

葉萵苣浮根式水耕之養分吸收

沈再發²

摘要：葉萵苣行浮根式水耕，以不同濃度之Hoagland 培養液測定結果，該培養液二分之一濃度生產量最高。經培養液和植體之分析計算其大致培養液吸收濃度 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、P、K、Ca、Mg分別為7、1.5、4.5、2.5、1me/l。浮根式水耕其主要氧來源為水表面供給為主，用馬達以循環法入方法，雖可略增加其溶氧量，但對葉萵苣之產量影響不顯著。

蔬菜之養液栽培，由於供給適當之養分，作物生長迅速、產量高、且可避免由連作所引起之土壤傳染性病害等優點，已有多種作物達實用化階段⁽⁶⁾。

養液栽培上控制根周圍環境者包括栽培方法及介質、培養液中肥料之濃度與組成、液溫、溶氧量和微生物等^{(1) (5) (8) (12) (15) (16) (19) (22) (23)}。培養液之濃度與組成為栽培之一重要軟體。自 1842 年 Wiegman與Polstoff以硝酸銨與作物之灰分濾液行水耕，作物生長良好而得獎。1860年 Sach開始研究培養液之成分，1964年Knops與 Sachs共同研究廣口瓶栽培以水位降低行水耕，並確立無機的必要十元素。到1965年Knops發表以四種鹽類為培養液。而其中以1950年Hoagland 和 Avnon⁽²⁰⁾以番茄為基礎發表之培養液成為多年來番茄水耕最廣泛使用之養液。初期之研究者，開發出多種研究用培養液，然而在實際栽培應用時，却很容易發生濃度和 pH之劇烈變化，導致栽培發生困難。為使作物能達到正常生產，所供給培養液之濃度與組成與作物的吸收需相近或相同。所謂均衡培養液 (Balanced solution) 可避免培養液上述劇烈變化的現象發生^{(5) (14)}。許多研究者以作物之要素吸收量或以吸收濃度來估算供給量，並得到良好結果^{(5) (9) (10) (11) (12) (14) (20)}。然而作物別、品種、栽培地區季節、氣象和栽培方式等環境因素都可影響其吸收量。例如番茄之水耕栽培很容易發生尻腐病，尤其是當液溫達23°C以上更嚴重^{(5) (6) (18) (19)}。而秋冬季之吸收濃度比夏季吸收濃度為高。因此本省需有針對自身環境建立的資料。基於此，並針對本省夏季較缺乏之葉菜類為對象，本試驗先以不結球葉萵苣為材料，研究其培養液管理上之肥料吸收濃度和要素組成，以獲取熱帶地區之基礎資料，供實際之應用。

材料與方法

一、供試品種：大兜葉萵苣

二、試驗方法：

1. 不同培養液濃度與組成對葉萵苣生育之影響：

(1) 培養液以Arnon and Hoagland⁽¹⁰⁾ 標準液為IS (其主要組成成分為 $\text{NO}_3\text{-N}16$, $\text{NH}_4\text{-N}2$ 、P6、K10、Ca6、Mg4、S4me/l)，其一半濃度為1/2 S和1.5 倍濃度為1.5S，三處理行栽培。各處理之微量要素皆為 $\text{Fe-EDTA } 20\text{g/m}^3$, $\text{H}_3\text{BO}_3 3\text{g/m}^3$, $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O } 2\text{g/m}^3$

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第1373 號。本研究承行政院國科會 (NSC 85—0409—Bo55a—02) 計畫經費補助，謹此謝忱。

2. 臺灣省農業試驗所研究員兼鳳山熱帶園藝試驗分所分所所長。臺灣省 高雄縣 鳳山市。

表 1. 培養液之組成

Table 1. Composition of the nutrient solution

Salts	g/m ³	elements (me/l)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
KNO ₃	1010	10		10			
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	703	6			6		
MgSO ₄ · 7H ₂ O	492					4	
NH ₄ H ₂ PO ₄	228	2	6				4

Microelements : Fe-EDTA 20g/m³, H₃BO₃ 3 g/m³, MnSO₄ · 4H₂O 2g/m³

(表 1)。

(2) 栽培方式：以浮根式水耕法，設栽培床容積為 540cm (長) × 72cm (寬) × 20cm (深)。海綿 0.5cm 厚為栽培介質，其下面墊上萬能網 (Vannet 網孔 1.9 × 1.9m/m) 並以保利龍條為根浮媒體。種子直播海綿上，栽培時培養液容量固定以 600 公升為準。

