

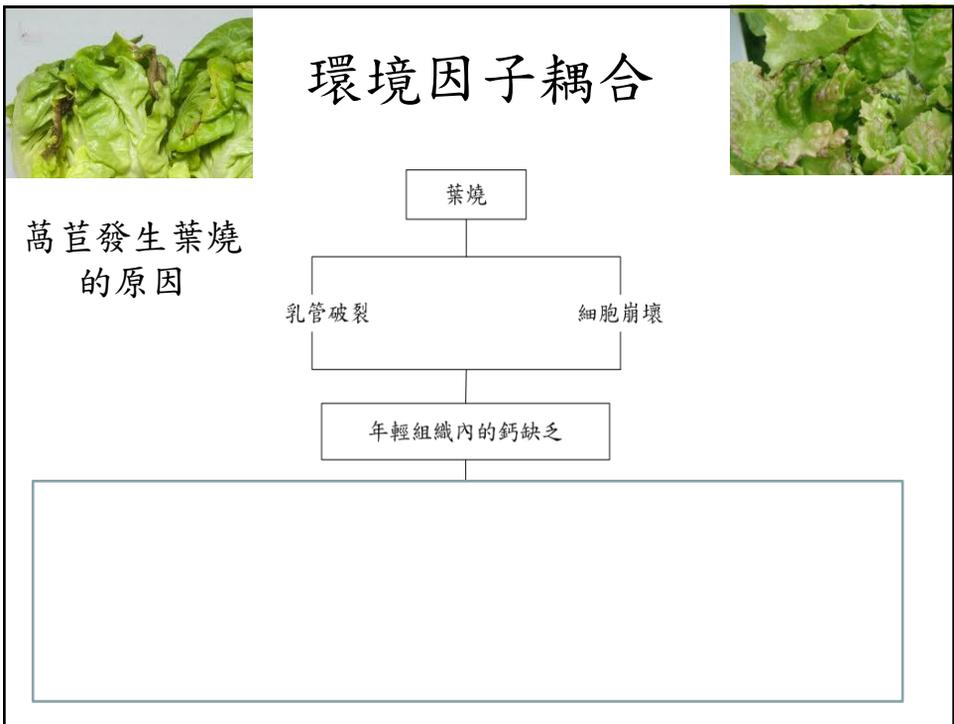
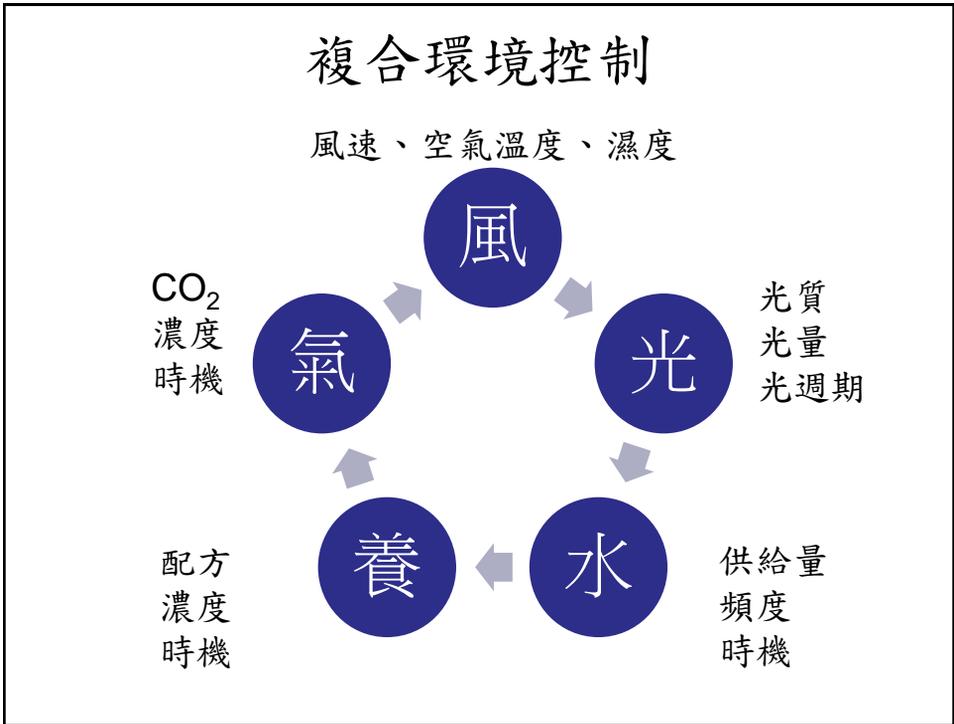
PF之養液栽培

台大生機系 方煒

相關簡報：水耕系統

大綱

- 複合環境控制
- 養液栽培簡介
- 養液之營養元素/配方/管理
- 養液自動監控
 - 荷蘭
 - 以色列
 - 紐西蘭



The Causes of Tip Burn Generation of Nutriculture Lettuce		
Cause Location	Occurrence Condition	Cause Related
Cause at the part above ground	The condition that many of Photosynthetic Assimilates translocate to new leaves in the center. The condition that transpiration from galea is active and water drifts to new leaves in the center is relatively restrained.	Solar radiation
		Humidity (saturation deficit)
		Wind velocity
		Temperature
		carbon dioxide concentration
		Weather: Cloudy/rain→fine
Cause of the plant	If it is a resistant variety or not. The condition that the demand for the amount of Ca gets higher. (The condition that the photosynthetic rate of the entire plant gets high, the translocation of the anabolite increases and the auxesis speed increases.) The size, the number and the area of the leaves, has a large effect.	Breed
		The number and the area of the leaves
		Satisfactory growth
Cause at the part under ground	The condition that the absorption of NH ₄ -N, K is large and the absorption of Ca is inhibited. The condition that the overall absorption of nourishing water is inhibited.	Culture fluid composition (high NH ₄ -N, K)
		Culture fluid renewal
		pH fluctuation (root damage)

牽一髮動全身

- 提高溫度 -> 影響濕度 -> 影響蒸氣壓差 -> 影響葉面蒸散 -> 影響根部營養吸收 -> 影響代謝速率 ->
- 葉面蒸散受影響 -> 影響葉面溫度 -> 影響氣孔開閉 -> 影響二氧化碳進出 -> 影響光合作用 ->
- 光量/光期增加 -> 影響溫度 -> 影響蒸散 -> 影響代謝速率 -> 影響光合作用 ->

(營/培)養液栽培 水耕栽培 簡介

世界的養液栽培面積

依國際養液栽培學會資料，於40年前養液栽培面積，世界尚未達10 ha，但到1996年達12,000 ha。現在已達25,000 ha，且每年約3-4,000 ha逐年增加。

國家	面積(ha)
荷蘭	5000
西班牙	4000
以色列	1000
法國	1000
比利時	1000
日本	1056
韓國	650

台灣發展養液栽培之緣起

- 1969年龍潭農校最早，初期是0.3 ha礮耕，後來農業試驗所行砂耕試驗，之後中興大學進行立體無土栽培試驗。
- 1983年鳳山熱帶試驗分所開始行水耕實用化試驗，1985年台中農改場也開始水耕研究。
- 1990年代台灣水耕栽培之面積約150公頃左右，葉菜類大概以彰化縣較具規模；蔬果類則以南投縣、台中縣較集中。
- 為因應市場及農業內外環境的變遷，漸漸有更多人投入水耕栽培之趨勢。
- 後期因難以克服交叉感染與夏季養液水溫高、溶氧低的問題，而漸漸減少栽培面積。
- 近期因植物工廠的興起而再度受到重視。

養液栽培的主要優點

1. 可避免連作障礙，某種有利作物可穩定的高度連作。
2. 肥效率高，作物養分吸收平衡，生育迅速且產量高。
3. 工作簡化，包括播種、定植、施肥、灌水、除草、收穫等的管理科學化，可擴大經營規模。
4. 無需粗重勞力，可舒適工作。

養液栽培的主要缺點

1. 設施所需投資費用高。
2. 根部栽培於緩衝力較小的養液中，易受環境之影響，如有病菌侵入，則其蔓延迅速。
3. 水耕於高溫下其溶氧量低，夏季之栽培作物種類受到很大限制。

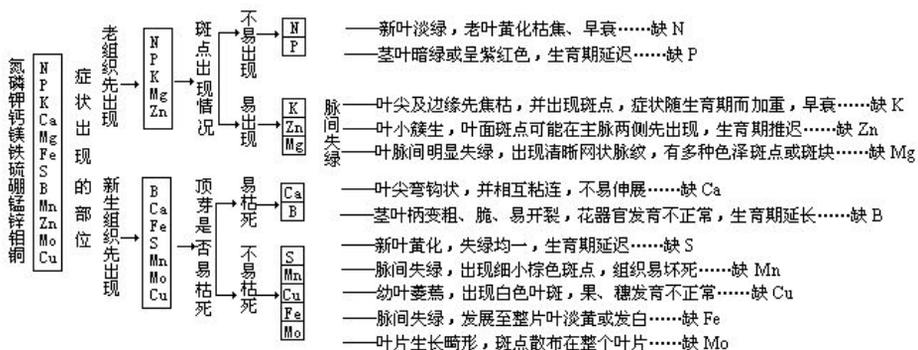
水耕栽培的作物

1. 葉菜類：結球萵苣、葉萵苣、茼蒿、小松菜、山東小白菜、蔥、芹菜、青江白菜、菠菜、芫荽等。
2. 果菜類：番茄、小黃瓜、洋香瓜、青椒、茄子、西瓜、四季豆、草莓等。
3. 根菜類：櫻桃蘿蔔、大頭菜等。
4. 花卉類：菊花、玫瑰、洋蘭、滿天星、康乃馨、星辰花、太陽花等。

水耕系統是植物營養實驗的最佳研究工具

養液化學成分 Chemical composition of nutrient solution.	Modified Hoagland (mg/L)	缺氮 (mg/L)	缺磷 (mg/L)	缺鉀 (mg/L)	缺鈣 (mg/L)
硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1180	($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}=735$)	1180	1180	($\text{NH}_4\text{NO}_3=400$)
硝酸鉀 KNO_3	505	($\text{KCl}=370$)	605	($\text{NH}_4\text{Cl}=2.67$; $\text{NH}_4\text{NO}_3=198$)	505
硫酸鎂 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	495	495	495	495	495
磷酸一鉀 KH_2PO_4	135	135	($\text{KNO}_3=100$)	($\text{H}_3\text{PO}_4=97.2$)	135
鉍形鐵 $\text{Fe} \cdot \text{EDTA} (\text{EDTA}_2\text{Fe})$	7.34	7.34	7.34	7.34	7.34
硼酸 H_3BO_3	1.546	1.546	1.546	1.546	1.546
硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
硫酸鋅 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.575	0.575	0.575	0.575	0.575
硫酸錳 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.845	0.845	0.845	0.845	0.845
氯化鉀 KCl	3.728	3.728	3.728	X	3.728
鉬酸鈉 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184	0.0184
EC	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
pH	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

作物營養元素缺乏症檢索簡表



注：此檢索表用於根據目測症狀判斷缺素症，氮的缺素症難於目測，故未列入。

在google 輸入 蔬菜作物營養障礙診斷圖鑑
可找到多種作物缺乏特定營養元素的圖片

養液/營養液/培養液
營養元素/配方/管理

植物所需16種元素

重要/大量元素

碳	C
氫	H
氧	O
氮	N
磷	P
鉀	K
鈣	Ca
鎂	Mg
硫	S

微量元素

鐵	Fe
硼	B
錳	Mn
鋅	Zn
銅	Cu
鉬	Mo
氯	Cl

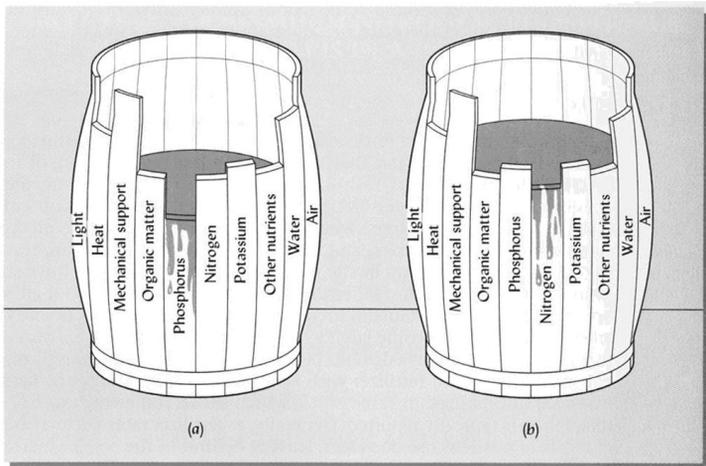


FIGURE 16.21 An illustration of the law of the minimum and the concept of the limiting factor. Plant growth is constrained by the essential element (or other factor) that is most limiting. The level of water in the barrel represents the level of plant production. (a) Phosphorus is represented as being the factor that is most limiting. Even though the other elements are present in more than adequate amounts, plant growth can be no greater than that allowed by the level of phosphorus available. (b) When phosphorus is added, the level of plant production is raised until another factor becomes most limiting—in this case, nitrogen.

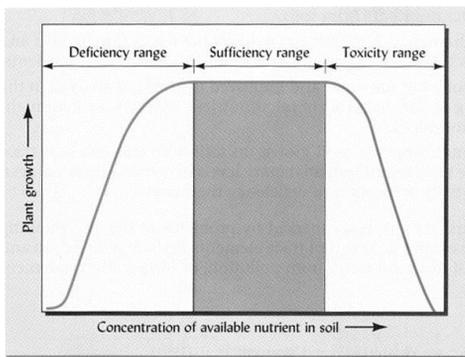


FIGURE 15.1 The relationship between the amount of a micronutrient available for plant uptake and the growth of the plant. Within the deficiency range, as nutrient availability increases so does plant growth (and uptake, which is not shown here). Within the sufficiency range, plants can get all of the nutrient they need, and so their growth is little affected by changes within this range. At higher levels of availability a threshold is crossed into the toxicity range, in which the amount of nutrient present is excessive and causes adverse physiological reactions leading to reduced growth and even death of the plant.

微量要素

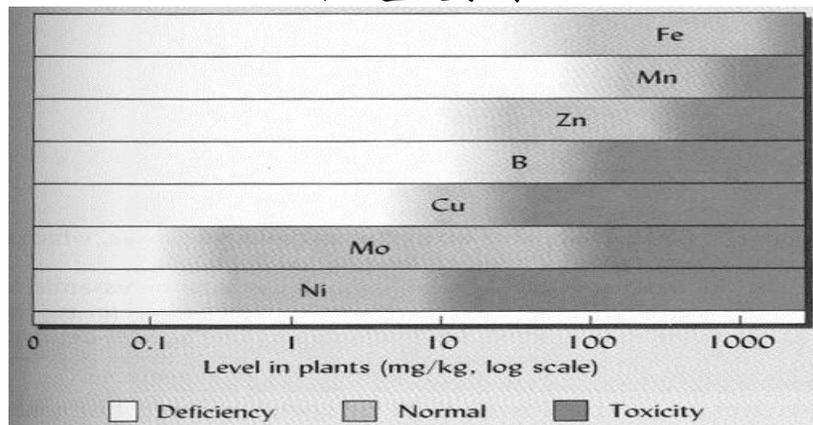


FIGURE 15.3 Deficiency, normal, and toxicity levels in plants for seven micronutrients. Note that the range is shown on a logarithm base and that the upper limit for manganese is about 10,000 times the lower range for molybdenum and nickel. In using this figure, keep in mind the remarkable differences in the ability of different plant species and cultivars to accumulate and tolerate different levels of micronutrients. (Based on data from many sources)

微量要素:型態

元素	在自然界中主要型態
鐵	氧化物、硫化物與矽酸鹽類
錳	氧化物、矽酸鹽類與碳酸鹽類
鋅	硫化物、氧化物與矽酸鹽類
銅	硫化物、氫氧基碳酸鹽類
硼	硼矽酸鹽類（如電氣石、硼矽鈣礦）及硼酸鹽
鉬	硫化物及鉬酸鹽 MoO_4^{-2}
氯	氯化物
鈷	矽酸鹽

微量要素:型態(續)

TABLE 15.3 Forms of Micronutrients Dominant in the Soil Solution

Micronutrient	Dominant soil solution forms
Iron	Fe^{2+} , $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, Fe^{3+}
Manganese	Mn^{2+}
Zinc	Zn^{2+} , $\text{Zn}(\text{OH})^+$
Copper	Cu^{2+} , $\text{Cu}(\text{OH})^+$
Molybdenum	MoO_4^{2-} , HMoO_4^-
Boron	H_3BO_3 , H_2BO_3^-
Cobalt	Co^{2+}
Chlorine	Cl^-
Nickel	Ni^{2+} , Ni^{3+}

From data in Lindsay (1972).

