

水耕レタスの無機成分吸収に及ぼす培養液濃度の影響

丸尾 達¹・篠原 温¹・岩田正利²・伊東 正¹

¹千葉大学園芸学部 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

²141-0022 東京都品川区東五反田 5-19-20

Effects of Nutrient Concentration on the Absorption of N, P and K by Lettuce Cultured in NFT System

Toru Maruo¹, Yutaka Shinohara¹, Masatoshi Iwata² and Tadashi Ito¹

¹ Faculty of Horticulture, Chiba University, 648 Matsudo, Matsudo 271-8510

² 5-19-20 Higashigotanda, Shinagawaku, Tokyo 141-0022

Summary

The influence of nutrient concentration on the uptake of each nutrient by butter head lettuce plants (*Lactuca sativa* L. 'Okayama Salad') was investigated by using a NFT system. The solution volume in the NFT system was maintained constant automatically by supplying deionized water. The nutrient uptake was calculated from the decreasing rate of the nutrient concentration in the system. The $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ and K uptake rates by the lettuce plant were relatively stable within a comparatively wide range of nutrient concentrations, i.e., the nutrient uptake rates were not influenced directly by the nutrient concentrations. When the nutrient concentration was above $1\text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$, the uptake rate of each nutrient was unaffected by its concentration. The high ratio of the apparent uptake rate of $\text{NH}_4\text{-N}$ in comparison with other nutrients indicates a preferential uptake of $\text{NH}_4\text{-N}$.

From the environmental and managerial point of view, nutrient concentrations in a hydroponic production system should be lowered.

Key Words: hydroponics, lettuce, NFT, nutrient absorption, nutrient concentration

緒 言

地下水や表面水の汚染源として、農地への過剰施肥や畜産廃棄物の大量投入が世界的に問題視され、農業分野の責任も問われ始めている。その点、養液栽培は土耕に比べると、施肥効率がよく、環境に優しいシステムであるといえる。しかし、掛け流し式のRWシステムが多いオランダを中心にした欧州各国では、廃液中の無機成分が問題とされ、循環式の完全閉鎖型システムへの移行が急速に進んだ (Van Osら, 1991; Ruijs, 1994)。

わが国では、これまで廃液や培地処理に対する関心は比較的低かった。しかし、近年の世界的な環境意識の高まりの中で、養液栽培も環境保全に配慮した技術への変ぼうが求められており (岡野, 1998), 排出する培養液中の無機成分量を削減する技術の開発が、今後急務になると思われる。

養液栽培では作物別、作型別など、それぞれに好適培養液濃度・組成があるとされ (池田, 1998), 培養液はこ

れを目標に濃度を維持・管理されることが多い。従来わが国では、作物の種類を問わず園試処方均衡培養液 (堀ら, 1964) が広く用いられてきた。均衡培養液というのは、作物が吸収する要素の比率に合わせた要素比率からなる培養液である。均衡培養液を用いると、作物の吸収によって培養液が減少しても、残った培養液の濃度・組成は変化しにくい、という概念のもとに考案されたものである。しかし、現在では、培養液 EC に限れば、任意の値に制御することは比較的容易で、均衡培養液の意義は相対的に低下している。実際の養液栽培の現場では、園試処方標準培養液 ($\text{EC}: 2.5\text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) 程度の、比較的高い EC 値を目安に管理されることが多い。しかし、それらの管理濃度には幅があり、培養液の濃度や組成が大きく異なっても、生育や収量に大きな影響は認められない場合も少なくない。

また、EC 制御によって培養液管理が自動化された養液栽培システムでも、すべての成分が一定濃度に維持されるわけではない。原水の質が悪い時や、追肥される培養液の組成が、作物が吸収する要素の比率と異なっている場合などでは、仮に EC が一定の値でも、個々の肥料成分

濃度は次第に変化する。この例として一般的に観察されるのが、アンモニウムである。アンモニウムの濃度は、圃試処方標準培養液では $1.3 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ であるが、培養液更新後は一般に濃度が急速に低下し、栽培中に培養液を採取しても検出されないことが多いが、栽培上特に問題になっていない。

一方、培養液の処方が適正でない場合、単純な EC 管理だけでは培養液の組成が大きく崩れ、その結果、生育異常や各種の生理障害が発生することもある。特に、葉菜類の養液栽培では生育速度が早いため、NFT のように培養液量が少ない栽培方式の場合、培養液組成の変化も大きくなるため、それだけきめ細やかな制御が要求される(丸尾ら, 1992)。

このように、養液栽培における好適培養液については明確でない点も多く、「好適」の定義や好適濃度の範囲、組成などについて再度検討する必要があると思われる。これまでに著者らは、NFT で栽培したレタスでは、培養液濃度に対する好適範囲が比較的広いこと、更新当初の初期培養液よりも追肥培養液の濃度・組成が管理上重要であること、などを示した(丸尾ら, 1992)。また、著者らの実験では、その濃度以下になると、 n/w (みかけの吸収濃度) が急速に低下する培養液濃度のしきい値の存在が示唆された。ここで、みかけの吸収濃度とは、ある期間の無機成分吸収量をその期間のみかけの吸水量 (吸水量 + 蒸発量) で除して求めたものである。

