

水耕栽培—精緻蔬菜生產技術之開發

文／高德錚

爲穩定本省夏季蔬菜之產銷及提昇蔬菜之品質，使國人能享受既便宜又無農藥殘毒之清潔蔬菜，台中區農業改良場在農委會及農林廳經費補助下正積極研究無土水耕栽培技術，希望發展出一套既可提供家庭主婦在公寓陽台上或屋頂上生產蔬菜，又可藉『植物工廠』年中無休地生產蔬菜。



如何『選擇無農藥殘毒之精緻蔬菜』的疑問一直困擾著家庭主婦，消費者常以菜葉上具有蟲孔者視爲上品。事實上本省位處亞熱帶，四季溫暖，媒介昆蟲及病菌生育世代繁盛下，若不能有效地抑制其族群之擴張，則無法達到經濟性之生產，因此過去二、三十年來大抵藉用噴灑農藥來防治病蟲害，作爲增產之途徑。歐美國家由於緯度較高，季節性溫差較大，農藥使用頻率遠低於本省業者，其生產之蔬菜幾可生食，甚至臨近之日本國民每日生食萵苣、芹菜、紫蘇、高麗菜的生活習慣，常令人羨慕不已。我國之農業生產技術並不亞於日本，爲何日本能，我們不能？

水耕栽培植物之構想是有歷史淵源的，早在紀元前數百年前古埃及之楔形文字遺跡中即可發現有植物生長於水中的圖形，而世界七大不可思議的傳說中『巴比崙的空中花園』，亦常讓人百思不解。其實土壤爲天然的栽培床，她爲植物之母，固持著植物，及提供各種生育必需之元素。一旦不用土壤作爲栽培介質，若能人爲的固持植物根部及提供各種營養成分，則在水中生長植物又有何不可呢？以去年日本筑波萬國博覽會上展示之一株活生生地，預計可結一萬二千個果實之水耕番茄植株，可了解水耕技術之奧妙。

水耕無土栽培因果菜類及葉菜類生理習性之分野，在植株育苗、栽培床構造及養液循環系統之設計上略有不同，目前本場已成功地各開發一套水耕栽培技術，在 240 平方公尺之溫室中以岩棉栽培法來培植番茄、胡瓜、草莓及木瓜等果菜，並以浮根式栽培法來生產小白菜、萵苣、山(水)芹菜及菠菜等葉菜。據目前研究成果顯示養液蔬菜生產技術之優點爲(1)縮短生育期，增加年收穫數；(2)週年性工業化生產；(3)無農藥污染，(4)迴避土壤病蟲害及連作障害；(5)施肥合理化；(6)省勞力；(7)輕勞動力；(8)不懼農村老齡化。

岩棉栽培法

栽培介質：

岩棉(rockwool)爲人造之礦石纖維(圖一)，與坊間之石棉(asbestos)不同，石棉可由天然礦石中開採取得，岩棉爲玄武岩或輝綠岩等礦石在 1,600°C 下熔融後，利用高速離心設備使岩漿形成微粒液滴，諸液滴因高速離心運動露於空氣中而形成纖維狀物，然後再將諸纖維重新壓縮排列而形成方塊型一此即所謂岩棉。岩棉內部兼具各種疏水性及親水性纖維，且空隙密度大(97%)，保水率強(82%)，適合作爲幼苗固持物及栽培床之承載物。農用成品規格大略爲長方體，長 6.5~90 公分、寬 6.5~30 公分、高 5.0~12 公分，其化學成分主要 SiO_2 (35~45%)， Al_2O_3 (10~20%)， CaO (16~40%)， MgO (3~10%)及 Fe_2O_3 (0~12%)，pH (7.0~8.5)。



