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¹

池田 英男・大沢 孝也
大阪府立大学農学部 591 堺市百舌鳥梅町

Effects of Ratios of NO_3 to NH_4 and Concentrations of each N Source
in the Nutrient Solution on Growth and Leaf N Constituents
of Vegetable Crops and Solution pH

Hideo IKEDA and Takaya OSAWA
College of Agriculture, University of Osaka Prefecture, Sakai, Osaka 591

Summary

Two experiments were carried out in order to investigate the effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on growth and leaf N constituents of vegetable crops and solution pH. In the first experiment, 10 kinds of vegetables such as cucumber, lettuce, etc. were grown with nutrient solution containing total N of 3 (low-N series) or 12 me/l (high-N series). Seven ratios of NO_3 to NH_4 were employed at each N concentration. In the second experiment, lettuce, cabbage, garland chrysanthemum and spinach were grown with nutrient solution in which N was supplied as follows; NO_3 (1~24 me/l) series, NH_4 (1~12 me/l) series, NO_3 4 me/l+ NH_4 (1~12 me/l) series and NO_3 12 me/l+ NH_4 (2~12 me/l) series. In both experiments, solution pH was daily checked and adjusted to 6.0. Vegetable crops were grown in a greenhouse for about 3 weeks.

In general, NH_4 nutrition resulted in higher leaf NH_4 -N concentration and reduced plant growth compared with NO_3 nutrition. This toxic effect of NH_4 , however, was reduced or alleviated and leaf NH_4 -N concentration was decreased with combined application of small amount of NO_3 . The obvious enhancement of growth rate was observed from the addition of NH_4 to nutrient solution containing 4 or 12 me/l NO_3 .

The concentration of leaf NO_3 -N was increased with increasing NO_3 concentration in the nutrient solution. In the low-N series, leaf NO_3 -N concentration of all leaf vegetables was lowered with increasing ratio of NH_4 in the nutrient solution. In the high-N series, however, lowering of leaf NO_3 -N concentration was hardly recognized in such vegetables as Chinese cabbage, spinach, etc. which absorbed NO_3 dominantly, even if the ratio of NH_4 in the nutrient solution increased.

Solution pH increased under NO_3 nutrition and decreased severely under NH_4 nutrition. When plants were grown with NO_3 + NH_4 , solution pH decreased irrespective of the ratio of NO_3 to NH_4 in the nutrient solution in vegetables which absorbed NH_4 dominantly (for example cucumber, lettuce, etc.). While in vegetables which absorbed NO_3 dominantly (for example tomato, spinach, etc.), solution pH was kept relatively constant for a long period when plants were grown in the suitable ratio of NO_3 to NH_4 .

緒 言

著者らはこれまで、20 数種のそ菜を供試して、N 形態に対する生育反応を水耕法により検討してきた。その結

果、N 源として NH_4 のみを施用すると生育を阻害されるそ菜が多いが、 NO_3 と NH_4 を等量併用すると NO_3 のみを施用した場合よりも良好な生育を示すものがあることを報告した(4, 5, 6)。また一般に培養液の pH は、

¹ 1983 年 3 月 17 日 受理

NO_3 のみをN源にすると上昇気味に推移し、 NH_4 のみを施用すると逆に著しく低下するが、両Nが共存するとそ菜によっては pH 変化が小さくなる(7)。水耕栽培のように、施用したN肥料の形態変化がほとんど起こらない条件下では、そ菜の生育に適したN施肥を行うという意味で、培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度や比率を考慮することは、栽培上重要と思われる。ところで、我が国におけるこれまでの養液栽培では園試処方均衡培養液が用いられることが多く、 NO_3 を主なN源として肥培されている。そのため、栽培期間中に培養液の pH は上昇傾向を示す場合が多く、pH 調整に手間がかかること、N源として KNO_3 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ を用いるために培養液中のN濃度を変えようとすると付随的に K, Ca の濃度も変化すること、食品としてしばしば問題となる植物体中の NO_3 濃度が高くなりやすいこと、一般に葉色が淡く、ネギなどでは葉が折れやすいこと、など幾つかの問題点が認められている。しかし著者らの行ったこれまでの実験結果から、養液栽培でN源として NH_4 をうまく併用すれば、上記の諸問題点の解決のほか、生育や収量の増加の可能性も考えられる。

