

水耕營養液調配與管理

高德錚

台中區農業改良場

一、前言

植物生長過程中必需由空氣中獲得二氧化碳、氧氣及水及由土壤中吸收必需元素如氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫、鐵、錳、鋅、銅、硼、鉬、氯等以維持其基本之生命能量。因之，若將植物生長中所需之必需元素或無機化合物之方式溶解於水溶液中，之後，再提供水耕植物吸收利用，此溶液即稱為營養液。在進行水耕栽培時營養液之調配及例行管理與用於調製營養液時之用水水質和化學原料之純度、營養液配方及栽培過程營養液之酸鹼度、電導度和化學組成分之變化都與水耕植物可否正常生育有決定性；以下將一一述明之。

二、用水特性

在進行養液調配時，首先需考慮之要件為使用來調製營養液的水知水質良好否。所謂「用水之水質」係泛指供為水質中化學成分含量的多寡，即用水水質中之酸鹼度(pH)，電導度(EC, electric conductivity)和氮態氮(NH₄-N)、鉀(K⁺)、鈣(Ca⁺²)、鈉(Na⁺)、鐵(Fe⁺³)、錳(Mn⁺²)、硼(B⁺⁵)等陽離子及硝酸態氮(NO₃-N)、磷酸根(PO₄-P)、硫酸根(SO₄⁻)、碳酸根(CO₃⁻)、及氯(Cl⁻)等陰離子含量和有機質(organic matter)、溶氧量(DO, dissolved oxygen)及生物性需氧量(BOD, biological oxygen demand)之多寡，為評鑑此用水是否可供為養液調配之基準。

用水水質良好否之檢測限值如表 1 所示，其 EC 值需在 0.5mS/cm 以下，pH 值需在 8.0 以下，硝酸態氮(NO₃-N)、氮態氮(NH₄-N)、硫酸根(SO₄-S)、磷酸根(PO₄-P)、及鉀(K)等離子含量需在 5ppm 以下，調配碳酸根(CO₃⁻)需在 10ppm 以下，鈣離子需在 40ppm 以下，鎂離子(Mg)需在 20ppm 以下，鐵離

子(Fe)需在 1ppm 以下，硼離子(B)需在 0.3ppm 以下，Zn(鋅)、銅(Cu)、錳(Mn)等離子需在 0.5ppm 以下、氯(Cl)及鈉(Na)離子需在 30ppm 以下，有機質在 5ppm 以下、溶氧量在 5ppm 以上。

三、用水來源

一般而言，進行水耕栽培用水之可使用雨水、河川水、地下水、井水、湧泉、自來水，唯使用前需先檢定或經水質處理後始得運用。表 2 顯示臺灣各種用水之水質，若以 pH 及 EC 為度量標準，則以雨水及自來水之水質較為穩定而河川水及地下水之水質較差。再者，由近年來農家送檢之水質分析結果顯示，電導度值在 1.2~0.3mS/cm 間及 pH 值在 7.3~8.9 間，且離子含量以鈣離子超過 50 ppm (120~55ppm)、鎂離子超過 40 ppm (43~ 73ppm)、鐵離子超過 10ppm (3~12ppm)、鈉離子超過 5ppm (20~50ppm)及氯離子超過 30 ppm (30~50 ppm) 居多。究明其原因，以用水之水源水質不良居多，其次為經「樹脂處理」再生後之過濾水中過多量之鈉離子及氯離子所致。用水之水質經測定後，若其 EC 值在 0.5mS/cm 以上時，此水樣之水質不良，不宜供為調製養液；解決之道需另覓水源或進行水質改善，或進行水質改善。一般水質改善之方法，主要以理化方法為主，例如利用樹脂過濾法，去除水中過多之「鈣」、「鎂」離子，或利用氧化還原法去除水中過多之「鐵」離子。唯以樹脂法過濾用水後，在進行「再生」時會產生過多之鈉及氯離子。究明其原因係一般在進行樹脂法過濾用水之過多的鈣、鎂離子時，一旦樹脂過濾效率下降時，需立即行「再生」處理。一般行再生處理時大致以氯化鈉 (NaCl) 水溶液清洗。因之，清洗過程中之過濾水不可用來調配營養液，否則會因過濾水中含有過多之氯離子及鈉離子而降低了肥效。當用水之酸鹼度超過 7.5 以上時，在調配養液過程會發生沉澱現象。因之，在用水之酸鹼度超過 7.5 時，宜以每 1000 公升用水量置入 20 毫升之 95% 濃硫酸為