本研究では、レタスを供試材料にして、完全閉鎖型の NFT システムを用いて培養液濃度の低下速度を調査し、培養液濃度と養分吸収の関係をより明確にする目的で行った。

実験材料と方法

1. NFT システムと培養液自動補給装置

0.1 mm のビニルフィルムを展張した間口 4.5 m、奥行き 10 m の小型パイプハウス (東西棟) 内に、長さ 6 m、それぞれ 3 チャンネル並列の NFT システムを 4 セット設置して、試験に用いた。ハウス内の地面を 1.5% の勾配で整地し、第 1 図に示したような構造を有する NFT チャンネルを、直接地面に設置した。NFT チャンネルは、厚さ 0.15 mm の半硬質塩化ビニルシートを折り曲げて作成し、チャンネル全体を厚さ 0.05 mm のシルバーポリエチレンフィルムで被覆した。

それぞれの NFT システムの下流には、容積 100 liter のメイン培養液タンクを設け、個々のタンクには、小型フロートスイッチ (株) ノーケン:OLV-2A)、リレーユニット、ソレノイドバルブ (高砂電気工業(株):PK-0305-NC)、容積 100 liter の補給培養液タンク等からなる培養液自動補給装置 (第 1 図)(丸尾ら, 1992) を設置し、系内の循環培養液量を常時 $70 \pm 0.02 \text{ liter}$ のレベルに維持した。本装置は、吸水により培養液タンクの液面レベルが一定値 (約 1 mm) 以上低下すると、フロートスイッチが感知し、ソレノイドバルブが開いて、あらかじめ調製しておいた補給培養液タンク内の補給用培養液 (あるいはイオン交換水) が自動的に補給され、液面を一定レベルに維持する。液面維持によってタンク内培養液量を制御する場合の精度は、培養液タンクの液面面積に反比例することから、タンク内にスパーサを設置して液面面積を低減させ、制御の精度を向上させた。

また、チャンネルの上流には循環流量を正確に調節す

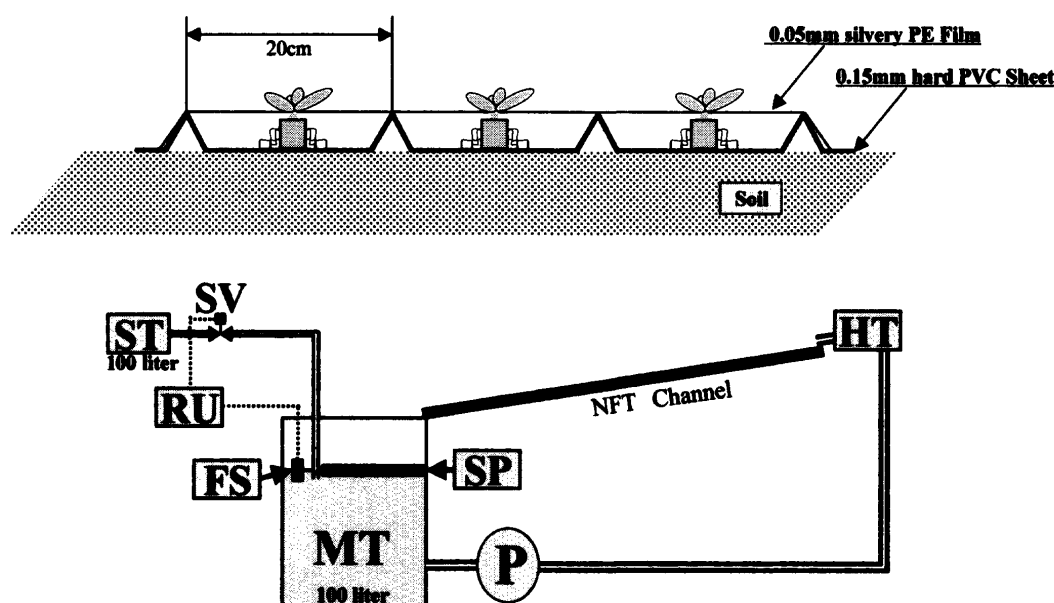


Fig. 1. Outline of NFT system with automatic nutrient supply unit.

MT: Main Tank ST: Sub Tank HT: Header Tank RU: Relay Unit FS: Float Switch
SV: Solenoid Valve SP: Spacer P: Pump

Table 1. The elemental composition of standard nutrient solution for lettuce culture.

Composition	NO ₃ -N:	NH ₄ -N:	PO ₄ -P:	K :	Ca :	Mg	
	12 :	1.3 :	4 :	8 :	4 :	2	(me · liter ⁻¹)
Formula		Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O		=	2		
		KNO ₃		=	8		
		NH ₄ H ₂ PO ₄		=	1.3	(mM)	
		MgSO ₄ · 7H ₂ O		=	1		

Table 2. Effect of the concentration of starter solution on growth of lettuce (gFW · plant⁻¹).

