

ハツカダイコンおよびニンジンの生育と体内成分におよぼす 施用窒素形態の影響

誌名	園藝學會雑誌
ISSN	00137626
著者	太田, 和子 山本, 幸男
巻/号	56巻2号
掲載ページ	p. 193-201
発行年月	1987年9月

ハツカダイコンおよびニンジンの生育と 体内成分におよぼす施用窒素形態の影響¹

太田 和子・山本 幸男

名古屋大学農学部 464 名古屋市千種区

Effects of Nitrogen Source on Growth and Chemical Constituents in Radish and Carrot Plants

Kazuko Ota and Yukio Yamamoto

School of Agriculture, Nagoya University, Chikusa, Nagoya 464

Summary

While radish and carrot plants, respectively, sensitive and tolerant to NH_4^+ were grown in aerated nutrient solutions containing NO_3^- or NH_4^+ or NO_3^- plus NH_4^+ , growth and chemical constituents in their leaves and root portions were examined.

The radish plants grew poorly in NH_4^+ -solution, but well in solutions of NH_4^+ plus NO_3^- (10 : >1). A large quantity of NH_4^+ was accumulated in the radish leaves with NH_4^+ -supply, whereas the NH_4^+ -level was 50% low with NH_4^+ plus NO_3^- (10 : 1) supply. The NH_4^+ -toxicity on plant growth was thus overcome with the simultaneous supply of a small amount of NO_3^- . The values of titratable acidities in roots and leaves of the radish plants supplied with NH_4^+ were high, whereas those supplied with NH_4^+ plus NO_3^- were low and those supplied with only NO_3^- were the lowest.

On the other hand, the carrot plants in NH_4^+ -solution grew well and showed the similar growth with the NO_3^- -fed plants. The carrot plants in the solution of NH_4^+ plus NO_3^- (10 : 1) also grew well. The carrot plants always contained lower NH_4^+ than radish plants with any nitrogen sources. The carrot plants showed almost the same value in titratable acidity regardless of any nitrogen sources.

The contents of Ca and Mg per dry weight in radish and carrot plants were high with NO_3^- -supply and low with NH_4^+ -supply or with NH_4^+ plus NO_3^- (10 : 1) supply. The contents of K per dry weight in these plants were almost the same among NH_4^+ -, NO_3^- -, and NH_4^+ plus NO_3^- -supplies. Besides, both radish and carrot plants grown in NO_3^- -nutrition contained some organic acids at high levels per fresh weight, but those in NH_4^+ - or NH_4^+ plus NO_3^- -nutrition showed low contents of organic acids.

The variations in contents of Mg, Ca, K per dry weight and of organic acids per fresh weight are not directly correlated with the NH_4^+ -toxicity on growth; because in both radish and carrot, differences in the contents of Ca, Mg and organic acids between NH_4^+ -fed plants and NO_3^- -fed plants were observed, but no difference in these contents was observed between the NH_4^+ -fed plants which grew poorly and the NH_4^+ plus NO_3^- -fed plants which grew well. The NH_4^+ -toxicity on radish growth is, thus, closely related to the increases of NH_4^+ -level and titratable acidity in the leaves.

緒 言

そ菜類の生育は、施用窒素が硝酸態であるか、アンモ

ニア態であるかによって、また両者の混合割合によって、様々な違いがあらわれる。 NH_4^+ で生育させると、種によって生育阻害があらわれ、またその程度も異なること(9, 10, 11, 24, 29, 31), また、 NH_4^+ で生育が悪くても NO_3^- を混合することによって生育が良好になる

¹ 1986年8月15日 受理

本研究の概要は昭和58年度園芸学会秋季大会に報告した。

種があること(6, 12)などが明らかになっている。また NH_4^+ と NO_3^- で育てた植物の体内成分の差を調べた報告もいくつかある(7, 8, 14, 16, 17)。しかし、まだ生育差のあらわれる機構は明らかでなく、種によって様々のタイプがあることが示唆されている。

本研究では、 NH_4^+ の直接の害を受けるとされているハツカダイコン(6, 24)と、 NH_4^+ には比較的強いエンジン(11, 31)とを材料にして、 NH_4^+ 害があらわれる機構と、少量の NO_3^- 混合によって NH_4^+ 害が除去される機構を明らかにすることを目的に、生育、植物体内の NH_4^+ -N 含量、無機成分含量、有機酸含量等について調べた。

材料および方法

実験植物および栽培法

本実験には、ハツカダイコン (*Raphanus sativus* L. radicula group) 品種‘赤丸二十日’とエンジン (*Daucus carota* L.) 品種‘旭光新大型五寸’を用いた。

ワグナーポット (a/5000) 上にパーミキュライトをつめたザルを置き、その中に播種し、子葉展開時までは水道水で育て、その後培養液で生育させた。あるいは、砂床に播種し、7~10日後に培養液を入れた a/5000ワグナーポットに移植し、発泡スチロールで支持した。培養液の窒素成分については、特にことわらない限り、 NaNO_3 、 NH_4NO_3 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ を使用して、それぞれの実験に供した。窒素成分以外の組成は、多量要素として、mM 濃度で、 KH_2PO_4 1、 K_2SO_4 2、 MgSO_4 2、 CaCl_2 4、微量元素として、mM 濃度で、 MnSO_4 0.001、 ZnSO_4 0.001、 CuSO_4 0.001、 H_3BO_3 0.05、 Na_2MoO_4 0.0005、 NaCl 0.1、 CoSO_4 0.0002、 Fe-EDTA 0.005を用いた。培養液は7~10日ごとに交換し、pH は6.0に1N-NaOH と1N-HCl で1日おきに調整した。ポット内は常に通気を行なった。植物体の生育条件はそれぞれの図表に示した。発芽後時々間引きを行なって、それぞれの実験の採取時期や植物体の大きさにより1ポットあたり3~10本とした。

