃度は、障害発現前からかなり高かった。このことは、葉中に見出された多量のNH₄-Nのかなりの部分は根で吸収されたものが未同化のまま転流したものであると示すと言えよう。一方エダマメやハウレンソウは、NH₄害にかなり弱いそ菜であるにもかかわらず、葉中NH₄-N濃度は例外的に低かった。第2章第2節で¹⁵Nを使用してハウレンソウによるNO₃とNH₄の同化を比較したところ、ハウレンソウのNO₃し好性は非常に強く、等濃度で両Nが共存するとNH₄の2倍ほどもNO₃を吸収することがわかった。しかし、吸収されたNH₄の同化速度は非常に早いことから、ハウレンソウではNO₃が優先的に吸収されて正常な代謝が進む状態では、同時に吸収される少量のNH₄の同化は可能であるが、NH₄のみをN源にするとすぐに同化機能が麻ひし、代謝全体が停止してNの吸収すらできなくな

り、NH₄害を受けているにもかかわらず葉中のNH₄-N濃度は低い、という事態になるものと思われる。

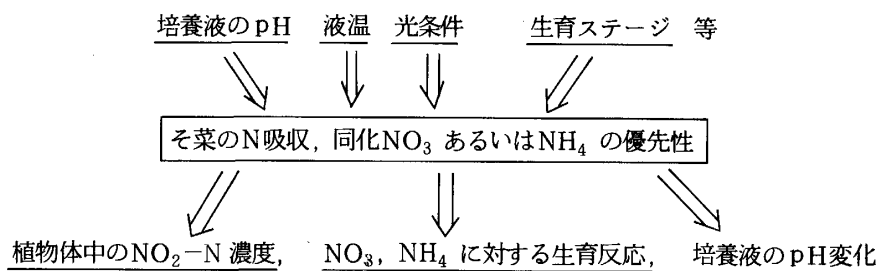
第3章第1,2節で明らかにしたように、NH₄害は液温が低過ぎても高過ぎても発生した。これをN吸収の面からみると、液温の影響はNH₄よりもNO₃のほうが大で(第2節)、低温でも高温でもNO₃の吸収がかなり抑制され、吸収されるNの中でNH₄の割合が増加することがNH₄害につながると考えられる。

ミツバでは、生育初期にはNH₄害が発生しやすいが、展開本葉数1.2枚頃から後には発生しにくいなど、NH₄害は植物体の生育段階とも関連があることを認めた。

NO₂過剰障害

第1章第2節で明らかにしたように、NO₂過剰障害もそ菜の種類によってかなり異なった。また培養液のpHやN濃度の影響を受け、高pH、低NでNO₂害は軽減された。NO₂を与えて植物体を分析してもNO₂-Nはほとんど検出されないことは、吸収されたNO₂は速やかにNH₄に還元されて利用されていることを示す。したがって、N源としてはNO₂とNH₄は類似のものとも考えられる。しかし、植物の生育阻害は一般にNO₂のほうがはるかに強いこと、

N吸収を軸としたそ菜のN栄養についての考え方



	NO ₃ を優先的に吸収	NH ₄ を優先的に吸収
生育反応	NH ₄ 害を受けやすい	NH ₄ 害を受けにくい
培養液のpH変化	NO ₃ /NH ₄ 比で調節可能	NO ₃ /NH ₄ 比で調節しにくい
植物体中のNO ₃ -N濃度	NO ₃ /NH ₄ 比で調節しにくい	NO ₃ /NH ₄ 比で調節可能

NO₃の併用でNH₄害は軽減あるいは除去できるのに、NO₂害ではむしろNO₂の濃度そのものが問題となること、NH₄害に非常に強いレタスがNO₂害には極端に弱いことなどから、NO₂害とNH₄害は異なる性質のものであると判断した。NO₂害では、NO₂施用初期に植物体のしおれや根の褐変、呼吸やTTC還元能の低下などが認められることから、NO₂吸収時あるいはそれ以前に根にNO₂が触れた段階で、根の機能が損なわれることが主な要因となって発生すると判断した。