高等植物之19種必須元素

類別	元素	原子量	有效型態	當量重 mg/me
重要元素 3	碳C	12.01	CO_2	1 mM 44 mg
	氫H	01.01	H_2O	1 mM 18 mg
	氧O	16.00	O_2	1 mM 32 mg
大量元素 6	氮N	14.01	NO_3^- , NH_4^+	14.0
	磷P	30.98	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}	10.3
	鉀K	39.10	K^+	39.1
	鈣Ca	40.08	Ca^{+2}	20
	鎂Mg	24.32	Mg^{+2}	12.1
	硫S	32.07	SO_4^{-2}	16
微量元素 7	鐵Fe	55.85	Fe^{+3} , Fe^{+2}	27.9
	錳Mn	54.94	Mn^{+2}	27.5
	硼B	10.82	BO_3^{-3} , B_4O_7^-	3.6
	銅Cu	63.54	Cu^{+2} , Cu^+	31.8
	鋅Zn	65.38	Zn^{+2}	32.7
	鉬Mo	95.95	MoO_4^{-2}	48
	氯Cl	35.46	Cl^-	35.4
特殊元素 3	矽Si	28.09	SiO_4^{-4}	7
	鋁Al	26.98	Al^{+3}	9
	鈉Na	22.99	Na^+	23

主要肥料之分子式、分子量、溶解度、純度與價格表

肥料	分子式	分子量	可吸收養分形態	溶解度 (20°C g/l)	純度 %	價格 元/公斤
硝酸鉀	KNO ₃	101	K ⁺ , NO ₃ ⁻	315	95	50~60
硝酸鈣	結晶Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	236	Ca ⁺² , 2(NO ₃ ⁻)	1270	70	20~27
磷酸銨	NH ₄ H ₂ PO ₄	115	NH ₄ ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	365	98	50~64
硫酸鎂	MgSO ₄ ·7H ₂ O	246	Mg ⁺² , SO ₄ ⁻²	252	45	44
硝酸銨	NH ₄ NO ₃	80	NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻	655	98	
硫銨	(NH ₄) ₂ SO ₄	132	2(NH ₄ ⁺), SO ₄ ⁻²	754	94	5.6
氯化銨	NH ₄ Cl	53	NH ₄ ⁺ , Cl ⁻	1630		
尿素	(NH ₂) ₂ CO	60	NH ₄ ⁺	1000	98	9.8
硫酸鉀	K ₂ SO ₄	174	2K ⁺ , SO ₄ ⁻	111	90	31
氯化鉀	KCl	74	K ⁺ , Cl ⁻	265	95	8.4
氯化鈣	CaCl ₂ ·2H ₂ O	147	Ca ⁺² , Cl ⁻	536	75	24
磷酸一鉀	KH ₂ PO ₄	136	K ⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻	227	98	70
EDTA鐵	Fe-EDTA	421	Fe ⁺²	421	12.5	250
硼酸	H ₃ BO ₃	62	B ₃ ⁺	46	18	55~60
硫酸錳	MnSO ₄ ·4H ₂ O	223	Mn ⁺² , SO ₄ ⁻²	500	99	

自行調配營養液

- 各組成分化學藥劑可向坊間化工原料行購買
- 巨量元素應選購食品級或工業級為宜
- 微量元素則以分析級最佳

影響微量營養陽離子有效性之因子

a. 土壤pH

- 在甚酸性土壤中常有較豐富之Fe、Mn、Zn與Cu離子，在此類情況下，此類元素中之一或更多個的濃度常可高至足以對植物造成毒害。隨pH上昇，這些微量陽離子成為溶解度低之氫氧化物或氧化物沉澱，有效性即行降低。

b. 氧化狀態與pH

- Fe : Fe^{2+} , Fe^{3+} ; Mn : Mn^{2+} , Mn^{4+}O_2
- 於土壤常見pH下，鐵、錳及銅之氧化態較之還原態一般皆為甚不易溶解者。此類高價之水化氧化態沉澱物在低pH值下皆為極端不溶性的。
- 土壤pH與通氣之相互作用在決定微量營養元素之有效性上有甚大的重要性。

c. 其他無機反應

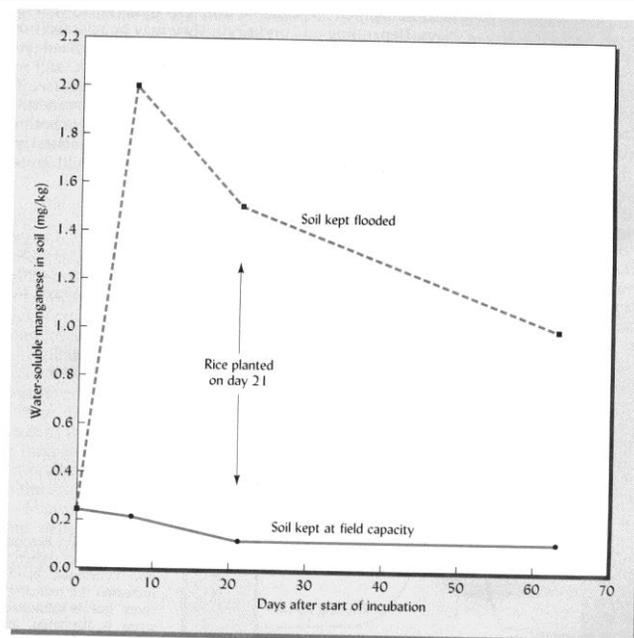


FIGURE 15.9 Effect of flooding on the amount of water-soluble manganese in soils. The data are the averages for 13 unamended Ultisol horizons with initial pH values ranging from 3.9 to 7.1. [Data from Weil and Holah (1989)]

影響微量營養陽離子有效性之因子(續)

d. 有機組合

- Organo-metal complexes (有機金屬複合物)
 - $\text{Cu}^{2+} + \text{Org. matter} \rightarrow \text{Cu-org}$
(DOC) soluble
 - $\text{Cu}^{2+} + \text{Org. matter} \rightarrow \text{Cu-org}$
(insoluble) (insoluble)
- Chelating agent (鉗合劑)
 - EDTA (ethylene diamine tetraacetic acid)
 - $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}), \text{Cu}^{2+}, \text{Mn}^{2+}, \text{Zn}^{2+} + \text{EDTA}$
→ EDTA-metal complexes
 - Increase availability in alkaline soils

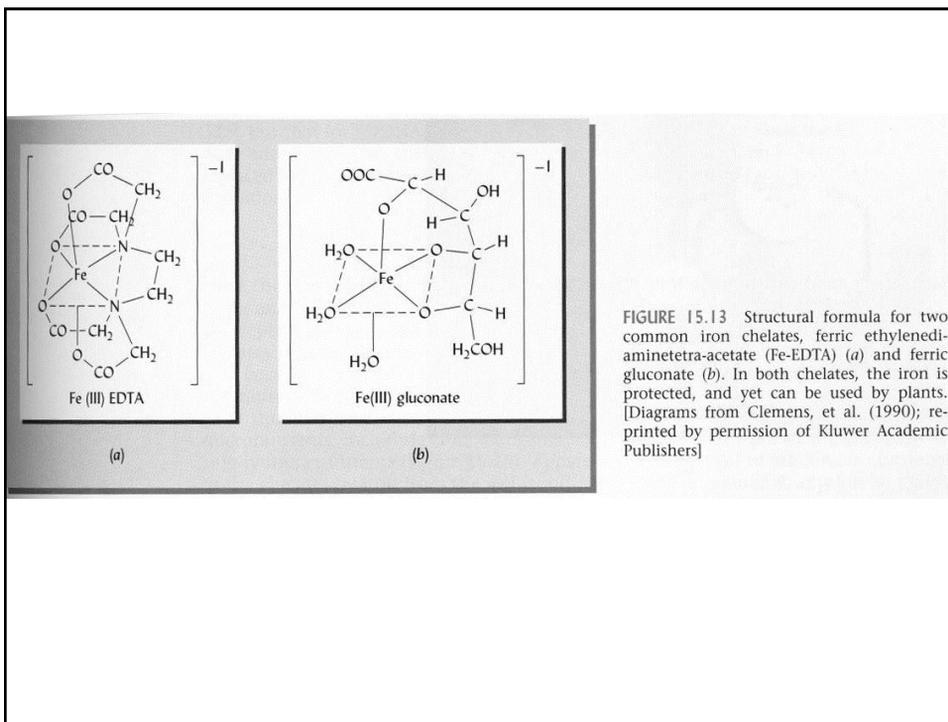
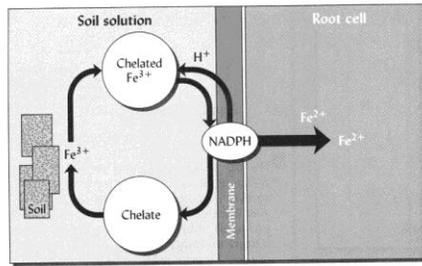


FIGURE 15.13 Structural formula for two common iron chelates, ferric ethylenediaminetetraacetate (Fe-EDTA) (a) and ferric gluconate (b). In both chelates, the iron is protected, and yet can be used by plants. [Diagrams from Clemens, et al. (1990); reprinted by permission of Kluwer Academic Publishers]



(a)

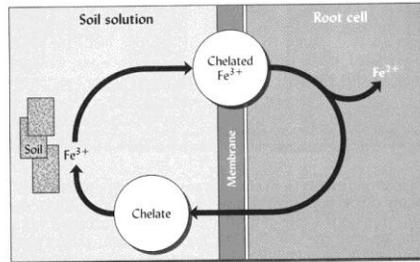


FIGURE 15.14 Two ways in which plants utilize micro-nutrients held in chelated form. (Top) Dicotyledonous plants such as cucumber and peanuts produce strong reducing agents (NADPH) that reduce iron at the outer surface of the root membrane. They then take in only the reduced iron, leaving the organic chelate in the soil solution where it can complex another iron atom. (Bottom) Grass plants such as wheat or corn apparently take the entire chelate-metal complex into their root cells. They then remove the iron, reduce it, and return the chelate to the soil solution.

影響微量營養陰離子有效性之因子

- a. 氯(Cl)
- b. 硼(B)
 - $\text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{BO}_3^-$ $\text{p}K_a=9.2$
(in the soln.)
 - H_3BO_3 形態，屬迅速有效於植物
 - Toxicity ~ deficiency 之間範圍非常狹窄
- c. 鉬(Mo), MoO_4^{-2}
 - 影響鉬有效性之土壤情況頗相類同於磷，在強酸性土壤中鉬會成為十分無效的。酸性土壤施用石灰通常會增加鉬的有效性。

土壤生產力

- 生產力 (productivity)：可以單位面積作物之產量 (yield) 來衡量
- **Productivity = f (soil, climate, pests, disease, genetic, potential of crop, human's management)**
- 如果除了土壤因子以外，其餘之因子維持不變
- 則 **productivity = f (soil)**

維持土壤生產力之必要測試

- Plant analysis (tissue testing) (植體分析) + soil testing (土壤測定)
- soil testing → 測定 soil nutrient supplying power
- 以化學抽出之方法抽取土壤中有效性要素，藉此來判斷土壤供應要素給植物之能力，並進一步做施肥量之推薦。
- Deficiency diagnosis (缺乏診斷)

(培/營)養液

1. 含有作物所必須的元素。
2. 易溶於水，為根所容易吸水的型態，即離子狀態。
3. 各離子在適當的濃度範圍，且總離子濃度也在適當範圍內。
4. 不含有對作物有害的離子。
5. 溶液的pH在5.5-6.5範圍或其附近。
6. 肥料價廉。
7. 養液於栽培期間，各要素間的濃度比率和pH等不致發生大變化。

培養液之配方

- 1) 依據生育良好而豐收的植物體，土壤分析後，以該組成再行試驗後，確定最適者，如著名的Hoagland與Arnon培養液，日本園藝試驗場處方。
- 2) 依據培養液的構成要素分成陽離子和陰離子，以各離子間行不同比率的組合試驗，以表現最好的培養液組成和濃度所算出者，如Steiner以陰陽離子總濃度和比例配製養液的適用方法和日本名城大學高野處方。

培養液之配方

- 3) 依據作物的生長階段調查其養分和水分的吸收量，依此養分的吸收型態以決定其組成和濃度。如日本山崎氏以養液的穩定性管理為出發點作成不同作物之培養液。
- 4) 重視培養液吸收過程和吸收之型態，以培養液的管理方式來調整為重點者，如神奈川園藝試驗場處方為番茄缺鈣而加重鈣的濃度所作成的培養液。

養液濃度之常用單位

- 養液中各元素濃度的五種表示單位
 - 巨量元素常用單位
 - mM 或 mmol/L (每公升水中的毫莫耳數)
 - me/L (每公升水中的毫克當量數)
 - 微量元素常用單位
 - ppm (百萬分之一)
 - mg/L (每公升水中的毫克數)
 - μM 或 $\mu\text{mol/L}$ (每公升水中的微莫耳數)
 - 克當量 = 該元素之原子量/原子價之值
 - 毫克當量 = 克當量/1000
- me/L x 原子量/原子價 = ppm**

me/L 與 ppm (mg/L) 之單位轉換

- K的原子量為39.1，原子價為1
 - K 之1 me = $39.1 \div 1 = 39.1$ mg
- Ca和Mg之原子量為40，24.3，原子價皆為2
 - Ca 之1 me = $40 \div 2 = 20$ mg
 - Mg 之1 me = $24.3 \div 2 = 12.2$ mg。
- 因此，K之39.1 mg或Ca之20 mg或Mg之12.2 mg溶解於1 L水中，均為 1 me/L。
- ppm為百萬分之一，各成分於1 L水中含有1 mg（1000 L中含1 g）為1 ppm
- 因此，K之 1 me/L = 39.1 ppm，Ca之 1 me/L=20 ppm。

$$\text{me/L} \times \text{原子量} / \text{原子價} = \text{ppm}$$

養液栽培時使用原水中 各種離子的上限濃度

成分上 限濃度	NO₃-N 60	P 30	K 80	Ca 80	Mg 40	Fe 10
成分上 限濃度	Mn 1	Zn 1	B 0.7	Na 80	Cl 200	

適當EC：0.3 dS/m (mS/cm) 以下 適當pH：5~8

硝酸態氮 NO₃-N
 銨態氮 NH₄-N

施肥量之計算例

肥料	N		P	K	Ca	Mg	EC	施肥量
	NO ₃ -N	NH ₄ -N						
單位別	me/L	me/L	me/L	me/L	me/L	me/L	mS/cm	g
設定濃度	7	0.67	2	4	3	2	0.24	
水源(泉水)	0	0	0	0.02	1.6	0.45		
施肥濃度	7	0.67	2	3.98	1.4	1.55		
KNO ₃	3.98			3.98				402
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	1.4				1.4			165
MgSO ₄ · 7H ₂ O						1.55		191
NH ₄ H ₂ PO ₄		0.67	2					76
(NH ₄ NO ₃)	(1.62)	(1.62)						(64.8)
(KNO ₃)	(1.62)			(1.62)				(163.6)
合計	5.38	0.67	2	4	3	2		

3.98 me/L 的 N → $3.98 \times 14 / (14/101) = 401.98$ g 的 KNO₃ (分子量101)

1.4 me/L 的 Ca → $1.4 \times (40+62 \times 2 + 4 \times 18) / 2 = 330/2 = 165$

五種養液配方之比較

各種培養液之成分濃度 (me/L)	NO ₃ - N	P	K	Ca	Mg
Arnon 與 Hoagland	16	6	10	6	4
日本園藝處方	16	4	8	8	4
日本神園處方	10	4	6	10	4
山崎處方(番茄)	7	2	3	2	2
高野處方	4	4	6	7	4.4

七種常用於無土栽培之標準液濃度 (ppm)

元素	美國 Hoagland and Arnon	英國 Cooper	荷蘭 Steiner 修正	美國 Wilcox 1	美國 Wilcox 2	加拿大 Resh	日本 園試場
氮(N)	210	200	171	132	162	175	132
磷(P)	31	60	48	58	58	65	42
鉀(K)	234	300	304	200	284	400	314
鈣(Ca)	160	170	180	136	136	197	162
鎂(Mg)	48	50	48	47	47	44	50
鐵(Fe)	50	12	3	4	4	2	3
錳(Mn)	0.5	2	1	0.5	0.5	0.5	0.5
硼(B)	0.5	1.5	0.3	1.5	1.5	0.5	0.5
鋅(Zn)	0.05	0.1	0.4	0.3	0.3	0.05	0.05
銅(Cu)	0.02	0.1	0.2	0.1	0.1	0.05	0.02
鉬(Mo)	0.01	0.2	0.1	0.1	0.1	0.02	0.01

N, K, Ca 均高，P, Mg 差異小，Fe 差異大；荷蘭配方強化微量元素含量
Hoagland 的N, K 含量較接近

甘迺迪太空中心太空農業研究 養液配方

TABLE 1 Initial concentration of elements in the nutrient solutions of growth chamber radish and lettuce from the Kennedy Space Center

Element	Starter Concentration	Replenishment Concentration ¹
NO ₃ -N	7.5 mM	49 mM
PO ₄ -P	0.5 mM	5 mM
K	3.0 mM	36 mM
Ca	2.5 mM	9 mM
Mg	1.0 mM	8 mM
S	1.0 mM	8 mM
Fe	50.0 μM	135 μM
B	4.75 μM	48 μM
Mn	3.7 μM	37 μM
Zn	0.64 μM	6.4 μM
Cu	0.52 μM	5.2 μM
Mo	0.01 μM	0.1 μM

¹ This solution was added to the working nutrient solution to maintain an electrical conductivity of 0.12 S · m⁻¹. Slight adjustments in the concentrations of specific nutrients were made over the course of the studies.

更多的養液配方 彙整

1. 山崎配方(多種作物)
2. 水耕園
3. 通用配方
4. 均衡配方
5. 山崎配方(萵苣)
6. 大塚配方 1+2 號
7. 台中農改場配方
8. Hoagland 配方
9. Cornell 配方
10. 花寶 1 號

日本山崎配方：作物別之適宜養液組成 (水1,000公升)

養液配方 (公克)	硝酸鉀	硝酸鈣	硫酸鎂	第一磷酸 銨	EDTA鐵	成分濃度 (ml/l)					電導度 (mS/cm)
						硝酸態 氮	鉀	鈣	磷	鎂	
胡瓜	610	830	500	120	20	13.0	6.0	7.0	3.0	4.0	2.0
洋香瓜	610	830	380	155	20	13.0	6.0	7.0	4.0	3.0	2.0
西瓜	610	830	185	60	20	13.0	6.0	7.0	1.5	1.5	1.6
菠菜	300	470	250	80	20	7.0	3.0	4.0	2.0	2.0	1.1
番茄	400	360	250	80	20	7.0	4.0	3.0	2.0	2.0	1.1
草莓	310	240	125	60	20	5.0	3.0	2.0	1.5	1.0	0.7
甜椒	610	360	250	100	20	9.0	6.0	3.0	2.5	2.0	1.3
茄	710	360	250	120	20	10.0	7.0	3.0	3.0	2.0	1.5
萵苣	400	240	125	60	20	6.0	4.0	2.0	1.5	1.0	0.8
茼蒿	810	470	500	155	20	12.0	8.0	4.0	4.0	4.0	2.0
燕菁	510	240	125	60	20	7.0	5.0	2.0	1.5	1.0	0.9
鴨兒芹	710	240	250	190	20	9.0	7.0	2.0	5.0	2.0	1.6
康乃馨	400	590	310	80	20	9.0	4.0	5.0	2.0	2.5	1.3
玫瑰花	300	360	150	60	20	10.0	3.0	3.0	1.5	1.2	1.3
火鶴花	200	240	200	30	20	4.0	2.0	2.0	0.8	1.6	0.6
秋菊	400	240	125	80	20	8.0	4.0	2.0	2.0	1.0	1.1

水耕園的基本養液配方

成份			g/10L
A (大量)	磷酸一銨	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	340
	硝酸鈣	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2080
	硝酸鉀	KNO_3	1100
			g/4L
B (微量)	硫酸鎂	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	492
	硫酸錳	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2.48
	硼酸	H_3BO_3	6.2
	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.48
	硫酸鋅	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	1.2
	鉬酸銨	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0.02
	螯合鐵	EDTA	8.46

1 L 的水中加入 5 ml 養液 A (大量) 及 2 ml 養液 B (微量) 混合。

Bradley, P. And Tabares, C.H.M., 2000, Spreading Simplified Hydroponics : Home Hydroponic Gardens, Global Hydroponics Network, Corvallis, OR.