本実験はこのような観点から、養液栽培におけるN施肥を考えるための基礎資料を得ることを目的として行ったものである。実験1では培養液中の全N濃度を一定にした場合の NO_3 と NH_4 の比率が、実験2では培養液中に常に一定濃度の NO_3 が共存する場合の NH_4 濃度が、そ菜の生育、葉中N成分並びに培養液の pH に及ぼす影響について検討した。

材料及び方法

実験1. 培養液中の NO_3 と NH_4 の濃度並びに比率の影響

供試そ菜は第1表上段に示す10種類であり、既報(4)と同様の方法で育苗した。水耕試験はこれまでのように、ガラス室内において直径約42cm、容積約15lのポリプロピレン製容器を用い、1容器当たり14lの培養液を与え、ブローで連続通気して行った。1容器に4～8株を植え、2反復の処理とした。

処理は既報(5)と同様の共通基本培養液(N欠除液)に、 NaNO_3 と $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を加用して行い、me/l 値で NO_3/NH_4 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(第1図)。この場合、 NO_3 単用区、 NH_4 単用区以外の処理区の NO_3/NH_4 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 は毎日1回測定し、その都度6.0に調節した。各そ菜は原則として3週間栽培したが、いずれの場合も途中2～3回液替えを行った。

収穫した植物体は生育調査の後熱風乾燥し、乾物重を求めた。また葉の全N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ を既報(4)同様の方法で分析した。

実験2. 培養液中に一定濃度の NO_3 が共存する場合の NH_4 濃度の影響

供試そ菜は第1表下段に示す4種類であり、育苗や水耕栽培の方法は実験1と同じである。

処理は、実験1と同様の共通基本培養液に NaNO_3 と $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を加用し、第5表に示すように NO_3 単用(1～24 me/l) シリーズ、 NH_4 単用(1～12 me/l) シリーズ、及び NO_3 4 me/l + NH_4 (1～12 me/l) シリーズ、 NO_3 12 me/l + NH_4 (2～12 me/l) シリーズの4シリーズ

Table 1. Vegetables used in the experiment.

	Vegetable	Cultivar	Number of fully expanded leaves at the start of treatment
Exp. 1	Sweet corn	Honey Bantam	3～4
	Cucumber	Kongō	1
	Tomato	Fukuju No.2	4
	Sweet pepper	California Wonder	4～5
	Tender soybean	Hakuchō	2
	Lettuce	Great Lakes 366	4～5
	Cabbage	Shikidori	4
	Chinese cabbage	Ōshō	4～5
	Spinach	New Asia	4～5
	Turnip	Kanamachi Kokabu	4～5
Exp. 2	Lettuce	Great Lakes 366	4～5
	Cabbage	Shikidori	3～4
	Garland chrysanthemum	Chūyō	4～5
	Spinach	New Asia	4

Fig.1 Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on growth of vegetables.

計 20 区を設け、2 反復の実験とした。培養液の pH は毎日 1 回測定し、その都度 6.0 に調節した。各そ菜は原則として 3 週間栽培し、途中 3～4 回の液替えを行った。分析用試料の調整や分析方法は実験 1 と同様である。

結 果

実験 1.

