養液栽培之肥料與管理

王 銀 波*

一、植物生長所必需的肥料要素

高等植物生長所需之肥料成分，亦即是植物營養學上所說的必需元素（Essential element）。到目前爲止，爲大部份學者所共同承認的計有十六種礦物質元素。其中九種元素在植物體內的含量大於 0.2 %，稱其爲大量必需元素（Macro essential element），爲碳（C）、氫（H）、氧（O）、氮（N）、磷（P）、鉀（K）、鈣（Ca）、鎂（Mg）、硫（S）。含量在 0.02 %與 0.0002 %之間稱爲微量必需元素（Minor essential element），爲鐵（Fe）、錳（Mn）、硼（B）、鋅（Zn）、銅（Cu）、鉬（Mo）、氯（Cℓ）等七種。

另有一群元素，如鈉（Na）、矽（Si）、鋁（Aℓ）、鈷（Co）、釩（V），對一般高等植物雖未被證明爲必需元素，但對某些特定植物的生育有良好的影響，這一群元素稱爲有益元素（Benef-.icial element）而與必需元素有所分別。

這些必需元素存在於多數高等植物的濃度及相對於鉬的濃度（因乾物質中，鉬的含量最少爲 0.00001 %）列如表一。一般而言，植物之營養狀態亦即指其養分含有率，要素的含量太多或太少均會影響到植物的生長，這種影響可分爲兩類，第一類如氮等營養要素，若增加其施用量，最先，植物體中該要素含有率與吸收量同時增加，續而吸收量增加，但要素含有率比較一定，再次則含有率急激增加，產量反而減少。最初階段表示植物爲營各種生理機能，因營養要素不足，含有率低，生理機能無法順利進行，故爲缺乏之階段。第二階段係生理機能漸趨正常，乾物質產量隨要素吸收量增加而增加，含有率緩慢增加，可認爲生理機能近正常之狀態。第三階段爲要素量過多，顯示生理機能與乾物質收量無法同增加，反而因受害而減少，此階段爲養分過剩的毒害。要素含有率與乾物質收量之關係如圖 1 (A)所示。