(3) 調查事項：包括生育和培養液 (pH、EC 減液量) 之變化調查，及培養液和植體成分分析 (NO₃-N、P、K、Ca、Mg)。每公升培養液中的要素濃度 (me/l) 以新鮮植體總收量 (mg) × 乾物率 × 要素含量 ÷ 當量毫克數 ÷ 消耗水量計算，得每公升培養液中的要素濃度。養液之吸收濃度計算，依山崎^(6,7) 作物之大致成分吸收組成，濃度測定法；

$$y > y_1 \text{ 時 } n/w = a/w(y - y_1) + y_1$$

$$y_1 > y \text{ 時 } n/w = y_1 - a/w(y_1 - y)$$

a 為栽培床內之全溶液量

w 為栽培期間之消耗養液量

y 為試驗開始之濃度以 me/l 表示

y₁ 為試驗結束之濃度以 me/l 表示

n 為吸收成分濃度以 me 表示

(4) 本試驗自民國 74 年—75 年間分三期進行並分別計算其要素之吸收狀況。

2. 不同溶氧量對萵苣生長之影響：

(1) 培養液以 Hoagland and Arnon 之 1/2 濃度，仍依上述浮根式栽培，栽培床容積 176cm × 68cm × 16cm。

(2) 氧之供給：以馬達做成培養液等量交換。栽培床上分別裝置供培養液循環注入口一、二、四個及對照無循環注入口四處理，使形成不同之供氧量。其交換時間每小時二次每次十分鐘。

(3) 浮根式水耕配置等量交換以供氧對萵苣產量之關係調查。

結果與討論

一、不同培養液濃度與組成對萵苣生育之影響：

1. 產量方面：

以 Arnon & Hoagland⁽¹⁰⁾ 培養液為標準液 (S) 及其一半濃度 (1/2S) 和 1.5 倍濃度三種培養液，行浮根式滯水耕 (Stationary water culture)。其播種期分為民國 74 年 11 月 1 日、民國 75 年 1 月 10 日和 3 月 7 日三期直播。分別於播種後第 31 日、41 日和 41 日採收。其收穫量如表 2 所示；三個播種期皆以標準液的二分之一濃度產量最高，並達顯著標準，其次為標準濃度 (1S)。而高濃度 (1.5S) 產量最低。所收穫之乾物百分率則呈相反結果，以二分之一濃度

表 2. 不同濃度 Hoagland 培養液對高苣產量之影響

Table 2. Influence of different concentration of Hoaglan'ds solution on yield of leafy lettuce (g)

Cropping Concentration	Cropping		
	I	II	III
0.5 S	6,088.5 a	10,501.74 a	11,269.26 a
1.0 S	4,797.0 b	7,114.32 b	6,605.10 a
1.5 S	4,243.5 c	5,298.84 c	5,815.44 c

*Date of Sowing and Harvesting I. 11/1—12/2 (369 plants)

II. 1/10—2/20 (738 plants)

III. 3/7—4/17 (738 plants)

**Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level as determined by Duncan's Multiple Range Test.

之生長快者，其乾物率較低，而高濃度生長較緩慢者其乾物率較高（表 3）。而且三播種期皆呈一致現象。

2. 培養液pH和EC之變化：

表 3. 不同培養液濃度對乾物率之影響

Table 3. Influence of nutrient solution concentration on % of dry matter

Cropping Concentration	Cropping		
	I	II	III
0.5 S	3.80	3.31	3.37
1.0 S	3.83	3.59	3.46
1.5 S	3.89	3.81	3.86

表 4. 葉高苣之水耕栽培期間消耗水量（公升）

Table 4. Removal water during the growing period of leafy lettuce grown in hydroponics (liter)

Cropping Concentration	Cropping		
	I	II	III
0.5 S	124	175	185
1.0 S	123	157	170
1.5 S	121	155	166