Channel ^z location	Concentration ^x	Feb. 5 ^y			Feb. 17 ^y		
		Top	Root	Total	Top	Root	Total
South	3/4U	49.2b ^w	10.3a	59.5b	82.1b	26.3b	108.4b
	1/4U	55.5a	10.7a	66.2a	92.5a	27.1a	119.6a
↓	1/2U	52.1a	10.5a	62.6a	88.3ab	27.0a	115.3a
North	1U	50.5ab	9.5b	60.0a	83.2ab	25.8b	109.0a

^zLocation of the NFT channel in the plastic house.^yDate of measurement.^xStrength of the nutrient solution (1 U is the standard solution described in Table 1).^wMeans within columns followed by the same letters are not significantly different at $P \leq 0.05$ level by LSD test.

るために、フロートバルブを備えたヘッダータンクを設け、流量をチャンネルあたり $750 \pm 10 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ の範囲で安定させた。

2. レタスの栽培

レタス ‘岡山サラダ菜’ (タキイ種苗) を1昼夜催芽させた後、11月25日に2.5 cm角の水耕葉菜用ウレタンキューブに移植し、小型の育苗用 NFT 装置で、園試処方培養液の1/4濃度のものを用いて約1か月間育苗した。

12月26日に、葉数5枚、生体重約1 gの苗を、株間20 cm、条間20 cmで、1チャンネルあたり30株、1試験区あたり90株を試験用 NFT 装置に定植した。

定植後2月5日までの期間は、メインタンクの循環培養液、追肥培養液ともに、第1表に示したサラダナ用処方 (丸尾ら, 1992) を用い、同処方の1/2単位を目標に管理した。2月5日正午に、それぞれのメインタンクの培養液を更新し、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に変えて4試験区 (1U, 3/4U, 1/2U, 1/4U) を設けた。

3. 無機成分吸収の測定

メインタンクの培養液の更新と同時に、追肥培養液をサラダナ用処方培養液からイオン交換水に変更した。これにより、補水時に肥料成分がシステム内に追加されることなしに、システム内の液量を $70 \pm 0.02 \text{ liter}$ に保持できることから、培養液中の個々の無機成分濃度を測定するだけで、レタスによる無機成分の吸収が評価できる。

システム内の培養液が均一になったと思われる翌2月6

日12時より、メインタンク内の培養液を3時間ごとに約20 mlずつ採取して、無機分析に供した。培養液採取前には、タンク内の培養液濃度が均一になるよう、小型ポンプを用いて培養液を十分かくはんした。培養液サンプルの採取は2月17日まで行い、サンプルの無機成分濃度の変化からレタスの無機成分吸収を評価した。

吸水量は、連日、補給培養液タンクの減水量を測定して求めた。

培養液の無機成分については、NO₃-Nはフェノール硫酸法、NH₄-Nはネスラー法、PO₄-Pはバナドモリブデン酸黄法、Kは原子吸光光度法で分析した。

また、栽培期間中にチャンネル内に保持される液量は徐々に増加すると考え、栽培終了時に循環ポンプ停止後、システム内の液量を測定した。液量が一定速度で増加すると仮定し、各測定日におけるシステム内総液量を推定した。そして、この値により無機成分吸収を計算した。

レタスの生育調査は、測定期間の前後に行った。

結 果

第2表に、測定期間前後のレタスの生体重を東西棟のハウスの南側に位置するベッドの試験区より順に示した。レタスの生育には、処理区間で大きな差は見られなかったが、ハウスの両サイドに位置した3/4U, 1U区では、処理開始時から中央の2試験区より小さい傾向があった。また、測定期間中 (13日間) に、生体重は約1.8倍になった。