植物体成分の分析

試料採取後、新鮮重を測定し、70°C で通風乾燥し、乾重を測定した。全窒素はガニング変法で分析した(28)。 NH_4^+ -N はネスラー法で定量した(18)。金属元素およびリンは、湿式灰化した試料を、Kについては炎光分析、Ca と Mg については原子吸光分析、Pについては硫酸モリブデン法で定量した(28)。滴定酸度の測定は、新鮮試料 10g を煮沸後磨砕し、遠心分離した上澄液をとり、ガラス電極 pH メーターで測定しながら pH 7.0 になるよう 0.02 N NaOH で滴定した。有機酸の分析では、新

鮮試料をエタノール抽出し、イオン交換樹脂を用いて、塩基性画分を分離調整した。これを高速液体クロマトグラフ (日立655) で分析した。カラムは日立3013-N、8 mm ϕ × 150 mm)、移動相は 0.1 M Na_2HPO_4 -0.03 M NaCl、検出は UV 210 nm で行なった。各種有機酸を標品として、ピークを同定した。また、リンゴ酸とコハク酸、クエン酸と α -ケトグルタル酸はピークが重なったため、下記の方法で定量した(2)。リンゴ酸は、リンゴ酸脱水素酵素によるリンゴ酸分解に伴う、NADH の生成を A_{340} の増加で測定した。コハク酸はスクシニル CoA 合成酵素、ピルビン酸キナーゼ、乳酸脱水素酵素の反応をカップルさせ、NADH の減少で測定した。クエン酸は、クエン酸リアーゼ、リンゴ酸脱水素酵素、乳酸脱水素酵素の反応をカップルさせ、NADH の減少で測定した。 α -ケトグルタル酸は、グルタミン酸脱水素酵素による α -ケトグルタル酸の消費に伴う、NADH の減少で測定した。

結果

1. 生育状況

供給窒素を NO_3^- 単独、 NH_4^+ 単独、 NO_3^- : NH_4^+ =1:1の3形態で与え、全窒素濃度を 0.1 mM から 20 mM の間でそれぞれ5区設けて、ハツカダイコンを水耕栽培し、その生育を比較した。全窒素濃度 0.1 mM 区では、各形態とも窒素欠乏症状を示し、生育は不良であった。 NH_4^+ 1 mM 以上の区で、10日目より葉緑の枯れ、萎れなどが見られた。播種後40日の新鮮重は、 NH_4^+ 区で極端に小さく、特に 5 mM 以上の区で NO_3^- 区、1:1区との差が顕著であった(第1図)。 NO_3^- 区のほうは 5 mM で生育が最大に達し、5 mM を越えてもそれ以上の生育は示さなかった。一方、1:1混合区では、10 mM (すなわち NO_3^- 5 mM + NH_4^+ 5 mM)、20 mM (NO_3^- 10 mM + NH_4^+ 10 mM) と濃度が増加するのにもなつて、葉部の新鮮重が増加し、全新鮮重では 10 mM 以上の濃度で1:1区が NH_4^+ 区に勝った。根部の生育は 1 mM 以上のどの濃度でも NO_3^- 区が最も大きかった。

次に、10 mM の NO_3^- に、 NH_4^+ を 0~10 mM 混合した溶液で栽培したハツカダイコンの生育は、各区で有意な差が認められなかった(第2図)。

一方、 NH_4^+ 10 mM に NO_3^- を 0~10 mM 混合したもので、 NO_3^- が存在しないと極度に生育は劣った(第3図)が、 NO_3^- が加えられると生育は回復し、1 mM 以上の NO_3^- 濃度では、その効果は一定となった。

次に、エンジンとハツカダイコンの施用窒素形態による生育反応の違いを比べるため、それぞれを NH_4^+ 5.5 mM、 NO_3^- 5.5 mM、 NH_4^+ 5 mM + NO_3^- 0.5 mM の3

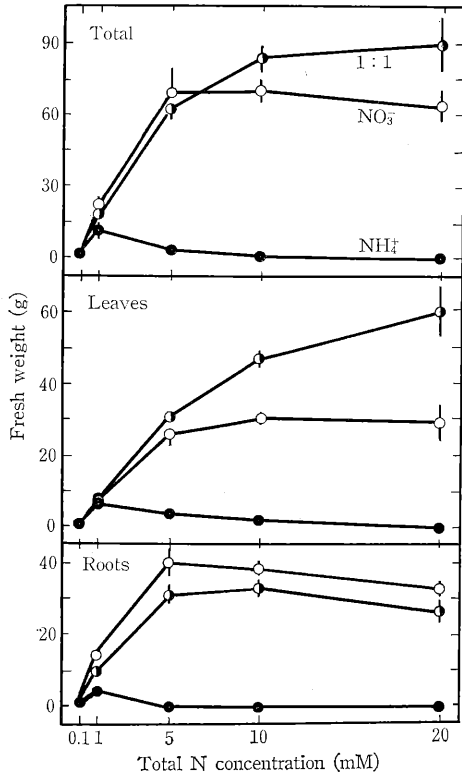


Fig. 1. Effects of different nitrogen sources and their concentrations on the growth of radish plants. They were grown for 40 days after germination. Until 18th day, they were placed in a phytotron (natural light, day: 18°C, night: 15°C) and then transferred to a greenhouse. Vertical bars represent means \pm standard errors ($M \pm SE$). Roots: bulb roots + rootlets