生 育：第 1 図に示すように、低 N (左側) の場合の NH_4 害はダイズ、ホウレンソウで特に著しく、1.5/1.5 区で既に生育低下が認められた。培養液中の NH_4 の比

率がそれ以上に高まると著しく生育不良となり、地上部重は 0/3.0 区は 3.0/0 区の 20～30% しかなかった。トマト、キャベツ、カブでは 0.5/2.5 区において 3.0/0 区の 80% 以下の生育量となり、 NH_4 による生育阻害が認められたが、これより NO_3 の比率が高い場合には NH_4 害はほとんど認められなかった。一方トウモロコシやレタスは供試そ菜の中では NH_4 害が最も軽微であり、0/3.0 区でのみ明らかな NH_4 害が認められた。

高 N (第 1 図右側) の場合、ダイズ、ホウレンソウでは他の供試そ菜より NH_4 害が顕著に認められ、2/10 区では 12/0 区の 60～70%、0/12 区では 20～30% の地上部重でしかなかった。またこれら 2 種以外のそ菜では 0/12 区でのみ生育低下が認め

られ、2/10 区以上に高比率に NO_3 が施用された処理区では、 NH_4 害はほとんど生じなかった。

ところで低 N の場合、トウモロコシでは 3.0/0 区に比べ、2.0/1.0～0.5/2.5 区の範囲内では NH_4 の比率が高まるほど生育は良好となり、1.0/2.0 区では 3.0/0 区を 10% ほど上回る地上部重となった。またトウガラシ、レタス、キャベツ、ハクサイなどでも、 NO_3 単用に比べ NH_4 併用による地上部重の増加が認められた。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

Table 2. Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on total N concentration in vegetable leaves (% dry weight).

Treatment (me/l)		Sweet corn	Cucumber	Tomato	Sweet pepper	Tender soybean	Lettuce	Chinese cabbage	Spinach	Turnip
NO_3	NH_4									
3.0	0	4.08	5.01	5.15	5.36	5.62	5.55	6.14	5.53	5.08
2.5	0.5	4.12	5.08	5.27	5.77	5.46	5.37	6.41	5.73	5.05
2.0	1.0	4.33	5.32	5.46	5.79	5.84	5.38	6.28	5.72	5.33
1.5	1.5	4.02	5.62	5.56	5.64	5.78	5.14	6.27	5.56	5.19
1.0	2.0	3.94	5.40	6.00	6.39	5.39	5.40	6.30	5.50	5.09
0.5	2.5	4.05	6.17	6.03	6.41	4.91	5.47	6.02	5.90	5.41
0	3.0	4.48	6.13	6.59	6.73	5.08	5.25	5.97	6.34	5.36
12	0	4.58	5.84	5.76	5.86	5.15	5.67	6.49	5.89	6.44
10	2	5.26	6.83	6.49	6.81	6.17	6.05	6.66	6.15	6.49
8	4	5.01	6.78	6.61	7.00	5.95	6.13	7.50	6.21	6.16
6	6	4.86	6.88	6.61	7.00	5.90	5.84	7.19	6.33	6.78
4	8	4.95	7.08	6.63	7.05	6.47	6.02	7.37	6.27	6.40
2	10	4.75	6.67	6.76	7.08	5.58	5.90	7.02	6.16	5.86
0	12	4.76	6.91	7.07	7.64	5.51	5.59	6.27	7.02	6.10

Table 3. Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on $\text{NH}_4\text{-N}$ concentration in vegetable leaves (% dry weight).

Treatment (me/l)		Sweet corn	Cucumber	Tomato	Tender soybean	Lettuce	Chinese cabbage	Spinach	Turnip
NO_3	NH_4								
3.0	0	0.032	0.028	0.073	0.014	0.043	0.066	0.045	0.098
2.5	0.5	0.028	0.028	0.085	0.016	0.052	0.085	0.047	0.105
2.0	1.0	0.027	0.031	0.083	0.017	0.059	0.194	0.038	0.112
1.5	1.5	0.029	0.037	0.075	0.021	0.071	0.227	0.048	0.117
1.0	2.0	0.038	0.040	0.109	0.023	0.105	0.205	0.063	0.159
0.5	2.5	0.049	0.051	0.112	0.029	0.139	0.290	0.059	0.114
0	3.0	0.062	0.056	0.136	0.030	0.146	0.459	0.085	0.210
12	0	0.035	0.028	0.046	0.015	0.041	0.079	0.051	0.085
10	2	0.033	0.030	0.043	0.014	0.099	0.150	0.047	0.095
8	4	0.043	0.034	0.049	0.015	0.146	0.216	0.040	0.126
6	6	0.044	0.046	0.056	0.017	0.133	0.272	0.049	0.171
4	8	0.049	0.054	0.072	0.018	0.177	0.274	0.052	0.185
2	10	0.050	0.064	0.095	0.015	0.207	0.292	0.051	0.205
0	12	0.074	0.062	0.153	0.030	0.212	0.615	0.114	0.499

Table 4. Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in vegetable leaves (% dry weight).