各不同濃度於栽培期間所消耗之培養液量如表四，顯示三個播種期消耗量皆以二分之一(1/2S)濃度最多，其次為標準培養液(1S)，而1.5S之消耗量最低。此結果與產量呈正比，產量高者所消耗養液量多，產量低者消耗養液量少。

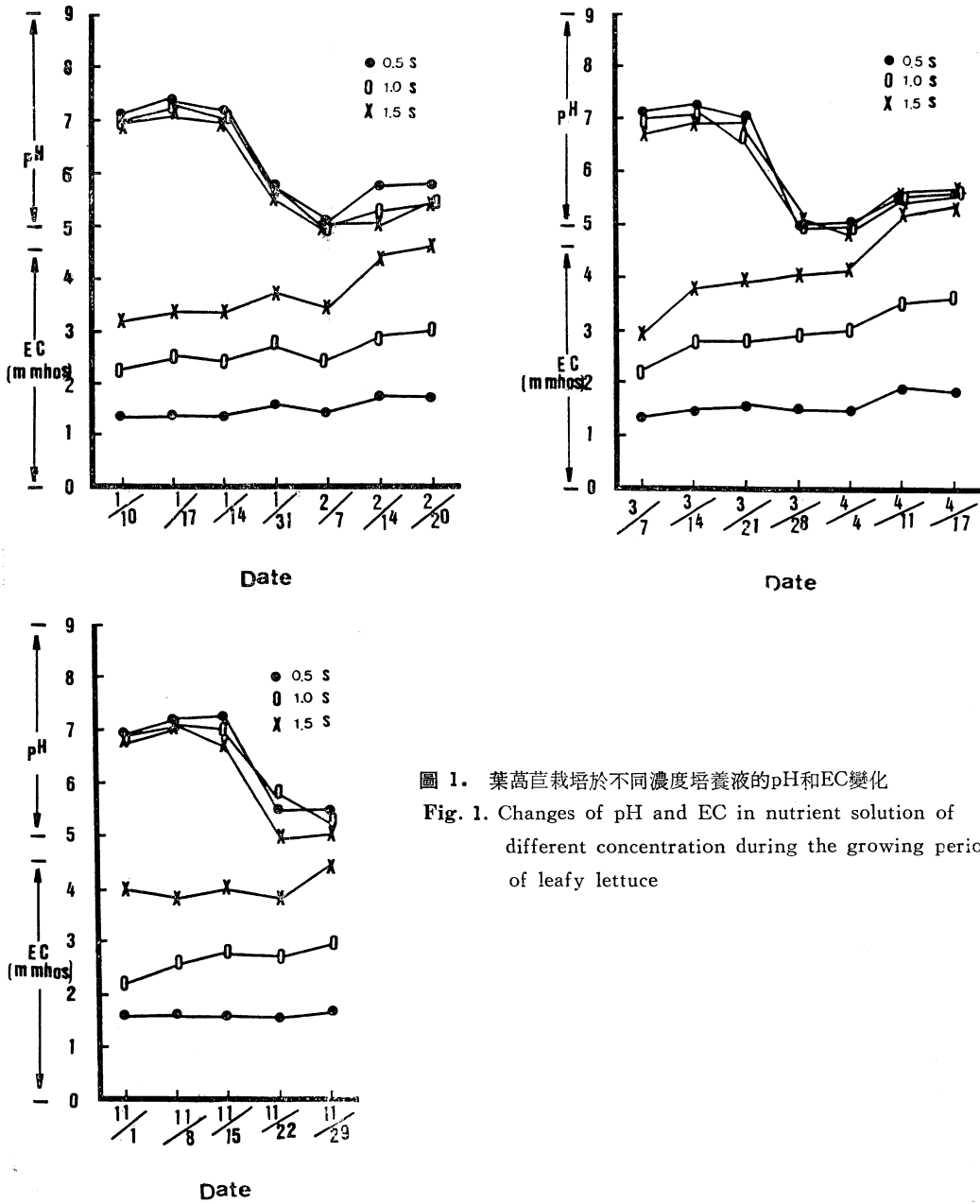


圖 1. 葉萵苣栽培於不同濃度培養液之pH和EC變化
 Fig. 1. Changes of pH and EC in nutrient solution of different concentration during the growing period of leafy lettuce