区で栽培を行なった。ハツカダイコンに比べニンジンでは、各区の生育差は少なく、 NH_4^+ による生育阻害もわずかであった(第4図)。また、ハツカダイコン、ニンジンとも、全体の生重は10:1 (NH_4^+ 5mM + NO_3^- 0.5mM) 区で最も大きくなった(第4図)。しかし、ハツカダイコン肥大部の生重は10:1区よりも NO_3^- 区で大きかった。

これまで、 NO_3^- として $NaNO_3$ を与えていたので、ハツカダイコンでの $NaNO_3$ による NH_4^+ 害回復の効果が、 Na^+ ではなく NO_3^- によるものであることを確かめるため、 $Ca(NO_3)_2$ を与えて生育回復の効果を調べた。5mM NH_4^+ に対し、1mM NO_3^- になるよう、すなわち 1/2mM の $Ca(NO_3)_2$ を混合して与えたところ、 NO_3^- 単独と同程度の生育を示し、 NH_4^+ 害はあらわれなくなった(第5図)。

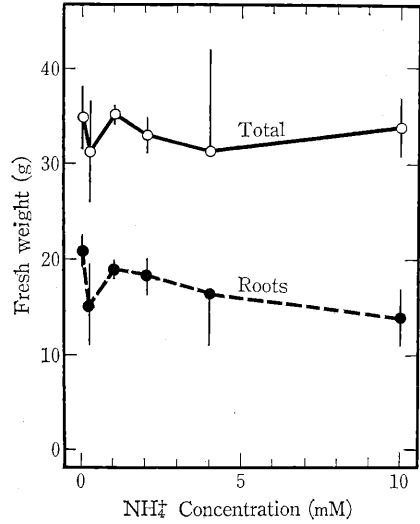


Fig. 2. Effects of ammonium concentrations exogenously supplied on the growth of radish plants in the presence of 10mM nitrate. They were grown for 30 days in a phytotron (natural light, day: 23°C, night: 18°C). Vertical bars represent $M \pm SE$. Roots: bulb roots + rootlets

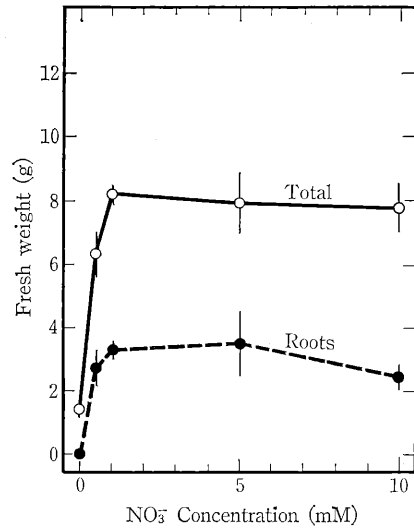


Fig. 3. Effects of nitrate concentrations exogenously supplied on the growth of radish plants in the presence of 10mM ammonium. They were grown for 30 days in a phytotron (natural light, day: 18°C, night: 15°C). Vertical bars represent $M \pm SE$. Roots: bulb roots + rootlets

2. 体内成分の相違

1) 無機多量要素含量

乾物重あたりの窒素含有率は、ハツカダイコンでは、葉・肥大部とも各区間の大きな差はみられず、細根部

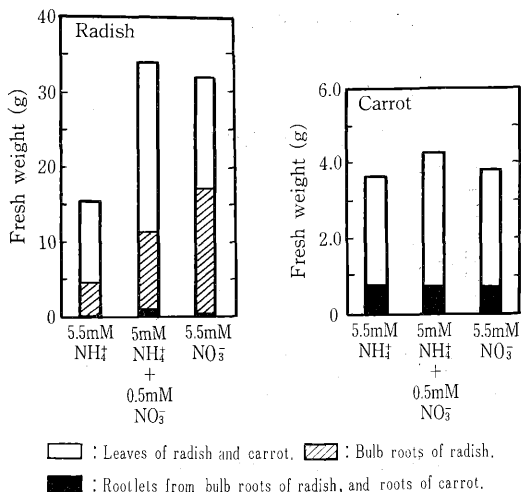


Fig. 4. Effects of different nitrogen sources on the growth of radish and carrot. Radish plants were grown for 44 days. Carrot plants were grown for 49 days. They were placed in a phytotron (natural light, until 14 th day, day : 23°C, night : 18°C, after 14 th days, day : 18°C, night : 15°C).