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
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

められ、キャベツでは 10/2~2/10 区の各区において、12/0 区より 10~20% 程度地上部重が多かった。同様にトウモロコン、トウガラシ、ダイズ、レタス、カブでも 10/2~6/6 区の一部の区で 10% 程度の地上部重の増加が認められた。

葉中 N 成分：葉中全 N 濃度（第 2 表）は、低 N、高 N 両シリーズとも、トマト、トウガラシでは培養液中の NH_4 の比率が高まるにつれて高まったが、他のそ菜では必ずしも一定の傾向は認められない場合が多かった。

葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度（第 3 表）は、一般に NH_4 単用区で最も高く、培養液中の NH_4 の比率が低くなるにつれて低くなる傾向が認められた。低 N（上段）の場合、ハ

Fig. 2. Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on the change of solution pH.

クサイ、カブでは NH_4^+ 単用区での $\text{NH}_4\text{-N}$ の著しい蓄積に比べると、両N併用区ではいずれもかなり低下した。高N（下段）では上記2種のほかトマト、ダイズ、ハウレンソウなどでも同様の傾向が認められた。

葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度（第4表）は、一般に NO_3^- 単用区で最も高く、培養液中の NO_3^- の比率が低くなるにつれて低下したが、 NO_3^- と NH_4^+ の比率が同じ場合、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。また培養液中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比が同じ場合、いずれのそ菜においても高Nシリーズのほうが低Nシリーズよりも葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は高かった。更にハクサイ、ハウレンソウ、カブでは、4/8 区のように培養液中の NH_4^+ の比率が高い場合でも、3.0/0 を上回る葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度を示した。

培養液の pH：第2図は、高Nシリーズの中の4区を代表して、3週間の処理期間のうち中期あるいは後期における、培養液更新後の pH 変化を示したものである。培養液の pH は、いずれのそ菜でも NO_3^- 単用区（12/0）では上昇し、 NH_4^+ 単用区（0/12）では著しく低下した。両N併用の場合、トウモロコシ、キュウリ、レタスなどでは、 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比の大小にかかわらず pH の低下が著しく、 NH_4^+ 単用の場合とほとんど変わらなかった。これに対し、ハウレンソウ、カブなどでは 8/4 区ないし 4/8 区のように、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認められた。

実験2.

生育：第3図のように、レタスは NH_4^+ シリーズでも NO_3^- シリーズに近い生育を示したのに対し、ハウレンソウは NH_4^+ シリーズでの生育は著しく不良であり、キャベツ、シュンギクは両者の中間であった。このように、 NH_4^+ のみをN源とした場合、そ菜の生育は種類によってかなりの差異が認められた。

次に、 NO_3^- シリーズにおける生育を基準にして NO_3^- と NH_4^+ の併用効果についてみると、 NO_3^- 4 me/l + NH_4^+ シリーズの場合、レタス、キャベツでは NH_4^+ 1~8 me/l までは NO_3^- シリーズよりも明らかに生育良好であり、 NH_4^+ 12 me/l でも NO_3^- 16 me/l と同程度の生育を示した。シュンギクでも NH_4^+ 1~4 me/l では、N濃度の等しい NO_3^- 区より 20~25% 生育が促進された。またハウレンソウでも、 NH_4^+ 1~4 me/l までは NO_3^- シリーズを

Fig.3 Effects of ratios of NO_3^- to NH_4^+ and concentrations of each N source in the nutrient solution on growth of vegetables.