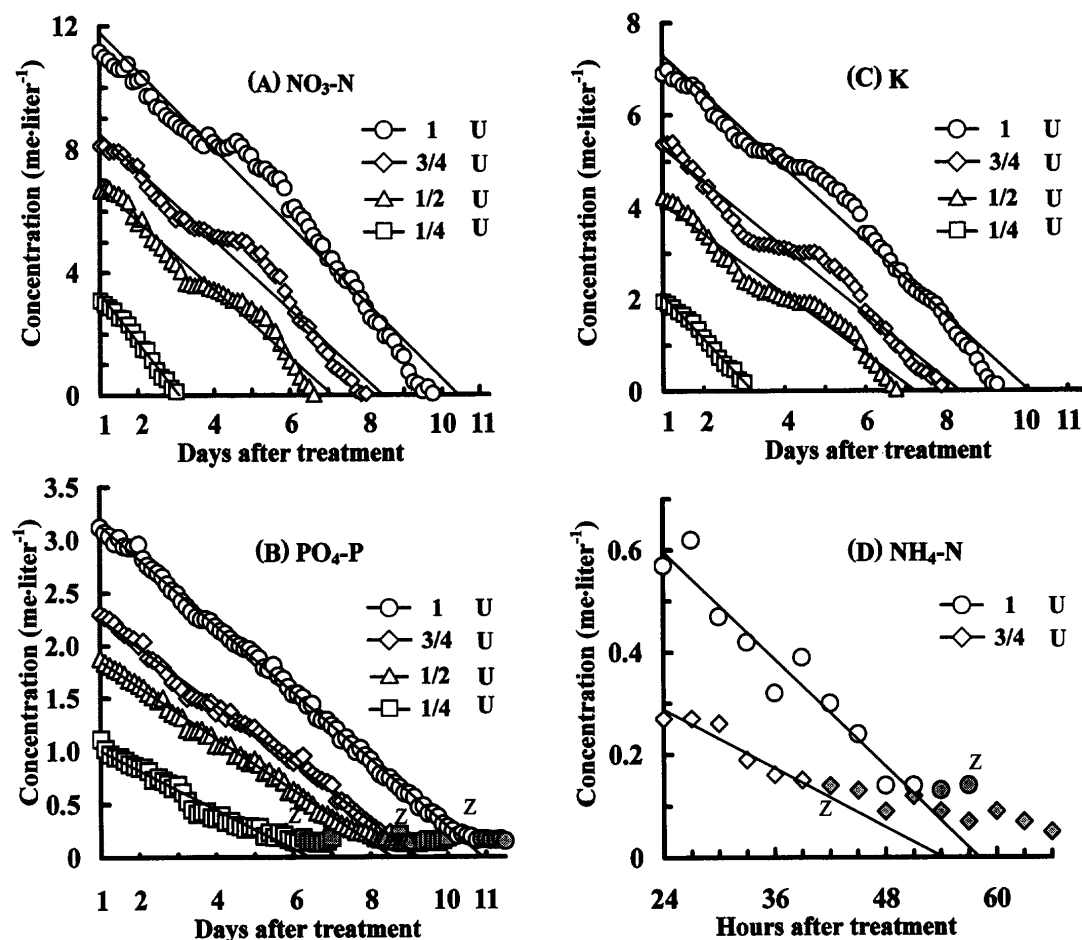


Fig. 2. Changes in $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, K and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations in the nutrient solution.

Each regression line was calculated from the data only with open symbols. Solid symbols represent the constant (low) concentration of each mineral.

処理期間中、3時間ごとに測定した培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、K、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の推移を、それぞれ第2図(A)~(D)に示した。イオン交換水を補給し、システム内の培養液量を 70 liter の一定値に保持したことから、レタスの養分吸収に伴って、各成分の濃度はいずれもほぼ直線的に低下した。

個別の成分についてみると、まず $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度は、培養液の初期濃度が試験区により異なるため、濃度の初期値は異なった。しかし、いずれも濃度は、ほぼ直線的に減少し、1/4U 区では処理後3日目に、最も初期培養液濃度の高かった 1U 区でも 10 日目には $0 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ に低下した。また、処理開始後 3~5 日目に一時的に傾きが緩やかになったが、他の期間はいずれの試験区も、高濃度から極低濃度までほぼ同じ傾きであった。また、昼夜にかかわらず、培養液濃度の低下速度はほぼ一定であった(第2図(A))。

$\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度も、 $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様に初期培養液濃度にかかわらず、ほぼ同じ傾きで低下した。しかし、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とは異なり、培養液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度は、およそ $0.1\sim 0.2 \text{ me} \cdot$

liter^{-1} の濃度で平衡に達し、この値以下には低下しなかった(第2図(B))。

K 濃度の低下速度は $\text{NO}_3\text{-N}$ より遅かったが、K は $\text{NO}_3\text{-N}$ より初期濃度が低かったため、 $0 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ に達したのは $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様に、1/4U 区では処理後3日目、1U 区では9日目であった(第2図(C))。

$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度については、吸収が予想を上回る速度で進み、培養液濃度の測定を開始した処理 24 時間後の時点で 1/2U、1/4U の試験区では $0.1 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 以下の濃度まで低下していたため、3/4U、1U の試験区のデータを示した。両試験区で、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度低下の程度は若干異なったが、処理開始 48 時間後には、ほぼ $0.1 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ まで低下した。また、 $\text{NH}_4\text{-N}$ も $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様に、それ以降は低い濃度が検出された(第2図(D))。

いずれの無機成分も、試験区ごとの濃度低下の様相には大きな違いはみられなかったことから、1U の試験区について培養液濃度と無機成分吸収の関係をさらに検討した。第3図(A)~(D)は、いずれも3時間毎に測定したサンプル5点の培養液中無機成分の平均濃度を横軸に、その期