(肥大部から出ている細い根)ではNO₃⁻区でやや少なかった(第1表)。ニンジンでも、葉部の差はほとんどなく、根部では、ハツカダイコン同様、NO₃⁻単独区で他区より低かった。

ハツカダイコンとニンジンの各器官のK, Ca, Mg含有率を窒素形態の違いで比べると、NH₄⁺区と10:1区で非常に近い値となった。K含有率では、ハツカダイコン、ニンジンとも葉部では、NO₃⁻区が低く、NH₄⁺区、10:1区で高かった。根・肥大部では、種により異なった。Ca含有率は、ニンジン根部を除いて、NO₃⁻区で他区より高くなった。Mg含有率も、NO₃⁻区で高く、NH₄⁺区、10:1区で低くなった。

P含有率は、ハツカダイコンの葉部、肥大部とニンジンの葉部では、NH₄⁺区でやや多く、10:1区、NO₃⁻区の順に少なかった。根部のP含有率は、植物により異なった。

2) NH₄⁺-N 含量

全窒素濃度を5.5mMで育てたときの乾重あたりのNH₄⁺含量は、葉部で特徴的な差を示した(第6図)。ハツカダイコンでは、NH₄⁺区で最も高く、NH₄⁺の10%にあたるNO₃⁻を混合した10:1区では、その半分以下となり、NO₃⁻区では最も少なかった。一方、ニンジンでは、各区ともNH₄⁺-N量は少なく、各区間の差も小さかった。

根部の方は、ハツカダイコン肥大部では各区の差は小さかったが、細根部では10:1区で最も多く、次いで、NH₄⁺区、NO₃⁻区ではそれらの半分程度であった。ニンジンにおいては、葉部に比べ根部は各区ともNH₄⁺含

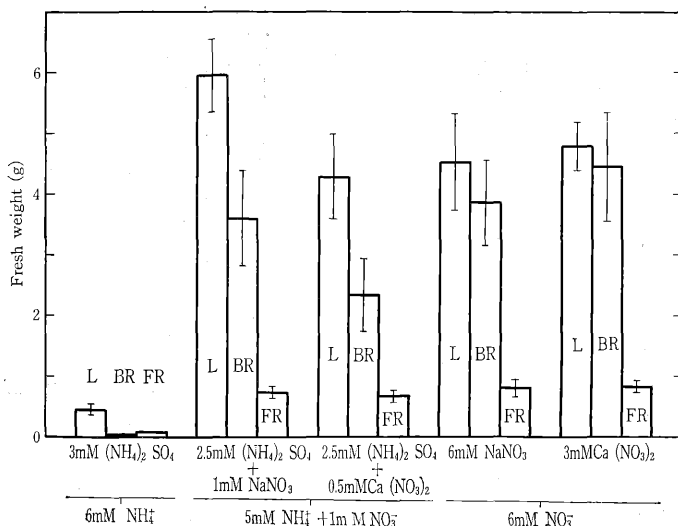


Fig. 5. Palliative effect of nitrate against ammonia toxicity on the growth of radish plants. Radish were transplanted 10 days after germination, and supported by forming styrene. They were grown in a phytotron (natural light, day : 20°C, night : 14°C). They were taken 19 days after transplanting. When Ca(NO₃)₂ was used as sole N source, CaCl₂ was not supplied. Vertical bars represent mean ± SE. L : Leaves. BR : Bulb roots. FR : Rootlets from bulb roots.

Table 1. Effects of different nitrogen sources on contents of inorganic components in radish and carrot. Culture condition was the same as fig. 4. Unit is % dry weight.

			N	K	Ca	Mg	P
Radish	Leaves	5.5mM NO ₃ ⁻	6.38	6.72	2.85	0.53	0.59
		5mM NH ₄ ⁺ +0.5mM NO ₃ ⁻	5.97	8.01	1.57	0.42	0.62
		5.5mM NH ₄ ⁺	6.56	8.01	1.55	0.39	0.68
	Bulb roots	5.5mM NO ₃ ⁻	3.66	7.29	0.58	0.29	0.47
		5mM NH ₄ ⁺ +0.5mM NO ₃ ⁻	3.34	5.26	0.28	0.23	0.56
		5.5mM NH ₄ ⁺	3.69	6.23	0.34	0.23	0.68
	Roots ^z	5.5mM NO ₃ ⁻	4.61	3.05	0.86	0.42	0.62
		5mM NH ₄ ⁺ +0.5mM NO ₃ ⁻	5.50	3.26	0.42	0.31	0.80
		5.5mM NH ₄ ⁺	5.57	3.80	0.40	0.38	0.98
Carrot	Leaves	5.5mM NO ₃ ⁻	5.91	6.63	1.40	0.55	0.82
		5mM NH ₄ ⁺ +0.5mM NO ₃ ⁻	5.92	6.80	1.26	0.48	0.83
		5.5mM NH ₄ ⁺	5.71	6.89	1.24	0.49	0.87
	Roots	5.5mM NO ₃ ⁻	4.07	5.92	0.40	0.81	0.86
		5mM NH ₄ ⁺ +0.5mM NO ₃ ⁻	5.16	4.92	0.45	0.53	0.91
		5.5mM NH ₄ ⁺	5.72	5.04	0.46	0.52	0.86

^z : Rootlets from storage roots

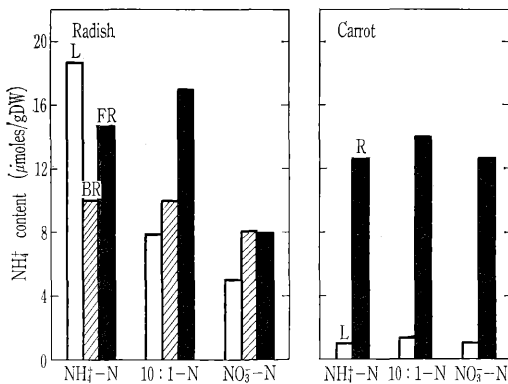


Fig. 6. Effects of different nitrogen sources on contents of NH₄⁺-N. Culture condition was the same as Fig. 4 L : Leaves. BR : Bulb roots of radish. FR : Rootlets from bulb roots of radish. R : Roots of carrot.