本研究の結果を基に、N吸収を軸としてそ菜のN栄養についてまとめると、前ページ下段のような考え方ができる。

総合摘要

本研究では、無機態のNとしてNO₃、NH₄、NO₂を取り上げ、まずこれらN源に対するそ菜の生育反応を様々な環境条件下で比較し、その差異をNの吸収あるいは初期同化との関連で考察した。次いで、培養液中のN形態と液温がそ菜の生育ならびに収量に及ぼす影響について、実用規模の水耕装置で検討した。なお水耕法で得られた結果について、通常の土耕法においても確認した。

1. NO₃単用では、一部のそ菜を除いておおむね良く生育したが、NH₄あるいはNO₂単用では生育を阻害されるものが多かった。障害の程度は後者の場合に著しかったが、そ菜の種類によってもかなりの差異があった。NH₄、NO₂害ともに培養液のpHやN濃度に強く影響され、pHは高いほうが、またN濃度は低いほうが生育阻害は軽かった。そのためpH 7・低Nでは、NH₄あるいはNO₂単用でもNO₃単用に匹敵する生育を示すそ菜があった。NH₄単用では、一部のそ菜を例外として、生育反応と葉中NH₄-N濃度との間には明瞭な関連が認められ、生育良好なものは葉中NH₄-N濃度が低く、生育不良なものは高かった。また葉中のamide-Nや不溶性Nなどの分析結果から、NH₄害を受けたものはN同化が進んでいない可能性が示唆された。一般にNH₄処理によって葉中K、Ca、Mg濃度は低下し、P濃度は変わらないかむしろ上昇した。一方NO₂処理では、生育と葉中N成分とは関連がなく、またPをも含めいずれの無機要素濃度も低下した。これらの結果から、NO₂害では呼吸や養水分の吸収といっ

た根の機能が障害を受けることが、生育不良の主要因となることなどを推論した。

2. NO₃とNH₄が等濃度で共存する培養液からは、そ菜の種類ないしは培養液のpHによって異なり、吸収特性によって供試そ菜を5つのグループに分類できた。またその結果から、pHと無関係にNO₃を優先吸収するそ菜はNH₄害を受けやすいものであり、逆にNH₄を優先吸収するそ菜はNH₄害に強いものであることが理解された。

3. NH₄をN源にしても、少量のNO₃を併用すると葉中NH₄-N濃度は低下し、NH₄害は軽減あるいは防止された。また生育に充分なNO₃が存在する状態でNH₄を併用すると、NO₃のみで同じ濃度のNを施用した場合に比べて、明らかな生育促進がみられることが多かった。葉中NO₃-N濃度は、培養液中のNO₃濃度が高まるにつれて高くなったが、培養液中の全N濃度が低い場合には、NH₄の比率が高まると低下した。しかし培養液中の全N濃度が高い場合には、培養液中のNH₄の比率が高まっても、NO₃を優先吸収するそ菜では葉中NO₃-N濃度の低下はほとんど認められなかった。培養液のpHはNO₃単用では上昇し、NH₄単用では著しく低下した。両N併用の場合、NH₄を優先吸収するそ菜では培養液中のNO₃/NH₄比とかかわりなくpHは低下したが、NO₃を優先吸収するそ菜では、両Nの比率を適当な値に設定すると、長期間pHが安定した。

4. NO₃、NH₄併用では、生育はNO₃単用と変わらないかむしろそれより良くなったのに、葉中K、Ca濃度はかなり低下した。またNH₄単用では、そ菜の生育は阻害され葉中K、Ca濃度は低下した。培養液中のK、Ca濃度を高めると、葉中のK、Ca濃度も高まったが、生育阻害はほとんど改善されなかった。以上の結果より、NH₄施用によって生ずる葉中のKやCaなどの陽イオン濃度の低下は、NH₄害の主要因ではないと判断した。

5. そ菜のNO₃およびNH₄利用に及ぼす空気中CO₂濃度ならびに光強度の影響について検討した結果から、CO₂施用時や弱光下ではNO₃よりもNH₄のほうが有効なN源となり得る可能性を推論した。更に実際栽培でCO₂施用効果を期待するためには、培地中のN濃度をある程度高くする必要があると考えられた。