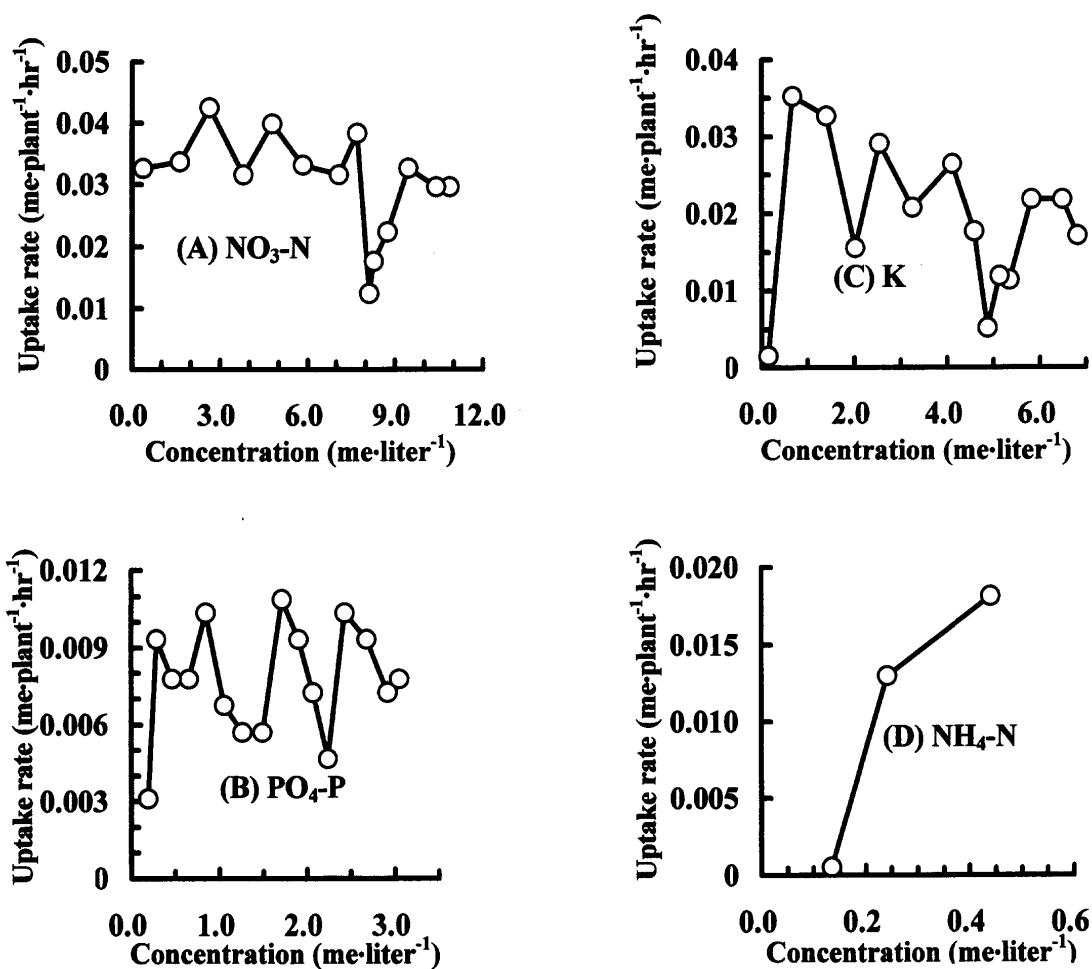


Fig. 3. Effects of $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, K and $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations in the nutrient solution on nutrient uptake rates of lettuce plants cultured with standard solution (Table 1).

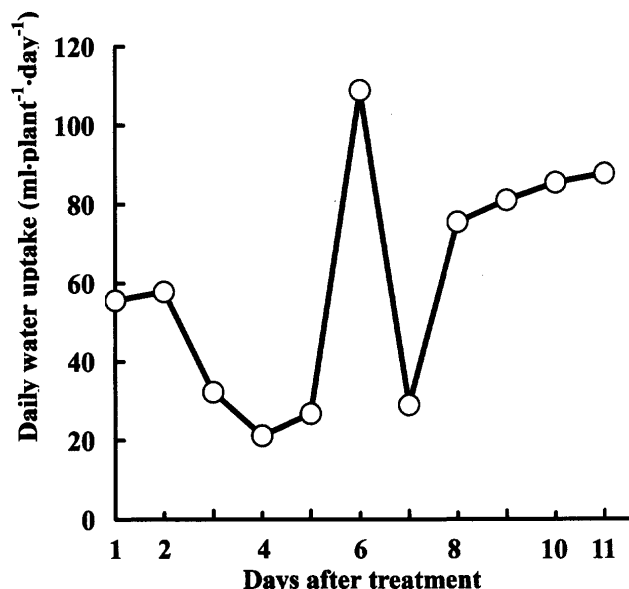


Fig. 4. Time course of water uptake by lettuce plants cultured with standard solution (Table 1).

間 (15 時間) の平均吸収速度を縦軸にとったものである。

$\text{NO}_3\text{-N}$ 吸収速度 (第 3 図 (A)) は、高濃度から低濃度まで培養液の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度に関係なく、おおむね 0.03~0.04

$\text{me} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ の範囲であった。培養液濃度、8.0 $\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 付近で吸収速度が低かったが、これは第 2 図 (A) で濃度低下の傾きが緩やかになった時期に相当する。

$\text{PO}_4\text{-P}$ も $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様、培養液の $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度の高低に関係なく、おおむね 0.006~0.010 $\text{me} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ の吸収速度であった。 $\text{PO}_4\text{-P}$ 濃度が 2.2 $\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 付近で吸収速度が低かったのも $\text{NO}_3\text{-N}$ と同様であった (第 3 図 (B))。

K も $\text{PO}_4\text{-P}$ と同様、培養液の K 濃度の高低に関係なく、おおむね 0.02~0.03 $\text{me} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$ の吸収速度であった (第 3 図 (C))。