かなり上回る生育量であったが、それ以上の NH_4^+ 濃度では両N併用による生育促進効果は認められなかった。

一方 NO_3^- 12 me/l + NH_4^+ シリーズの場合にも生育促進効果が認められ、 NH_4^+ の共存によりそれぞれのそ菜で最も生育が良い場合には、 NO_3^- 区を 15~30% 上回る生育となった。

葉中N成分：処理終了時の葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度（第5表）は、いずれのそ菜においても NO_3^- シリーズでは 0.03~0.04% 程度の低い値を示したのに対し、 NH_4^+ シリーズでは 0/1 区においてすら NO_3^- シリーズの最高値を上回っており、培養液中の NH_4^+ 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 NH_4^+ 処理濃度でも NO_3^- が 4 me/l 併用された場合には葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は大幅に低下し、レタスでは 4/12 区は 0/12 区の 2/3、キャベツ、ハウレンソウでは同じく 1/3 程度であった。このような NO_3^- 4 me/l 併用時に認められた葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 蓄積の抑制効果は、 NO_3^- 12 me/l 併用の場合にも同様に認められた。

葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度（第5表）は、 NH_4^+ シリーズではいずれもこん跡程度であった。これに対し、 NO_3^- シリーズでは培養液中の NO_3^- 濃度の増加につれて葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も顕著に増加し、24/0 区は 1/0 区と比べレタスでは約 6 倍、キャベツでは約 15 倍、ハウレンソウでは約 8 倍もの高濃度であった。

一方 NO_3^- 4 me/l + NH_4^+ シリーズの場合、レタスの葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度はいずれの NH_4^+ 併用区も 4/0 区よりかなり低くなったが、培養液中の NH_4^+ 濃度にも影響され、 NH_4^+ 濃度が高くなるにつれて葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は低

Table 5. Effects of ratios of NO_3 to NH_4 and concentrations of each N source in the nutrient solution on $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ concentration in vegetable leaves (% dry weight).

Treatment (me/l)		$\text{NH}_4\text{-N}$			$\text{NO}_3\text{-N}$		
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

下した。キャベツでも NH_4 併用では 4/0 区よりも葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度が低かったが、培養液中の NH_4 濃度の影響はあまり明らかではなかった。これに対し、ホウレンソウでは NH_4 併用の効果がほとんど認められなかった。また NO_3 12 me/l に NH_4 を併用した場合は、 NO_3 4 me/l に NH_4 を併用した場合に比べ一般に葉中 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は高くなり、培養液中の NH_4 濃度の影響は判然としなかった。

培養液の pH: NO_3 シリーズではいずれの処理区とも培養液の pH は上昇し、 NH_4 シリーズでは逆に著しく低下した。また両 N 併用の場合には実験 1 と同様に、そ菜によって pH 変化が異なった。すなわち両 N 併用の場合、レタスはいずれの比率でも培養液の pH はかなり低下した。シュンギクもレタス同様低下の傾向を示したが、変化の程度はレタスよりかなり小さかった。これに対しホウレンソウでは、4/1 区、4/2 区及び NO_3 12 me/l + NH_4 シリーズの全区において、pH はほとんど変わらないか、やや上昇気味となった。また 4/4~4/12 の各区では、液替え直後は安定していたが日数が過ぎるとやや低下した。

考 察

実験 1 における高 N シリーズの場合、ダイズ、ホウレンソウを除くそ菜では、10/2 区から 2/10 区までは 12/0 区と同程度ないしこれを上回る生育となり、0/12

区でのみ NH_4 害による生育低下が認められた。このことから、極端に NH_4 害を受けやすいそ菜を除くと、比較的低濃度の 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。ところで、葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はいずれのそ菜においても NH_4 単用区で最も高く、培養液中の NH_4 の比率が低下するにつれて低くなった。著者らは既にダイズ、ホウレンソウなどごく一部のそ菜を例外として、多くのそ菜では NH_4 害と葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度との間に関連が認められ、 NH_4 を N 源とした場合に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葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が高いことを報告した(4, 5, 6)。