準，將用水之酸鹼度下降至 7.0 以下。總之，用於調配養液之用水其電導度需在 0.5mS/cm 以下及酸鹼度在 5.5 - 7.5 間。

表 1 調製水耕營養液適用之水質特性

化學成分別	基準量
電導度 (EC)	<0.5mS/cm
酸鹼度 (pH)	5~8
有機質 (OM)	<5ppm
溶氧量 (DO)	> 5ppm
硝酸態氮 (NO ₃ -N)	微量
氨態氮 (NH ₄ -N)	微量
鈣離子 (Ca ion)	<4ppm
鎂離子 (Mg ion)	<20ppm
鉀 (K ion)	<5ppm
硫酸根 (SO ₄ -S)	<5ppm
磷酸根 (PO ₄ -P)	<5ppm
碳酸根 (CO ₃ ⁻)	<10ppm
鈉離子 (Na ion)	<30ppm
氯離子 (Cl ion)	<30ppm~40ppm
鐵離子 (Fe ion)	<1ppm
錳離子 (Mn ion)	<0.5ppm
硼離子 (B ion)	<0.3ppm
鋅離子 (Zn ion)	<0.5ppm
銅離子 (Cu ion)	<0.5ppm

表 2 台灣不同水源之水質特性

用水別	pH	EC (mS/cm)
地下水	5-8	0.3-1.4
井水	5-8	0.1-0.8
湧泉	6-7	0.1-0.6
雨水	3.5-7.8	0.05-0.3
河川水	5.9-8.2	0.2-1.2
自來水	6.4-7.4	0.2-0.4

四、營養液之化學組成分

行養液栽培之目的係利用液體方式提供植物生長所需之營養元素，植物生長所需之必需元素有十六種，分別為碳(C)、氫(H)、氧(O)、氮(N)、磷(P)、鉀(K)、鈣(Ca)、鎂(Mg)、硫(S)、鐵(Fe)、硼(B)、錳(Mn)、鋅(Zn)、銅(Cu)、鉬(Mo)及氯(Cl)等，前9種因植物需求較多稱之鉅量元素，後7種植物需要量較少，稱之微量元素。因之，所謂營養液者，即將十六種生長之必需元素以化合物方式，完全溶解於水中來供給植物之根或葉片吸收者。作物養液栽培之配方依作物種類及季節別而異，如表3所示，為筆者開發供為栽培蔬果用之配方。

表3 筆者開發之蔬果用配方（公克/1000公升）

組成分	葉菜	萵苣	芥藍	番茄
硝酸鈣	118	94	165	1,180~1,776
硝酸鉀	606	484	848	606~909
磷酸一銨	77	62	107	77~116
硫酸鎂	492	394	689	492~738
磷酸一鈣	84	67	118	84~126
鉗形鐵	20	20	20	20
硼酸	1.2	1.2	1.2	1.2
氯化錳	0.72	0.72	0.72	0.72
硫酸鋅	0.09	0.09	0.09	0.09
硫酸銅	0.04	0.04	0.04	0.04
鉬酸鈉	0.01	0.01	0.01	0.01
pH	6.0	6.0	6.0	6.0
EC(mS/cm)	1.4	1.1	2.0	1.4~2.1

五、養液管理基準

植物生長過程中，根部會分泌些許物質，且由營養液中吸收各種成分。因之，營養液組成分之濃度及酸鹼

度會逐漸變化，根據筆者之研究成果顯示，營養液之濃度及酸鹼度之變化不能超過配方量之 20%，否則水耕植物生育不正常。一般而言，營養液濃度之測量單位為 mS/cm，即以電導度計 (electrical conductivity meter, EC meter, 詳如圖一) 來度量之，而營養液酸鹼度之測量單位為 pH，即以酸鹼度計 (pH meter 如圖二) 來度量之，一般市售之酸鹼度計可分成單點校正式及雙點校正式兩種，其度量值由 1~14，7 為中性，1 為強酸，14 為強鹼。使用酸鹼度計去度量水質或營養液時，需先以 pH=4.0 及 pH=7.0 標準液校正之，否則所度量之測量值不準確。因之，以單點校正式酸鹼度計去度量之測量質較不準確。酸鹼度為一種度量固體肥料調配成營養液後或用水中氫離子濃度之多寡，一般以其濃度之指數來表示，稱為 pH，即 1 公升的溶液中含有氫離子克數之倒數的常用對數值：

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = 1 \div \log[\text{H}^+] \text{ 或 } [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$$

若溶液中 $[\text{H}^+]$ 較 $[\text{OH}^-]$ 大時，此溶液即為酸性，反之即鹼性。因之，(1) $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$ 時 $\text{pH} = 7$ ，(2) $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$ 時 $\text{pH} \approx 1 \sim 7$ ，及 (3) $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$ 時 $\text{pH} \approx 7 \sim 14$ 。

在栽培過程，養液之濃度及 pH 值，會隨栽種蔬菜之種類及外界氣候環境而變。因之，必需定期檢驗其成分而調整之。



圖一 電導度計 (EC meter)，右圖為電導度計之電級區及左圖為白金桿和溫度感應桿



圖二 常用之酸鹼度計，單點校正式(左)及雙點校正式(右)