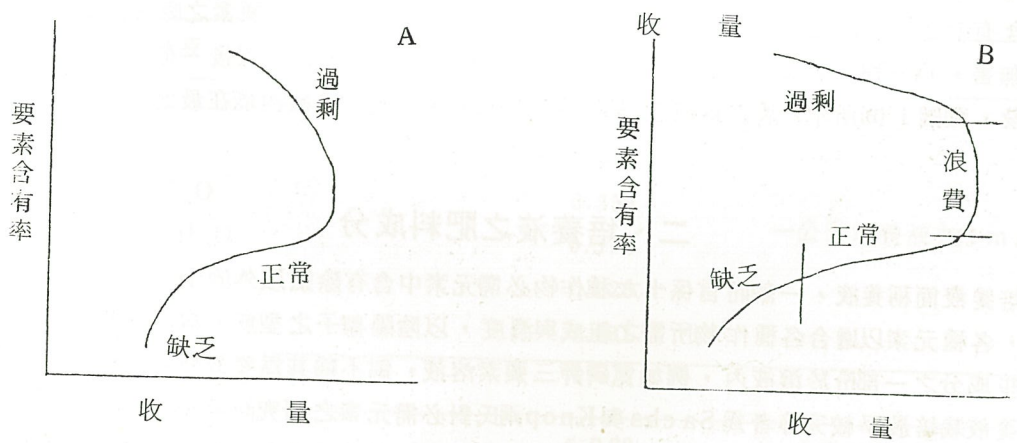


圖 1　養分含有率與收量之關係

* 國立中興大學土壤系

表一　大多數高等植物中必需元素之適宜濃度

必需元素	符號	有效型態	原子量	乾物質濃度 ppm	%	與鉬比之相對原子數
氫	H	H_2O	1.01	60,000	6	60,000,000
碳	C	CO_2	12.01	450,000	45	35,000,000
氧	O	O_2, H_2O	16.00	450,000	45	30,000,000
		大量元素 Macronutrient				
碳	N	NO_3^-, NH_4^+	14.01	15,000	1.5	1,000,000
鉀	K	K^+	39.10	10,000	1.0	250,000
鈣	Ca	Ca^{++}	40.08	5,000	0.5	125,000
鎂	Mg	Mg^{++}	24.32	2,000	0.2	80,000
磷	P	$H_2PO_4^-$, $HPO_4^=$	30.98	2,000	0.2	60,000
硫	S	$SO_2^=$	32.07	1,000	0.1	30,000
		微量元素 Micronutrients				
氯	Cl	Cl^-	35.46	100	0.01	3,000
硼	B	$BO_3^{\equiv}$, $B_4O_7^-$	10.82	20	0.002	2,000
鐵	Fe	Fe^{+++}, Fe^{++}	55.85	100	0.01	2,000
錳	Mn	Mn^{++}	54.94	50	0.005	1,000
鋅	Zn	Zn^{++}	65.38	20	0.002	300
銅	Cu	Cu^{++}, Cu^+	63.54	6	0.0006	100
鉬	Mo	MoO_4^-	95.95	0.1	0.00001	1

另一類如鉀等營養要素，與第一類氮一樣有缺乏與正常二階段，其第三階段並非過剩之毒害，係含有率上昇，但乾物質收量維持一樣，不增加亦不減少，可視爲要素之吸收對乾物質生產無利亦無害，爲一種浪費吸收之階段。此階段可視爲廣義之正常階段，最後一個階段才是過剩毒害的階段，如圖1 (B)所示，故在養液栽培時應該謹愼注意，使所種植物能在最適宜之營養條件下生長。

二、培養液之肥料成分

培養液簡稱養液，一般而言係十六種作物必需元素中含有除氯以外的十五種多量與微量必需元素，各種元素以適合各種作物所需之組成與濃度，以陰陽離子之型態，溶解在溶液內。若僅溶有這些成分之一部份於溶液內，例如氮磷鉀三要素溶液，則不稱其爲養液而稱其爲液肥。

養液栽培最早較完善者爲Sachs與Knop兩氏對必需元素之研究而發現碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鐵十種作物生長所必需之元素開始。其後有許多培養液爲了實驗或實用而設計，如Shive 培養液，春日井培養液，Snyder培養液，Hoagland培養液，Arnon 培養液等，Hewitt的書列出160種不同成份培養液，現在各國使用於養液栽培之培養液介紹如後：

㈠美國常用培養液：

1. Hoagland 與Arnon 修正培養液

貯存溶液	用量（mℓ/ℓ）	
第一種溶液（原爲Hoagland與Snyder培養液）		
1 M KH_2PO_4	1.0	
1 M KNO_3	5.0	
1M $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	5.0	
1M $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	2.0	
第二種溶液（原爲Hoagland 與Arnon 培養液）		
1 M $NH_4H_2PO_4$	1.0	
1 M KNO_3	6.0	
1M $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	4.0	
1M $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	2.0	
微量元素貯存液	用量（g/ℓ）	
H_3BO_3	2.86	
$MnC\ell_2 \cdot 4H_2O$	1.81	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22	一公升培養液加1 mℓ
$CuSo_4 \cdot 5H_2O$	0.08	
$H_2MoO_4 \cdot H_2O$	0.02	
鐵		
第一種溶液0.5％檸檬酸鉉鐵一公升加1 mℓ 第二種溶液0.5％鉗形鐵，一公升培養液加2 mℓ		

2. Johnson 等氏修正培養液：多量元素用第二種溶液，微量元素修正爲

微量元素貯存液	用量（g/ℓ）	
$KC\ell$	3.728	
H_3BO_3	1.546	
$MnSO_4 \cdot H_2O$	0.338	
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.575	一公升培養液加1 mℓ
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.125	
H_2MoO_4	0.081	
鐵		
Fe-EDTA	6.922	一公升培養液加1 mℓ

(二)英國培養液：Cooper 理想培養液

必需元素貯存液	用量（mg/ℓ）
KH_2PO_4	263
KNO_3	583
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	1003
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	513
Fe-EDTA	79
$MnSO_4 \cdot H_2O$	6.1
H_3BO_3	1.7
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.39
$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0.37
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.44

(三)荷蘭培養液

1. Sonneveld 與Vogt培養液

成分	K	Ca	Mg	NH_4	NO_3	H_2PO_4	SO_4（μM/ℓ）	Fe	Mn	Zn	B	Cu	Mo（μM/ℓ）
胡瓜	5.5	3.5	1.0	0.5	11.75	1.25	10	10	10	4	20	0.5	0.5
茄子	6.0	3.0	1.5	0.5	10.0	1.0	10	10	10	4	20	0.5	0.5