通用水耕養液配方

成份			g/100L
A	硝酸鈣	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	13110
	硝酸鉀	KNO_3	2557
	螯合鐵	EDTA	500
B	硝酸鉀	KNO_3	2557
	磷酸鉀	KH_2PO_4	3567
	硫酸鎂	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	6625
	硫酸錳	$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	121
	硫酸鋅	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	11
	硼酸	H_3BO_3	39
	硫酸銅	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	3
	鉬酸銨	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.02

A 及 B 皆稀釋 1 : 100, EC=2.5, TDS=1806.

Morgan, L., 2002e, The Growing Edge 14(1) : 11.

微量要素濃縮液の配製（以10,000倍稀釋使用）

元素	濃度 ppm	肥料鹽 化學式	濃度 (mg/L)	濃縮液10 L中 之用量 (g)
B	0.5	硼酸(H_3BO_3)	2.86	286
Mn	0.5	氯化錳($MnCl_2 \cdot 4H_2O$)	1.81	181
Zn	0.05	硫酸鋅($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$)	0.22	22
Cu	0.02	硫酸銅($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	0.08	8
Mo	0.01	鉬酸鈉($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$)	0.025	2.5

註：每噸培養液中添加此濃縮液100 ml。

以硫酸錳 ($MnSO_4 \cdot 4H_2O$) 取代氯化錳時，10 L中加入 213g 予以溶解。

鐵 (Fe) 以3 ppm時，以 EDTA-Fe 施用的話，每公噸養液加入 23 g。

濃縮液（使用1,000倍稀釋）配製10 L時加入 226 g。

三種養液配方的營養成分濃度

表 1 各種培養液処方の作り方と成分濃度（水1トンあたり）

肥料と成分	分子量(原子量) 当量×原子価	均 衡 培養液	山崎処方 (レタス)	大塚ハウス 肥料1号+2号
硝酸カリ KNO_3	101 × 1	810 g	400 g	757 g
硝酸カルシウム $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$	118 × 2	950 g	240 g	1 000 g
リン安 $NH_4H_2PO_4$	38 × 3	155 g	60 g	203 g
硫酸マグネシウム $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	123 × 2	500 g	125 g	500 g
NO_3-N	14 × 1	16me/l	6 me/l	16 me/l
P	31 × 3	4 me/l	1.5 me/l	5.3 me/l
K	39 × 1	8 me/l	4 me/l	7.5 me/l
Ca	20 × 2	8 me/l	2 me/l	8.5 me/l
Mg	24 × 2	4 me/l	1 me/l	4 me/l

大塚1,2 號的成分與使用

表 2 大塚ハウス肥料の成分と使い方

大塚 ハウス	大量成分 (%)					微量成分 (%)			使 用 方 (標準液)
	N	P	K	Mg	Ca	Fe	B	Mn	
1号	10	8	23	5	—	0.18	0.1	0.1	1号を15g と2号10g を10lの水に溶かして用いる。
2号	11	—	—	—	23	—	—	—	

使用：每 10 公升的水中加入 15 克的大塚1 號與 10 克的大塚2 號

表一 台中區農業改良場葉菜類水耕營養液基本配方

	營養液名稱	用量 mg/l
巨量元素	硝酸鈣(Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O)	236
	硝酸鉀(KNO ₃)	404
	硫酸鎂(MgSO ₄ · 7H ₂ O)	123
	磷酸一銨(NH ₄ H ₂ PO ₄)	57
微量元素	Fe-EDTA	20
	硼酸(H ₃ BO ₃)	1.2
	氯化錳(MnCl ₂ · 4H ₂ O)	0.72
	硫酸銅(CuSO ₄ · 5H ₂ O)	0.04
	硫酸鋅(ZnSO ₄ · 7H ₂ O)	0.09
	鉬酸鈉(Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O)	0.01

各種蔬菜生育過程所需之配方均不同，其標準成份如表一，栽種時之依栽培種類別，將基本配方中之巨量元素濃度當作 "S" 加倍之，微量元素則不變。

表二 各種葉菜類蔬菜所需之營養液濃度

蔬菜別	巨量元素濃度	EC (mmho)	pH
白菜、萵苣	S	1.3	6.0
青梗白菜、菠菜、莧菜、油菜、茼蒿、空心菜	1.5S	1.7	6.0
芥菜、芥藍菜、結球萵苣	2S	2.0	6.0

養液化學成分	臺中農改場家庭	日本山崎萬莖	Hoagland
	葉菜(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	472	240	1180
硝酸鉀 KNO_3	606	400	505
硫酸鎂 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	246	125	495
磷酸一銨 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	152	60	60
銻形鐵 $\text{Fe} \cdot \text{EDTA} (\text{EDTA}_2\text{Fe})$	20	20	7.34
硼酸 H_3BO_3	2	1.2	1.546
氯化錳 $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1		
硫酸銅 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.10	0.09	0.125
硫酸鋅 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.10	0.04	0.575
鉬酸鈉 $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		0.01	
硫酸錳 $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$		1.82	0.845
氯化鉀 KCl			3.728
鉬酸鈉 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$			0.0184

不同來源的配方差異頗大。

光是同樣來自台中改良場的出版資料，成分與濃度差異也是頗大。

應該建立最適合自己的配方，不是一味照抄。

元素濃度	臺中農改場家庭葉菜	日本山崎萬莖	Hoagland	Cornell (ppm)
	(ppm)	(mg/L)	(mg/L)	
N	91.54	159.10	210.62	125
P	16.14	40.89	30.78	31
K	154.80	234.52	233.71	215
Ca	40.80	80.24	200.60	84
Mg	12.38	24.35	49.01	24
S	16.62	32.01	64.59	35
B	0.216	0.360	0.278	0.16
Fe	2.500	2.500	0.918	0.94
Mn	0.584	0.280	0.271	0.14
Zn	0.009	0.023	0.130	0.13
Cu	0.023	0.026	0.032	0.03
Mo	0.004		0.010	0.03

Hoagland 養液 (10 種肥料的組合)

名稱	化學式	純度 (%)	分子量	化合物 (ppm)	提供元素	原子量	元素 (ppm)	全量 (g/T)
硝酸鉀	KNO ₃	95	101	606.66	鉀(K)	39.1	234.86	638.59
					氮(N)	14.01	84.15	
硝酸鈣	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	90	236	944.32	鈣(Ca)	40.08	160.37	1049.24
					氮(N)	28.02	112.12	
硫酸鎂	MgSO ₄ · 7H ₂ O	45	246	492.78	鎂(Mg)	24.31	48.70	1095.07
					硫(S)	32.07	64.24	
磷酸一銨	NH ₄ H ₂ PO ₄	98	115	114.99	氮(N)	14.01	14.01	117.34
					磷(P)	30.98	30.98	
硼酸	H ₃ BO ₃	99	62	2.86	硼(B)	10.82	0.50	2.89
氯化錳	MnCl ₂ · 4H ₂ O	99	198	1.81	錳(Mn)	54.94	0.50	1.83
					氯(Cl)	35.46	0.32	
硫酸鋅	ZnSO ₄ · 5H ₂ O	99	251	0.22	鋅(Zn)	65.38	0.06	0.22
					硫(S)	32.07	0.03	
硫酸銅	CuSO ₄ · 5H ₂ O	99	250	0.08	銅(Cu)	63.54	0.02	0.08
					硫(S)	32.07	0.01	
鉬酸	H ₂ MoO ₄ · H ₂ O	99	180	0.02	鉬(Mo)	95.95	0.01	0.02
螯合鐵	EDTA · Fe · Na · 3H ₂ O	95	421	5	鐵(Fe)	55.85	0.66	5.26

台中農業改良場 (萵苣) 養液 pH=6, EC=1.1 mS/cm

名稱	化學式	純度 (%)	分子量	化合物 (ppm)	提供元素	原子量	元素 (ppm)	全量 (g/T)
硝酸鉀	KNO ₃	95	101	484	鉀(K)	39.1	187.37	509.47
					氮(N)	14.01	67.14	
硝酸鈣	Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	90	236	94	鈣(Ca)	40.08	15.96	104.44
					氮(N)	28.02	11.16	
磷酸一鈣	Ca(H₂PO₄)₂ · H₂O	30	252	67	鈣(Ca)	40.08	10.65	223.33
					磷(P)	30.98	8.24	
硫酸鎂	MgSO ₄ · 7H ₂ O	45	246	394	鎂(Mg)	24.31	38.94	875.56
					硫(S)	32.07	51.36	
磷酸一銨	NH ₄ H ₂ PO ₄	98	115	62	氮(N)	14.01	7.55	63.27
					磷(P)	30.98	16.70	
硼酸	H ₃ BO ₃	99	62	1.2	硼(B)	10.82	0.21	1.21
氯化錳	MnCl ₂ · 4H ₂ O	99	198	0.72	錳(Mn)	54.94	0.20	0.73
					氯(Cl)	35.46	0.13	
硫酸鋅	ZnSO ₄ · 5H ₂ O	99	251	0.09	鋅(Zn)	65.38	0.02	0.09
					硫(S)	32.07	0.01	
硫酸銅	CuSO ₄ · 5H ₂ O	99	250	0.04	銅(Cu)	63.54	0.01	0.04
					硫(S)	32.07	0.01	
鉬酸	H ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	99	180	0.01	鉬(Mo)	95.95	0.01	0.01
螯合鐵	EDTA · Fe · Na · 3H ₂ O	95	421	20	鐵(Fe)	55.85	2.65	21.05

Hoagland 養液

台中改良場(萵苣)養液

加總 - 元素 (ppm)	
提供元素	合計
K	234.86
N	210.28
Ca	160.37
S	64.28
Mg	48.70
P	30.98
Fe	0.66
Mn	0.50
B	0.50
Cl	0.32
Zn	0.06
Cu	0.02
Mo	0.01
總計	751.54

加總 - 元素 (ppm)	
提供元素	合計
K	187.37
N	85.85
S	51.38
Mg	38.94
Ca	26.62
P	24.94
Fe	2.65
B	0.21
Mn	0.20
Cl	0.13
Zn	0.02
Cu	0.01
Mo	0.01
總計	418.32

Hoagland 的 K, N 濃度相近，台中場的 K 為 N 的兩倍多濃度

台中農改場的使用濃度比 Hoagland 養液低。

台中農改場的鈣少多了，但鐵多了許多。

花寶一號配方 (7:6:19)

花寶一號 (Hyponex NO.1)

氮		7%
銨態氮	Ammoniacal Nitrogen	1.2%
硝酸態氮	Nitrate Nitrogen	5.8%
可利用磷	Available Phosphate	P ₂ O ₅ 6%
水溶性鉀	Soluble Potash	K ₂ O 19%

來源

Sources

硝酸鉀	Potassium Nitrate
重過磷酸鈣	Triple SuperPhosphate
硫酸銨	Ammonium Sulfate



花寶編號	N:P:K	用途
一號	07-06-19	水栽植物水溶液稀釋1000倍
二號	20-20-20	一般植物通用
三號	10-30-20	促進開花結果
四號	25-05-20	觀葉植物生長
五號	30-10-10	幼苗快速生長

養液調配方法

- 為避免硝酸鈣與硫酸鎂或硝酸鈣與第一磷酸銨於濃縮液中混合引起硫酸鈣和磷酸鈣之沈澱，濃縮母液通常分裝兩桶，A桶裝入硝酸鈣，或也加Fe-EDTA內，而其他所有肥料放入於B桶內。
- 由於混合肥料之溶解度低的種類如硝酸鉀（每公升最大溶解度為315g）需要多量，原液配製時應予限制量。利用定量泵浦配以養液混合管可自動稀釋，並混合成栽培的培養液。
- 原液A和原液B避免直接混合，宜加水後充分混合。

Cornell 配方 (各300L RO 水的添加量)

STOCK A

These chemicals are added to 300 L of RO water

Calcium Nitrate	29160.0 g
Potassium Nitrate	6132.0 g
Ammonium Nitrate	840.0 g
Sprint 330 Iron - DTPA (10% Iron)	562.0 g

STOCK B

These chemicals are added to 300L of RO water

Potassium Nitrate	20378.0 g
Monopotassium Phosphate	8160.0 g
Potassium Sulfate	655.0 g
Magnesium Sulfate	7380.0 g
Manganese Sulfate*H ₂ O (25% Mn)	25.6 g
Zinc Sulfate*H ₂ O (35% Zn)	34.4 g
Boric Acid (17.5% B)	55.8 g
Copper Sulfate*5H ₂ O (25% Cu)	5.6 g
Sodium Molybdate*2H ₂ O (39% Mo)	3.6 g

Cornell 配方各元素最終濃度

Macro-nutrients:			Micro-nutrients:		
N	8.9 millimol l ⁻¹	(125 ppm)	Fe	16.8 micromol l ⁻¹	(0.94 ppm)
P	1.0 millimol l ⁻¹	(31 ppm)	Mn	2.5 micromol l ⁻¹	(0.14 ppm)
K	5.5 millimol l ⁻¹	(215 ppm)	B	15.0 micromol l ⁻¹	(0.16 ppm)
Ca	2.1 millimol l ⁻¹	(84 ppm)	Cu	0.4 micromol l ⁻¹	(0.03 ppm)
Mg	1.0 millimol l ⁻¹	(24 ppm)	Zn	2.0 micromol l ⁻¹	(0.13 ppm)
S	1.1 millimol l ⁻¹	(35 ppm)	Mo	0.3 micromol l ⁻¹	(0.03 ppm)

ppm=mg/kg=mg/L, milli_mol/L *原子量 = mg/L, μmol/L *原子量/1000 = ppm
 N: 8.9*14 = 124.6, Ca: 2.1*40 = 84, Fe: 16.8 * 55.8/1000 = 0.937

養液之EC & pH管理



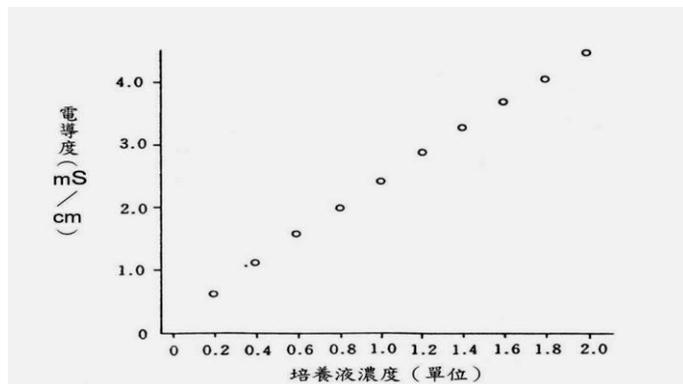
培養液之管理

- 依EC值進行養液管理時
- 循環式養液於栽培開始，植物吸收容易被吸收的元素，這些元素的濃度會降低，
- 對於不易被吸收的元素，其濃度上昇，因此組成也可能改變。
- 根也會排出有機酸等，也影響電導度。
- 因此，栽培中需要定期進行養液的成分分析。

養液濃度以電導度 EC 為指標

- 電導度 EC 的常用單位為 mS/cm
 - 有時有用 S/m, $1.0 \text{ mS/cm} = 0.1 \text{ S/m}$
 - 有時有用 dS/m, $1.0 \text{ mS/cm} = 1.0 \text{ dS/m}$
- 養液中離子數量多，導電易，EC 值就大。
- EC 為養液中全部離子濃度之指標，無法由此值得知各元素的含量多寡。