量はかなり高く、10:1区が他区に比べやや高かったが、各区の差は少なかった。

3) 滴定酸度

全窒素濃度を変化させた実験で、NO₃⁻ 単独区、1:1区、NH₄⁺ 単独区におけるハツカダイコンの葉をすり碎いて pH を測定したところ、NH₄⁺ 害のでた高濃度の NH₄⁺ 区では pH 5.6 で、NO₃⁻ 区と 1:1 区の pH が 6.2~6.4 であるのに比べて低かった。そこで、滴定酸度を測定したところ、ハツカダイコンでは、細根部、葉部ともに NH₄⁺ 区で最も酸度が高く、次いで 10:1 区、NO₃⁻ 区の順であった (第 7 図)。ニンジンでは、各区の差がほとんどみられなかった。

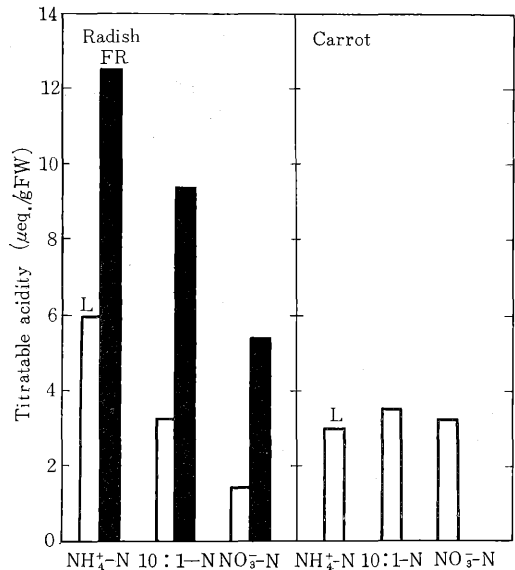


Fig. 7. Effects of different nitrogen sources on titratable acidity. Culture condition was the same as Fig. 4. L : Leaves of radish and carrot. FR : Rootlets from bulb roots of radish.

4) 有機酸含量

水耕に移して 1 週間後のハツカダイコンには、クエン酸、リンゴ酸、コハク酸が主に含まれていた (第 2 表)。NO₃⁻ 区で各有機酸とも最も多く、特に葉部においては、他区に比べ 10~100 倍の含量であった。5mM NH₄⁺+1mM NO₃⁻ 区 (5:1 区) と NH₄⁺ 区を比べると、葉部では 5:1 区の方がかなり高いが、根部では両区とも同レベルであった。

Table 2. Effects of different nitrogen sources on contents of organic acids in radish plants. Plants were transplanted 8 days after germination, and supported by forming styrene. They were grown in a biotron, The System for Biological Fixation of Phtoenergy (14 h. light Ca 1500 lux, day: 20°C, night: 14°C), Nagoya University. They were collected 8 days after transplanting, and used for organic acid analyses. Unit is $\mu\text{moles/g fr wt}$ n. d.: not detectable.

		Cirtate	Malate	Succinate
Leaves	6mM NO_3^-	9.49	3.51	0.51
	5mM NH_4^+ +1mM NO_3^-	0.33	0.24	n. d.
	6mM NH_4^+	0.08	0.11	n. d.
Roots	6mM NO_3^-	0.87	1.33	n. d.
	5mM NH_4^+ +1mM NO_3^-	0.20	0.35	n. d.
	6mM NH_4^+	0.19	0.42	n. d.

Table 3. Effects of different nitrogen sources on contents of organic acids in carrot plants. Culture condition was the same as Fig. 4. Unit is $\mu\text{moles/g fr wt}$

		Malate+Succinate ²	Oxalate	Fumarate
Leaves	5.5mM NO_3^-	16.24	1.04	0.33
	5mM NH_4^+ +0.5mM NO_3^-	2.00	0.44	0.06
	5.5mM NH_4^+	4.70	0.72	0.20
Roots	5.5mM NO_3^-	7.78	3.10	0.09
	5mM NH_4^+ +0.5mM NO_3^-	2.14	1.78	0.03
	5.5mM NH_4^+	2.02	1.50	0.03

²: The Malate+Succinate amounts were calculated from the authentic malate peak

一方、ニンジンでは、播種後49日目のもので、リンゴ酸+コハク酸画分が多く、シュウ酸、フマル酸も含まれていた(第3表)。ハツカダイコンと同様に、 NO_3^- 区で有機酸含量が最も多かった。しかし、他区との差はハツカダイコンより小さく、10倍以下であった。また、10:1区と NH_4^+ 区を比べると、葉部では NH_4^+ 区の方が高く、根部では両区ともほぼ同レベルであった。

考 察

ハツカダイコンにおいては、 NH_4^+ に10%以上の NO_3^- を混合することにより、 NO_3^- 区に匹敵する生育を示した(第3図・第4図)。これは、Goyalら(6)の結果と一致した。一方、池田・大沢(12)も、数種のそ菜で、 NO_3^- と NH_4^+ の混合割合をかえて栽培したところ、全Nが12meのときは、 NH_4^+ に20%以上の NO_3^- を混合することによって、トマト、ピーマン、カブ、ハクサイ、キャベツで、かなり生育が回復するが、全Nが3meのときは効果が小さかったことを報告している。第3図・第4図の実験では、パーミキュライトを支持体として、 NH_4^+ 濃度10mMまたは5mMに対して、 NO_3^- を10%混合することによって、生育の回復が認められたが、砂に播種して発泡スチロールを支持体とする液耕に移植した別の実験系(第5図・第2表)では、5mM NH_4^+ に最低20%の NO_3^- を混合しなければ、 NO_3^- 単独区と同程度の生育は得られなかった。

