

窒素源の種類および濃度がコマツナの生育および 硝酸態窒素含量に及ぼす影響

満塩 博起・中原 光久*・染谷 孝・井上 興一
(土壌環境学研究室・*九州電力(株)総合研究所生物資源研究センター)
平成16年9月16日 受理

Effects of Nitrogen Forms and Levels on the Foliar Nitrate-Nitrogen Contents of Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *pervidis* BAILEY) in Hydroponics

Hiroki MITSUSHIO, Teruhisa NAKAHARA*, Takashi SOMEYA and Koichi INOUE
(Laboratory of Soil Environment and Plant Nutrition *Kyushu Electric
Power Co., Inc., Research Lab., Bioresources Research Center)
Received September 16, 2004

Summary

To produce Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *pervidis* BAILEY) with low nitrate content in hydroponics, the effects of the use of urea as a partial substitute of $\text{NO}_3\text{-N}$ in media and low nitrogen concentration in media on the foliar nitrate contents were examined.

1. The partial substitution of $\text{NO}_3\text{-N}$ by urea (6.50 mM urea and 1.50 mM $\text{NO}_3\text{-N}$) in a medium reduced the $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the plant cultivated for 16 days after transplanting down to 77% of that of the control (7.00 mM $\text{NO}_3\text{-N}$ and 1.00 mM $\text{NH}_4\text{-N}$). Furthermore, the plants cultivated as above, transplanted in nitrogen-free solutions and grew for additional four days showed a reduced content of $\text{NO}_3\text{-N}$ (22-28% of the control) and possessed a similar satisfactory appearance, though the final plant weight was smaller than that of the control.

2. Foliar $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the plant cultivated for 16 days after transplanting decreased down to 61% of the control by cultivating in a medium containing reduced total nitrogen (3.50 mM $\text{NO}_3\text{-N}$ and 0.50 mM $\text{NH}_4\text{-N}$) and further decreased to 23% (6.17 mg/g dry weight) by the successive four days cultivation in a nitrogen-free medium containing trace elements only. It is noteworthy that the final dry weight of the plant of this treatment was almost equal to that of the control.

These results suggest that Komatsuna with low nitrate content and good appearance can be produced by the partial substitution of $\text{NO}_3\text{-N}$ by urea or by the use of relatively low nitrogen concentration media, followed by cultivation in nitrogen-free media for several days.

Key words: Hydroponics, Vegetables with low nitrate content, Urea, Komatsuna (*Brassica rapa* L. var. *pervidis* BAILEY)

著 論

窒素は植物にとってリン酸、カリウムと同様に最も主要な栄養元素の一つである。植物体に吸収される窒素の形態は $\text{NO}_3\text{-N}$ と $\text{NH}_4\text{-N}$ の二つに大きく分類され、特に $\text{NO}_3\text{-N}$ が主な窒素源として肥料に幅広く利用されている¹⁾。しかし、硝酸塩は人体に対して様々な危険性が報告されている²⁾。

日本では水道水の硝酸濃度について規制されているが³⁾、野菜に対する規制はない。しかし、人が摂取する $\text{NO}_3\text{-N}$ は飲料水からではなく、大部分野菜に由来している。EU (欧州連合) では1997年、ハウレンソウおよびレタスに含まれる硝酸濃度の統一基準を決めた。それによれば夏どりおよび冬どりハウレンソウでそれぞれ2500および3000mg/kg新鮮重以下とされ、施設栽培および露地栽培のレタスでは、それぞれ2500および2000mg/kg新鮮重以下とされている⁴⁾。

植物体中の硝酸含量は、培地中の硝酸濃度と概ね比例関係があり、水耕栽培において培養液中の硝酸濃度が高くなると葉中の硝酸含量が高くなることは古くから知られていた⁵⁾。葉菜類は一般的に硝酸を好む種類が多いので、培養液の窒素源として90%を硝酸として加えるのが普通である。このため園芸分野、特に施設栽培分野において、野菜中の硝酸含量を著しく減少させる研究が行われている⁶⁻¹³⁾。培養液中の窒素源として用いられている硝酸の一部を尿素に置き換えて栽培することで植物体中の硝酸含量が減少したという報告や⁷⁻¹¹⁾、アミノ酸の添加が硝酸吸収を抑制したという報告¹²⁾、人工気象室内の二酸化炭素濃度を高めることにより葉中の硝酸含量が減少したという報告もある¹³⁾。これらの文献による硝酸含量の減少率は、対照野菜に比べ最大で40%程度である。葉菜類は、元来硝酸含量が高く、一般に新鮮重1kgあたり数千mgオーダーであるため、硝酸の減少率が50%としても、依然として多くの硝酸が体内に含まれ、低硝酸含量野菜とは言い難い。