EC vs. 養液濃度

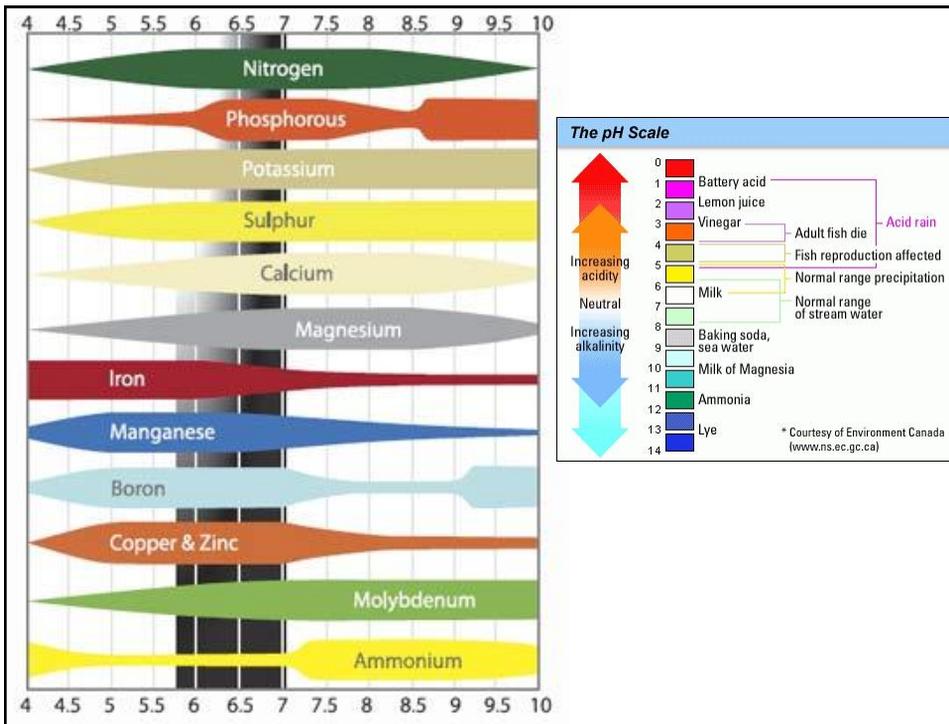
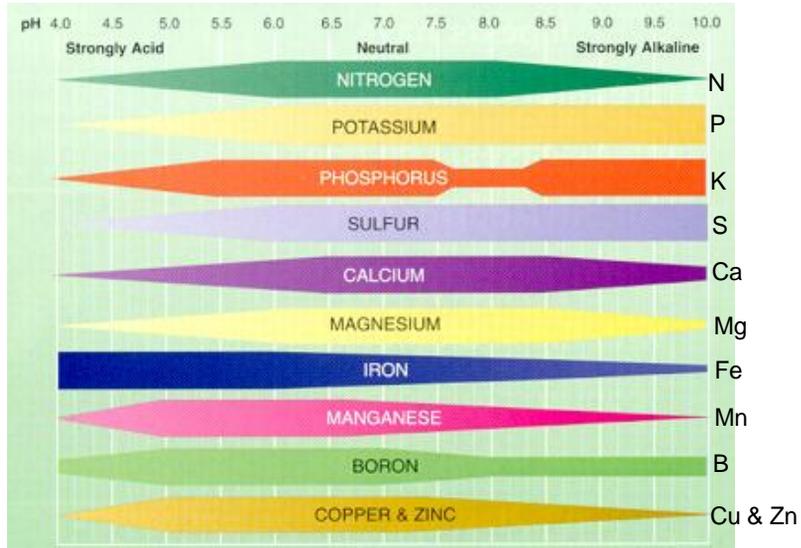


日本園試處方標準培養液之濃度與電導度之關係。

(山崎, 1982)

養液濃度和電導度(EC)為線性相關，所以可由養液之EC值來決定肥料不足時給予追肥或過高時予以稀釋。

養液酸鹼度以pH 值為指標



三合一儀表與二合一感測器



TDS 可由 EC 直接計算

Combination flat surface pH electrode with Conductivity cell

離子選擇性電極

Ion Selective Electrode

Ion Selective Electrode

Electrode	Model	Sensor Type	Direct Measuring Range		Slope and pH/decade	pH Range	Temp(°C) Range	Interference	Filling Solution	Standard Solution			ISA Solution	IT #
			mol/L	ppm(mg/L)						0.1M	1000ppm	1000ppm		
Ammonia(NH ₃)	NR31502	Gas Sensing Combination	1.0 - 5 x 10 ⁻⁷	17,000 - 0.01	56 ± 3	above 11	0 - 50	Volatile amines	NR30101	NR3A501	NR3A502	NR3A503	NR31501	Membrane Kit - NR3K005
Ammonium(NH ₄ ⁺)	NH41502	Glass Combination	1.0 - 5 x 10 ⁻⁶	18,000 - 0.1	56 ± 2	4 - 10	0 - 50	K ⁺	R001043	NH4A501	NH4A502	NH4A503	NH41501	
Bromide(BR ⁻)	BR01502	Glass Combination	1.0 - 5 x 10 ⁻⁶	79,900 - 0.4	57 ± 2	2 - 14	0 - 80	Cl ⁻ , I ⁻ , CN ⁻ , high levels of Cl ⁻ & SO ₄ ²⁻	R001015	BR0A501	BR0A502	BR0A503	BR01501	
Calcium(Ca ²⁺)	CA01502	Glass Combination	0.1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁷	11,200 - 0.05	27 ± 2	3 - 13	0 - 80	Ag ⁺ , NH ₄ ⁺ , Cu ²⁺ , high levels of Pb ²⁺ , Fe ³⁺	R001015	CA0A501	CA0A502	CA0A503	CA01501	
Calcium(Ca ²⁺)	CA11502	Glass Combination	1.0 - 5 x 10 ⁻⁶	40,000 - 0.2	27 ± 2	3 - 10	0 - 50	Pb ²⁺ , Ag ⁺ , Cu ²⁺ , Ni ²⁺	R001013	CALAS01	CALAS02	CALAS03	CAL1501	
Carbon Dioxide(CO ₂) / Carbonate(CO ₃ ²⁻)	CC01502	Gas Sensing Combination	1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	440 - 4.4	56 ± 3	4.8 - 5.2	0 - 50	Volatile weak acids	CC03010	CC0A501	CC0A502	CC0A503	CC01501	Membrane Kit - CC03010 Storage Sol - NR3K005
Chloride(Cl ⁻)	CL01502	Glass Combination	1.0 - 5 x 10 ⁻⁶	35,500 - 1.8	56 ± 2	2 - 12	0 - 80	S ²⁻ , I ⁻ , CN ⁻ , Br ⁻	R001015	CL0A501	CL0A502	CL0A503	CL01501	
Copper(Cu ²⁺)	CU01502	Glass Combination	1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	6,300 - 6.4 x 10 ⁻⁶	27 ± 2	2 - 12	0 - 80	Pb ²⁺ , Ni ²⁺ , high levels of Cl ⁻ , Br ⁻ , SO ₄ ²⁻	R001015	CU0A501	CU0A502	CU0A503	CU01501	
Cyanide(CN ⁻)	CN01502	Glass Combination	1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	280 - 0.13	57 ± 3	11 - 13	0 - 80	S ²⁻ , I ⁻ , Br ⁻ , Cl ⁻	R001015	-	-	-	CN01501	
Fluoride(F ⁻)	FO01502	Glass Combination	Saturated - 0.02	Saturated - 0.02	57 ± 2	5 - 8	0 - 80	OH ⁻	R001012	FO0A501	FO0A502	FO0A503	FO01501	ISA Sol - 1 - 3 Gallon
Fluoride and Bromide(BR ⁻)	BF41502	Glass Combination	1.0 - 7 x 10 ⁻⁶	10,800 - 0.1 (ppm)	56 ± 2	2.5 - 11	0 - 50	Cd ²⁺ , I ⁻ , CN ⁻	R001044	BF4A501	BF4A502	BF4A503	BF41501	
Iodide(I ⁻)	IO01502	Glass Combination	1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	127,000 - 6 x 10 ⁻⁶	57 ± 2	0 - 14	0 - 80	S ²⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	R001015	IO0A501	IO0A502	IO0A503	IO01501	
Lead(Pb ²⁺)	PB01502	Glass Combination	1 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	20,700 - 0.2	25 ± 2	1 - 8	0 - 80	Ag ⁺ , NH ₄ ⁺ , Cu ²⁺ , high levels of Cl ⁻ , Br ⁻ , Fe ³⁺	R001015	PB0A501	PB0A502	PB0A503	PB01501	
Nitrate(NO ₃ ⁻)	NR01502	Glass Combination	1.0 - 1 x 10 ⁻⁶	83,000 - 0.5	57 ± 2	2.5 - 11	0 - 50	CO ₃ ²⁻ , I ⁻ , CN ⁻ , Br ⁻	R001044	NR0A501	NR0A502	NR0A503	NR01501	
Nitrogen Oxide(NO _x)	NR01501	Gas Sensing Combination	5 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	220 - 0.2	56 ± 3	1.1 - 1.7	0 - 50	SO ₂ , H ₂ , nitric acid	R001001	NR0A501	NR0A502	NR0A503	NR01501	
Perchlorate(ClO ₄ ⁻)	PER1502	Glass Combination	1.0 - 7 x 10 ⁻⁶	98,000 - 0.7	56 ± 2	2.5 - 11	0 - 50	No significant interference	R001044	PERA501	PERA502	PERA503	PER1501	
Potassium(K ⁺)	K001502	Glass Combination	1.0 - 1 x 10 ⁻⁶	39,000 - 0.04	56 ± 2	3 - 12	0 - 50	Ca ²⁺ , NH ₄ ⁺	R001043	K00A501	K00A502	K00A503	K001501	
Silver/Sulfide/Ag ⁺ /S ²⁻	AGS1502	Glass Combination	Ag ⁺ : 1.0 - 1 x 10 ⁻⁶ S ²⁻ : 1.0 - 1 x 10 ⁻⁷	Ag ⁺ : 107,800 - 0.01 S ²⁻ : 30,100 - 0.003	56 ± 2	2 - 12	0 - 80	Hg ²⁺ , Ni ²⁺	R001015	AGSA501 AGSA502	AGSA501 AGSA502	AGSA501 AGSA502	AGS1501	AGS1501 Silver and Sulfide Buffer(SA501) Is
Sodium(Na ⁺)	NA11502	Glass Combination	Saturated - 0.1	Saturated - 0.02	56 ± 2	5 - 12	0 - 80	H ⁺ , K ⁺ , Li ⁺ , Ag ⁺ , Cs ⁺ , NH ₄ ⁺	R001041	NA0A501	NA0A502	NA0A503	NA01501	Sulfur And Oxidant AGS1502 Use ISA Sol - NR3K005
Sulfur/Bismuth(S ²⁻ /Bi ³⁺)	SUR1502	Glass Combination	5 x 10 ⁻⁷ - 1 x 10 ⁻⁵	12,200 - 1.0	For selenium	2 - 12	0 - 50	Similar types of Sulfurates	R001011	SURAS01	SURAS02	SURAS03	SUR1501	Storage Solution - NR3K005
Water Hardness (Ca ²⁺ /Mg ²⁺)	WH41502	Glass Combination	1.0 - 1 x 10 ⁻⁵	4,000 - 0.4 (as CaO)	26 ± 3	5 - 10	0 - 50	Cu ²⁺ , Zn ²⁺ , Ni ²⁺ , Fe ³⁺	R001013	WH4A501	WH4A502	WH4A503	WH41501	

* Filling Sol - 120ml, Standard Sol - 475ml, ISA Sol - 475ml
* Cable 501 - 1700 mm



Ion Electrode



Solutions & Membrane Kit

培養液管理

- 以20公噸的養液量（含栽培床內及養液槽）為例
- 假設栽培時EC值之標準濃度為1.5 mS/cm
- 經栽培一段時期，加水加滿至20公噸後之EC降為1.0 mS/cm。
- 為維持原來之標準濃度，需加入 x mS/cm相當之肥料：
- $(1.0+x) \times 20 = 1.5 \times 20$ ， $x = 0.5$
- 也就是需加入相當於 0.5 mS/cm培養液的肥料（初始肥料量的 $0.5/1.5 = 1/3$ ）於20公噸的培養液內，並充分攪拌。

養液桶中 陽離子 濃度變化

陽離子	原始養液 (ppm)	66天後 (ppm)	差值 (ppm)	比例
鈉	38	6	-32	-84 %
銨	20	1	-19	-95 %
鉀	253	195	-58	-23 %
鎂	25	21	-4	-16 %
鈣	51	34	-17	-33 %

養液桶中陰離子濃度變化

陰離子	原始養液 (ppm)	66天後 (ppm)	差值 (ppm)	比例
硝酸鹽	311	167	-144	-46 %
磷酸鹽	94	120	26	27 %
硫酸鹽	185	277	92	50 %
亞硝酸鹽	0	17	17	--

pH之管理

- 培養液之pH值維持**5.5-6.5**為宜，於5.0-7.0的範圍時作物仍正常生育。
- 養液欲降1個pH（如將pH 7降為pH 6）時，需要硫酸（3 N）約8-10 ml。硫酸需以200倍稀釋後逐漸加入並攪拌混合。
- pH欲提高1時，則每公噸養液中加入約6公克氫氧化鈉，同樣先稀釋後再加入。

pH之管理

- 一般培養液pH高時（鹼性），可用硫酸或**磷酸**或硝酸調整，相反的，pH降低時（酸性），使用氫氧化鈉或**氫氧化鉀**調整使用。
- 如果培養液pH升到**8以上**時，作物易引起缺鐵、錳和磷現象。
- 如pH降至**4.5以下**時，鈣、鎂、鉀之沈澱並有缺乏現象。

pH值調整方式

1000公升不同鹼性水溶液降至pH6.0時
所需**磷酸**之添加量(毫升)

1000公升不同酸性水溶液調昇至pH6.0時
所需**氫氧化鉀**(KOH)之添加量(毫升)

pH值	8.5% H ₃ PO ₄	pH值	4.0% KOH
7.0	940.7	5	707.9
6.9	891.7	5.1	666.8
6.8	832.7	5.2	619.2
6.7	763.7	5.3	564.9
6.6	684.6	5.4	504
6.5	595.6	5.5	436.5
6.4	496.5	5.6	362.5
6.3	387.4	5.7	281.8
6.2	268.3	5.8	194.4
6.1	139.1	5.9	100.5
6.0	-	6	-

栽培期間養液pH變化的原因1,2

- 1) 用水中含高濃度重碳酸，為pH上昇之主要原因之一，栽培前先分析所含碳酸的濃度保持在50 ppm左右，以酸中和。
- 2) 作物之吸收組成濃度和所供養液組成濃度不一致。如番茄等對 NO_3^- ， PO_3^{-3} 和 K^+ 一起吸收量較多，而洋香瓜等則吸收較多之 Ca^{+2} 和 Mg^{+2} 等陽離子。如供給之養液和作物吸收之元素平衡的話，pH就較穩定。

栽培期間養液pH變化的原因3,4

- 3) 於高溫多日照條件下，作物對氮、磷、鉀之吸收較多，鈣、鎂之吸收較少，易使pH上昇。相反的低溫，少日照時養液之pH易降低。
- 4) 根部分泌出或根的老化所分解出有機酸、胺基酸，尤其是呼吸使 Ca^{+2} 、 Mg^{+2} 沈澱(形成 CaCO_3 , MgCO_3)，因此培養液pH降低。

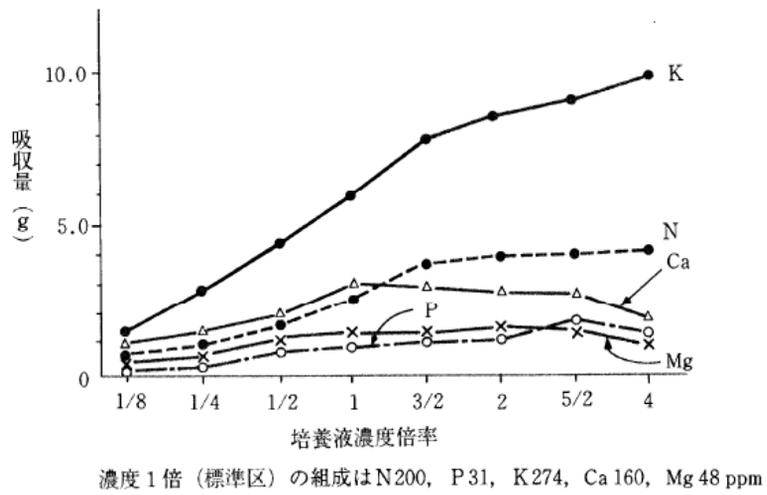
栽培期間養液pH變化的原因5,6

- 5) 作物別如**萵苣**、**草莓**等會優先吸收 NH_4^+ ，使養液剩下較多之陰離子，使pH下降。
- 6) 作物別如**小白菜**等會優先吸收 NO_3^- ，使pH上昇。