六、 營養液調配作業

依栽種作物別、季節別及表 9 之基本配方中成分，各組成分化學藥劑可向坊間化工原料行購買，巨量元素以選購食品級或工業級為宜，微量元素則以分析級最佳，購買時需了解各成品之有效成分(濃度)，及不純物之種類和分量，否則一旦含過量之重金屬時將危害到消費者之健康。表 4 為臺灣坊間水耕用固體肥料之化學特性及參考價格。

調配養液可依下列步驟進行：(1)選擇適當之養液配方(如表 3)，(2)估算預調配之配方量，(3)估算配方中之各肥料量，(4)在了解各肥料之純度後(如表 4)稱取正確之肥料量，(5)依各肥料特性個別溶解之，(6)依肥料間之相容性依序溶入用水中，(7)度量養液之酸鹼度再依表 5、表 6 之校正表將養液調整至 7.0-6.0 間，(8)測量電導度。

表 4 臺灣坊間水耕栽培用肥料之特性

肥料名稱	純度(%)	溶解度 20℃ 公克/公升	參考價格 (元/公斤)
硝酸鈣 [Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O]	70~80	1,270	40~50
硝酸鉀 (KNO ₃)	90~95	315	25~30
磷酸一銨 (NH ₄ H ₂ PO ₄)	95~98	368	65~80
磷酸一鈣 [Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O]	20~30	18	50~60
硫酸鎂 (MgSO ₄ · 7H ₂ O)	45~50	356	10~20
鉗形鐵 (Fe · EDTA)	95	421	300~500
硼酸 (H ₃ BO ₃)	99	46	55~60
硫酸銅 (CuSO ₄ · 5H ₂ O)	99	366	30~40
硫酸鋅 (ZnSO ₄ · 7H ₂ O)	99	168	35~45
氯化錳 (MnCl ₂ · 4H ₂ O)	99	735	45~55
鉬酸鈉 (Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O)	99	100	850~1,400

以台中區農業改良場葉菜配方為準，來調配 3,000 公升之養液，倘若用水之 pH 值為 7.8，EC 值為 0.35 mS/cm，因之，調配作業步驟如下：

步驟一：于 3,000 公升水溶液中加入 95% 濃硫酸 60 毫升(20 毫升/1000 公升×3)，使水溶液 pH 值降至 6.7。

步驟二：估算配方中各肥料需求量並考慮到各肥料之純度後，精算各肥料之正確量（如表 6-5）

步驟三：將表五中之個別各肥料之實際用量一一以清水完全溶解後，分別倒入 3,000 公升之用水中，再傾倒肥料時，3,000 公升之用水需以攪拌機將用水充分攪拌。各肥料之傾倒順序分別為硝酸鉀、硫酸鎂、磷酸一銨、硝酸鈣、螯合鐵、硼酸、硫酸鋅、硫酸銅、硫酸錳及鉬酸銨。

步驟四：3,000 公升之養液經充分攪拌後，以酸鹼度測定酸檢度值，若數值在 7.0 以上則先以每 3,000 公升養液先加入 95% 硫酸將之降至 7.0 左右，再依表

6-6 之參考值添加 9.5% 硫酸 1165.8 毫升 (368.6 毫升×3)，或 6.5% 硝酸 11.7 毫升 (933.9 毫升×3) 或 8.5% 磷酸 2.1 毫升 (940.7 毫升×3)，將養液之酸鹼度降至 6.0 左右備用。反之，若養液太酸時，可依表 6-7 之參考值將之調昇到 6.0。

步驟五：依電導度計測定養液之電導度值，依台中區農業改良場之配方值為 1.4mS/cm，用水之電導度值在 0.3 ms/cm，因之，該養液之電導度值應落在 1.7 mS/cm (1.4+0.3) 左右。

表 5、養液調配試算表

步驟一	步驟二	步驟三	步驟四	步驟五
配方 組成份	配方 成份用量 公克/1000 公升)	配方 需求量 以 3,000 公升為 例)	肥料 純度 (%)	實際肥料 需求量 公克/3000 公 升)
硝酸鉀	606	1818	90	2,020
硝酸鈣	118	708	85	944
硫酸鎂	492	1476	75	2,688
磷酸一銨	77	285	90	317
磷酸一鈣	84	254	70	360
螯合鐵	20	60	90	67
氯酸錳	0.72	2.2	90	2.4
硫酸鋅	0.09	0.27	90	0.3
硫酸銅	0.04	0.12	90	4.0
硼酸	1.2	3.6	90	10.0
鉬酸鈉	0.01	0.03	90	0.033

表 6、每 1000 公升不同鹼性水溶液降至 pH6.0 時所需硫酸 (H₂SO₄) 或磷酸 (H₃PO₄) 或硝酸 (HNO₃) 之填加量 (毫

升)

pH 值	9.5%	8.5%	6.5%
	H ₂ SO ₄	H ₃ PO ₄	HNO ₃
7.0	368.6	940.7	933.9
6.9	336.7	891.7	861.7
6.8	303.7	832.7	784.8
6.7	269.0	763.7	703.1
6.6	234.3	684.6	616.8
6.5	198.0	595.6	525.7
6.4	160.6	496.5	430.0
6.3	122.1	387.4	329.6
6.2	82.5	268.3	224.4
6.1	41.8	139.1	114.6
6.0	-	-	-