$\text{NH}_4\text{-N}$ については十分なデータが得られなかったが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 0.25 $\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 付近までの吸収速度は、 $\text{PO}_4\text{-P}$ と比較すると高かった (第 3 図 (D))。

1U の試験区における測定期間中の吸水量をみると、レタスの日吸水量は、天候に左右され、20~110 $\text{ml} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ の範囲で大きく増減したが、時間が経過して植物が大きくなるにつれて徐々に上昇した (第 4 図)。なお、吸水量が大きく低下した処理開始後 3~5 日および 7 日は曇雨天であった (データ省略)。

n/w (みかけの吸収濃度) を、その期間の平均培養液濃度

との関連でみたのが第5図である。

$\text{NO}_3\text{-N}$ の n/w は、吸収速度に比べて変化が大きかったが、おおむね $15\sim 25 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ の範囲であった。 $\text{NO}_3\text{-N}$ の n/w は、吸収速度と同様に培養液濃度との関係は明らかではなかったが、 $0.8 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以下の低濃度では急速に低下した(第5図(A))。

$\text{PO}_4\text{-P}$ の n/w は、変化の幅がさらに大きく、培養液濃度が $0.6 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以下に低下すると、急速に低下したが、 $0.2 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ の濃度でも $1 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 以上の n/w であった(第5図(B))。

K の n/w は、 $10\sim 15 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ の範囲を中心に变化したが、 $\text{NO}_3\text{-N}$ とほぼ同様の傾向で、 $0.6 \text{ me}\cdot\text{liter}^{-1}$ 未満の培養液濃度では低下した(第5図(C))。

考 察

本来環境負荷の少ない養液栽培でも、環境保全の観点から、栽培システム外に排出する窒素やリンなどの無機成分の量を低減することが求められている。しかし、循環式の閉鎖系システムでも、培養液の更新を余儀なくされることは少なくない。これは、培養液をある程度の期間使用していると、その組成が初めのものと大きく異なってしまうこと(池田, 1998)に一因がある。

また、ミツバ(甲田ら, 1980)や、キュウリ(浅尾ら, 1998)の養液栽培では、有機酸やフェノール物質などが培養液中に蓄積することにより、生育が抑制されることも報告されている。現状では、これら要因により、培養液の更新・廃棄をまったく行わない完全閉鎖系での養液栽培は困難な状況である。

培養液の更新に伴う無機成分の排出量は、排液の無機成分濃度と排液の量の積に比例する。そのため、無機成分排出量の抑制には、排液の量を減らすと同時に排液の無機成分濃度を低減させることが重要になる。

本試験では、レタスの無機成分吸収速度は、広い濃度範囲で比較的安定していた。つまり、ごく低い濃度域以外では培養液中の無機成分濃度が低下しても、吸収速度は大きく変化しなかった。第3図から、具体的な吸収速度は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ で $0.03\sim 0.04$, $\text{PO}_4\text{-P}$ で $0.006\sim 0.010$, K で $0.02\sim 0.03 \text{ me}\cdot\text{plant}^{-1}\cdot\text{hr}^{-1}$ 程度の値であった。 $\text{NH}_4\text{-N}$ については、十分なデータが得られなかったが、K に近い吸収速度であったと思われる。

第3表に、1Uの試験区から得られた値から計算した平均日吸収速度、みかけの吸収濃度(n/w)、そして試験開始時の無機成分濃度(理論値)に対する得られた平均みかけの吸収濃度の比を示した。無機成分濃度に対するみかけの吸収濃度の比は、試験開始時に、当該無機成分を、みかけ上培養液濃度の何倍の濃度で吸収していたかの指標である。この値は、高いとそれだけ急速に培養液濃度が低下しやすいこと、成分間で異なると培養液組成が変化しやすいことを意味する。 $\text{NH}_4\text{-N}$ の濃度比は1Uでも5