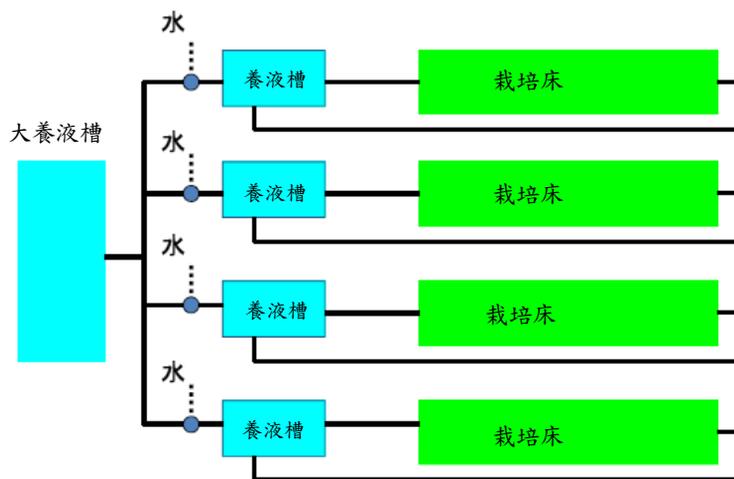
使用經驗

- 使用花寶1號栽培萵苣，栽培期間養液變酸，需添加氫氧化鉀調整pH值。
- 使用康乃爾大學配方栽培萵苣，栽培期間養液變鹼，需添加磷酸調整pH值。

培養液の濃度とトマトの養分吸収

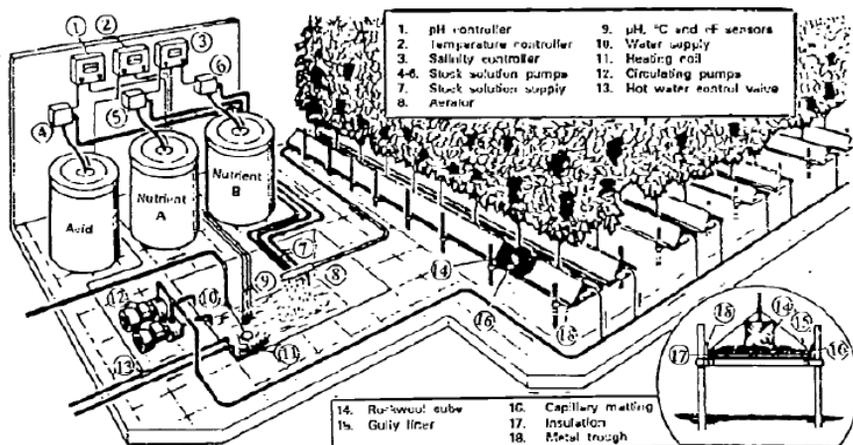


避免交叉感染的系統設計



養液監控系統

養液監控系統組成



荷蘭 Priva 公司養液監控主機 NutriFit



pH meter



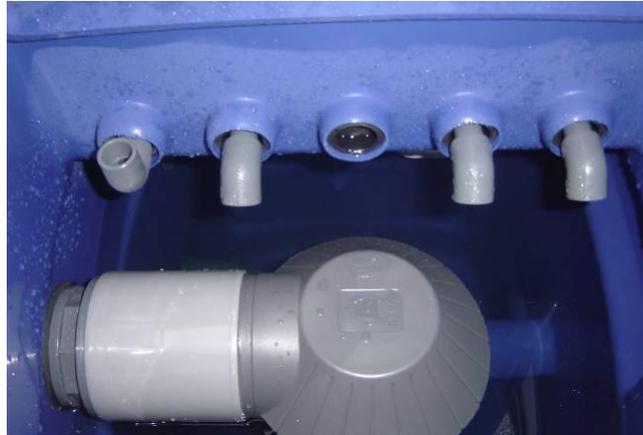
EC meter with thermometer



Valves



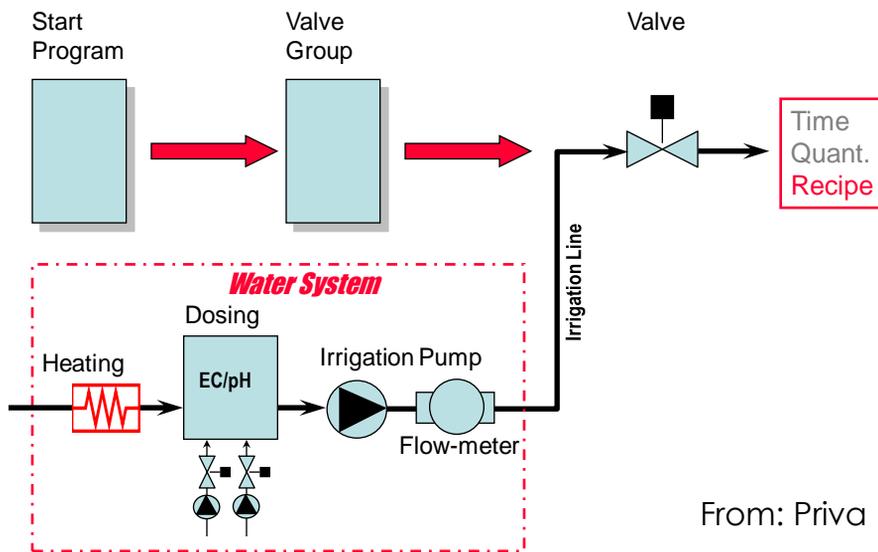
混合桶内部



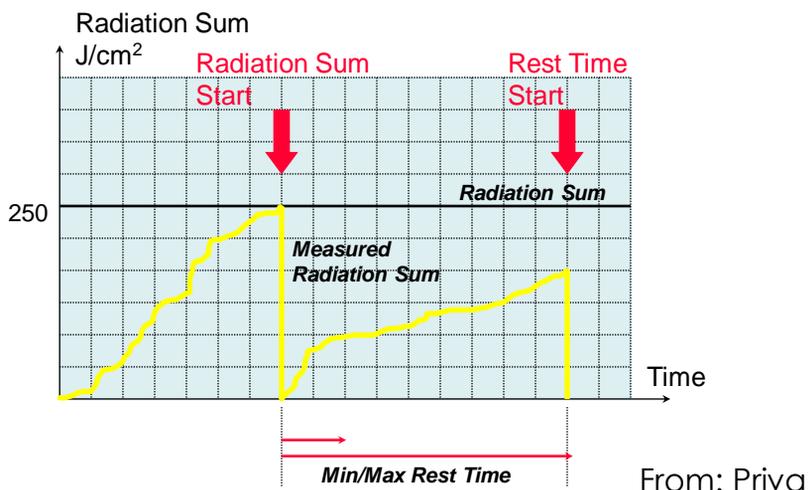
Irrigation Configuration

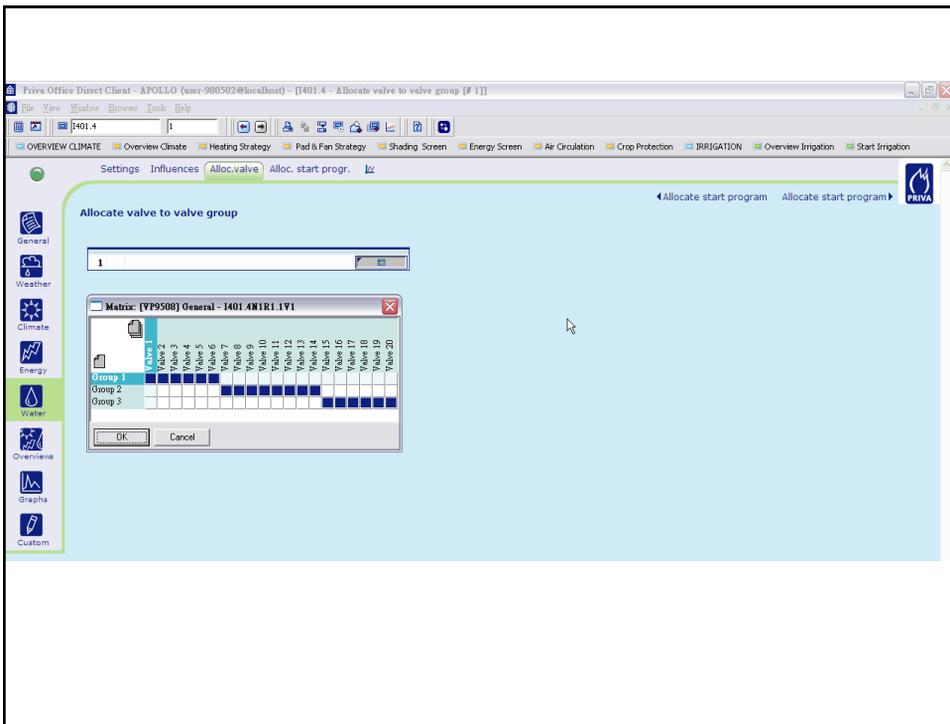
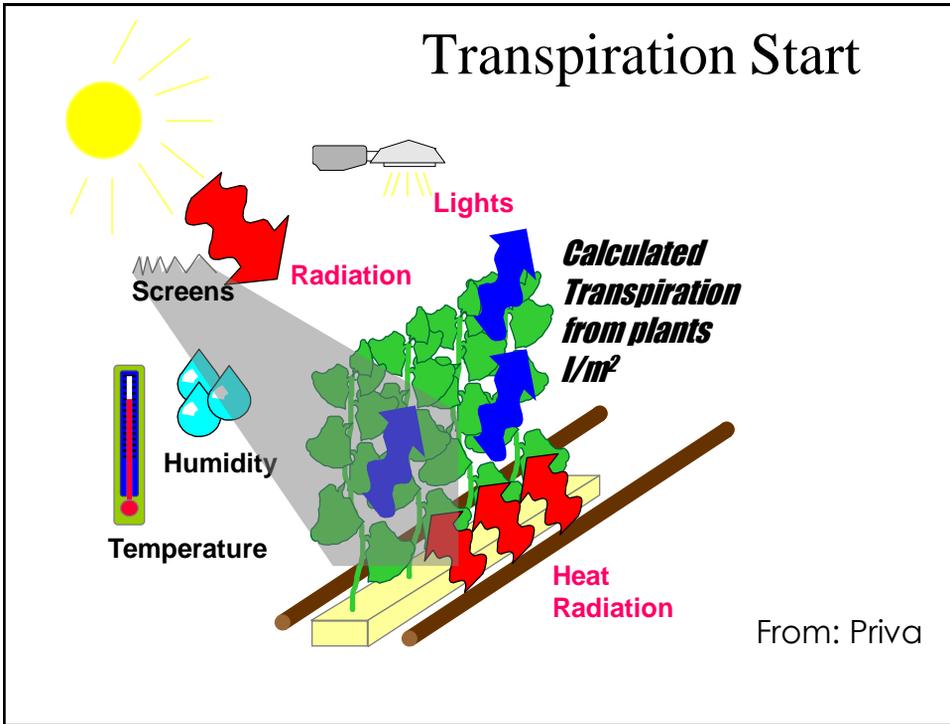
- Irrigation Start Program
- Valve Group
- Valve
- Irrigation Line
- Water Distribution System
- Water Treatment Receptie

Water System

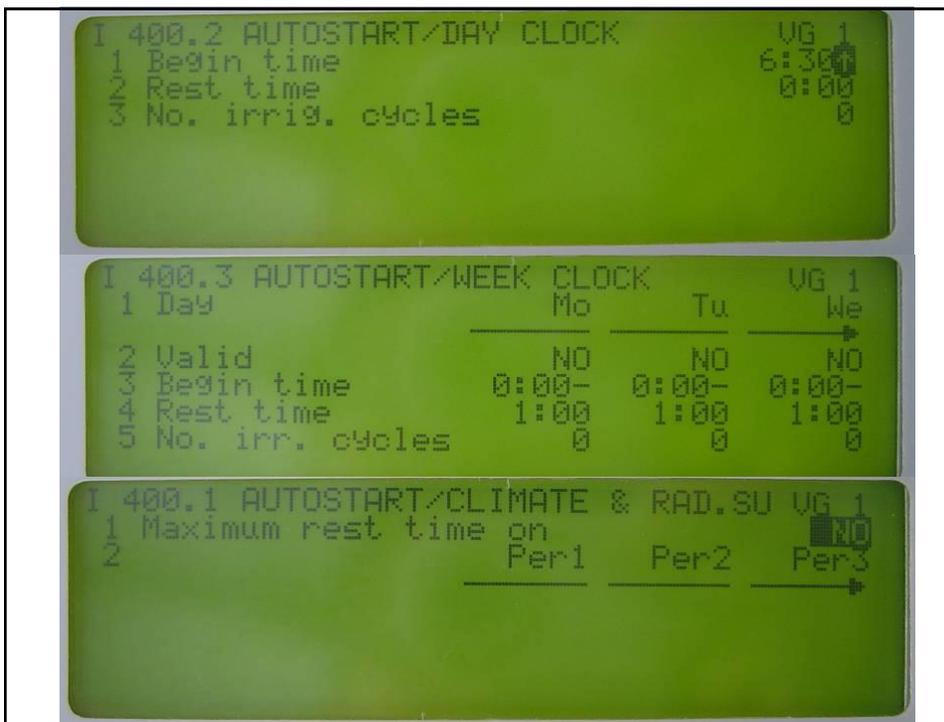
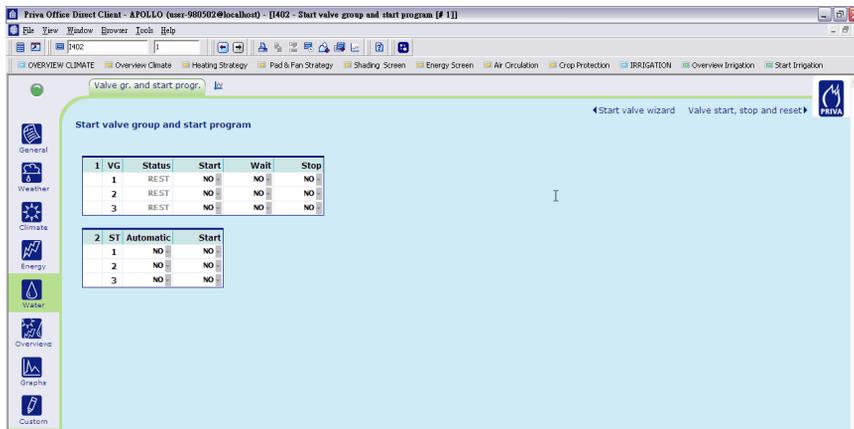


Radiation Sum and Rest Time

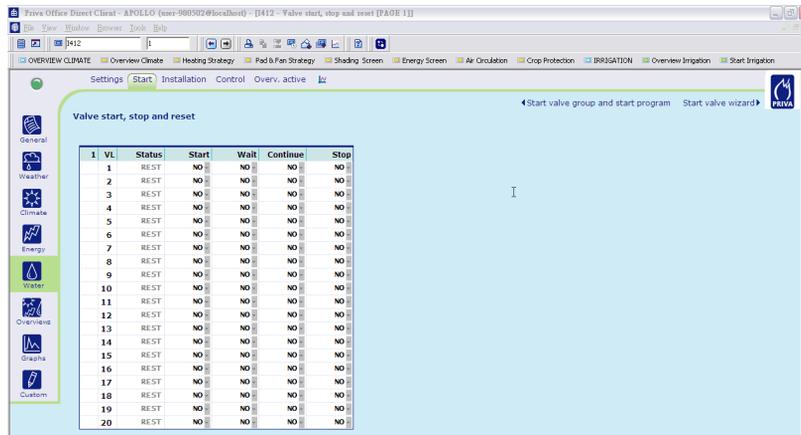




Start valve group and start program



Valve start, stop and reset



Valve start, stop and reset

1	VL	Status	Start	Wait	Continue	Stop
1		REST	NO	NO	NO	NO
2		REST	NO	NO	NO	NO
3		REST	NO	NO	NO	NO
4		REST	NO	NO	NO	NO
5		REST	NO	NO	NO	NO
6		REST	NO	NO	NO	NO
7		REST	NO	NO	NO	NO
8		REST	NO	NO	NO	NO
9		REST	NO	NO	NO	NO
10		REST	NO	NO	NO	NO
11		REST	NO	NO	NO	NO
12		REST	NO	NO	NO	NO
13		REST	NO	NO	NO	NO
14		REST	NO	NO	NO	NO
15		REST	NO	NO	NO	NO
16		REST	NO	NO	NO	NO
17		REST	NO	NO	NO	NO
18		REST	NO	NO	NO	NO
19		REST	NO	NO	NO	NO
20		REST	NO	NO	NO	NO

Valve group settings

- 可以將灌溉分為5段程序，每段程序可以使用不同的肥料。
- Time：各分段的灌溉時間。
- Quantity：各分段的灌溉水量
- Recipe：各分段的肥料recipe。
- No. of time phase：設定階段

Valve settings

VL	Quantity	Unit	Time	Recipe	Prio
1	500,0	m ³	0'00	1	NORM
2	500,0	m ³	0'00	1	NORM
3	500,0	m ³	0'00	1	NORM
4	500,0	m ³	0'00	1	NORM
5	500,0	m ³	0'00	1	NORM
6	500,0	m ³	0'00	1	NORM
7	200,0	l	20'00	1	NORM
8	200,0	l	20'00	1	NORM
9	200,0	l	0'00	1	NORM
10	200,0	l	0'00	1	NORM
11	200,0	l	20'00	1	NORM
12	200,0	l	20'00	1	NORM
13	200,0	l	0'00	1	NORM
14	200,0	l	0'00	1	NORM
15	200,0	l	10'00	1	NORM
16	200,0	l	0'00	1	NORM
17	200,0	l	0'00	1	NORM
18	200,0	l	0'00	1	NORM
19	200,0	l	0'00	1	NORM
20	200,0	l	0'00	1	NORM

Recipe setting

1 Recipe for water system/rinse group 1

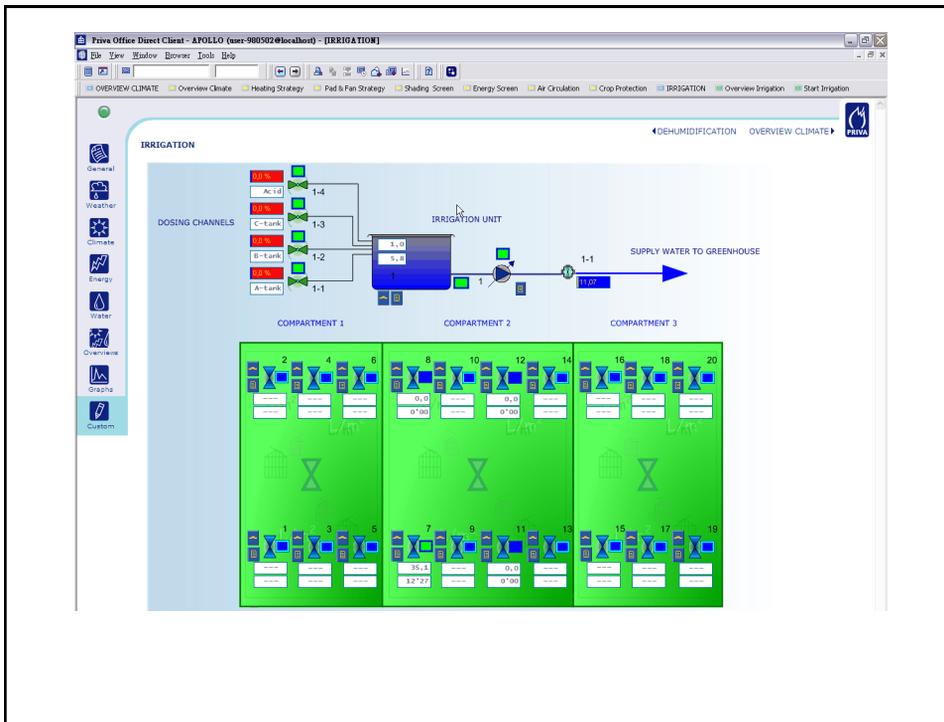
2 Selection fertiliser dosage SELECT.1

	ECs	EC	pH	
1	Too high alarm	1,8	7,0	
2	Nutrient recipe	0,2	2,3	6,4
3	Desired	1,0	5,8	
4	Too low alarm	0,0	5,0	

DC	Channel	Calc quant	Quantity	Unit	Function
1	A-tank	3,8	10,0	l/m ³	CORRECT
2	B-tank	3,8	10,0	l/m ³	CORRECT
3	C-tank	3,8	10,0	l/m ³	CORRECT
4	Acid	0,4	0,4	l/m ³	CORRECT