不同濃度栽培期間培養液之pH和電導度 (EC) 之變化如圖一。三個栽培期pH之變化皆類似。播種後15天皆維持pH7左右，然後逐漸下降。三種不同濃度間，雖然高濃度者(1.5S)比低濃度者呈pH略較低現象，但其變化趨勢仍很一致。此pH之降低原因，除根之呼吸產生碳酸或代謝排出有機酸外，養液上應為陽離子 Ca^{++} 、 Mg^{++} 、 K^+ 之吸收比陰離子 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 之吸收為多，使陰離子殘留養液中所致。另依據 Ikeda and Osawa⁽²¹⁾ 對於氮源之吸收指出萵苣無論培養液之 pH 高低，皆以 NH_4^+ 優先的吸收。因此培養液中 NH_4^+ 之減少可使pH之下降。

電導度之變化則以二分之一濃度自播種到收穫期皆保持穩定，而標準液和 1.5倍濃度則呈

現隨栽培期長而有逐漸升高現象，尤其 1.5 倍濃度的升高更為急速。此表示是大莖葉萵苣之吸收量約為二分之一濃度。而標準液和 1.5S 培養液濃度超過其吸收之濃度，因此養液濃度逐漸增加。

3. 培養液成分之變化：

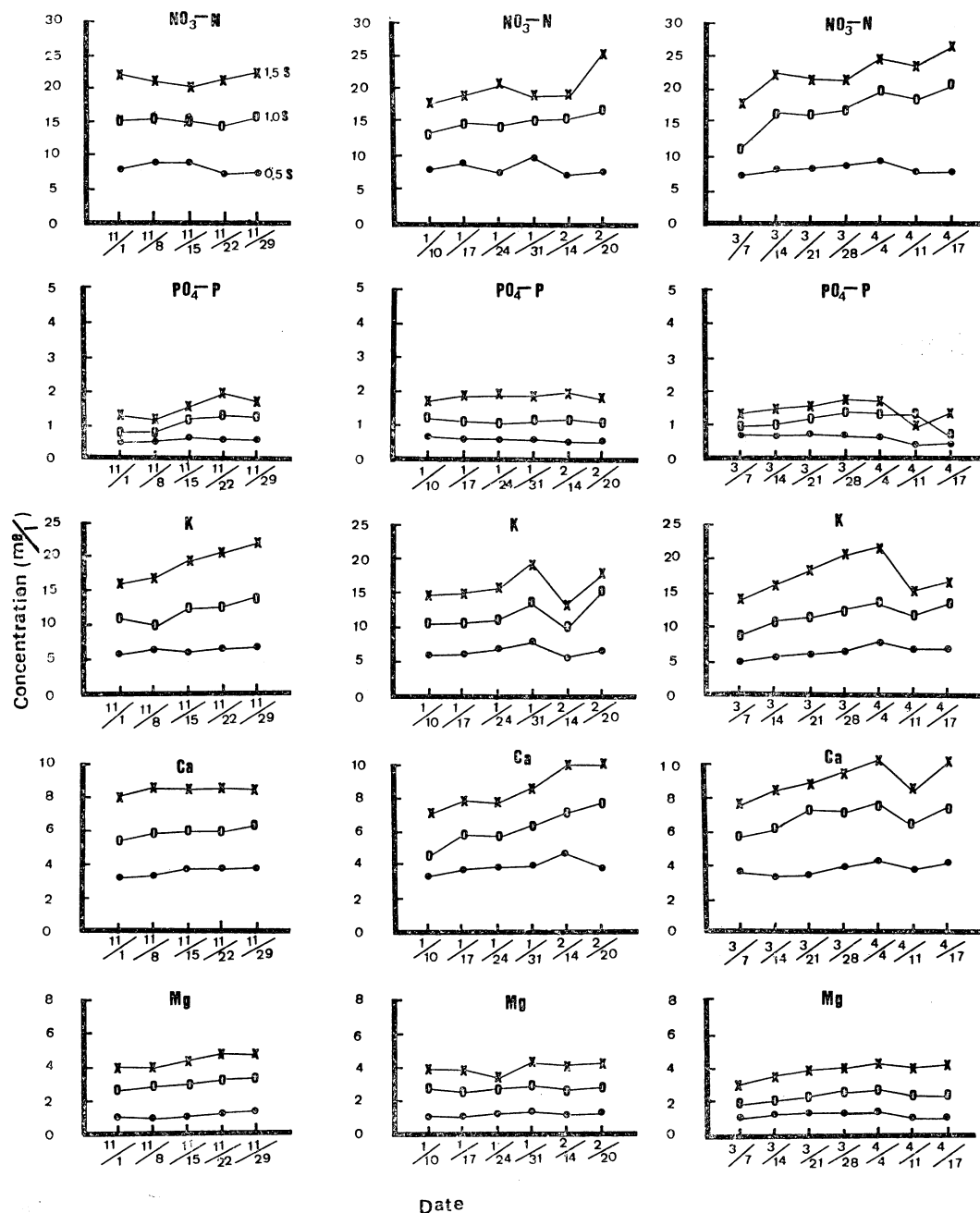


圖 2. 培養液中主要元素之變化

Fig. 2. Changes of elemental concentration (NO_3-N , PO_4-P , K, Ca, Mg) in nutrient solution during the growing period of leafy lettuce

栽培期間每週行培養液取樣分析，其 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 、 K 、 Ca 、 Mg 之濃度變化如圖二。該化學鹽係採用工業原料級，因純度和潮濕性關係，實際濃度與預期濃度仍有差距，按分析結果顯示三播種期仍以二分之一濃度的變化較為隱定，而標準液和1.5S液各要素皆有逐漸升高現象。此分析結果與電導度上升完全一致。同樣表示二分之一濃度的各成分組成與作物之吸收大致相近。

為計算其培養液中所消耗培養液中的五要素濃度，須先測消耗水量，表四為三播種期別濃度的消耗水量。