2. Sonneveld and Krey培養液

成分	胡瓜	番茄	甜椒	茄子	康乃馨	玫瑰花	非洲菊	火鶴花	虎頭蘭	菊花
EC mS/cm（25℃）	2.1	2.3	1.7	1.7	2.2	1.8	1.8	1.1	1.0	1.4
NO_3^- mmol/l	15.7	13.5	12.25	12.0	15.0	13.0	13.0	6.5	3.8	10.5
$H_2PO_4^-$	1.50	2.0	1.25	1.5	1.75	1.75	1.5	1.0	1.0	1.0
SO_4^{--}	1.25	3.5	1.25	1.0	1.5	1.50	1.25	1.5	2.3	1.0
NH_4^+	0.5	0.5	0.25	0.5	0.5	0.75	0.5	0.5	1.0	0.5
K^+	8.0	9.5	6.0	6.0	7.25	6.0	6.5	4.5	3.2	5.0
Ca^{++}	4.25	4.75	3.75	3.0	4.75	4.5	4.0	1.75	1.7	3.0
Mg^{++}	1.375	1.5	1.125	1.5	1.25	1.0	1.0	1.0	0.9	1.0
Fe μmol/l	15	15	10	10	25	25	35	15	8	60
Mn	10	10	10	10	10	5	5	3	20	20
Zn	5	5	4	4	4	3.5	4	3	4	3
B	25	25	25	20	25	20	30	20	20	20
Cu	0.75	0.75	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	0.5	0.4	0.5
Mo	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5

㈣丹麥培養液

1. 推廣處培養液（ppm）

必需元素	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B
用量（mg/ℓ）	190	68	250	140	35	2.0	0.7	0.3

2. Grodan 社培養液（ppm）

必需元素	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B
用量（mg/ℓ）	150	35	190	150	30	1.0	0.75	0.2

㈤日本培養液

1. 園試培養液：（堀修正培養液）

必需元素肥料	用量（mg/ℓ）
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	950
KNO_3	810
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	500
$NH_4H_2PO_4$	155
Fe-EDTA	15 - 25
H_3BO_3	3
$MnSO_4 \cdot 4H_2O$	2
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	0.22
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	0.05
$Na_2Mo_7O_{24} \cdot 2H_2O$ 或 $(NH_4)_2Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	0.02

2. 山崎培養液

肥料	溶解度 (20 °C) (g/ℓ)	當量重 (mg/me)	洋香瓜 ※ (×me/ℓ) (mg/ℓ)	胡瓜 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	番茄 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	草莓 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	甜椒 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	萵苣 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	茄子 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	小菁 (×me/ℓ) (mg/ℓ)	春菊 (×me/ℓ) (mg/ℓ)
$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	1270	118	×7 826	×7 826	×3 354	×2 236	×3 354	×2 236	×3 354	×2 236	×4 472
KNO_3	315	101	×6 606	×6 606	×4 404	×3 303	×6 606	×4 404	×7 707	×5 505	×8 808
$NH_4H_2PO_4$	368	38	×4 152	×3 114	×2 76	×1.5 57	×2.5 95	×1.5 57	×3 114	×1.5 57	×4 152
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	252	123	×3 369	×4 492	×2 246	×1 123	×1.5 185	×1 123	×2 246	×1 123	×4 492

微量要素：各作物共用　　井水時

肥料	溶解度 (20 °C) (g/ℓ)	分子量	含有率 (%)	適濃度 (mg/ℓ)
Fe-EDTA	421	421	12.5	16
H_3BO_3	46	62	18.0	1.2
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	735	198	27.7	0.72
井水中含Zn，Cu，Mo，Cℓ 的必要量				

雨水時需另追加

肥料	溶解度 (20°C) (g/ℓ)	分子量	含有量 (%)	適濃度 (mg/ℓ)
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	366	288	23.0	0.09
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	168	250	25.5	0.04
$(NH_4)_2MoO_4$	100	196	49.0	0.01
NaCℓ	264	58	61.0	1.64