Fertilizer Selection

-CALCULATED/MEASURED-	
7	Calculated EC 1,0



以色列 Netafim 公司 Netajet 主機

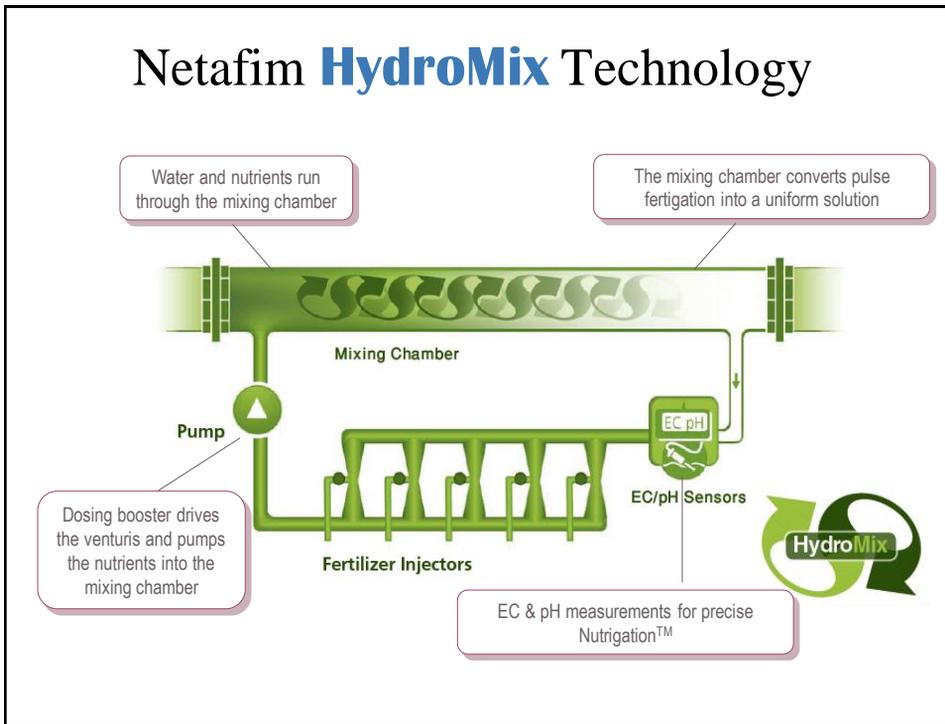
進階型養液系統 NetaJet 3G

- 設計完善的養液管理系統, 含養液混合裝置
- 依供水量控制, 準確施肥, 可進行EC&pH校正控制
- 適用於溫室介質/土耕, 苗圃及露天作物養液管理

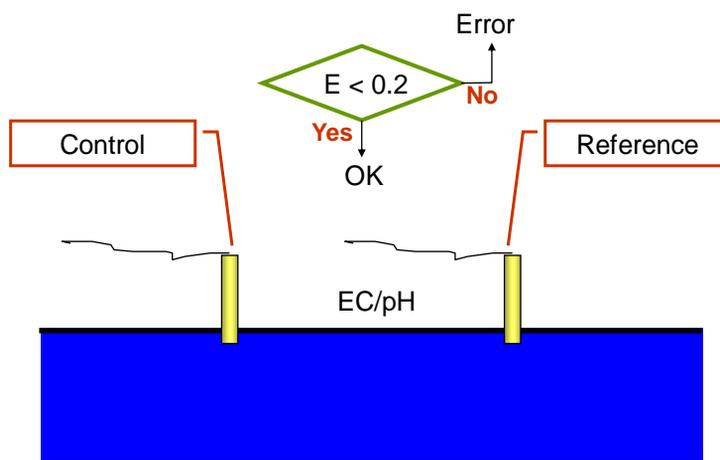


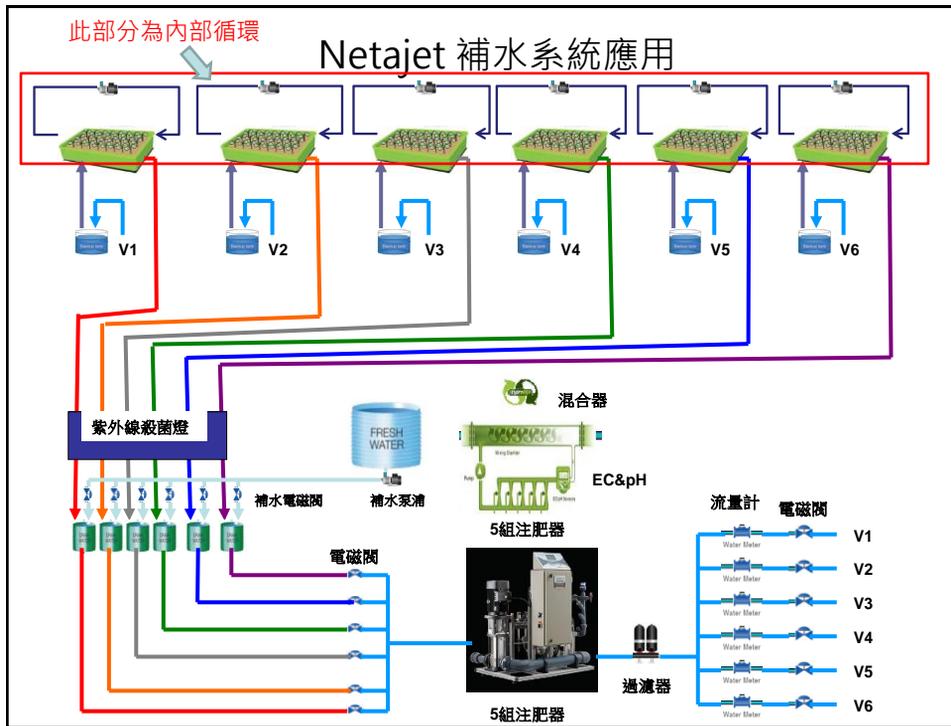
項目	基本配備	升級配備
控制器	NMC-PRO *16組24VAC輸出 *8組數位輸入 *11組類比輸入	*可擴充至256組輸出 *可擴充至16組數位輸入 *可擴充至22組類比輸入
EC/pH	一組量測	可擴充至兩組
流率	0.5~120m ³ /hr	
施肥通道	3組	可擴充至5組
系統壓力	3~6.2bar	

Netafim **HydroMix** Technology



Dual measurement – EC & pH





校正新養液系統步驟1~5

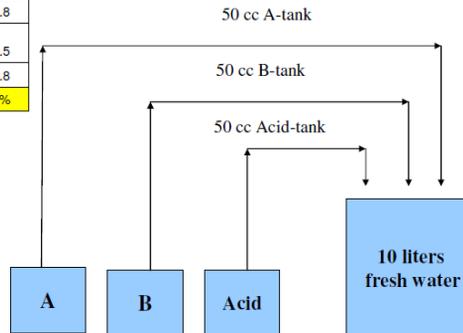
- 標準液製作 (假設母液 5 L 主桶 1噸)
 1. 在標準液桶倒入 10 L 的RO水
 2. EC和pH計先做好校正放入標準桶
 3. 將等比例 即 50 cc 母液倒入桶中混合均勻
 4. 量測EC和pH值
 5. 若量測植誤差為30 %以內，系統自動校正，若無則需重新調配母液。

範例

A tank	cc 50	
B Tank	cc 50	
C Acid tank	cc 50	

Bucket Simulation

Status	Ec	PH
Fresh water	0.3	7.8
After adding 50 cc from the tanks	1.6	5.5
Target	1.8	5.8
Difference to target	11%	5%

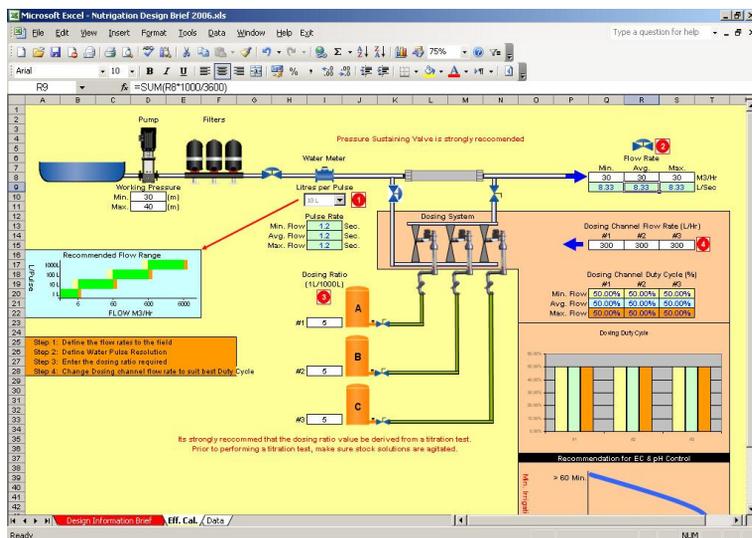


Note: you can see here that the difference between the target and the bucket is less than 30%

校正新養液系統步驟 6~7

6. 在軟體檢查注肥開度 (建議控制在50-80 %，若太低則表式母液濃度高，可降低母液比例，反之亦然)。
7. 定義所需的EC與pH控制

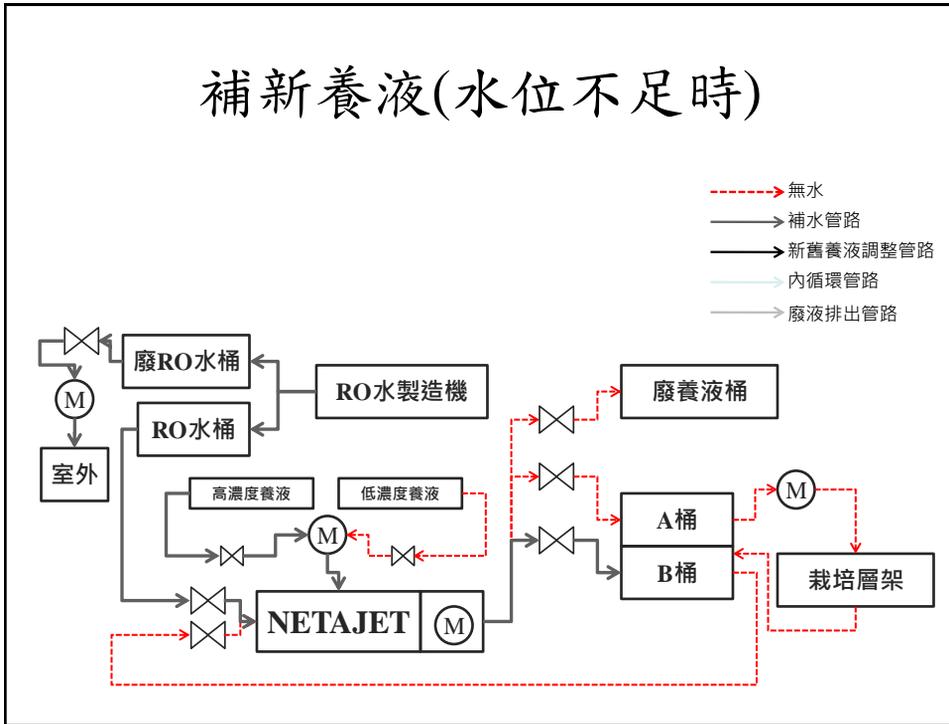
程式會自動計算並調整流率、注肥率以及注肥開度，藉此達到調整EC與pH值的目的



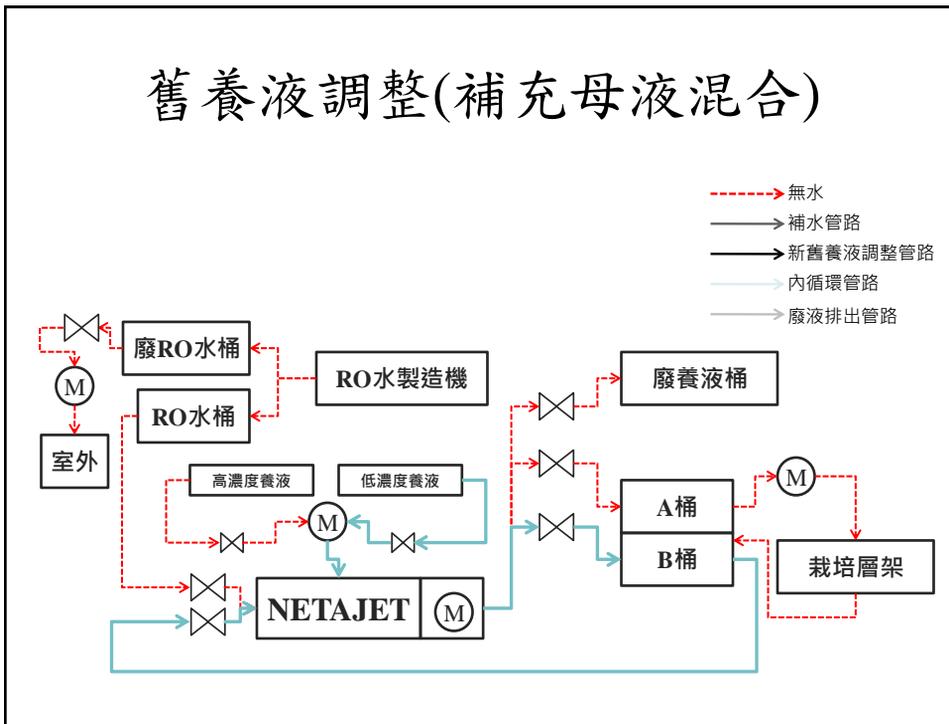
A B桶分開

- A桶作循環桶
- B桶做補水及養液調整桶
- Netajet功能
 - 一部分內循環
 - 補新養液(RO水+高濃度母液)
 - 調整舊養液(舊養液+低濃度母液)
 - 排放舊養液

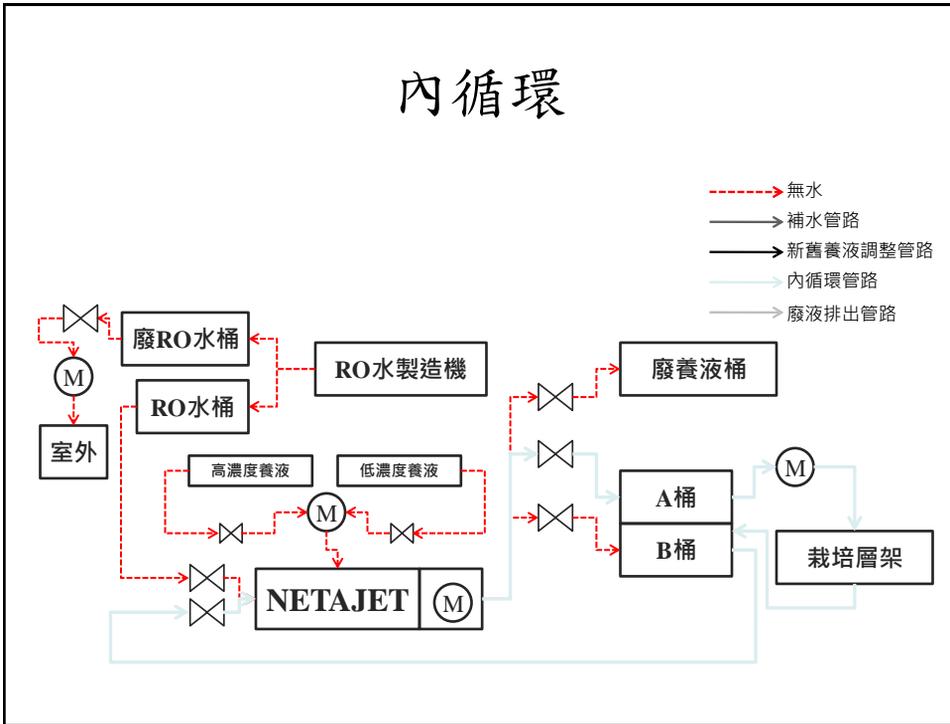
補新養液(水位不足時)



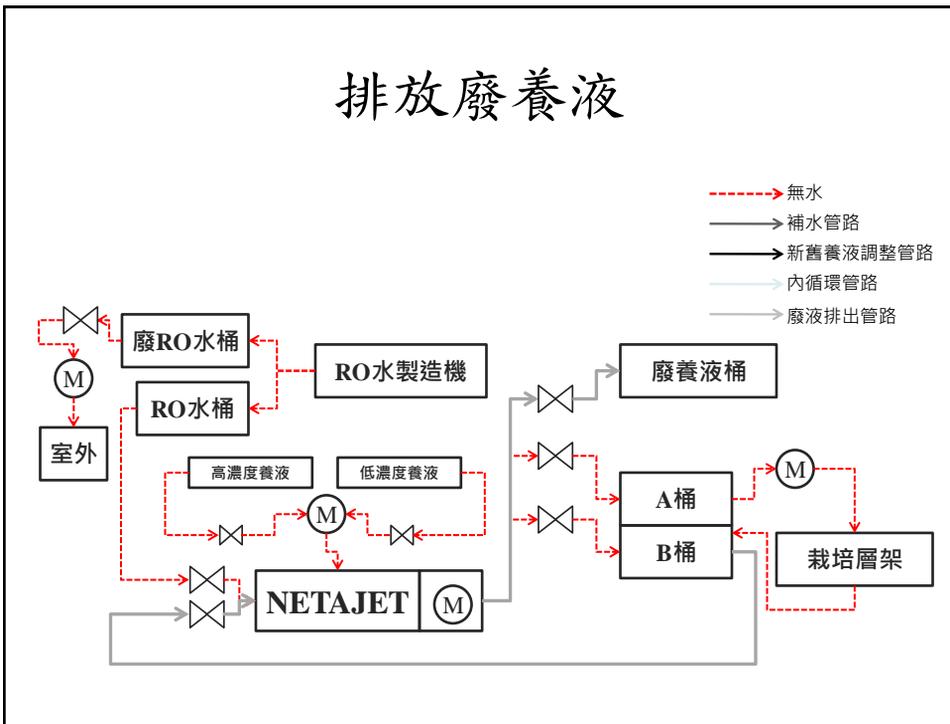
舊養液調整(補充母液混合)