山崎^(5,6)所謂 n/w ，為作物在一定時間內所吸收培養液量及其所含的各要素。以所吸收之肥料為 n ，同時所吸收的水量為 w 。取其 n 與之比即為大致的吸收濃度。而此 w 量應包括葉面蒸散量、水面蒸發量與生長同時的吸水量之和，而非絕對全為作物吸收量。因此 w 雖非正確的根之吸收濃度，但是此 n/w 在培養液管理上具有濃度維持之意義，並表示作物之養分吸收特性（ n/w 要素濃度以 me/l 表示）。培養液之全濃度以電導度計（Electric Conductivity 單位為 m mhos/cm 表示）測定。而培養液之濃度與電導度（EC）之關係於事先測定並有所瞭解時，則對培養液之管理上當很為便利。

以 $\text{NO}_3\text{-N}$ 之吸收濃度為例，其三播種期之消耗培養液濃度之計算分別為：

$$\text{I. } 7.7 - \frac{600}{124}(7.7-7.5) = 6.73 \text{ (me/l)}$$

$$\text{II. } 7.5 - \frac{600}{175}(7.5-7.3) = 6.81 \text{ (me/l)}$$

$$\text{III. } 7.7 - \frac{600}{185}(7.7-7.4) = 6.00 \text{ (me/l)}$$

表 5. 葉萵苣栽培於1/2 Hoagland 養液中之要素濃度的養液分析

Table 5. Element concentration of solution analysis of leafy lettuce grown in 1/2 Hoagland's solution

Elements	Cropping	Concentration of nutrient solution (me/l)		Concentration by removal water (me/l)
		Beginning	End	
$\text{NO}_3\text{-N}$	I	7.5	7.7	6.73
	II	7.3	7.5	6.81
	III	7.4	7.7	6.73
P	I	0.65	0.5	1.23
	II	0.75	0.5	1.36
	III	0.75	0.5	1.31
K	I	6.13	6.6	4.32
	II	5.95	6.7	4.13
	III	6.0	6.7	4.43
Ca	I	3.35	3.65	2.20
	II	3.40	3.85	2.31
	III	3.55	4.15	2.20
Mg	I	1.2	1.3	0.82
	II	1.2	1.3	0.96
	III	1.0	1.1	0.78

依此分別再計算出P、K、Mg之消耗濃度如表5。該結果顯示各要素的吸收濃度在三播種期很為接近。NO₃-N、P、K、Ca、Mg的大致吸收濃度為7、1.5、4.5、2.5和1me/l。此結果同時顯示五要素間NO₃-N約為K和Ca兩要素之和。同時鉀之吸收濃度比鈣的吸收濃度為高，可見葉莖為好鉀之作物。