註：市售硫酸濃度為 95~98% ，硝酸為 65% ，磷酸為 85%

表 7、1000 公升不同酸性水溶液調昇至 pH6.0 時所需氫氧化鈉(NaOH)或氫氧化鉀(KOH)之填加量(毫升)

pH 值	4.0%	4.0%
	NaOH	KOH
5.0	477.8	707.9
5.1	446.1	666.8
5.2	410.9	619.2
5.3	372.1	564.9
5.4	329.8	504.0
5.5	283.8	436.5
5.6	234.2	362.5
5.7	181.0	281.8
5.8	124.3	194.4
5.9	63.9	100.5
6.0	-	-

註：市售氫氧化鉀及氫氧化鈉為高純度之固體粒劑或粉劑

七、濃縮養液之調配作業

為了配合養液滴灌系統之運作，必須將養液配方分成如表 8 部分組合並調配成濃縮液，依台中區農業改良場配方如表 6-5 為例，若要調配成 2000 公升之 500 倍濃縮液，則可

依表 8 之步驟進行之。

調配營養液時，所有肥料之組成分的來源及純度要預先了解，以臺中區農改良場葉菜類標準配方為例，硝酸鈣 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之配方量為 118 公克/1000 公升。操作時，首先需了解使用之硝酸鈣是否亦含 $4\text{H}_2\text{O}$ (4 個結晶水)，以無結晶水之 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 為例，其含 Ca 之百分率 24.4%，而配方中 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之 Ca 百分率為 16.9% 而言，若採用無結晶水之 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 來配營養液，則稱取肥料量需減少為：

$$118 \text{ 公克/1000 公升} \times (16.9\% \div 24.4\%) = 81.7 \text{ 公克}$$

又配方中所提及成分量係指肥料來源為 100% 純度下的成分量，因之，若採用工業級之肥料其純度一般僅 50~90% 間，則實際操作時需依比例增量之，以 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$

$\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 之配方量為 118 公克/1000 公升而言，若使用純度僅 80% 之工業級肥料，則實際稱取量為： $118 \text{ 公克/1000 公升} \div 80\% = 147.5 \text{ 公克/1000 公升}$ 。

一般農用肥料如尿素、硫酸銨、過磷酸鈣、氯化鉀等，因純度不高，不純物太多且不能完全溶於水，故不宜為營養液之原料。而臺肥公司出售之液體肥料中，組成分僅為氮、磷、鉀、鎂、硫等，而缺乏植物所需之礦物質(即微量元素)，故不宜為營養液之原料。在國外大規模商業水耕農場，均使用固體形態之水耕肥料，而依其栽種作物之專用配方(如表 7)以每 1 公噸用量為準，將調配成 A、B 二大包為一組，其中 A、B 為巨量元素而微量元素則置於 A 及 B 中；而 A 及 B 之分組原則為含鈣(Ca)之原料需與含硫酸根($\text{SO}_4\text{-S}$)之原料分開否則在高濃度濃縮下會發生。然而不論使用固體肥料或液肥為原料去調配時，首先需確定用水之組成分及 pH 值，若在 7.5 以上時需添加濃硫酸，使之降至 6.0 左右，否則部分組成分會沉澱，例如若超過 7.5 時，硝酸鈣將無法完全溶解而呈灰色懸浮液。一般而言，每一噸水欲下降 1 個 pH 單位時，需添加 95% 濃硫酸 25~50 ml。反之若養液 pH 低 5.0，可填加 40% 之氫氧化鈉飽和溶液，每升高 1 個 pH 單位，每一噸水需

加入 50~100ml。進行養液調配時，各組成分需先充分溶解後，再依次加入養液槽中，不可一起混入。再者，初次調配養液時，由於成分太多不易充分混合，因此需分成幾天逐量添加，以 40 公噸為例，大約成分 5~7 天為宜。最後將 A 及 B part 充分溶解後以濃硫酸或濃硝酸將濃縮液之酸鹼度降至 5.0 左右。

表 8、濃縮養液調配試算表

步驟一	步驟二	步驟三	步驟四	步驟五
	肥料 配方	肥料配方 需求量	肥料 純度	實際肥料 需求量
農縮液別公克/1000 公(以調配 2,000 公(%)				公克/2000 公
升)				升)
)0 倍濃縮液為例)				
Part A				
硝酸鉀	500	500,000	90	555,555
硫酸鎂	492	492,000	75	656,000
磷酸一銨	77	77,000	90	105,555
硫酸錳	0.72	720	90	3,333
硫酸鋅	0.09	90	90	1,111
硫酸銅	0.04	40	90	2,222
Part B				
硝酸鉀	106	106,000	90	235,061
硝酸鈣	118	118,000	85	554,190
磷酸一鈣	84	84,000	70	120,000
螯合鐵	20	20000	90	23,333
硼酸	3.0	3000	90	3,333
鉬酸鈉	0.01	10	90	11