㈥中華民國培養液

1. 中興大學（NCHU）培養液

必需元素	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	B	Zn	Cu	Mo
用量（mg/ℓ）	40（NO_3-N） 28（NH_4-N）	10	65	60	24	2	1	0.5	0.2	0.03	0.005

2. 台中區農業改良場：（日本山崎春菊、高苣配方）

多量元素	用量（mg/ℓ）	
硝酸鈣	472	236
硝酸鉀	808	404
磷酸銨	152	57
硫酸鎂	492	123
微量元素		
EDTA 鐵	16.0	
硼酸	1.2	
氯化錳	0.72	
硫酸鋅	0.09	
硫酸銅	0.04	
鉬酸銨	0.06	
氯化鈉	1.64	

在許多已發表培養液組成成份中，多量元素之濃度範圍非常寬，根據Hewitt之整理，一般所用濃度爲NO_3^-爲5-15，NH_4^+ 0-3，PO_4^{-3} 2-4，K^+ 2-8，Ca^{+2} 6-10，Mg^{+2} 1-4，SO_4^{-2} 1-4 meq/ℓ。Jone根據常用九種培養液組成，整理出含量之情形如表二。

表二　培養液中多量元素之濃度（ppm）

元素種類	不足	適宜	過剩	一般濃度之範圍
N（NO_3）	0.14-10	3.0-70	20-200	49-210
N（NH_4）	0.007-5	0.03-25	0.4-100	0-154
K（含NH_4時）	0.4-6	10-39	—	59-390
K（無NH_4時）	0.04-4	1.1-5	—	
Ca	0.02-22	0.24-40	—	80-200
Mg	0.05-6	0.2-9	—	24-60
P	0.003-4	0.007-2.6	0.03-4	15-192
S	—	1.3	—	48-224

三、養液栽培中肥料成分之管理

㈠注意用水及配製培養液的方法：

培養液之配製用水，一般可分自來水、地下水與泉水三種，成份列如表三，泉水非各地均有，難得找到，自來水則需增加成本，故以使用井水者較多。本省井水根據調查，其電導度在45至3450 μmhos/cm之間，≦500 μ mhos者30.57％，500～1500 μmhos之間者60.86％，＞1500 μmhos者8.57％，因地點及汲水時間不同有很大變化，使用時不得不愼重，以免電導度過高而影響作物生長。

培養液之配製，若不小心容易使某些肥料成份不溶解或產生沉澱，影響培養液眞正的成份濃度，影響栽培的作物發育，尤其在水體爲鹼性，培養液配方磷與鈣高時尤其應該特別注意。配製時宜把水體調成所需pH附近，並把肥料先行溶解加進培養液攪拌，使其均勻完全溶解。

表三　各種水體之成分（ppm）

成份元素	地下水	泉水	自來水
B	0.4	1	—
Ca	122	175	55
Cℓ	0	—	390
Cu	0.01	0.1	—
Fe	0.2	0.5	0
Mg	8	192	42
Mn	0	0.2	—
N	12	12	0.6
K	1	10	17
P	0	0.5	—
Na	24	460	251
Zn	0.5	0.1	—
F	—	—	1
S	—	—	211
Aℓ	—	—	0
水體地點	英CHALKHILL	科威德	杜買

㈡確實把握肥料成分量：

秤肥料時確實把握培養液所寫重量係肥料元素或化學物重量，化學物重量若有列出則注意是分子量或當量。以山崎配方爲例，硝酸鈣分子式爲$Ca(NO_3)_2$，分子量爲164（Ca 40，N14，O16）當量爲82，但實際上硝酸鈣含有四分子結晶水，水的分子式爲H_2O，分子量爲18（H 1，O 16），四分子水爲72，故眞正我們所用化學物是含結晶水的$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$分子量應爲164＋72＝236，當量爲118。

若寫的是元素量，則需先行換算成化合物的重量，再秤肥料調和。以中興大學培養液配方爲例，氮素需要68 ppm或mg/ℓ，其中40 mg/ℓ爲NO_3-N供應，28 mg/ℓ爲NH_4-N供應，