4. 植體之成分分析：

以二分之一濃度之各期收穫植體，乾燥後取樣行NO₃-N、PO₄-P、K、Ca、Mg五要素之分析。然後以該期之總收穫量計算各要素之總含量。再以植體之要素總含量，用所消耗之培養液量除之，並計算出其每公升培養液中的要素濃度(me/l)。各不同植期，每公升培養液中的NO₃-N濃度分別為：

I. $6,088,500 \times 3.8\% \times 5.06\% \div 14 \div 124 = 6.74$ (me/l)

II. $10,10,501,740 \times 3.31\% \times 4.80\% \div 14 \div 175 = 6.81$ (me/l)

III. $11,269,260 \times 3.37\% \times 4.4\% \div 14 \div 185 = 6.45$ (me/l)

依此類推計算植體P、K、Ca、Mg濃度分別列表6。

該項結果同樣顯示三個播種期植物體之要素濃度，仍大致相近；其NO₃-N、P、K、Ca、Mg分別為7、1.5、4.2、1.6和1me/l。該植體分析結果與培養液分析結果大致相同。所不同者為植體內之Ca含量略為少些，其原因未甚明瞭，有待進一步查究。然而以培養液之消耗濃度為準，其推薦濃度NO₃-N、P、K、Ca、Mg分別為7、1.5、4.5、2.5、1me/l。

表 6. 栽培於 Hoagland 養液中之葉莖莖植體要素含量

Table 6. Element contents of plant analysis of leafy lettuce grown in 1/2 Hoagland's solution

Elements	Cropping	Contents (% of dry matter)	Total contents (mg)	Total contents/Removal water (me/l)
NO ₃ -N	I	5.06	11,706.97	6.74
	II	4.80	16,685.16	6.81
	III	4.40	16,710.06	6.45
P	I	0.65	1,503.86	1.18
	II	0.75	26,070.06	1.44
	III	0.70	2,658.42	1.40
K	I	8.50	19,665.86	4.07
	II	7.80	27,113.39	3.97
	III	7.90	30,002.15	4.16
Ca	I	1.50	3,470.45	1.40
	II	1.55	5,422.68	1.55
	III	1.50	5,696.61	1.54
Mg	I	0.40	925.45	0.61
	II	0.43	1,688.2	0.78
	III	0.40	1,519.10	0.67

二、浮根式之不同溶氧量對葉萵苣生長之影響：

以浮根式栽培萵苣栽培床配以等量交換方式，在同一容積的培養液分別裝置進水口一、二、四和對照（不裝進水口）四處理，其進水時最高之溶氧量分別為7.5、7.0、6.5、5.5ppm，而其靜水時之最低溶氧皆為5.5ppm。種子於11月5日播種，一個月後收穫。其收穫調查結果如表7，結果各處理間並沒有任何差異。顯示利用浮根式栽培最主要之氧供應量來自浮在水面的根部。因此，熱帶地區欲以培養液循環注入方式增加溶氧，其效果仍有限。倒不如藉栽培方法如浮根式水耕之利用水面上的氧為有效。

表7. 葉萵苣以浮根式水耕時溶氧對產量之影響

Table 7. Influence of dissolved oxygen on yield of leafy lettuce grown with root-floating hydroponics*

Dissolved oxygen (ppm)		yield (g/plant)**
highest	lowest	
7.5	5.5	18.64 a
7.0	5.5	17.76 a
6.5	5.5	18.01 a
5.5	5.5	18.20 a

*Growing period: 11/5—12/4

**Means followed by the same letter are not significantly different at the 5% level as determined by Duncan's Multiple Range Test.