八、水耕營養液之例行管理

在進行蔬果水耕栽培，時正確的營養液例行管理及調製佔一半以上之成功因素。且理論上每一種作物均有其最適之

營養液配方，但實際操作時，會發生困難。換言之，為了達到每一種作物有其最適配方則營養液之循環系統必需各自獨立，如此投資成本相對提高。依筆者多年之經驗，營養液之例行管理法可分成(1)漸近濃度之養液管理法，(2)間歇式追肥管理法及(3)落差連續式追肥管理法等三種。

(一)、漸近濃度之養液管理法

根據筆者之多年經驗發現，若採用「漸近濃度」之養液管理方式，使水耕植物從幼苗移植至收穫前之每次添加營養液時將養液成分逐漸增加，則不論那一種蔬菜均可使用臺中區農業改良場之葉菜類水耕營養液配方來栽種之。在實際進行養液調配時可依表 9 配方之巨量元素成分量，在每次欲調配時將之調高 20%，而微量元素部分仍維持基本配方(S)之成分；那麼至蔬果採收時，水耕營養液之濃度仍接近基本配方(S)且可再進行下一作之栽培。

表 9 臺中區農業改良場蔬果水耕營養液基本配方(S)

元素別	營養液組成分	用量(mg/L)
巨量元素	硝酸鈣 [Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O]	118
	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
	磷酸一鈣 [Ca(H ₂ PO ₄) ₂ · H ₂ O]	126
微量元素	鐵 (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
PH=6.0±0.5		
EC=0.85 mS/cm		

表 10 葉菜類蔬菜所需之漸近營養液濃度

蔬菜別	最適濃度		EC 值 (mS/cm)		pH 值	
	春夏季	秋冬季	春夏季	秋冬季	春夏季	秋冬季
白菜、萵苣、 青梗白菜、菠菜、 莧菜、油蔴菜、 茼蒿、空心菜、 芥菜、芥藍菜、 番茄、花胡瓜、 茄子	1.5S	2.0S	1.28	1.7	5.5	6.0
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	3.0S	3.5S	2.6	3.0	6.0	6.5

(二)、間歇式追肥管理法

所謂間歇式追肥管理法，係允許整個循環系統之養液量降至 90% 時，才進行養液之追補。以 862.4m² 栽培面積之單一循環系統滿水量 17 公噸為例，即允許養液減少 1.7 公噸 (減少 10%)，即每一地下養液儲藏槽由 200 公升減少至 100 公升時，才進行追補肥。一般而言，大約每 7~10 天才進行追補肥作業。

在進行追補肥時，首先將 1.7 公噸之新鮮用水由養液控制下槽中注入，一旦水位補充至滿水位後，任其自動循環，隔天再量取養液濃度及 pH 值，例如測得之濃度值 EC=1.0mS/cm，且用水之 EC=0.3mS/cm，而養液基準值為 1.5S (即 0.85mS/cm x 1.5= 1.3mS/cm)，則每一藥劑需追補量 (An)：

$$A_n = T_n \times [(F+W-C) \div F]$$

T_n: 全水耕系統調配養液時所需個別肥料組成之用量 (公升或公斤)

F: 引用水養液濃度值 (mS/cm)

W: 用水之濃度值 (mS/cm)

C: 測得之養液濃度值 (mS/cm)

1. 以硝酸鈣為例，每一循環系統 17 公噸養液中加 (0.118 公克/公升 x 1.5 ÷ 85%) x 17,000 公升 = 3.54 公斤

因之，硝酸鈣之追補量為

$$3.54 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 1.63 \text{ 公斤}$$

2. 以硝酸鉀為例，每一循環系統 17 公噸養液中加
(0.404 公克/公升 \times 1.5 \div 90%) \times 17,000 公升 = 11.44 公斤

因之，硝酸鉀之追補量為

$$11.44 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 5.28 \text{ 公斤}$$

3. 以硫酸鎂為例，每一循環系統 17 公噸養液中加
(0.123 公克/公升 \times 1.5 \div 75%) \times 17,000 公升 = 2.41 公斤

因之，硝酸鈣之追補量為

$$2.41 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 4.47 \text{ 公斤}$$

4. 以磷酸一鈣為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
(0.126 公克/公升 \times 1.5 \div 70%) \times 17,000 公升 = 4.59 公斤

因之，磷酸一鈣之追補量為

$$4.59 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 2.11 \text{ 公斤}$$

5. 以磷酸一銨為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
(0.057 公克/公升 \times 1.5 \div 80%) \times 17,000 公升 = 1.82 公斤

因之，磷酸一銨之追補量為

$$1.82 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 0.84 \text{ 公斤}$$

6. 以鐵為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
(0.02 公克/公升 \times 1.5 \div 90%) \times 17,000 公升 = 3.83 公斤