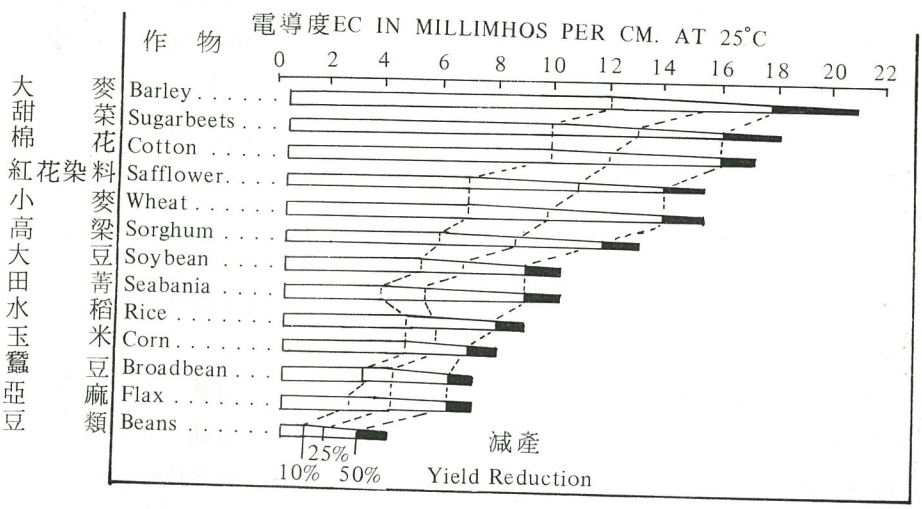
NO_3-N 之 40 mg 若以硝酸鈣供應則 $\frac{118}{40} \times 40 = 337.14$ mg 約 337 mg 硝酸鈣，這是以當量計算的。若列的是分子量，計算方法爲（236/14×2）×40＝337.14mg，一分子內含N二個計算結果是一致的。

最後請別忘記純度，因爲成本的關係，我們所用的化學物肥料，不會非常純，這樣價格太高了。一般常用爲培養液的化合物通常爲食品級或工業級的，因此化合物的純度略低，如上述硝酸鈣純度爲90％，換句話說含 $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 的量爲90％，故用這種化學物當培養液，還要換算成純度爲100％的重量以免減少成份，其計算當量重爲 $118 \times \frac{100}{90} = 131.11$，重量約爲 131mg/ℓ。

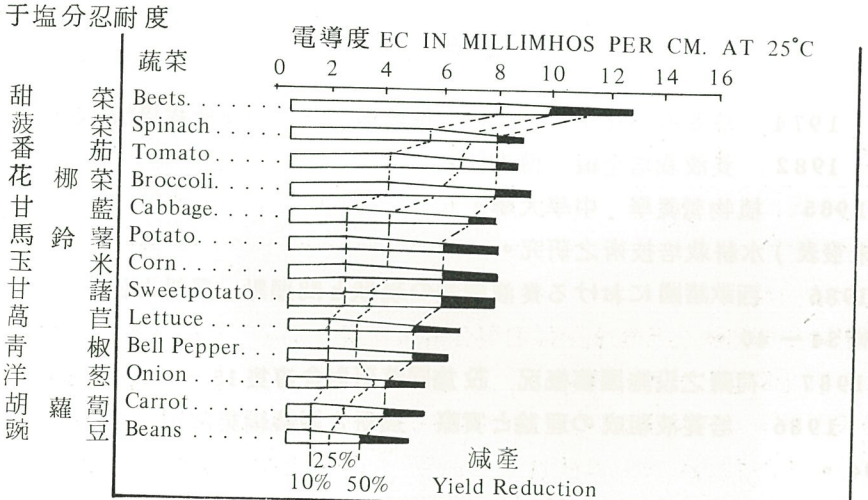
㈢注意作物的種類與種植的時間：

每種作物對鹽分的忍耐度不一樣，如圖2所示，因此對鹽分的含量反應也不一樣。對鹽份忍

1. 作物對于鹽分忍耐度



2. 蔬菜對于鹽分忍耐度



資料來源：Soil and Plant-Tissue Testing in California. Division of Agricultural Science, University of California. Bulletin 1879.