さらに、わが国では、これまで廃液や培養液処理に対する関心は比較的低かった。しかし、近年、世界的な環境保全に配慮した技術への変ぼうが求められており、培地中の栄養元素の濃度を低くして作物を栽培し、レタスでは園試処方1/4単位の培養液で正常な生育を示したという報告がある^{14,15)}。また、供試作物としてハウレンソウを用い、収穫前の培養液中 $\text{NO}_3\text{-N}$ を除去し、この作物の硝酸塩含量を低下させた報告もある¹⁶⁾。しかしながら、供試作物として葉菜類の中で特に硝酸含量の高いコマツナを用い、培地の窒素濃度すなわち硝酸濃度を低くして栽培し、収穫前の培地中 $\text{NO}_3\text{-N}$ を除去することにより、コマツナの生育および体内硝酸含量を検討した報告は見あたらない。

そこで本研究では、硝酸含量が著しく低いコマツナの生産手法の開発を目的とし、培養液中の硝酸の一部を尿素に置き換えて栽培し、その後、栽培途中で無窒素溶液に切り替えた場合の、コマツナの生育および体内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の推移について検討した。また、培養液中の窒素源を硝酸およびアンモニウムとし、その全窒素濃度を下げて栽培し、途中で無窒素溶液に切り替えた場合の、コマツナの生育および葉部 $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量の推移について検討した。

材料および方法

実験1. 尿素処理とコマツナの生育および $\text{NO}_3\text{-N}$ 含量との関係

供試作物には、コマツナ (*Brassica rapa* L. var. *pervidis* BAILEY. cv: 楽天) を用いた。この種子を水耕用ウレタンマットに播種し、発芽後8日目に、気温23℃ (明期) および20℃ (暗期)、PPFD300~320 $\mu\text{Mm}^{-2}\text{S}^{-1}$ 、日長16時間に設定した人工気象室に設置してある培養液循環型水

Table 1. Composition of the basal nutrient solution.

Elements	Conc (mgL ⁻¹)	Reagents
N*	112.00	KNO ₃ , Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O, NH ₄ H ₂ PO ₄
P	20.40	NH ₄ H ₂ PO ₄ , KH ₂ PO ₄
K	156.60	KNO ₃ , KCl
Ca	80.50	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O, CaCl ₂ · 2H ₂ O
Mg	24.60	MgSO ₄ · 7H ₂ O
Fe	2.00	EDTA-Fe(III)
B	0.50	H ₃ BO ₃
Mn	0.50	MnCl ₂ · 4H ₂ O
Zn	0.05	ZnSO ₄ · 7H ₂ O
Mo	0.05	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4H ₂ O
Cu	0.02	CuSO ₄ · 5H ₂ O

* (NO₃-N 98 mgL⁻¹, NH₄-N 14 mgL⁻¹)

耕装置の葉菜用マルチ (30×620×610mm, 穴：45個, 穴の直径：25mm) に移植した。

予備実験から、培地に 2 mM 以上の NO₃-N を添加すると、植物体内に NO₃-N が多量に蓄積することがわかった。そこで、今回の実験では、移植後の培地中の窒素源として NO₃-N を 1.50 mM とし、他を全て Urea-N (6.50mM) とした。窒素以外の栄養素は、園試処方 1/2 単位の栄養成分組成 (表 1) とし、16日間栽培した。その後、窒素を含まない培養液 (無窒素培養液) あるいは微量要素のみの溶液にそれぞれ切り替えて 4日間栽培した。また、園試処方 1/2 単位の培養液 (NO₃-N 濃度 7.00mM + NH₄-N 濃度 1.00mM) で、移植後 20日間栽培したものを対照区とした。培養液は処理開始 8日目までは 3日おきに、その後は 1日おきに交換した。培養液の pH は、2 M の塩酸あるいは水酸化ナトリウム溶液で毎日 6.0 に調整した。移植後 16, 20 日目に栽培パネルからコマツナを 1 処理区あたり 4 株ランダムに採取した。