因之，鐵之追補量為

$$3.83 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 1.77 \text{ 公斤}$$

7. 以硼酸為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
(0.0012 公克/公升 \times 1.5 \div 90%) \times 17,000 公升 = 0.034 公斤

因之，硼酸之追補量為

$$0.034 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 0.016 \text{ 公斤}$$

8. 以氯化錳為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
(0.0072 公克/公升 \times 1.5 \div 90%) \times 17,000 公升 = 0.02 公斤

因之，氯化錳之追補量為

$$0.02 \text{ 公斤} \times [(1.3+0.3-1.0) \div 1.3] = 0.009 \text{ 公斤}$$

9. 以硫酸鋅為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入

$(0.0009 \text{ 公克/公升} \times 1.5 \div 90\%) \times 17,000 \text{ 公升} = 0.026 \text{ 公斤}$
因之，硫酸鋅之追補量為

$$0.026 \text{ 公斤} \times [(1.3 + 0.3 - 1.0) \div 1.3] = 0.012 \text{ 公斤}$$

10. 以硫酸銅為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
 $(0.0004 \text{ 公克/公升} \times 1.5 \div 90\%) \times 17,000 \text{ 公升} = 0.011 \text{ 公}$
因之，硫酸銅之追補量為：

$$0.011 \text{ 公斤} \times [(1.3 + 0.3 - 1.0) \div 1.3] = 0.005 \text{ 公斤}$$

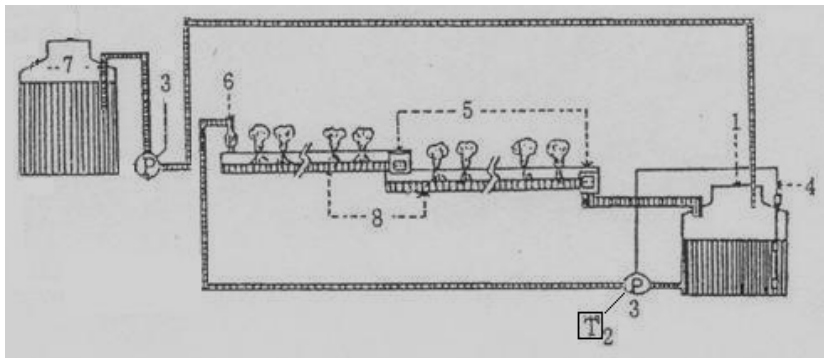
11. 以鉬酸鈉為例，每一循環系統 17 公噸養液中加入
 $(0.0001 \text{ 公克/公升} \times 1.5 \div 90\%) \times 17,000 \text{ 公升} = 0.0028 \text{ 公斤}$
因之，鉬酸鈉之追補量為：

$$0.0028 \text{ 公斤} \times [(1.3 + 0.3 - 1.0) \div 1.3] = 0.001 \text{ 公斤}$$

又，進行追補營養液時亦需考慮水質之酸鹼度及分次添加之程序。

(三)、落差連續式追肥管理法

全栽培系統之養液缺少時，養液控制用上槽隨時以高張濃度之養液經由浮水位控制器而流進養液控制下槽(圖三)。



圖三 養液控制用上槽隨時以高張濃度之養液經由浮水位控制器而流進養液控制下槽(1.養液槽，2.定時時，3.抽水幫浦，4.浮球式水位控制器，5.排液器，6.空氣混入器，7.高張養液槽)

在春夏季時，養液控制用上槽之液濃度為 3S(2.55mS/cm)

， pH=5.5， 下槽之養液濃度為 1.5S(1.25mS/cm)； 在秋冬季時， 養液控制用上槽之養液濃度為 2S(1.7mS/cm)， pH=6.0， 養液控制用下槽之養液濃度為 4S(3.5mS/cm)。

落差連續式追肥管理法之理論依據係根據筆者數年來周年性監視水耕養液之變化而歸納成下列模擬程式：

$$EC_f = (W - X) \div W \times EC_d + X \div W \times EC_a$$

EC_f: 栽培床中終之水耕液 EC 值 (mS/cm)

EC_d: 檢定時水耕液之 EC 值 (mS/cm)

EC_a: 尚待追補水耕液之 EC 值 (mS/cm)

W: 全水耕系統中養液容量 (公升)

X: 檢定時全系統中養液之消失量 (公升)