6. 数種菜葉の生育はいずれも、液温と NH_4 の比率の上昇によって促進された。しかし液温が低いときに NH_4 の比率を高め過ぎると、冬作レタスでは生育促進効果が小さくなり、ミツバでは幼苗時に枯死株が発生した。ネギでは、 NO_3 と NH_4 の併用により濃緑色の堅い葉となり、商品性が高められた。以上の結果より、実際の葉菜栽培では培養液中の NH_4 の比率を全Nの40~50%まで高めても良いと考えた。ただしこの場合、液温の低下は避けること、およびレタスでは培養液のpH低下が激しいことなどに注意が必要である。

7. 培養液の NO_3/NH_4 比と液温が、トマトの生育、収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響を2年間にわたって検討した。その結果、実際のトマト生産では、尻腐れ果の発生しやすい高温期には NH_4 を含まない培養液を使い、尻腐れ果の発生しにくい低温、低照度下では NH_4 をある程度含んだ培養液を使うことによって、植物体の生育を促進し、あるいは樹勢を維持して健全果収量を高めることができると考えた。

8. 土壌実験の結果から、作物の種類や栽培条件等に多少の注意は必要としても、硝化抑制剤と適量のアンモニア態肥料の施用は、一般圃場でのそ菜栽培に有効であると判断した。

引用文献

- 1) 大沢孝也・池田英男 (1975) . そ菜の亜硝酸害に関する研究 (第2報) . 亜硝酸害とアンモニア害の比較について. 園学雑, **44**, 273-280.
- 2) 池田英男・大沢孝也 (1979) . 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第1報) . 水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亜硝酸を窒素源とした果菜の生育並びに窒素同化. 園学雑, **47**, 454-462.
- 3) 池田英男・大沢孝也 (1980) . 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第2報) . 水耕栽培において硝酸, アンモニア, 亜硝酸を窒素源とした葉菜の生育並びにアンモニア態及び硝酸態窒素蓄積の差異. 園学雑, **48**, 435-442.
- 4) 池田英男・大沢孝也 (1981) . 施用窒素形態とそ菜の適応性 (第3報) . 水耕栽培において NO_3 , NH_4 , NO_2 をN源とした根菜の生育並びに $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ 蓄積の差異. 園学雑, **49**, 563-570.
- 5) IKEDA, H. and T. OSAWA (1981) . Nitrate- and ammonium-N absorption by vegetables from nutrient solution containing ammonium nitrate and the resultant change of solution pH. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, **50**, 225-230.
- 6) 池田英男・大沢孝也 (1982) . 水耕培養液中のカリ, カルシウムの濃度並びに随伴陰イオンがそ菜のアンモニア過剰障害に及ぼす影響. 園学雑, **51**, 309-317.
- 7) 池田英男・大沢孝也 (1983) . 水耕培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度並びに比率がそ菜の生育, 葉中N成分及び培養液のpHに及ぼす影響. 園学雑, **52**, 159-166.
- 8) IKEDA, H. and T. OSAWA (1984) . Lettuce growth as influenced by N source and temperature of the nutrient solution. *Proc. Sixth Internat. Congress Soilless Cul.*, 273-284.
- 9) 池田英男・吉田好範・大沢孝也 (1985) . 培養液中の NO_3 と NH_4 の比率及び液温がミツバ, シュンギク並びにネギの生育に及ぼす影響. 園学雑, **54**, 58-65.
- 10) 池田英男・大沢孝也 (1988) . そ菜の NO_3 および NH_4 利用に及ぼす空气中 CO_2 濃度ならびに遮光の影響. 園学雑, **57**, 印刷中.
- 11) 池田英男・大沢孝也 (1988) . 培養液の NO_3/NH_4 比と液温がトマトの生育, 収量ならびに尻腐れ果発生に及ぼす影響. 園学雑, **57**, 印刷中.
- 12) 大沢孝也 (1971) . そ菜の亜硝酸害に関する研究 (第1報) . 培養液の亜硝酸濃度とpHがそ菜の生育に及ぼす影響. 園学雑, **40**, 395-400.
- 13) 岩田正利・間苧谷 徹 (1969) . 窒素形態の差異とそ菜の生育 (第6報) . 体内窒素成分ならびに炭水化物濃度に及ぼす施用窒素形態の影響. 園学雑, **38**, 309-317.
- 14) 村田吉男 (1977) . 窒素の吸収利用. 農学大事典—1977訂正追補版—, 養賢堂, 765-766.
- 15) YONEYAMA, T. and J. ISHIZUKA (1982) . ^{15}N study on the partitioning of the nitrogen taken by soybeans from atmospheric dinitrogen, medium nitrate or ammonium. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **28**, 451-456.
- 16) 熊沢喜久雄 (1982) . 作物比較栄養生理. 田中明編, 学会出版センター, 25-47.