NH_4^+ と NO_3^- による生育の優劣は植物の種や齡、環境条件によって異なるといわれている。同様に、 NO_3^- 混合による NH_4^+ 害の回避も、種・齡・環境条件等によって影響を受けると考えられる。

ハツカダイコン葉部の生育は、混合区の方が NO_3^- 単独区よりまさっていたが、肥大部も含めて根部の生育は、 NO_3^- 単独区の方がまさっていた(第1図・第4図)。この原因として、混合区では葉部の増加が大きいため、シンクの競合がおこり、肥大部の成長が劣ったのか、あるいは、直接 NH_4^+ または培養液のpH変化が、肥大部の生長に何らかの阻害的な影響を与えた可能性が考えられる。

NH_4^+ 害の原因については、遊離 NH_4^+ や NH_4^+ の代謝産物が原因という以外に、根圏のpHの影響、また、K, Caの吸収阻害等の間接的なものも問題とされている。

pHの影響としては、 NH_4^+ で栽培すると培養液中のpHが低下して生育が阻害されるという機構が考えられる。しかし、ハツカダイコンにおいて、 NH_4^+ 単独区と NH_4^+ +10% NO_3^- 区での培養液のpH変化は、ほぼ同様であるにもかかわらず、生育は混合区ですぐれていた。また、森次ら(24)は、自動pH調整装置を使ってpHを一定に保って栽培しても、ハツカダイコンは NH_4^+ 区で生育が劣ることを報告している。これらのことか

ら、ハツカダイコンが NH_4^+ で生育不良であるのは、培養液 pH の影響ではないと思われる。

NH_4^+ で育てると NO_3^- で育てたものに比べ、植物体中の K, Ca, Mg 含有率が減少し、Pが増加するといわれている(19)。タバコにおいては、 NH_4^+ で育てると K 欠乏が出やすいという報告がある(30)。しかし、本実験では、 NH_4^+ 区での K 含有率の低下は、はっきりみられず、葉部ではかえって NH_4^+ 区で K 含有率は高かった(第1表)。また、Ca, Mg 含有率については、 NH_4^+ 区で低い傾向がみられたが、生育が良好であった 10:1 区においても、 NH_4^+ 区とほぼ同じ含有率であったことから、Ca, Mg 含有率の低下が、 NH_4^+ 区の生育低下の原因とは考えられない。

一方、葉中の NH_4^+ -N 含量と生育との間に、相関がみられた(第6図)。すなわち、生育が不良であったハツカダイコン NH_4^+ 区での含量が高く、生育が回復した 10:1 区では含量が 1/2 以下となり、 NO_3^- 区でも低かった。そして、各区の生育差が小さかったニンジンでは、各区とも葉中 NH_4^+ -N 含量は低かった。池田・大沢(9, 10, 11)は、 NH_4^+ での生育が非常に劣るそ菜の NH_4^+ 区の葉では、例外はあるが、 NH_4^+ が集積することを報告している。

三井・熊沢(23)は、 NH_4^+ によるイネの根の生育阻害は、 NH_4^+ で生育させると根中に増える遊離アミノ酸やグワニジン、プトレシン等によって引き起こされると推定している。根については、この可能性も考えられるが、ハツカダイコンの場合はイネと異なり、葉部にかなりの NH_4^+ が蓄積するので、これがなんらかの阻害作用を及ぼすと考えられる。 NH_4^+ の生理的な害作用としては、単離したクロロプラストで炭酸固定を阻害する(4)という観察および光リン酸化反応を脱共役する(21)という報告等がある。また、ハツカダイコンにおいて光合成が阻害され、 NO_3^- 添加によって回復する(5)という観察もある。

Goyal ら(5, 6)は、 NH_4^+ で育てたハツカダイコンの葉中に集積している NH_4^+ が NO_3^- の添加により減少することを報告しており、 NO_3^- の存在により、 NH_4^+ がより有効に利用できるのであろうと述べている。本実験においても、10%の NO_3^- を加えた 10:1 区において、葉中の NH_4^+ 集積量が少なかった。データには示さなかったが、10:1 区においても NH_4^+ は NH_4^+ 区と同様に吸収されており、 NO_3^- によって NH_4^+ の同化が促進され、 NH_4^+ の集積が抑えられたため、 NH_4^+ 害が回避されたものと考えられる。