採取したコマツナは、生体重、SPAD 値 (葉色) および地上部の風乾物重を測定した。この乾物試料について NO₃-N を、イオンクロマトグラフ装置 [日本分光, カラム：Shodex IC I-524A, 溶離液：pH4.0 (TRIS で調整) の 2.5mM フタル酸溶液, 1.0ml/min, カラム温度：40℃] で測定した。

実験 2. 培地の窒素濃度とコマツナの生育および NO₃-N 含量との関係

供試作物の品種ならびに移植までの栽培方法については、実験 1 と同様である。

移植後の培養液中の全窒素濃度を 1, 2, 4 mM とし、NO₃-N 濃度 (mM) : NH₄-N 濃度 (mM) の比率を 7 : 1 とした。すなわち、その組み合わせを 0.87 : 0.13, 1.75 : 0.25, 3.50 : 0.50 とする処理区をそれぞれ設けた。窒素以外の栄養素は、園試処方 1/2 単位の栄養成分組成とし 16日間栽培した。その後、微量要素のみの溶液に切り替えて 4日間栽培した。また、園試処方 1/2 単位の培養液 (NO₃-N 濃度 7.00mM + NH₄-N 濃度 1.00mM) で、移植後 20日間栽培したものを対照区とした。培養液は処理開始 8日目までは 3日おきに、その後は 1日おきに交換し、pH は毎日 6.0 に調整した。移植後 14日目とそれ以降 1日おきに栽培パネルからコマツナを 3 株ランダムに採取し、実験 1 の方法に準じて風乾物重、SPAD 値 (葉色) および葉部の NO₃-N 含量の測定を行った。

結果および考察

実験1. 尿素処理とコマツナの生育および NO₃-N 含量との関係

処理期間中の風乾物重の推移を表2に示した。栽培16日目において、処理区の風乾物重は対照区に比べ84%に減少した。その後、無窒素培養液および微量元素のみの溶液に切り替えて4日間栽培した実験終了後の風乾物重は、対照区に比べ69および73%になった。地上部の SPAD 値を表3に示した。試験期間中、すべての処理区において、対照区と有意差が認められず、外観は正常であった。

地上部の NO₃-N 含量を表4に示した。栽培16日目において、処理区の NO₃-N 含量は、対照区の77%であった。その後、無窒素溶液に切り替え4日間栽培した両処理区のコマツナの NO₃-N 含量は、対照区の22~28%に低下した。日本では、野菜の硝酸含量の基準値を設けていないが、EUでは、夏どりホウレンソウの硝酸含量の統一基準を2500mg/kg新鮮重以下としており、この値を参考値として用いると、乾物1g当たり約9.41mgのNO₃-Nとなる。本実験において、培養液切り替え後のNO₃-N含量は無窒素培養液で9.96mg、微量元素のみの溶液処理で7.85mgであり、EUの基準値をやや上回るかそれ以下の値となった。

Gunes⁸⁾らは、硝酸に替わる窒素源として、尿素を使用し、培養液中の通常硝酸濃度の20%

Table 2 Effects of urea as a partial substitute of NO₃-N on the top weight of Komatsuna.

16 days cultivation		20 days cultivation	
Treatment (mM)	Dry Weight (g Plant ⁻¹)	Treatment	Dry Weight (g Plant ⁻¹)
Urea-N (6.50) + NO ₃ -N (1.50)	1.02 a	Nutrient solution (-N) Trace element	1.36 a
			1.44 a
Control {NO ₃ -N (7.00) + NH ₄ -N (1.00)}	1.22 b	1/2 strength of E · S ^{*1}	1.96 b

Data shown are the means of four plants. In a column, the symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test. *¹Enshi nutrient solutions.

Table 3 Effects of urea as a partial substitute of NO₃-N on SPAD value (leaf color).

16 days cultivation		20 days cultivation	
Treatment (mM)	SPAD value	Treatment	SPAD value
Urea-N (6.50) + NO ₃ -N (1.50)	37.31 a	Nutrient solution (-N) Trace element	39.08 a
			40.20 a
Control {NO ₃ -N (7.00) + NH ₄ -N (1.00)}	37.00 a	1/2 strength of E · S ^{*1}	37.43 a

Data shown are the means of four plants. In a column, the symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test. *¹Enshi nutrient solutions.

Table 4 Effects of urea as a partial substitute of NO₃-N on the foliar NO₃-N content.