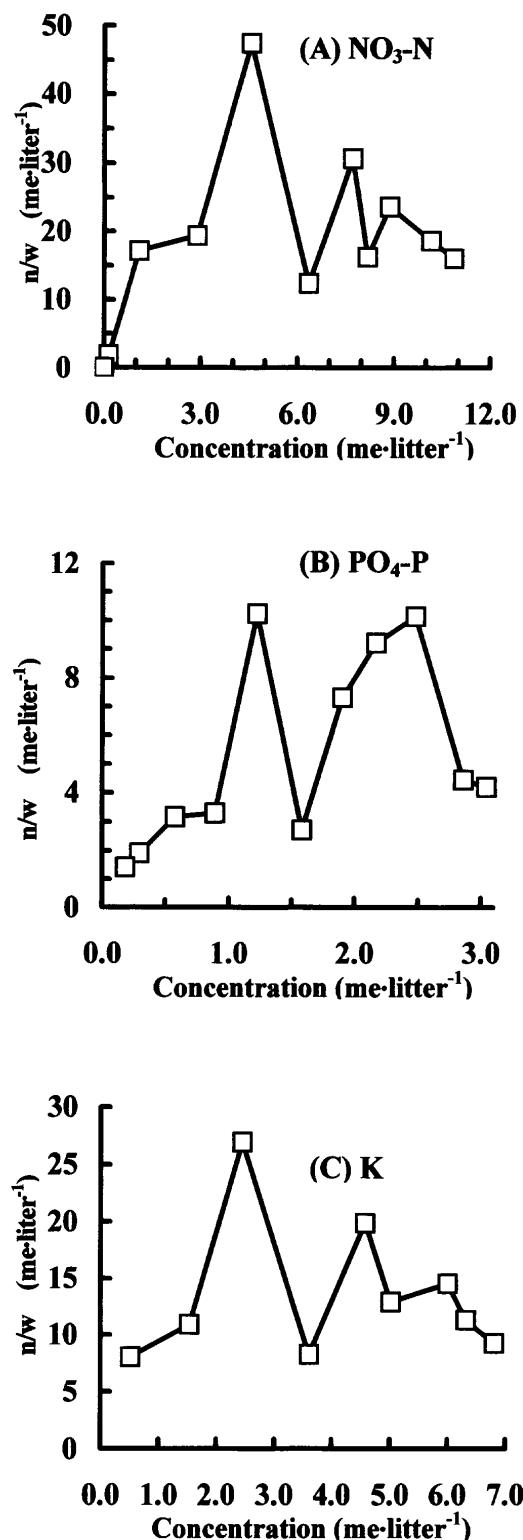


Fig. 5. Effects of mineral concentrations in nutrient solution on n/w (the ratio of minerals absorbed (n) per unit volume of water absorbed (w)) of lettuce plants cultured with standard nutrient solution (Table 1).

倍近く、1/4Uでは20倍になった。他の成分では、1/4Uでも6倍程度であることから、吸収濃度比が高いことが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が急速に低下した原因であると考えた。

いずれの成分の吸収速度、見かけの吸収濃度もある程

Table 3. Average uptake rate, n/w ($\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$) and the ratio of n/w to the initial concentration of solution for each mineral.

Element	Uptake rate ($\text{me} \cdot \text{plant}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)	n/w ($\text{me} \cdot \text{liter}^{-1}$)	Ratio of n/w to the initial nutrient concentration ²			
			1U	3/4U	1/2U	1/4U
$\text{NO}_3\text{-N}$	1.06	19.36	1.61	2.15	3.23	6.45
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.60	6.59	4.94	6.59	9.89	19.77
$\text{PO}_4\text{-P}$	0.26	4.72	1.18	1.57	2.36	4.72
K	0.69	12.14	1.52	2.02	3.04	6.07

²Data were obtained by dividing n/w with the initial concentration of each nutrient.

度の幅で変動した。しかし、吸収速度が一時的に低下したのは、どの成分も処理開始後 3~5 日および 7 日目であった。この時期は曇雨天で吸水速度が低下した時期と同じであったことから考えると、これらの変動は培養液濃度の影響よりも日射や気温等の気象要因によるものが多いと思われる。

見かけの吸収濃度から見ると、無機成分の吸収が急速に低下する濃度は、 $\text{NO}_3\text{-N}$ で 0.8, $\text{PO}_4\text{-P}$ で 0.6, K で $0.6 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 程度であった。これ以上の濃度では、レタスの無機成分吸収速度は培養液濃度に直接的には影響されずに、気象要因に応じて変動したと考えられる。

培養液の無機成分濃度と作物の吸収速度との関係については、過去に種々の研究がある。しかし、本研究のように低濃度域で検討した報告は多くない。Moustafa・Morgan (1983) は、NFT を用いた試験で、 $\text{EC}3.9\sim0.4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ の比較的広い濃度範囲でキクの生育、無機成分含有率に大きな差がみられなかったとしている。また、景山ら (1987) も、キクの初期生育に対する窒素濃度の影響を土耕と水耕で調べ、正常な初期生育のための適正な培地内窒素濃度は比較的低いところで範囲が広く、吸収速度に合わせて施肥していけば、0 にならない限り低くても良いと考察している。更にトマトを用いた試験では、培養液中の窒素が 0 ppm に近い濃度でも、100 ppm の濃度の試験区とほぼ同じ窒素吸収速度であったとしている (景山, 1991)。

一方、同じトマトで、培養液濃度が低い場合、生育が悪かったという報告 (Gomez-Lepe・Ulrich, 1974; Larouche ら, 1989; 菅原ら, 1977) も少なくない。さらに、生育だけでなく、葉柄内 $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も低くなるという報告もある (何ら, 1994)。

このように、培養液の無機成分濃度と作物の吸収速度に関する試験結果が異なるのは、試験条件や試験方法にも問題があると思われる。培養液量、試験中の培養液更新間隔や追肥等の培養液管理法、通気方法、植物体の生育ステージなどの条件は、報告によって異なっており、十分な配慮がなされない場合もあると推察される。景山 (1991) も、原因として低濃度の試験では培養液中の無機成分濃度が 0 になっている可能性を示唆している。特に、