また、本実験では、ハツカダイコンの体内 pH、滴定

酸度に施肥窒素形態による差がみられた(第7図)。ハツカダイコンを NH_4^+ 単独で育てると体内 pH が低く、滴定酸度が高くなった。岩田・間苧谷(17)も、カンランについて、 NH_4^+ で育てたものは NO_3^- で育てたものに比べ、体内 pH が低いことを報告している。 NH_4^+ で育てると同化に際して H^+ がつくられ体内が酸性になるのに対し、 NO_3^- で育てると NO_3^- 還元により OH^- がつくられ体内 pH が高くなるといわれている(20)。Raven と Smith(27) は窒素の同化・移動と体内 pH の関係について論じ、体内 pH 調節機構のモデルを出している。 NH_4^+ 耐性が強い(9, 29)イネやトウモロコシでは、吸収された NH_4^+ はほとんど有機態の形で地上部へ送られると報告されている(15, 25)。ニンジンにおいても、地上部の NH_4^+ 含量が少ないこと(第6図)、滴定酸度に施肥窒素形態による差のみられないこと(第7図)から、イネやトウモロコシ同様、 NH_4^+ が根で同化され、有機物の形で地上部へ送られるので、地上部の滴定酸度に差がみられないのではないかと考えられる。一方、ハツカダイコンの NH_4^+ 区では、根において NH_4^+ の一部が同化されるだけで、かなりの NH_4^+ が葉に送られ、地上部で同化される際 H^+ ができて、滴定酸度が高くなるのではないかと考えられる。10:1 区では、葉での NH_4^+ 集積が少なく(第6図)、滴定酸度は、根・葉とも NH_4^+ 区と NO_3^- 区の中間の値を示した(第7図)。したがって、根と葉の両方で NH_4^+ 同化が行なわれているが、 NO_3^- 還元による OH^- 放出(20)や生理的な体内 pH 調節の機構(3)によって pH が NH_4^+ 単独区より高くなったと推察できる。

ハツカダイコン、ニンジンとも、 NO_3^- 区において有機酸含量が高かった(第2表・第3表)。これまでにも、 NO_3^- で育てた植物の方が NH_4^+ で育てたものに比べ、有機酸含量が高いという報告がある(1, 8)。先に述べたように、 NO_3^- で育てると体内 pH が上昇し、有機酸の補充反応の一つを触媒するフォスフォエノールピルビン酸カルボキシラーゼ (PEPCase) が活性化してリンゴ酸をつくることが考えられている(4)。しかし、pH の上昇により PEPCase が活性化されるかどうかについては疑問もだされている(26)。Ikeda と Yamada(13) は、トマトの葉で、PEPCase による CO_2 の暗固定が NO_3^- 区に比べ NH_4^+ 区で劣ることを報告している。

NH_4^+ 単独区と NO_3^- を混合した区で比較すると、ハツカダイコンでは葉部でわずかに混合区の方が、クエン酸・リンゴ酸含量が高かった(第2表)。反対に、ニンジン葉部では、やや NH_4^+ 区の方が、リンゴ酸含量が高かった(第3表)。Ikeda と Yamada(14) は、トマトの葉

の有機酸を測定したが、処理後9日目に NH_4^+ 単独区と30%の NO_3^- 混合区を比べ、シュウ酸含量は混合区の方が多かったが、リンゴ酸、クエン酸は両区ほとんど同じであった。

松本(22)は、 NH_4^+ 害の原因として、体内の NH_4^+ を急激に同化するため、炭素骨格である有機酸が大量に使われ、有機酸レベルが低下し、それを補うため解糖系・TCA回路の促進、呼吸の増加、デンプン合成の阻害等が起こり、種々の代謝系のバランスがくずれることをあげている。混合区においても、 NH_4^+ 同化のため、大量の有機酸が使われることが考えられるが、混合区では NH_4^+ 害が回避されたので、消費につらう有機酸が合成されるのではないかと考えられる。体内の有機酸含量は、有機酸の合成と消費の差であり、有機酸代謝と NH_4^+ 害の関係を明らかにするためには、さらには有機酸の合成と消費についての詳しい研究が必要である。

摘 要

アンモニア耐性が比較的弱いといわれるハツカダイコンと強いといわれるニンジンについて、 NO_3^- 、 NH_4^+ 、あるいは NH_4^+ と NO_3^- を混合したものを窒素源として与えて水耕栽培した植物体の生育および体内成分含量等について調べ、異なった窒素源がひきおこす効果を明らかにした。

ハツカダイコンは、 NH_4^+ 区において生育不良となったが、 NH_4^+ にその10%以上の NO_3^- を混合して栽培した区では、生育は NO_3^- 区と同程度あるいはそれ以上となった。

ニンジンでは NH_4^+ 区でも生育は良好で、 NO_3^- 区と比較して生育の低下はわずかであった。 NH_4^+ に NO_3^- を混合した区では、やはり、 NO_3^- 区より良好な生育を示した。

窒素形態による差異が、ハツカダイコンとニンジンで、最も顕著に異なったのは、葉中の NH_4^+ -N 含量についてであった。ハツカダイコンの NH_4^+ 区で、葉中 NH_4^+ -N は高い値となり、10%の NO_3^- を混合した区では1/2以下と低くなり、 NO_3^- 区では最も低かった。一方、ニンジンの葉中 NH_4^+ -N は各区とも低かった。

また、葉の滴定酸度も似た傾向を示し、ハツカダイコンにおいては、 NH_4^+ 区で高く、次いで混合区、 NO_3^- 区の順であり、ニンジンでは、各区の差はみられなかった。

他方、植物体の乾重あたりの Ca, Mg 含有率は、ハツカダイコン、ニンジンのほとんどどの器官においても、 NO_3^- 区で高く、 NH_4^+ 区で低かった。10%の NO_3^- を混合した区では、生育が良好であったにもかかわらず、

NH_4^+ 区と近い含有率となった。K含有率も同様に、混合区と NH_4^+ 区と近い値であった。

また、有機酸含量は、ハツカダイコン、ニンジンとも NO_3^- 区で非常に高く、混合区と NH_4^+ 区では低く、滴定酸度の変化とは対応しなかった。

以上の結果から、 NH_4^+ による生育阻害と関連があるのは、葉中 NH_4^+ -N 含量と滴定酸度であると考えられた。K, Ca, Mg, 有機酸含量は、 NO_3^- 区と NH_4^+ 区に差はみられたものの、ハツカダイコン・ニンジンの両方とも同様の変化を示し、また NH_4^+ 区と生育の良好な混合区での差が小さいことから、 NH_4^+ 害と直接に結びつくものとは考えられなかった。