圖 2　土壤飽和液塩分濃度與作物生長

耐度高的作物可種在高塩分培養液，低塩分培養液生長反受影響。但對塩分忍耐度低的作物不適種高塩分培養液，否則會影響生長減產，低塩分培養液才是這種塩分忍耐度低的作物生長旺盛的配方。

一般而言，作物在低溫時忍受塩分能力較佳，高溫時則較差，故栽培時若以冬天的培養液爲標準在夏天栽培作物，則作物有時會有塩分過多的症狀產生並減少產量。因此夏天培養液應較冬天的濃度爲低，才可使作物產量正常。

(四)補充缺少的肥料成分及水分 ：

培養液栽培作物，係以比土壤較高濃度的養分栽培作物。這時作物對養分之吸收係以Epstein氏所說的系統二的方式吸收營養分，這種吸收的特性爲濃縮率小，代謝依賴小，離子選擇性小。由於濃縮率小，水分會比在土壤時多被吸收而肥料成分在培養液中成爲濃縮的狀態，因此不可忘記補充水分，以免培養液過濃影響作物生長。

經過一段時間栽培後，肥料養分被吸收，使培養液之養分濃度下降，因此必需補充缺少的肥料養分，維持作物之正常生長。這時最佳的方法，理論上爲分析每種養分之減少量然後補充之。事實上栽培農戶無法每種肥料成份都去分析。因此只能以代表塩分濃度的電導度去維持，使肥料成分近于一定濃度，由於高濃度培養液養分吸收選擇性比較少，故這種方法勉強可行。這裡要特別提出一點，每次加水分或肥料成分時，別忘記調整培養液的酸鹼度，減少肥料成份的沉澱，並使作物生長維持在較好的條件。

(五)注意作物之生理障害 ：

作物生長，不但種類不同需要養分量不同，生長前後期各階段所需肥料亦不可能相同，因此在培養液栽培時常會發生各種營養異常的生理障害，所以在行養液栽培時要時常注意作物生長有無異常變化，以便隨時補救。

養液栽培較易產生的生理異常障害有下列幾種：①缺鐵症狀（如圖二）。②缺鈣症狀（如圖三）。③缺鎂症狀（如圖四）。④肥料成份過多症狀（如圖五）等四種。若發生這些症狀，應即刻調整培養液補充或減少肥料成分去補救外，有時缺乏症狀時亦可配合葉面施肥補救之。

參考文獻

1. 山崎肯哉　1974　培養液の化學性　農耕と園藝編　野菜の養液栽培法 22 — 26。
2. 山崎肯哉　1982　養液栽培全編　博友社。
3. 王銀波　1985　植物營養學　中學大學。
4. 王銀波（未發表）水耕栽培技術之研究。
5. 伊東正　1986　西歐諸國における養液栽培の現狀と問題點　農耕と園藝編集部編　養液栽培の新技術 34 — 40。
6. 沈再發　1987　荷蘭之設施園藝概況　設施園藝研討會專集 15 — 30。
7. 並木隆和　1986　培養液組成の理論と實際　農耕と園藝編集部編　養液栽培の新技術 197 — 204。
8. 茅野充男　1987　養液栽培における作物の養分吸收特性　農業および園藝 62(1)：91 — 96。
9. 許東榮、徐玉標、郭錦洛　1985　台灣地區淺層地下水汚染現況調查。
10. 高德錚　1986　水耕栽培一精緻蔬菜生產技術之開發　台中區農推專訊 56：1 — 8。

11. 高徳錚　1988　動態浮根式葉菜水耕栽培技術　台中區農推專訊74：1－7。
12. 新井和夫　1987　養液栽培で發生しやすい生理障害　農業および園藝62(1)：97－100。
13. 鈴木芳夫　1986　培養液管理　農耕と園藝編集部編　養液栽培の新技術　25－30。
14. Cooper, A. 1979 The ABC of NFT. Grower Books, London.
15. Hewitt, E.J. 1966 Sand and water culture method used in study of plant nutrition. Technical Communication NO.22 (Revised), Commonwealth Bureau of Horticulture and Plantation Crops, East Mailing Maidstone, Kent, England
16. Jones, J.B.Jr. 1983 A Guide for the hydroponic and soillees culture grower. Timber Press, Portland, Oregon.
17. Resh, H.M. 1985 Hydroponic food production. Woodbridge Press Publishing Company, Santa Barbara, California.



圖 2　番茄缺鐵症狀



圖 4　番茄缺鎂症狀



圖 3　番茄缺鈣症狀表現於果實



圖 5　胡瓜肥料成份過多症狀