低濃度域の養分吸収を評価する際には、十分な注意を要するものと思われる。本研究では、意図的に培養液濃度を低下させ、低下速度から吸収を求めたので、培養液濃度の短期的影響を評価するには問題ないと思われるが、長期的影響をみるには問題が残る。Braakhekke・Labe (1990) は、試験中の培養液濃度管理に、蒸散をベースにして、Steady state nutrition の手法を提唱している。この手法は、培養液濃度を一定値に保持して比較的長期間の影響を評価する場合には有効であると思われる。

本研究により、NFT で水耕したレタスの無機成分吸収は、培養液濃度がかなり低くなるまで低下しないことが明らかになった。環境保全の観点から考えると、培養液管理濃度はできるだけ低くすることが望ましいが、本研究の結果から管理濃度は現状よりかなり低く設定できると考えられる。

摘 要

1. 非結球性のレタス (サラダナ) を材料にし、NFT システムを用いて、無機成分吸収に及ぼす培養液濃度の影響を調査した。

2. 本試験で採用した無機成分吸収量の測定方法は、イオン交換水を自動補給して、システム内の培養液を一定容量に保持しながら、培養液濃度の低下速度から求める方法である。本システムによりレタスの無機成分吸収速度に及ぼす培養液の無機成分濃度の短期的な影響が明らかになった。

3. レタスの N, P, K は、いずれの成分の養分吸収速度も、高濃度から $1 \text{ me} \cdot \text{liter}^{-1}$ 程度の低濃度まで広い培養液濃度範囲で、あまり変化しなかった。つまり、レタスの N, P, K 吸収速度は培養液濃度に直接的に影響されなかった。

4. $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の低下速度は極めて速かったが、これは $\text{NH}_4\text{-N}$ の吸収濃度比 (培養液中の濃度に対するみかけの吸収濃度の比) が他の無機成分に比べて高いことが原因であると考えた。

5. N, P, K の吸収速度が培養液濃度にあまり影響されなかったことから、養液栽培における培養液管理濃度は現状よりかなり低く設定できると考えられる。

引用文献

- 浅尾俊樹・梅山元正・太田克巳・細木高志・伊藤憲弘・上田尚文. 1998. 水耕キュウリの培養液非交換による収量の減少と活性炭添加による回復. 園学雑. 67: 99-105.
- Braakhekke, W. G. and D. A. Labe. 1990. Steady state nutrition by transpiration controlled nutrient supply. *Plant nutrition - Physiology and Application*, p. 73-79. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Gomez-Lepe, B. E. and A. Ulrich. 1974. Influence of nitrate on tomato growth. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 45-49.
- 何 毅清・寺林 敏・並木隆和. 1994. トマト養液栽培の栄養診断技術に関する基礎的研究-異なる硝酸態窒素濃度の培養液で栽培したトマトの葉内無機成分濃度の変動-京都府大学報(農学). 46: 7-14.
- 堀 裕・青木正孝・山崎 肯? 1964. れき耕の実用化に関する研究. 2. 培養液管理とこれとの関連における培地れきの性質について. 園試報 A. 3: 45-60.
- 池田英男. 1998. 培養液の種類と管理. p. 420-424. (4訂) 施設園芸ハンドブック. (社)日本施設園芸協会. 東京.
- 景山詳弘・林 孝洋・小西国義. 1987. 窒素濃度がキクの初期生育に及ぼす影響. 園学雑. 56: 79-85.
- 景山詳弘. 1991. 培養液の窒素濃度が水耕トマトの窒素吸収量と生育ならびに収量に及ぼす影響. 園学雑. 60: 583-592.
- 甲田暢男・宇田川雄二・荻原佐太郎・広保正. 1980. ミツバの水耕液に対する活性炭の添加効果(第2報)有機酸の影響と除去効果. 園学要旨. 昭55秋: 224-225.
- Larouche, R., A. Gosselin and V. Louis-Philippe. 1989. Nitrogen concentration and photosynthetic photon flux in greenhouse tomato production. I. Growth and development. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 114: 462-465.
- 丸尾 達・伊東 正・石井 茂. 1992. 水耕レタスの養水分管理法に関する研究. 千葉大園報. 46: 235-240.
- Maruo, T., T. Ito and Y. Shinohara. 1995. Feasible method for measuring water uptake rates of vegetables in rock-wool and NFT culture. *Acta Hortic.* 396: 83-90.
- Moustafa, A. T. and J. V. Morgan. 1983. Influence of solution concentration on growth, flower quality and nutrient uptake in spray chrysanthemum. *Acta Hortic.* 133: 13-24.
- 岡野邦夫. 1998. 廃液・培地処理と有効利用. p. 425-428. (4訂)施設園芸ハンドブック. (社)日本施設園芸協会. 東京.
- Ruijs, M. N. A. 1994. Economic evaluation of closed production system in glasshouse horticulture. *Acta Hortic.* 340: 87-94.
- 菅原眞治・武井昭夫・山口久夫. 1977. 養液栽培トマトの生産安定に関する研究(第1報). 培養液の濃度および通気に対する品種間差異. 愛知農総試研報. B9:22-28.
- Van Os, E. A., M. N. A. Ruijs and P. A. van Weel. 1991. Closed business system for less pollution from greenhouses. *Acta Hortic.* 294: 49-57.