又， 進行追補營養液時亦需考慮水質之酸鹼度及分次添加之程序。

假設水耕系統 (W) 每日消失全量 1% (0.01W) 而 EC 值降低 1%。 若以夏季栽培床之 EC 值為 1.5S， 上槽為 3.0S 及用水之 EC 值為 (0.3mS/cm) 為例， 在經過 24 次養液調整時其最後養液 EC 值為：

$$EC_1 = (W - 1\%W) \div W \times [(0.85 \times 1.5 + 0.3) - 1\% \times (0.85 \times 1.5 + 0.3)] + (1\%W) \div W [0.85 \times 3 + 0.3] = 1.572$$

$$EC_2 = (W - 1\%W) \div W \times [1.572 - 1\% \times 1.572] + (1\%W) \div W \times 2.85 = 1.569$$

$$EC_3 = (W - 1\%W) \div W \times [1.569 - 1\% \times 1.572] + (1\%W) \div W \times 2.85 = 1.566$$

$$EC_4 = 1.563$$

:

$$EC_{24} = 1.563$$

:

$$EC_{48} = 1.431 \rightarrow EC_{52.5} = 1.418$$

:

$$EC_{72} = 1.359$$

因之， 採 3S 濃度來追補 1.5S 濃度差而每次以損耗 1%

養液量之前提下，則每一次追補過程養液濃度將耗損 0.003mS/cm，至 52.5 次後濃度才會下降至原先設定值之 10% 以下；換言之，若將蔬菜種苗生長速度控制在移植後 24 天內採收，則該等養液將可連續種植 2 次而不需行定期追肥。至於冬季時採用 4S 濃度來追補 2.0S 濃度差而每次以損耗 1% 之前提下，則每一次追補過程養液濃度之耗損仍為 0.003mS/cm。

九、養液之消毒作業

(1) 用水

用水可以 10 ppm 之消毒水消毒之

- 例如 10 公噸之用水可事先加入 40% 次氯酸鈣 250 公克于貯藏桶中， $10 \text{ 公克/公噸} (10 \text{ ppm}) \div 0.4 (40\%) \times 10 = 250 \text{ 公克}$

(2) 養液消毒

- 依地下水槽之水量 (8 噸)，加入 2ppm 之消毒水。
- 例如購買之次氯酸鈣純度為 40%，則將 40 公克 ($2 \div 40\% \times 8 = 40 \text{ 公克}$) 之 40% 次氯酸鈣，放入裝盛有 8 噸養液之地下水槽。
- 隨即將打開馬達將地下水槽中之養液迴流。
- 此迴流操作至少需進行 30 分鐘，藉以曝氣，將氯氣趕走。
- 養液之消毒 1~2 個月需進行一次。

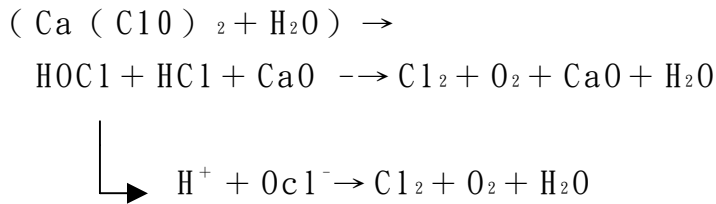
十、非農藥殺菌劑之使用原理

□ 次氯酸鈣 (Calcium hypochloride, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$)

次氯酸鈉 (Sodium hypochloride, NaOCl)

為非農藥之殺菌劑，其殺菌劑量分成瞬間殺菌及浸漬殺菌等兩種。前者殺菌效果較好，濃度也較高為 100~750 ppm，

後者殺菌效果較差，濃度為 2~10 ppm。此種藥劑之殺菌效果係利用藥劑瞬間置於水中時，發生冒泡現象



因之，此要藥置於水中，若攪拌均勻，在 20 分至 2 小時後，即消失藥效。

- 故，以“噴灑”方法進行殺菌操作時，藥劑調配桶需“密閉”，且在 20~30 分鐘將之全部噴完，才不會浪費藥劑。
- 若以低劑量（2~10 ppm）來浸漬養液及用水時，藥劑加入桶後，需不斷以沉水馬達去攪拌之，使之在 20~30 分鐘內將氯氣趕走，否則蔬菜一旦吸入含有“HOCl”之離子，會導致根系及葉片出現白點或白斑之藥害。
- 高劑量（100~750 ppm）之瞬間殺菌法，一般用於“非生物”之表面殺菌，即直接將之噴灑至“非生物之表面”。
- 低劑量（2~10 ppm）之浸漬殺菌法，一般用於“生物飲水”中，唯殺菌後需將藥味趕走，以免傷到“生物體”。

十一、非農藥殺菌之濃度估算

目前市售之消毒劑有次氯酸鈣及次氯酸鈉，次氯酸鈣為 40~65% 之粉劑或粒劑，而次氯酸鈉為 5~6.5% 或 10~13% 之液劑。因之，要如何調配多少 ppm 有效濃度之，可依下列公式計算之：

* 1 ppm = 1 公克固體放於 1 公噸（1000L）水中

即：1ppm = 1 公克 / 1000L，1 公噸 = 1000L，

1L = 1000ml(cc)