引用文献

1. BEN-ZIONI, A., Y. VAADIA and S. H. LIPS. 1970. Correlations between nitrate reduction, protein synthesis and malate accumulation. *Physiol. Plant.* 23: 1039—1047.
2. BERGMAYER, H. U. (ed-in-chief), J. BERGMAYER and M. GABL(eds.) 1985. *Methods of enzymatic analysis*, 3rd ed. Vol. 7. *Metabolites 2: tri- and dicarboxylic acids, purines, pyrimidines and derivatives, coenzymes, inorganic compounds.* p. 2—89. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
3. DAVIES, D. D. 1973. Control of and by pH. *Symp. Soc. Exp. Biol.* 27: 513—529.
4. GIBBS, M. and N. CALO. 1959. Factors affecting light induced fixation of carbon dioxide by isolated spinach chloroplasts. *Plant Physiol.* 34: 318—323.
5. 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.
6. 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.
7. 原田登五郎・高木 浩. 1964. 幼植物の生育と窒素の給源(第1報). *土肥誌.* 35: 181—186.
8. HARADA, T., H. TAKAKI and Y. YAMADA. 1968. Effect of nitrogen sources on the chemical components in young plants. *Soil Sci. Plant Nutr.* 14: 47—55.
9. 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.
10. 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.
 11. 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 NO_3 -N 蓄積の差異. 園学雑. 49 : 563—570.
 12. 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 pH に及ぼす影響. 園学雑. 52 : 159—166.
 13. IKEDA, M. and Y. YAMADA. 1981. Dark CO_2 fixation in leaves of tomato plants grown with ammonium and nitrate as nitrogen sources. *Plant and Soil* 60 : 213—222.
 14. IKEDA, M. and Y. YAMADA. 1984. Palliative effect of nitrate supply on ammonium injury of tomato plants: Growth and chemical composition. *Soil Sci. Plant Nutr.* 30 : 485—493.
 15. IVANKO, S. and J. INGVERSEN. 1971. Investigation on the assimilation of nitrogen by maize root and the transport of some major nitrogen compounds by xylem sap. III. Transport of nitrogen compounds by xylem sap. *Physiol. Plant.* 24 : 355—362.
 16. 岩田正利. 1962. 窒素形態の差異と蔬菜の生育(第3報)培養液の各種イオン濃度ならびに pH との関係. 園学雑. 31 : 39—52.
 17. 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.
 18. 川口桂三郎・小島 懋. 1957. 無機化学実験法. 三井哲夫・満田久輝・秦忠夫 編. 新改版農芸化学実験書. 第一巻. p. 134—135. 産業図書. 東京.
 19. KIRKBY, E. A. and A. D. HUGHES. 1970. Some aspects of ammonium and nitrate nutrition in plant metabolism. p. 69—77. In : E. A. KIRKBY(ed.) *Nitrogen nutrition of the plant.* Univ. Leeds. Leeds, England.
 20. KIRKBY, E. A. and K. MENGEL. 1967. Ionic balance in different tissues of the tomato plant in relation to nitrate, urea, or ammonium nutrition. *Plant Physiol.* 42 : 6—14.
 21. KROGMANN, D. W., A. T. JAGENDORF and M. AVRON. 1959. Uncouplers of spinach chloroplast photosynthetic phosphorylation. *Plant Physiol.* 34 : 272—277.
 22. 松本英明. 1975. アンモニアと植物. 過剰下における代謝変動. 化学と生物. 13 : 198—204.
 23. 三井進午・熊沢喜久雄. 1964. 水稻沢の生長に及ぼす各種窒素化合物, 特に硝酸態及びアンモニア態窒素の影響について. 作物の養分吸収に関する動的研究(第42報). 土肥誌. 35 : 119—122.
 24. 森次益三・鈴木孝夫・河崎利夫. 1981. 作物生育ならびに無機養分吸収に及ぼす窒素源の影響. 1. 自動 pH 栽培法と従来法の比較. 土肥誌. 51 : 447—456.
 25. 王子善清・伊沢悟郎. 1974. インタクト植物による無機窒素の吸収ならびに同化に関する研究(第4報). NH_4 -N および NO_3 -N の利用性における水稻とキュウリの差異, 特にその代謝的背景. 土肥誌. 45 : 341—351.
 26. OSMOND, C. B. 1976. Ion absorption and carbon metabolism in cells of higher plants. p. 347—372. In : U. LÜTTGE and M. G. PITTMAM(eds.) *Transport in plants (Encyclopedia of plant physiology; V. Vol. 2, pt. A. Cells)* Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
 27. RAVEN, J. A. and F. A. SMITH. 1976. Nitrogen assimilation and transport in vascular land plants in relation to intracellular pH regulation. *New Phytol.* 76 : 415—431.
 28. 作物分析法委員会 編. 1975. 栄養診断のための栽培植物分析測定法. p. 59—86. 養賢堂. 東京.
 29. 高橋英一. 1971. 農学講座植物栄養学序説(12). 農業および園芸. 46 : 963—966.
 30. 高橋達郎・吉田大輔. 1952. 「たばこ」の加里栄養に関する研究(第3報)培養液の窒素形態と加里濃度との関係について. 土肥誌. 22 : 288—292.
 31. 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態と生育反応. 土肥誌. 47 : 321—328.