內循環



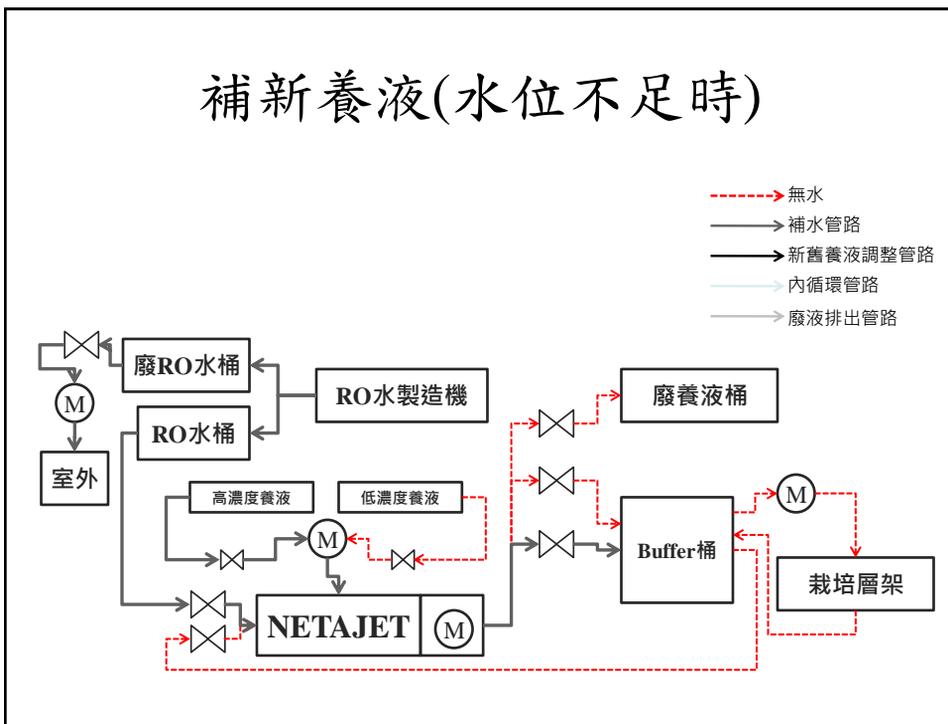
排放廢養液



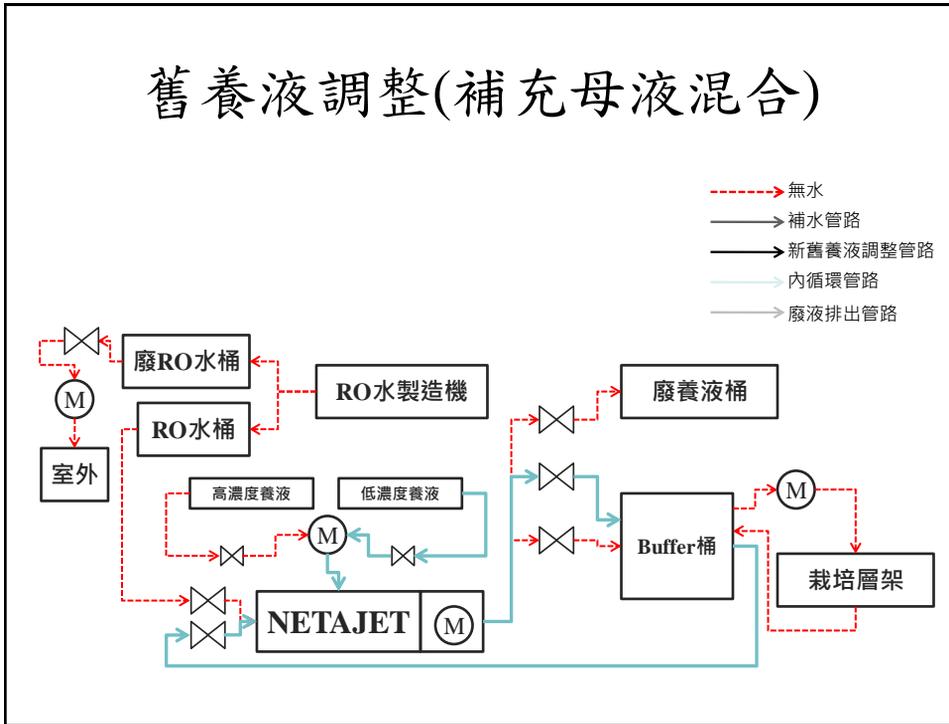
A B桶合併(Buffer桶)

- Buffer桶作內循環及補水及調整養液
- Netajet功能
 - 補新養液(RO水+高濃度母液)
 - 調整舊養液(舊養液+低濃度母液)
 - 排放舊養液

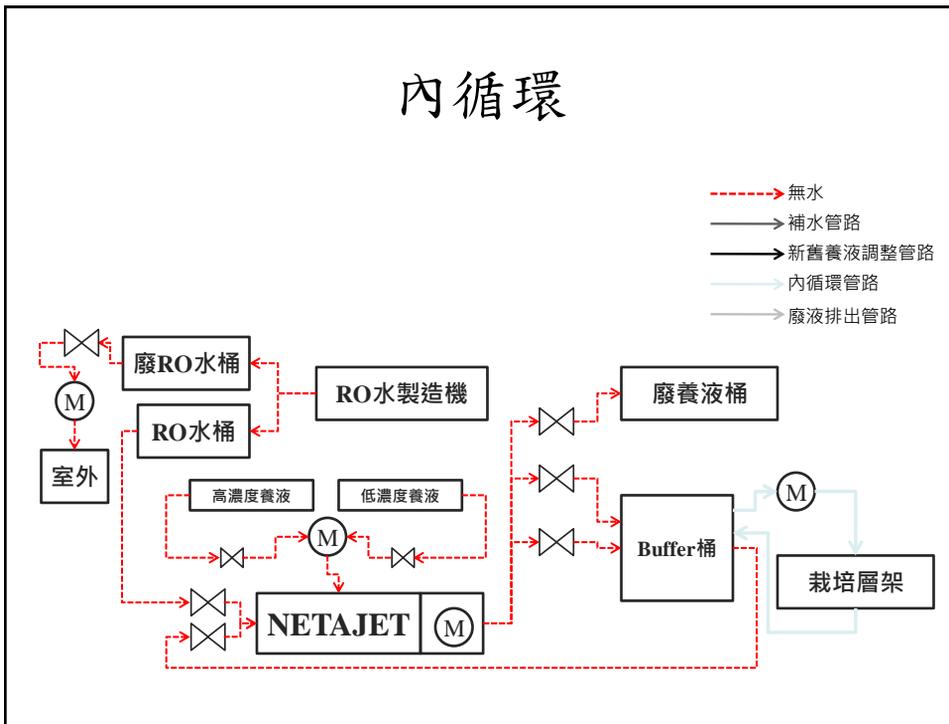
補新養液(水位不足時)



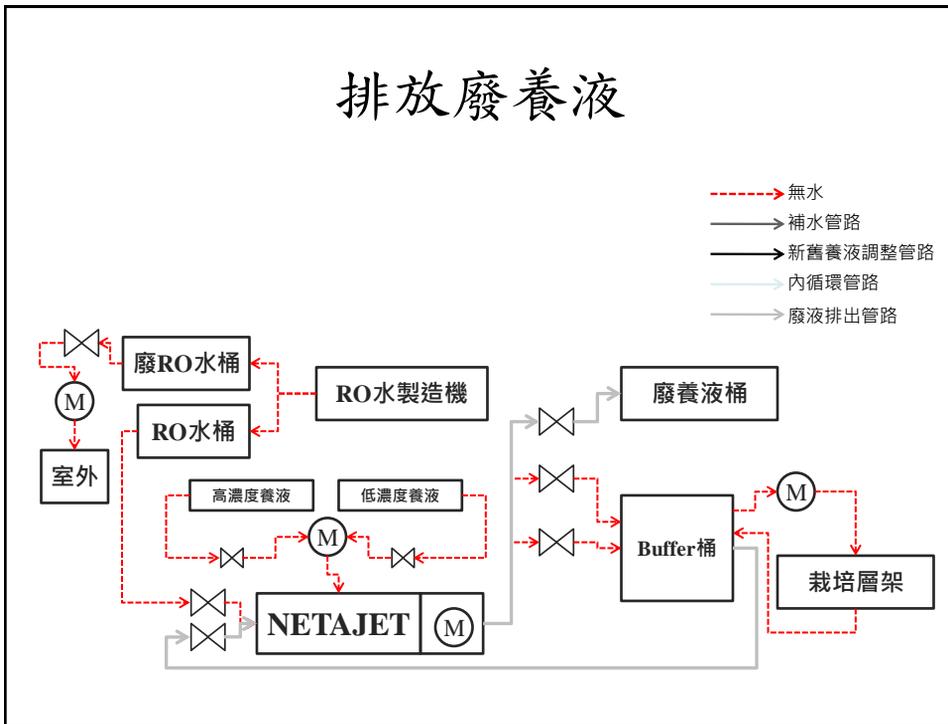
舊養液調整(補充母液混合)



內循環



排放廢養液



兩種灌溉方式比較

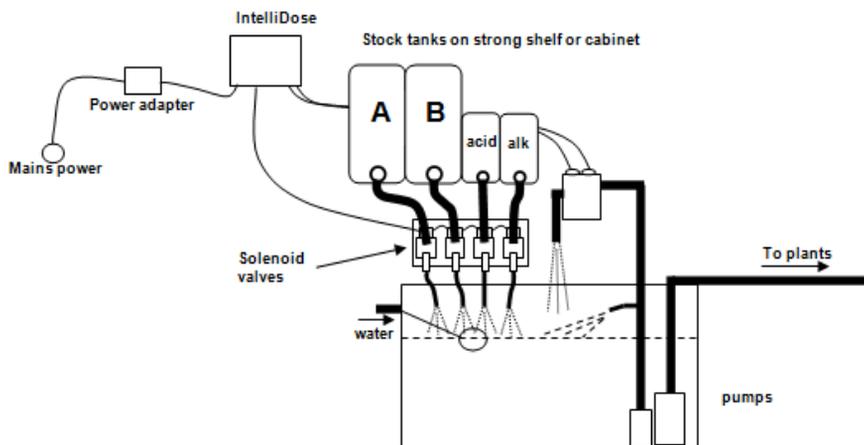
- A B桶分開
 - 優點: 養液濃度穩定
 - 缺點: 排程難控制
- A B桶合併
 - 優點: 排程較單純
 - 缺點: 養液濃度較不穩定
 - 改善方式1: 使調整養液的排程次數大於內循環次數以確保打入層架的為新鮮養液
 - 改善方式2: 在buffer桶內加入攪拌器，使新舊養液充分混合。

紐西蘭養液監控系統

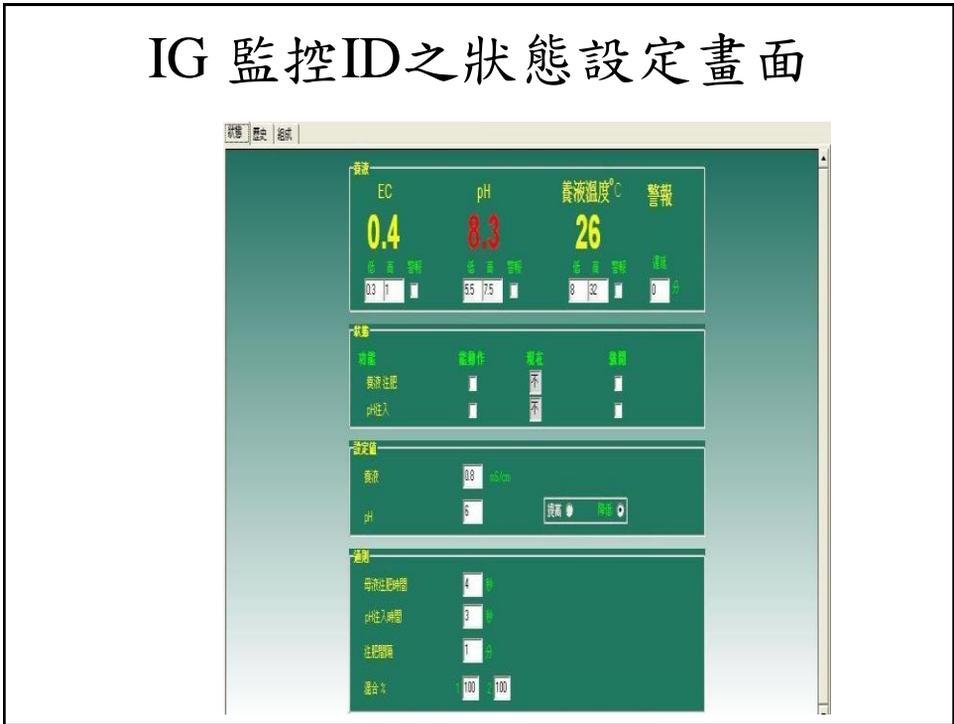
軟體：IntelliGrow (IG)

硬體：IntelliDose (ID)

ID系統常見安裝方式：使用電磁閥



IG 監控ID之狀態設定畫面



IG 監控ID狀態設定畫面之上半段



IG 監控ID狀態設定畫面之下半段

The screenshot displays the lower portion of the IG monitoring ID status setting interface. It is divided into two main sections: '設定值' (Setting Values) and '通則' (General Rules).

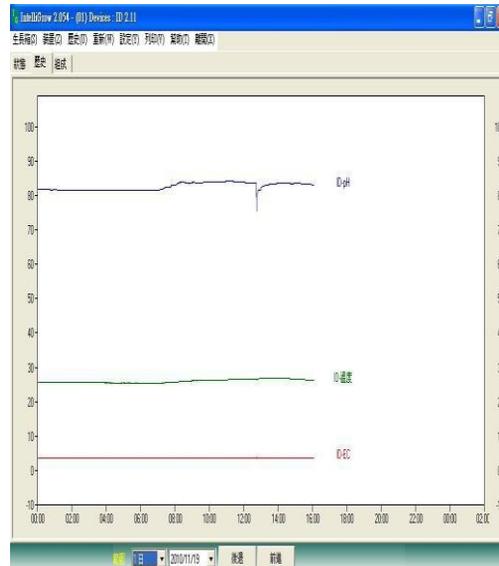
設定值 (Setting Values):

- 養液 (Nutrient):** 0.8 mS/cm
- pH:** 6
- Buttons: 提高 (Increase) and 降低 (Decrease)

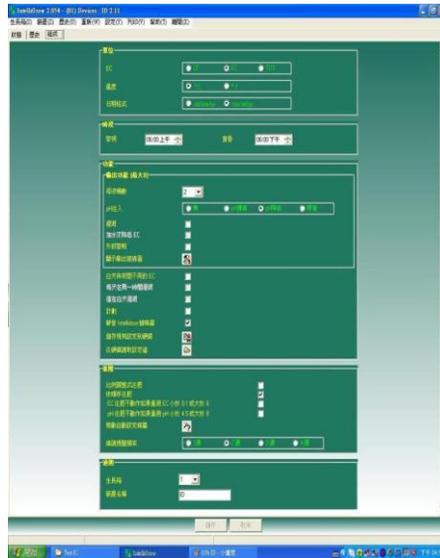
通則 (General Rules):

- 母液注肥時間 (Mother liquid injection time):** 4 秒 (seconds)
- pH注入時間 (pH injection time):** 3 秒 (seconds)
- 注肥間隔 (Injection interval):** 1 分 (minutes)
- 混合% (Mixing %):** 1: 100, 2: 100

IG 監控ID之歷史畫面



IG 監控ID之組成畫面



IG 監控ID組成畫面之上半段



IG 監控ID組成畫面之下半段

白天與夜間不同的 EC

每天在同一時間灌溉

僅在白天灌溉

計劃

靜音 IntelliDose 蜂鳴器

儲存現有設定到硬碟 

從硬碟讀取設定值 

進階

比例調整式注肥

依順序注肥

EC 注肥不動作如果量測 EC 小於 0.1 或大於 6

pH 注肥不動作如果量測 pH 小於 4.5 或大於 8

啟動自動設定精靈 

維護提醒頻率 1週 2週 3週 4週

通用

生長箱

裝置名稱

IG 監控ID之排程畫面

IntelliGrow 2.0 - (01) Devices : IDose1 2.00

GrowRoom Device History Refresh Setup Print Help Exit

Status History Configure Scheduling

Dosing Schedule

Schedule start date 04/16/06

Day	Date	Pt.1 %	Pt.2 %	Pt.3 %	Pt.4 %	TDS Day	TDS Night
1	04/16/06	100	90	10	0	450	550
4	04/19/06	100	90	0	0	800	900
15	04/30/06	80	90	0	0	1000	1100
20	05/05/06	0	80	100	0	1000	1100
40	05/25/06	0	80	100	20	1000	1100
44	05/29/06	0	0	0	0	0	0

Save Cancel

Changes Pending...press Save when Done

養液成本估算 1/2

背景數據 (假設使用複合肥)

EC	0.9	為	1 g/L
EC	1.2	用	1.33 g/L
肥料單價	7500	NT\$	22.7 kg/包
水價	7	元/度	
RO	4	vs. 1	

養液成本估算 2/2

栽培過程中補充的養液成本未估算在內

		A Company	B Company	
養液之用水量	a	2060	2830	L
總裁培株數	b	640	1120	株
EC 控制於	c	1.2	2	mS/cm
用肥量	d	2.7	6.3	kg/total water
養液之肥料費	e	907.5	2077.8	NT\$/total water
總用水量	f	10.3	14.15	度 (m ³)
單株肥料費用	g	1.42	1.86	NT\$/株
單株用水費	h	0.113	0.088	NT\$/株
單株養液成本	i	1.53	1.94	NT\$/株