16 days cultivation		20 days cultivation	
Treatment (mM)	NO ₃ -N content (mg g ⁻¹ DW)	Treatment	NO ₃ -N content (mg g ⁻¹ DW)
Urea-N (6.50) + NO ₃ -N (1.50)	25.60 a	Nutrient solution (-N) Trace element	9.96 a
			7.85 a
Control {NO ₃ -N (7.00) + NH ₄ -N (1.00)}	33.37 b	1/2 strength of E · S ^{*1}	35.40 b

Data shown are the means of four plants. In a column, the symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test. *¹Enshi nutrient solutions.

をこの窒素源に置き換えレタス（品種：Berlo および Kirsten）を栽培した。この結果、窒素を置き換えた処理区では対照区と同等の生体重および風乾物重を示し、硝酸含量は Berlo および Kirsten でそれぞれ18および15%減少したと報じている。N. K. Khan⁹⁾らは、培養液の窒素源を0, 20, 50%の尿素に置き換え、ハウレンソウを栽培した。この結果、窒素源の50%を尿素に置き換えた処理区では、対照区と同じ生育を示し、硝酸含量が41%減少したと報じている。

本実験では、窒素源の81%を尿素に置き換えて栽培し、その後生育後期に4日間、無窒素の溶液に切り替えて栽培した。その結果、生育が不良であったものの、外観が正常であり、NO₃-N含量は対照区と比べ70%も減少したことから、本栽培法はNO₃-N含量の著しく低い野菜生産手法の一つと考えられる。また、栽培16日目以降、無窒素培養液と微量要素のみの溶液に切り替えて栽培したが、両処理区において有意差が認められなかった。このことから、窒素以外の多量要素を含む培養液処理は、コマツナの生育およびNO₃-N含量にほとんど影響がなく、NO₃-Nを落とすために切り替える溶液は、ほとんど水のみの溶液でも十分であると考えられた。

実験2. 培地の窒素濃度とコマツナの生育およびNO₃-N含量との関係

各処理における風乾物重の経時的变化を図1に示した。培地中の全窒素濃度あるいはNO₃-N濃度の高い処理区ほど、生育が良好であった。「NO₃-N濃度3.50mM+NH₄-N濃度0.50mM」処理区の風乾物重は、対照区に比べやや低く推移したものの、統計的に有意差が認められず、ほぼ同等の生育を示した。他の処理区は、対照区と比べ生育が明らかに不良であったものの、栽培16, 20日目の地上部のSPAD値（表5）に、対照区と比べ統計的有意差がなく、外観は正常であった。

地上部のNO₃-N含量の経時的变化を図2に示した。培地にNO₃-Nを1.75mM以上添加した処理区において、栽培16日目まで葉中のNO₃-N含量はEUの夏どりハウレンソウの基準値を上回った。全ての処理区において、微量要素のみの溶液に切り替え後の2日間（16～18日目）