本実験において、 NH_4 単用区で葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が著しく高く生育不良となったそ菜でも、2/10 区のように少量でも NO_3 が併用されれば葉中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度はかなり低下し生育が改善されたことは、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(2, 3)は、ハツカダイコンの NH_4 害に及ぼす共存 NO_3 の影響を検討した結果、 NH_4 害は NO_3 の共存により除去あるいは軽減されるが、それには培養液中の N 濃度よりも NO_3 と NH_4 の比率のほうが必要で、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、と報告している。また NO_3 による

NH_4^+ 害軽減効果については、共存 NO_3^- が NH_4^+ の同化を促進し植物体中の NH_4^+ 蓄積を減らすことによるとしている。このように施用N形態が生育に及ぼす影響に関して、N濃度よりも両Nの比率のほうが重要であるとする考え方は、McElhannon and Mills(10)も示している。

一方、実験1の低Nシリーズの場合には、トウモロコシ、レタスでは0/3.0区でのみ生育不良となったが、ダイズ、ハウレンソウでは1.5/1.5区で生育低下が認められ、0/3.0区ではそれぞれ3.0/0区の25、35%の地上部重にすぎなかった。またトマト、カブでも1.0/2.0以上に NH_4^+ の比率が高まると NH_4^+ 害が認められ、0.5/2.5区では3.0/0区の65~70%の地上部重となった。以上のように NO_3^- と NH_4^+ の比率が同じであっても、低Nと高Nの両シリーズを比較すると NH_4^+ 害の程度はかなり異なり、培養液中の全N濃度が低い場合に NH_4^+ 害が強く発現したことは興味深い。これは0.5~1.5 me/l というような低濃度の NO_3^- では、 NH_4^+ 害の防止には十分な役割を果たさないことを示すとも解釈できる。しかし、ダイズ、ハウレンソウ、トマト、カブなど本実験において NH_4^+ 害が著しく現れたそ菜はいずれも、両N共存下で NO_3^- を優先的に吸収する傾向の強いそ菜であること(7)から、本実験のような灌水方式で栽培した場合には、培養液中の NO_3^- が吸収し尽くされた後に、残った NH_4^+ で害が引き起こされた可能性も考えられる。

ところで実験1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場合がしばしば認められたが、このような効果は実験2において改めて確認された。両N併用のほうが NO_3^- 単用よりも良いとする例は、これまでレタス(10,14)、トウモロコシ(11)、ハツカダイコン(12)、マメ類(10)、コムギ(1)などで報告されている。一方、岩田・谷内(8)はトマト、ハウレンソウなど6種のそ菜をれき耕栽培した結果から、一般そ菜は NO_3^- を与えたほうが生育収量ともに大で NH_4^+ では劣るが、 NH_4^+ でもその半分が NO_3^- で代替されれば全部が NO_3^- の区に充分匹敵するとしているものの、両N併用で NO_3^- 単用より生育が良くなる可能性については言及していない。ここで植物体内でのN同化について NO_3^- と NH_4^+ を比較すると、吸収された NO_3^- は一度 NH_4^+ に還元されないと同化利用できないが、 NH_4^+ はそのまま同化されるので、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源としてはむしろ NH_4^+ のほうが NO_3^- よりも優れた面があるとも考えられる。実験2において NO_3^- のみをN源とした場合、培養液中の NO_3^- 濃度を高めると葉中 NO_3^-/N 濃度も次第に高まる傾向がみられた。し