參考文獻：

1. 沈再發, 1986. 數種蔬菜水耕栽培初步試驗, 夏季蔬菜生產改進研討會專輯. 193~212。
2. 沈再發, 1985. 設施園藝生產技術——養液栽培, 八萬農業建設大軍訓練教材. 29~42。
3. 沈再發, 1987. 臺灣之養液栽培問題及展望, 臺灣農業. 23(1): 47~55。
4. 陳文孝、鈴木芳夫、山崎肯哉, 1976. 水耕におけるそ菜の無機養分吸收の特性. 日本園藝雜誌44(4): 395~401。
5. 山崎肯哉、鈴木芳夫、篠原温, 1976. 主要蔬菜の養液栽培(水耕)に関する研究, 特に培養液管理とみかけの吸收濃度(n/w)について. 東教大農學部紀要22: 53~100。
6. 山崎肯哉, 1982. 養液栽培全編. 日本博友社。
7. 山崎肯哉, 1986. 養液栽培技術の發展經過と今後の方向. 日本農業よび園藝61(1)別冊: 27~34。
8. 小川章、橘昌司, 1976. そ菜の根の機能に関する環境生理學的研究II、園藝學會研究發表要旨 51秋: 192~193。
9. 岩田正利、鈴木芳夫, 1969. 窒素形態の差異と蔬菜の生育(第5報)培養液中の各種陰イオンとの關係. 日本園藝學會藝誌38: 254~261。
10. Arnon, D. I. and D. R. Hoagland. 1940. Crop production in artificial culture solution and in soils with special reference to factors influencing yield and absorption of inorganic nutrient. Soil Sci. 50: 463-485.
11. Blanc, D. 1973. Effect of the water regime on the yield, consumptive use of water, and uptake of mineral elements by tomato in soilless culture under greenhouse conditions. ISOSC Proceedings 3rd International Congress on Soilless Culture, 143-147.
12. Cooper, A. J. 1972. The influence of container volume, solution concentration, pH and aeration on dry matter partition by tomato plants in water culture. Journal of Horticultural Science

47(3):341-347.

13. Cooper, A. J. 1979. *The ABC of N F T*. Grower Booker London.
14. Cooper, A. W., and E. B. Dumbroff, 1973. Plant adjustment to osmotic stress in balanced mineral-nutrient media. *Canadian Journal of Botany* 51(4):763-773.
15. Cornillon, P., and County, P. 1976. Influence of root temperature on plant growth in water culture. *ISOSC Proceedings 4th International congress on soilless culture*, 323-326.
16. Cornillon, P. 1977. Effect of root temperature on the absorption of mineral elements by tomatoes. *Ann. Agron.* 28(4), 409-423.
17. Curtis, O. F. and Clark. 1960. *An Introduction of plant Physiology*. McGraw-Hill.
18. Geraldson, C. M. 1957. Control of blossom end rot of tomatoes. *Proc. Ame. Soc. Hort. Sci.* 69 : 309-317.
19. Geraldson, C. M. 1957. Factors affecting calcium nutrient of celery, tomato and pepper. *Proc. Ame. Soc. Hort. Sci.* 69 : 621-630.
20. Hoagland D. R. & D. J. Arnon 1950. The water culture method for growing plant without soil. *Circ* 347. Berkeley: Calif. Agri. Expt. Sta. Univ. of Calif. pp. 32.
21. 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. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*, 50(2) : 225-230.
22. Ikeda H. and T. Osawa 1983. Effect 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. *J. Japan Soc. Hort. Sci.* 52(2) : 159-166.
23. Ikeda, H. and T. Osawa. 1984. Lettuce growth as influenced by N source and temperature of the nutrient solution. *6th ISOSC proceeding* 273-284.

Nutrient Absorption of Leafy Lettuce Grown in Root Floating Hydroponics¹

Tzay-Fa Sheen²

Summary

By using root-floating hydroponics, different concentrations of Hoagland solution were tested for nutrient absorption of leafy lettuce. Highest yield was obtained 1/2 concentration of standard solution. Results from the analysis of nutrient solution and plant suggested the optimum nutrient absorption for leafy lettuce being $\text{NO}_3\text{-N}=7$, $\text{P}=1.5$, $\text{K}=4.5$, $\text{Ca}=2.5$, $\text{Mg}=1$ me/l.

Needed oxygen mainly came from the surface of water in root-floating hydroponics. Water circulating did not increase the lettuce yield.

1. Contribution No. 1373 from Taiwan Agricultural Research Institute. This study was financed by National Science Council (NSC 85-0409-BO55a-o2) R. O. C.

2. Senior Horticulturist and Director, Fengshan Tropical Horticultural Experiment Station, TARI, Fengshan, Kaohsiung Hsien, Taiwan, R. O. C.