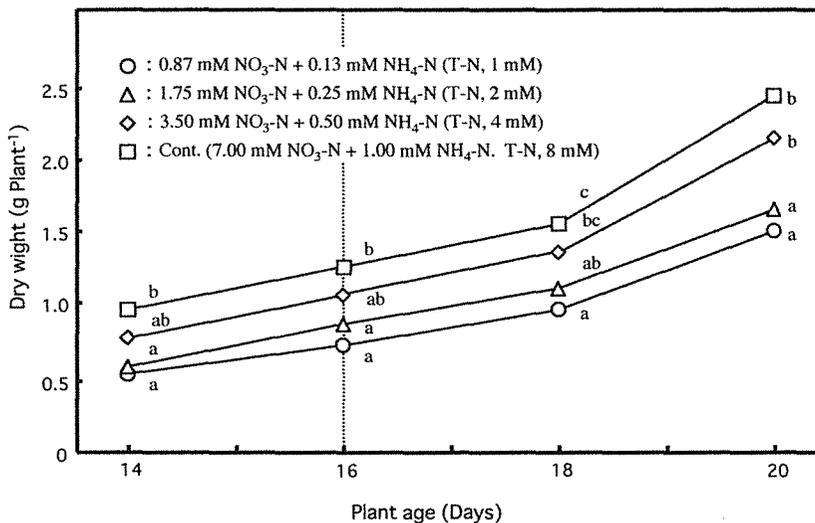


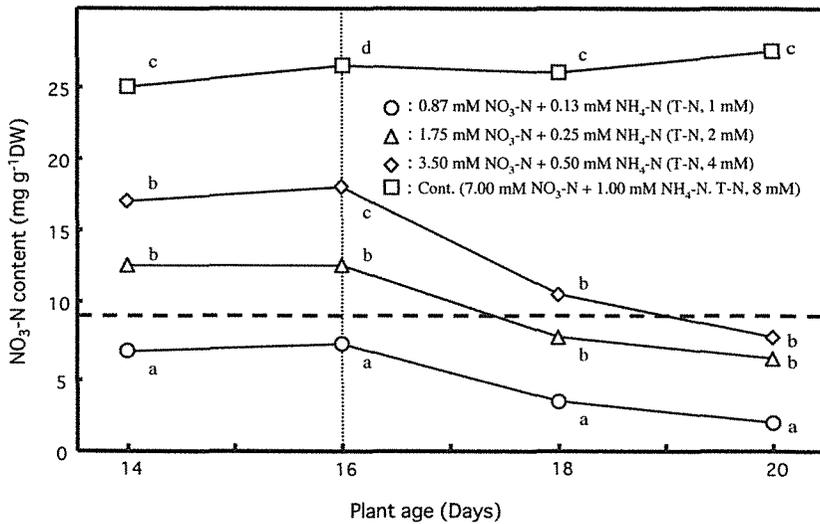
Fig. 1. Effects of low nitrogen concentration in nutrient solutions on top weight of Komatsuna.

Data shown are the means of three plants. The symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test.

Table 5 Effects of low nitrogen concentration in nutrient solutions on SPAD value (leaf color).

Treatment (mM)	Days	
	16	20
NO ₃ -N (0.87) + NH ₄ -N (0.13)	41.40 a	42.40 a
NO ₃ -N (1.75) + NH ₄ -N (0.25)	37.90 a	41.90 a
NO ₃ -N (3.50) + NH ₄ -N (0.50)	36.30 a	41.70 a
Control {NO ₃ -N (7.00) + NH ₄ -N (1.00)}	38.00 a	41.90 a

Data shown are the means of three plants. In a column, the symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test.

Fig. 2. Effects of low nitrogen concentration in nutrient solutions on the foliar NO₃-N content.

Data shown are the means of three plants. The symbols followed by same letter (s) in the same plant age are not different significantly at 5% level by the Tukey's multiple range test.

で NO₃-N 含量の急激な低下が認められ、試験最終日には EU の夏どりホウレンソウの基準値以下となった。

丸尾¹⁴⁾らは、サラダナ用処方 1, 3/4, 1/2, 1/4 単位の 4 水準の濃度の培養液を用いてレタス‘岡山サラダ菜’を栽培した。その結果、処理区間で生体重の大きな差は見られなかったと報じている。

本実験では、園試処方培養液の 1/2 単位を対照区とし、窒素濃度のみ 1/16, 1/8, 1/4 単位の培養液を用いてコマツナを栽培した。その結果、1/4 単位の「NO₃-N 濃度 3.50mM + NH₄-N 濃度 0.50mM」処理区の培養液で育てたコマツナにおいて、生育に統計的有意差が認められず、この窒素濃度でも正常な生育を示すことが明らかとなった。

微量要素のみの溶液に切り替え後の 2 日間（移植後 16~18 日目）に NO₃-N 含量の急激な低下が認められたことから、移植後 16 日目まで培養液の NO₃-N 濃度を低く抑えて栽培することで 16 日目の NO₃-N 含量を低く抑え、その後 4 日間の無窒素処理で体内 NO₃-N 含量を大きく低下させることにより、NO₃-N 含量が著しく低いコマツナの生産が可能であることが示された。

摘 要

硝酸含量の低いコマツナ生産の水耕栽培技術の確立を目的とし、培地の窒素源として尿素と硝酸を併用した場合、および全窒素濃度を下げた場合について検討した。

1. Urea-N (6.50mM) と NO₃-N (1.50mM) を含む培養液で栽培したコマツナの NO₃-N 含量は、移植後16日目において対照区 (7.00mM NO₃-N+1.00mM NH₄-N) の77%に低下した。このコマツナを無窒素の溶液に切り替えて、さらに4日間栽培した場合、外観は正常で、かつ NO₃-N 含量は対照区の22~28%に減少した。しかしながら、20日間の試験期間を通してコマツナの生育は対照区と比べて不良であった。

2. 培地中の全窒素濃度を下げた「NO₃-N 濃度3.50mM+NH₄-N 濃度0.50mM」処理区では、移植後16日目までの植物体内 NO₃-N 含量は対照区の61%に低下し、その後4日間の微量要素溶液のみの処理で地上部 NO₃-N 含量は対照区の約23%に低下した。また、この処理区では対照区とほぼ同等の生育を示した。