* 750ppm = 0.75 公克 / 1L 水 = 750 公克 / 1 公噸水

* 500ppm = 0.50 公克 / 1L 水 = 500 公克 / 1 公噸水

* 10ppm = 0.01 公克 / 1L 水 = 10 公克 / 1 公噸水

* 2ppm = 0.02 公克 / 1L 水 = 2 公克 / 1 公噸水

● 要如何調配次氯酸鈣及次氯酸鈉多少 ppm 有效濃度使用法說明如下：

□ 假如購買之消毒劑為次氯酸鈣，濃度為 40%，若欲配 100 ppm，100 L 之消毒水，則可 25 公克之氯酸鈣溶於 100 L 之水中。

□ 假如購買之消毒劑為次氯酸鈉，濃度為 6.5%，若欲配 100 ppm，100 L 之消毒水，則可取 153.8ml 之氯酸鈉溶於 100 L 之水中。

表 11 調配各種濃度次氯酸鈣消毒水每公噸所需之藥劑量 (公克/公噸)

欲配之濃度 (ppm)	購買之次氯酸鈣純度 (%)		
	5.0	6.5	13
2	5	4	3
10	25	20	15
50	125	100	77
100	250	200	154
200	500	400	308
500	1,250	1,000	770
750	1,875	1,500	1,155

註：此表數值之計算公式為：欲配濃度 (公克/公噸) ÷ 純度 =

表 12 調配各種濃度次氯酸鈉消毒水每公噸所需之藥劑量 (ml/公噸)

欲配之濃度 (ppm)	購買之次氯酸鈉純度 (%)			
	5.0	6.5	10	13
2	40	31	20	15
10	200	154	100	77
50	1,000	769	500	385
100	2,000	1,538	1,000	769
200	4,000	3,077	2,000	1,538
500	10,000	7,692	5,000	3,846
750	15,000	11,538	7,500	5,769

註：此表數值之計算公式為：欲配濃度 (公克/公噸) ÷ 純度 =

十二、次氯酸鈣（鈉）消毒水之調配方法

- 次氯酸鈣不易溶於水，且一旦溶於水中會提昇用水之 pH 值。
- 次氯酸鈣（鈉），需在 pH < 5 以下酸性殺菌力最強。
- 因之，調藥前需將用水之 pH 值先降至 5.0。
- 之後，再依所需調配之濃度將次氯酸鈣（鈉）加入用水中。隨即需依下表所示需添加不同數量之 9.5% H₂SO₄，藉以維持用水之 pH 值及提高鈣（鈉）消毒水之殺菌力。
- 使用操作：
 - 先將用水調至 5.0
 - 以 100 ppm 為例，欲配 100 公升之鈣消毒水若其純度為 50 %，則稱取 20 公克，次氯酸鈣。
 - 隨即加入用水中，攪拌之。
 - 取 9.5% H₂SO₄ 95ml，隨之倒入用水中。
 - 攪拌之。
 - 立即噴施，20~30 分鐘內用完 100 公升消毒水。
- 建議：
 - 育苗及地下桶之養液要消毒時，適用濃度為 2ppm。
 - 用水之消毒，適用濃度為 10ppm。
 - 育苗床、栽培床、定植板及其他器具要消毒時適用濃度為 100ppm。
 - 不論調配多少濃度之鈣消毒水，均需注意調配前後之 pH 上昇及務必加入適量之 9.5% H₂SO₄ 藉以提高其殺菌力。

表 13 各濃度次氯酸鈣溶液之調配方式

欲調配 次氯酸鈣之濃度 (ppm)	用水 pH=5 時， 加入次氯酸鈣後 用水 pH 值之變化	每一公噸用水需加入多 少 ml 之 9.5% H ₂ SO ₄ ，才 能使用水 pH 維持 5.0
2	5.2	20
10	5.7	210
50	7.2	620
100	9.1	950
200	11.0	1860
500	11.9	4850
750	12.1	7340

表 14 各濃度次氯酸鈉溶液之調配方式

欲調配 次氯酸鈉之濃度 (ppm)	用水 pH=5 時， 加入次氯酸鈉後 用水 pH 值之變化	每一公噸用水需加入多 少 ml 之 9.5% H ₂ SO ₄ ，才 能使用水 pH 維持 5.0
2	5.3	10
10	5.5	30
50	6.0	80
100	6.5	180
200	7.3	350
500	8.8	770
750	9.6	1140

十三、化學性農藥殺菌法

萬一上述方法，仍無法有控制萵苣，莧菜等之根腐病 (pythium)，則可在育苗時，或育苗室地下水槽甚至在栽培室之養液中加入 0.5ppm 左右下列藥劑：

- 依得利 (Etridiazole) 或
- 鋅錳滅達樂 (Ridomil, Mancozeb + Metalaxyl)

□使用量 0.5ppm□ (0.5 公克藥劑÷有效濃度)



置於 1 公噸 (1000L) 水中或養液中
或養液中

□依得利之有效濃度為 35% ， 鋅錳滅達樂為 58%

□因之，可將

依得利： $0.5 \div 0.35 = 1.4$ → 將 1.4 公克藥混入 1000L 水中

鋅錳滅達樂： $0.5 \div 0.58 = 0.86$ → 將 0.86 公克藥劑混入
1000L 水中

□消毒頻度為每月 1 次。