- 17) 米山忠克 (1982) . 作物の成長と窒素の転流 (1) - I. 窒素の栄養構造と転流 - . 農及園, 57, 373-378.
- 18) WILCOX, G. E., C. A. MITCHELL, and J. E. HOFF (1977) . Influence of nitrogen form on exudation rate, and ammonium amide, and cation composition of xylem exudate in tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 102, 192-196.
- 19) GOYAL, S. S., O. A. LORENZ, and R. C. HUFFAKER (1982) . Inhibitory effects of ammoniacal nitrogen on growth of radish plants. I. Characterization of toxic effects of NH_4^+ on growth and its alleviation by NO_3^- . *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 107, 125-129.
- 20) GOYAL, S. S., R. C. HUFFAKER, and O. A. LORENZ (1982) . Inhibitory effects of ammoniacal nitrogen on growth of radish plants. II. Investigation on the possible causes of ammonium toxicity to radish plants and its reversal by nitrate. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 107, 130-135.
- 21) McELHANNON, W. S. and H. A. MILLS (1977) . The influence of N concentration and $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ ratio on the growth of lima and snap bean and southern field pea seedlings. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 8, 677-687.
- 22) COX, W. J. and H. M. REISENAUER (1973) . Growth and ion uptake by wheat supplied nitrogen as nitrate, or ammonium, or both. *Plant Soil*, 38, 363-380.
- 23) 但野利秋・田中 明 (1976) . アンモニア態および硝酸態窒素適応性の作物種間差 (第1報) . 生育初期におけるアンモニア態および硝酸態窒素選択吸収能と生育反応. -比較植物栄養に関する研究-. 土肥誌, 47, 321-328.
- 24) MILLS, H. A. and W. S. McELHANNON (1982) . Nitrogen uptake by sweet corn. *HortSci.*, 17, 743-744.
- 25) 有馬泰紘 (1976) . 植物栄養土壌肥料大事典, 養賢堂, 48-50.
- 26) ROBERTS, A. N. and A. L. KENWORTHY (1956) . Growth and composition of the strawberry plant in relation to root temperature and intensity of nutrition. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 68, 147-168.
- 27) JENSEN, G (1960) . Effects of temperature and shifts in temperature on the respiration of intact root systems. *Physiol. Plant.*, 13, 822-830
- 28) COOPER, A. J (1973) . Root temperature and plant growth. *Res. Rev. No.4. Commonw. Bur. Hort. Plant Crops. Commonw. Agric. Bur. Farnham Royal, Slough, England.*
- 29) GRAY, G. F (1941) . Transpiration in strawberries as affected by root temperature. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 39, 269-273.
- 30) FROTA, J. N. E. and T. C. TUCKER (1972) . Temperature influence on ammonium and nitrate absorption by lettuce. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36, 97-100.
- 31) PAK, C. C. and T. ITO (1982) . Growth, fruit yield and nutrient absorption of tomato plant as influenced by solution temperature in nutrient film technique. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.*, 51, 44-50.
- 32) 堀 裕・新井和夫・細谷 毅・小山田光男 (1968) . 培地温と気温の組合せがそ菜の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響. I. キュウリ, トマト, カブ, インゲンに関する実験. 園試報, A7, 187-214.
- 33) CLARKSON, D. T. and A. J. WARNER (1979) . Relationships between root temperature and the transport of ammonium and nitrate ions by italian and perennial ryegrass (*Lolium multiflorum* and *Lolium perenne*). *Plant physiol.*, 64, 557-561.
- 34) 位田藤久太郎・永井輝行 (1981) . 光不足条件下における施設作物の栄養生理と肥培に関する研究. 福井県短大紀要, 6, 1-19.
- 35) 安井秀夫・本多藤雄 (1982) . 野菜の生育制御に関する生態学的研究. II. トマト, キュウリの生長に対する光と窒素形態の影響. 野菜試報, C6, 1-19.