以上の結果から、水耕溶液中の硝酸の多くを尿素に置き換えるか、培地の総窒素濃度を抑えて栽培し、その後、数日間の無窒素溶液栽培により、外観が正常かつ NO₃-N 含量が著しく低いコマツナの生産が可能であることが示された。

文 献

1. 塚越 寛・丸尾 達・伊東 正・扶蘇秀樹・岡部勝美 (1999). 収穫前の NO₃-N または全肥料成分の補給停止が水耕ホウレンソウの生育と可食部の硝酸濃度ならびに廃液の無機成分濃度に及ぼす影響. 園学雑. 68(5), 1022-1026
2. 関本 均・児玉いち子・小松孝行 (2000). 野菜汁飲料中の硝酸濃度の調査とその摂取量に関する一考察. 土肥誌. 71(5), 700-702.
3. 厚生労働省 (1992) 水道水水質基準 厚生労働省令69.
4. Gonnella, M, F. Serio, G. Gonversa and P. Santamaria (2004). Production and Nitrate Content in Lamb's Lettuce Grown in Floating System. *Acta Hort*, 644: 61-68
5. Schroder, F.-G. H. Bero (2001). NITRATE UPTAKE OF *LACTUCA SATIVA* L. DEPENDING ON VARIETIES AND NUTRIENT SOLUTION IN HYDROPONIC SYSTEM PPH. *Hort Science*, 548: 551-556
6. Santamaria, P. M. Gonnella, A. Elia, A. Parente, F. Serio (2001). WAYS OF REDUCING ROCKET SALAD NITRATE CONTENT. *Hort Science*, 548: 529-536
7. Ikeda, H. and X. Tan (1998). Urea as an Organic Nitrogen Source for Hydroponically Grown Tomatoes in Comparison with Inorganic Nitrogen Sources. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 44(4), 609-615
8. Gunes, A. W. N. K. Post, E. A. Kirkby, M. Aktas (1994). INFLUENCE OF PARTIAL REPLACEMENT OF NITRATE BY AMINO ACID NITROGEN OR UREA IN THE NUTRIENT MEDIUM ON NITRATE ACCUMULATION IN NFT GROWN WINTER LETTUCE. *J. Plant Nutr.*, 17(11), 1929-1938
9. Khan, N. K. M. Watanabe, and Y. Watanabe (1999). Effect of Different Concentrations of Urea with or without Nickel Addition on Spinach (*Spinacia oleracea* L.) Growth under Hydroponic Culture. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45(3), 569-575
10. Gerendas, J. and B. Sattelmacher (1997). Significance of Ni supply for growth, urease activity and the concentrations of urea, amino acids and mineral nutrients of urea-grown plants. *Plant and soil* 190: 153-162
11. Ikeda, H. X. W. Tan, Y. Ao and M. Oda (2001). EFFECTS OF SOILLESS MEDIUM ON THE GROWTH AND FRUIT YIELD OF TOMATOES SUPPLIED WITH UREA AND / OR NITRATE. *Hort Science*, 548, 157-164
12. Gunes, A. A. Inal, M. Aktas (1996). Reducing nitrate content of NFT grown winter onion plants (*Allium cepa* L.) by partial replacement of NO₃ with amino acid in nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 65, 203-208
13. Fujita, K. H. Nobuyasu, T. Kuzukawa, J. J. Adu-Gyamfi, and P. K. Mohapatra (2002). Elevated CO₂ Concentrations

- Increase Leaf Nitrate Reduction by Strengthening Sink Activity in Soybean Plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 48(5), 745-752
14. 丸尾 達, 篠原 温, 岩田正利, 伊東 正 (2002). 水耕レタスの無機成分吸収に及ぼす培養液濃度の影響. 園学雑. 71(5), 675-682
 15. Valdez, M. T., T. Ito, Y. Shinohara and T. Maruo (2002). Effects of Nutrient Solution Levels on the Growth, Yield and Mineral Contents in Hydroponically-Grown Bush Snap Bean. *Environ. Control in Biol.*, 40(2), 167-175
 16. 福田直也・宮城 慎・鈴木洋二・池田英男・高柳謙治 (1999). 深夜照明と培養液からの NO_3^- 除去がホウレンソウの生育と葉の汁液中 NO_3^- 濃度に及ぼす影響. 園学雑. 68(1), 146-151