かしそ菜の生育量は4 me/l までは施用 NO_3^- 濃度の高まりと共に増加したが、そこではば一定に達し、それ以上施用 NO_3^- 濃度を高めても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で、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 NO_3^-/N 濃度は、両N併用に比べ NO_3^- 単独施用の場合に高く(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 $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比の影響が明らかに認められ、施用 NO_3^- の比率の低下に伴い葉中 NO_3^-/N 濃度も低下した。しかし高Nでは、培養液中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比の影響は余り認められず、ハクサイ、ハウレンソウ、カブでは4/8区以上に NO_3^- 濃度が高いと低Nシリーズの3.0/0区を上回る葉中 NO_3^-/N 濃度となり、培養液中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比よりも NO_3^- 濃度の影響が顕著に現われた。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 NO_3^-/N 濃度が低下したものの、キャベツ、ハクサイでは 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、 NH_4^+ 併用によって葉中 NO_3^-/N 濃度はほとんど低下しなかった。培養液中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比あるいは両N濃度が葉中 NO_3^-/N 濃度に及ぼす影響については、既報のようなそ菜の NO_3^- 、 NH_4^+ 吸収特性(7)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 NO_3^-/N 濃度は低下する。しかし、キャベツ、ハクサイのように、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、葉中 NO_3^-/N 濃度の低下は余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(8)。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、そ菜を大きく二つのグループに分けることができる。一つは両N併用の場合は培養液中の NO_3^- と NH_4^+ の比率に関係なく常に 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(7)。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、実験期間中 pH の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(7)。既報(7)のように、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や age、培地の pH や温度などによって異なる。したがって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

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 に及ぼす影響を検討した。実験1では、キュウリ、レタスなど10種を供試して、培養液中の $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ 比が me/l で 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。また実験2では、レタス、キャベツなど4種を供試して、 NO_3^- (1~24 me/l) シリーズ、 NH_4^+ (1~12 me/l) シリーズ、 NO_3^- 4 me/l + NH_4^+ (1~12 me/l) シリーズ、 NO_3^- 12 me/l + NH_4^+ (2~12 me/l) シリーズの計20区を設けた。実験1,2ともに培養液の pH は毎日1回測定して、その都度6.0に調節し、原則として3週間栽培した。

NO_3^- 施用の場合に比べて、 NH_4^+ 施用では一般に葉中 NH_4^+-N 濃度が高く、生育は阻害された。しかし少量の NO_3^- の併用により葉中 NH_4^+-N 濃度は低下し、 NH_4^+ 害は軽減あるいは防止された。また NO_3^- 4あるいは12 me/l に NH_4^+ を併用した場合には、 NO_3^- のみを施用した場合よりも生育は明らかに促進された。

葉中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 濃度は、培養液中の NO_3^- 濃度が高まるにつれて高くなった。また低Nシリーズでは、いずれの葉菜も培養液中の NH_4^+ の比率が高まるにつれて葉中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 濃度は低下したが、高Nシリーズではハクサイ、ホウレンソウなど NO_3^- を優先的に吸収するそ菜では、培養液中の NH_4^+ の比率が高まっても葉中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 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^- のみを施用すると上昇し、 NH_4^+ のみでは著しく低下した。両N併用の場合、キュウリ、レタスなど NH_4^+ を優先的に吸収するそ菜では、培養液中の NO_3^- と NH_4^+ の比率にかかわらず pH は低下した。一方、トマト、ホウレンソウなど NO_3^- を優先的に吸収するそ菜では、両Nの比率が適当な値の場合には、実験期間中培養液の pH はあまり変化しなかった。

引用文献

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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 NH_4^+-N 及び $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 蓄積の差異. 園学雑. 49 : 563—570.
7. 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.
8. 岩田正利・谷内武信. 1953. 窒素形態の差異とそ菜の生育. 園学雑. 22 : 183—192.
9. 加藤徹. 1965. レタスの施肥に関する基礎的研究. 高知大学研報. 第14巻. 自然科学Ⅱ. 7 : 49—60.
10. 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. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8 : 677—687.
11. SCHRADER, L. E., D. DOMSKA, P. E. JUNG, Jr. and L. A. PETERSON. 1972. Uptake and assimilation of ammonium-N and nitrate-N and their influence on the growth of corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 64 : 690—695.
12. WEIR, B. L., K. N. PAULSON and O. A. LORENZ. 1972. The effect of ammoniacal nitrogen on lettuce (*Lactuca sativa*) and radish (*Raphanus sativus*) plants. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 36 : 462—465.