各單位換算一覽表

	元素	N	P	K	Ca	Mg	S	
	原子量	14	31	39.1	40.1	24.3	32.2	
	氧化物		P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₄	
	元素數量		2	2	1	1	1	
	分子量		142	94.2	56.1	40.3	96.2	
	元素所佔比例		0.437	0.830	0.715	0.603	0.335	備註
(1)	元素 mg --> 氧化物 mg		x 2.295	x 1.205	x 1.399	x 1.658	x 3.003	+ 元素所佔比例
(2)	氧化物 mg --> 元素 mg		x 0.437	x 0.830	x 0.715	x 0.603	x 0.334	x 元素所佔比例
(3)	元素 mg --> 元素 me	+ 14	+ 10.3	+ 39.1	+ 20	+ 12.2	+ 16.1	+ 克當量
(4)	氧化物 mg --> 元素 me		x 0.0423	x 0.0212	x 0.0375	x 0.0498	x 0.0208	=(2)*(3)
(5)	元素 me --> 元素 mg	x 14	x 10.3	x 39.1	x 20	x 12.2	x 16	x 克當量
(6)	元素 mg --> 元素 mmol	+ 14	+ 31	+ 39.1	+ 40.1	+ 24.3	+ 32.1	+ 原子量
(7)	元素 mg/L --> 元素 mM	+ 14	+ 31	+ 39.1	+ 40.1	+ 24.3	+ 32.1	同 (6)

Note: mg/L = ppm, mM = mmol/L

練習 1

- 計算磷酸二氫銨 (NH₄H₂PO₄) 的分子量?
(原子量 H : 1, N : 14, O : 16, P : 31)

$$\begin{aligned}
 \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 &= \text{N} + \text{H} \times 6 + \text{P} + \text{O} \times 4 \\
 &= 14 + 1 \times 6 + 31 + 16 \times 4 = 115 \\
 &\text{故分子量為 } 115。
 \end{aligned}$$

練習2

- 磷酸二氫氨中的肥料成分為多少%？

$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (分子量115) 中包含了一個N (原子量14) 及一個P (原子量31)。

N成分： $\text{N}/\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 14/115 = 12.2\%$

P成分： $\text{P}/\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 = 31/115 = 26.9\%$

練習3

- 在1 ton的水中溶解100 g的磷酸二氫氨之後，其N與P的濃度各為何？

在1 t (1000 L) 的水中溶解100 g的 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 代表溶解了12.2 g的N與26.9 g的P。

N濃度為 $12.2 \text{ g/t} = 12.2 \text{ mg/L} = 12.2 \text{ ppm}$

P濃度為 $26.9 \text{ g/t} = 26.9 \text{ mg/L} = 26.9 \text{ ppm}$

透過單位換算表第3列數據 (mg→ me) 將單位換算成me/L，則

N濃度為 $12.2 \div 14 = 0.87 \text{ me/L}$

P濃度為 $26.9 \div 10.3 = 2.6 \text{ me/L}$

練習4

- 將N濃度為3 me/L的溶液15公升與N濃度10 me/L的溶液5公升混合後，N濃度會變成多少？

N濃度為3 me/L的15公升溶液中

N的量為 $3 \times 15 = 45 \text{ me}$

N濃度為10 me/L的5公升溶液中

N的量為 $10 \times 5 = 50 \text{ me}$

混合後的N濃度為

$(45 + 50) \text{ me} / (15 + 5) \text{ L} = 95 \text{ me} / 20 \text{ L} = 4.75 \text{ me/L}$

練習5

- 將植物種植在5公升N濃度為10 me/L的溶液中，一天後溶液減少到只剩3公升，N濃度變成12 me/L，試問植物所吸收的N量為多少mg？

一開始N濃度為10 me/L的5公升溶液中

N的量為 $10 \times 5 = 50 \text{ me}$

植物吸收後N濃度為12 me/L的3公升溶液中

N的量為 $12 \times 3 = 36 \text{ me}$

植物吸收N的量為 $50 - 36 = 14 \text{ me}$ ($14 \text{ me} \times 14 = 196 \text{ mg}$)

練習6

- 某硝酸鉀肥料 KNO_3 的保證成分如下：
 - 硝酸態氮 12.5 % (原子量 K : 39 , N : 14 , O : 16)
 - 水溶性鉀 41.9%
- 試問此肥料的純度為多少%？

純度100 %的硝酸鉀 (KNO_3) 分子量為 $39 + 14 + 16 + 16 + 16 = 101$ ，其中N的量為14，硝酸態氮含有率本應為 $14 \div 101 \times 100 = 13.9\%$ ，但因為此肥料的N成分為12.5 %，故純度為 $12.5 \div 13.9 \times 100 = 90\%$ 。

練習7

- 將1.5 kg的下表配合肥料與1.0 kg的硝酸鈣溶入1 ton的水中製成培養液，試問此培養液中各肥料成分各為多少ppm？

配合肥料保證成分量 (%)	
總氮量	10.0
內含銨態氮	1.5
硝酸態氮	8.2
五氧化二磷 (P_2O_5)	8.0
氧化鉀 (K_2O)	27.0
氧化鎂 (MgO)	4.0
硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 的保證成分量 (%)	
硝酸態氮	11.0

練習7 (續) <複合肥部分>

- 銨態氮：1500 g × 0.015 = 22.5 g
22.5 g/1 t = 22.5 mg/L (ppm)
- 硝酸態氮：1500 g × 0.082 = 123 g
123 g/1 t = 123 mg/L (ppm)
- 磷：1500 g × 0.08 × 0.437 = 52.4 g
52.4 g/1 t = 52 mg/L (ppm)
- 鉀：1500 g × 0.27 × 0.83 = 336 g
336 g/1 t = 336 mg/L (ppm)
- 鎂：1500 g × 0.04 × 0.603 = 36 g
36 g/1 t = 36 mg/L (ppm)

磷、鉀、鎂必需
使用換算表第2列
數據將氧化物換
算成元素

練習7 (續) <硝酸鈣部分>

- 硝酸態氮：1000 g × 0.11 = 110 g
110 g/1 t = 110 mg/L (ppm)
- 複合肥料與硝酸鈣中的硝酸態氮合計為
- 123 + 110 = 233 mg/L (ppm)

- 鈣：Ca (NO₃)₂ 中Ca : N (重量比)為20 : 14
20 : 14 = W g : 110 g
W = 157 g
157 g/1 ton = 157 mg/L (ppm)

各種要素缺乏之徵狀

各種元素在植物體內之功能及移動性難易各有不同，故其缺乏徵狀在植物體呈現之部位亦各有異。

各種要素缺乏之徵狀（石塚氏）

- 石塚氏將各種元素在植物體內之移動性分為如下三類：
 1. 缺乏症狀發生於下方之老葉者—如K、Mg。因此等元素在植物體中最易移動之故。
 2. 缺乏症狀發生於上端之新葉或新組織者—如：Ca及B。因此等元素在植體難於移動之故。Fe、Mn也是。
 3. 缺乏症狀發生於全株葉片者。雖然老葉之缺乏癥狀較新葉要嚴重些，但差異沒有1.的情形那麼明顯—如N、P、S，因此等元素在植物體之移動性屬中等故。

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

山崎氏對一般植物要素缺乏症之觀察診斷，曾做綜合性整理如下：

1. 容易在植物體內再移動之要素，其缺乏症呈現於下方成熟葉。

1) 下方葉漸次枯死，莖細小，有時帶紫紅色。

- 氮（N）：為蛋白質中之胺基酸及葉綠素等之主要成分。缺乏時生長受阻，主根雖然很長卻無側根。葉色變黃，葉片小而硬，嚴重時枯乾。因在植物體內之移動性屬中等，故缺氮時葉片之黃化遍及全株，但下葉有較嚴重之傾向。
- 硫（S）：亦為蛋白質中若干胺基酸之成分，故缺硫時作物亦呈黃化現象，情況和缺氮相似。

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

- 磷（P）：為構成核酸之重要成分，對細胞之分裂、碳水化合物及蛋白質之合成，呼吸作用等均有密切關係。因在植物體內之移動性亦屬中等，故缺磷徵狀亦不集中新葉或老葉。缺磷時葉片變小，葉色暗綠，分蘗受阻，成熟遲延。很多作物莖葉並呈紫紅色。根部生長差，很短。
- 鉬（Mo）：參與硝酸態氮之還原及荳科作物根瘤菌之固氮作用。缺鉬時荳科作物之葉色變淺綠至黃綠，其生長及種子生產受阻；其徵狀與缺氮相似，可能與硝酸態氮之利用受阻及固氮能力之減低有關。

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

- 2) 下方葉變黃或生成黃斑，但葉脈保持綠色。
 - 鎂 (Mg)：為葉綠素之成分，直接影響光合成。亦為若干酵素之成分，幫助磷在植物體內之移動，並參與油脂之合成。因在植物體內之移動性大，故缺鎂時徵狀先呈現於老葉；其葉緣及葉脈間部分引起黃化，與葉脈周圍之綠色成明顯對比。
- 3) 下方葉變黃或生成棕色斑點。
 - 鉀 (K)：存在於細胞液中呈溶解狀態。直接影響各種酵素作用。對碳水化合物之合成、輸送及儲藏、抗旱及抗病蟲害之能力。由於鉀在植物體內之移動容易，缺鉀時老葉之鉀移至生長中之新葉，致使老葉由葉緣及尖端變黃而枯乾，呈燒焦狀，逐漸向內擴展，但新葉可保持正常。根部分枝少，根量銳減，但長度增加。

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

2. 不容易在植物體內再移動之要素，其缺乏症在新葉上顯著，或侷限於頂部組織。
 - 1) 新葉變形，莖的頂端部枯死。
 - 鈣 (Ca)：在細胞膜或細胞壁中存在的較多，主要功能為中和植物體內過剩之有機酸，強化細胞壁組織及調節體內水分。因移動性小，故缺鈣時老葉仍正常，但新葉及新根無法生長；新葉彎曲，葉尖白化，繼之，變褐色爾枯死，根部則變短而粗。果菜類之代表性缺鈣症，如番茄的尻腐。其他如白菜和芹菜等之心腐病。
 - 硼 (B)：與細胞分裂，花粉受精，養分吸收及糖分之輸送等有密切關係。因其移動性亦頗小，故缺乏時，生長點之生長停止，變脆、變黃爾枯死；其葉柄不栓化，根部或莖部之中心部份變黑，莖葉多皺。木瓜缺硼時果實變小和變形；柑桔缺硼則果實變小並且硬而乾；其他代表性缺硼

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

2) 通常莖的頂端部並不枯死。

- 鐵 (Fe)：與葉綠素之形成有關，亦為氧化酵素之成分。因其在植物體內亦不易移動，故缺乏時老葉保持正常而新葉則變黃至白色。
- 錳 (Mn)：為呼吸酵素之成分，且與葉綠素之生成有間接關係，故缺錳時新葉亦引起黃化。其徵狀與缺鐵者相似，但葉脈周邊殘留之綠色較缺鐵者明顯。
- 銅 (Cu)：為氧化還原酵素之成分，因而直接參與呼吸作用。其移動性亦差，故缺銅時小麥之幼葉變黃至黃白，生長受阻。果樹生長點停止伸長，繼之，由尖端部向下倒行落葉。水稻尚未聞有缺銅之報告。

各種要素缺乏之徵狀（山崎氏）

- 鋅 (Zn)：亦為若干酵素之成分，具有氧化還原反應之接觸作用。其最重要之功能為參與生長荷爾蒙之主成分 tryptophan 之合成。因移動性差，故缺鋅時因生長荷爾蒙減少，新葉細小而呈叢生狀。另在葉脈間黃化，顯出特殊斑紋；玉米缺鋅時新葉叢生，葉片中肋變白，中肋邊之葉肉沿中肋變黃而枯乾，另一邊則正常。水稻缺鋅時下方葉片常有微細銹點，有時亦有類似玉米缺鋅之徵狀。
- 矽 (Si)：沉澱於莖葉表皮細胞內，使組織堅固。水稻與甘蔗等作物缺矽時莖葉軟弱，葉片下垂，受光態勢便劣，影響光合成，且易倒伏及易罹病害。由於其根部之氧化力較弱，根部之功能易受土壤毒害物質之影響而轉弱。

缺 氮

正常與缺氮之青江菜。
缺氮青江菜，愈下位
葉愈易呈現黃化，均
勻之黃化從主脈附近
開始。



正常（左）與缺氮之
白菜。白菜缺氮，全
株葉色呈現黃綠，老
葉甚至接近白色，生
育受阻。



缺 鈣

黃金白菜缺鈣。新葉葉尖
皺縮、捲曲、燒焦，下位
葉維持正常。



芥藍缺鈣。新葉皺縮，向上
杯捲，葉肉間雜白褐色斑點，
下位葉維持正常。



缺 鉀

芥菜缺鉀。下位葉葉緣及部份向內之葉肉呈現黃化，並伴有白或黃褐之斑塊。



嚴重缺鉀之青江菜。新葉維持正常，中段葉葉緣及部份葉肉黃化，伴隨白或褐色斑塊，葉緣燒焦，下位葉全葉黃化，葉緣燒焦。

缺 磷



缺磷之皺葉白菜。葉片變小、變厚，葉色灰綠，老葉葉柄及部份葉脈呈現紫紅色。



正常與缺磷之青江菜。缺磷之青江菜，葉色較綠，部份葉片呈現皺縮。

缺 鎂

缺鎂之白菜苗。新葉維持正常，愈下位葉之葉肉呈現愈明顯之黃白色虎紋斑條。



青江菜缺鎂。新葉維持正常，下位葉葉肉呈現黃色斑塊，且雜有破壞性之黃白色斑塊。



缺 鐵



嚴重缺鐵之蕃茄苗。新葉除主脈及支脈附近維持綠色外，葉肉黃化，黃化現象由葉片基部向下擴展。



甘藍菜缺鐵。下位葉維持正常，新葉肉黃化，黃化現象易擴及下位葉片。

缺 錳



青江菜缺錳。中、下位葉片呈現網狀黃化，黃化現象由下位葉漸次擴及中、上位葉片。



芥菜缺錳。下位葉先黃化（類似缺鎂），並向下捲曲，新葉黃化輕微。

錳

- 主要在葉綠素形成時發生作用，其與光合作用，特別是與氮的代謝和碳水化合物同化的形成有關。
- 錳與作物體內的鐵有相當密切的關係
- 若作物吸收了過多的錳或鐵則會減少對鐵或錳的吸收。

缺錳

- **缺錳**容易發生在介質或養液**pH值較高**的時候，在養液循環式栽培中，進行臭氣曝氣時也會造成元素缺乏症。
- 出現元素缺乏症狀時只要噴灑葉面噴灑劑即可。

缺鋅

正常（右）與缺鋅之皺葉白菜。缺鋅之白菜葉片變小、變厚，葉色呈現不正常之亮灰綠色，生育遲緩。



蕓菜缺鋅。葉片小而細長，新葉葉肉呈現細網狀黃化，且自葉緣向上捲曲，中、下位葉自葉尖向下捲曲。

缺錳、缺鐵、缺鋅

- 一旦作物缺乏錳，新長成的葉子除了葉脈部分將會開始黃化，嚴重的甚至葉片會變成褐色。
- 缺錳的症狀與缺鎂、缺鐵和缺鋅的症狀類似，但可由以下的點區別：
 - 植物缺乏鎂時，黃化的症狀會出現在老葉，缺錳時則黃化症狀容易出現在新葉。
 - 植物缺乏鐵時，即使黃化狀況越來越嚴重也不至於像缺錳時一樣葉子會變成褐色。
 - 植物缺乏鋅時，葉脈呈現出的綠色與葉脈間呈現出的黃色，其對比將較缺錳時明顯。

缺 銅



葉萵苣缺銅。新葉葉片變小、變短，葉型變圓鈍，葉色呈不正常之灰綠色，下位葉葉緣及部分葉肉黃化。



青江菜缺銅。新葉向內捲曲成匙狀，老葉向下捲曲。

缺 鈣

葉萵苣缺鈣。葉片皺縮，
葉尖燒焦，新葉較嚴重。



白菜缺鈣。新葉皺縮，
向內捲曲，葉片呈淡灰
綠色。



缺 硼

莧菜缺硼。下位葉維持正
常，新葉自葉基部擴展至
葉肉，呈現光亮的黃棕色，
葉片皺縮，芽點扭曲、燒
焦。



青江菜缺硼。成熟葉葉緣
及部份葉肉黃化及向下捲
曲，新葉皺縮變形，向內
杯捲。



各種元素過剩症狀

- 據Tanaka & Yoshida水稻之若干毒害徵狀如下：
 - 鐵過剩：最初小棕色斑點出現於下方葉片的尖端，漸擴及葉片的底部，並在葉脈間結合。上葉仍是綠色，但嚴重時整株葉片呈暗棕色。
 - 錳過剩：棕色斑點發生於下方葉片的葉脈及葉鞘上。分蘖少，生長受阻。
 - 鹽害：分蘖少，生長受阻，葉尖白化或黃化。
 - 硼：最先老葉的葉尖黃化。然後出現橢圓型黑棕色大斑點，以至於整片老葉枯死。

氮過多



正常與氮過多之莧菜。
氮過多其徵狀呈現葉片變小，葉色較深綠，根系發育差，生育較緩慢。



嚴重氮過多之甘藍下位葉葉片。葉緣及部分葉肉呈現灰白色之水浸狀斑塊。

錳過多



嚴重錳毒害之芥菜。新葉黃化略向內捲，下位葉向下環捲，葉肉黃化之斑點轉為白褐色之破壞性斑塊。



青江菜錳毒害。全株葉片葉緣黃化、焦乾，新葉皺縮並向內環捲，下位葉向下環捲。

- 老葉的邊緣會出現褐色~紫色的斑點。pH值太低時容易發生此種情形。

硼過多



青江菜硼毒害。全株葉片自葉尖、葉緣向下捲曲，下位葉葉緣且有白褐色之破壞性斑點。



芥藍硼毒害。全株葉片葉緣呈現黃白色斑條，新葉向上，老葉向下杯捲，新葉徵狀較輕微。

防治對策(土耕)

- 首先應確定造成作物營養障礙之主要原因(Limiting Factor), 然後針對病因加以防治
 - 氮：缺乏時，葉面噴灑尿素(迅速之方法)，分基肥或追肥施用氨態、銨態、硝酸態及尿素態等氮素肥料
 - 硫：缺乏時，施用硫酸鹽肥料
 - 磷：酸性土壤磷缺乏，施用石灰調整土壤pH，施用磷肥
 - 鉬：酸性土壤鉬有效性低，施用石灰調整土壤pH值，增加其有效性
 - 應變方法：鉬酸銨或鉬酸鈉(0.01~0.03%) 葉面施肥