圖一 利用 6.5×6.5×5.0 立方公分之岩棉塊進行胡瓜育苗

栽培床：

在 4" PVC 管上每隔 20 公分挖一個直徑 5 公分的洞，以便移入預先以岩棉育苗之植株，利用 PVC 管作爲栽培床特別適合本省冬季草莓觀光果園之立體栽培，以長 4 公尺寬 1 公尺之土地面積爲例，若架設 1 個 1.8 公尺之三角形立體架一台中區農業改良場果菜 I 型栽培床(圖二)將以 8~10 倍於同土地面積之株數來進行立體經濟性栽培。若進行番茄、胡瓜、茄子類之栽培，如圖三所示之台中區農業改良場果菜 II 型栽培床，可利用 5 公分厚保利龍板圍成，寬 60 公分，高 10 公分，長度 180 公分之小栽培床，實際進行大面積栽培時在 180×60×10 之小栽培床後以連接方式依所需長度，上覆 1 塊黑色防漏 PE 塑膠布即可。由於本省氣候炎熱在移入以岩棉育苗之植株後，栽培床上面需加一片 3~5 公分厚之保利龍，以防止養液溫度之上升。



圖二 台中區農業改良場果菜 I 型栽培技術—PVC 管立體栽培架

養液條件：

液溫維持在 23~27°C，pH 5.5~6.5，養液濃度(以 EC 值表示)因作物別及生育時期而異大約在 0.75~2.0mmho，養液溶氧量需維持在 3.0~6.0ppm 左右。

養液循環系統：

岩棉栽培法養液之循環方式可依養液之回收否，可分為兩類。而養液不回收之灌水系統又可分成噴灌式或點滴式。

噴灌式灌水系統為岩棉上直接裝設 PE 塑膠，管上設有微量噴頭，當養液槽馬達啟動後，養液直接由噴頭噴至岩棉上，亦可不用噴頭而直接在 PE 管上穿洞，而讓養液流入岩棉中。點滴式灌水系統為兩行栽培床中裝置 PE 或 PVC 養液主管一條，再以點滴管之一頭插入養液管中，而另一頭插入岩棉中。噴灌式灌水系統每日啟動馬達 3~5 次，而點滴式灌水法，係利用高水塔及栽培床間之水位落差，使養液 24 小時均在滴灌。在養液回收系統又分成靜水式及湛水循環式，前者為栽培床上留置 3~5 公分深之養液直至水份減少時，再注入新鮮養液；而循環式者，每日定時由養液槽將養液打入栽培床中，多餘者再流入養液槽。



圖三 台中區農業改良場果菜 II 型栽培技術—長25.2公尺、寬60公分、深10公分之保利龍栽培床

適合栽種之作物：

番茄、茄子、甜椒、胡瓜、西瓜及洋香瓜等果菜。

浮根式葉菜類蔬菜栽培法

栽培介質：

海(泡)棉，將種子消毒後直接播種到海棉育苗床中，育苗床係由 3.0×3.0×49 公分海棉條組成，播種量以 3 公分長內含 3~5 粒種子為宜。待種子發芽生長至 2 葉齡時將海棉條切成 3.0×3.0×3.0 公分之方塊(圖四)，直接移入保利龍栽培床上。



圖四 利用 3×3×3 立方公分之泡棉塊進行豌豆育苗

可利用各種資材圍成如圖五之栽培床—台中區農業改良場葉菜 I 型栽培床，構設原則為遠離地面，栽培床內水位 5 公分且不漏水、不透光、具保溫性。栽培床大小依地形而異，寬度則 90 公分左右為宜。植株固特物用 3 公分厚保利龍板最佳，植株行株距在 10~15×10~15 公分。

養液循環系統：

定時循環式，使養液中 O_2 濃度維持 3.0~6.0ppm。

養液條件：

液溫 17℃~25℃，pH 值 5.5~7.0、EC 值 0.70~2.00mmho。

適合栽培作物：

小白菜(圖六)、萵苣、芹菜、菠菜、韭菜、蔥、莧菜、甕菜、茼蒿及茺荽等葉菜。



圖五 台中區農業改良場葉菜 I 型栽培技術—長10.8公尺、寬90公分、深5公分之保利龍栽培床



圖六 水耕蔬菜栽培盛況

家庭式水耕栽培法

水耕栽培槽：

置備一深十公分、寬卅公分、長五十公分左右之容器，此容器最好具不漏水，不生銹及保溫之特性，一般以保利龍箱最佳，此種箱子在菜市場上用於裝魚、水果等，為避免漏水可內置一塊黑色塑膠布，市售之保利龍箱深度大約在四十公分左右，因此可在內部先墊入保利龍碎塊使深度僅餘十公分，再覆上塑膠布。

水槽蓋：

水槽蓋之作用在於固持植物，一般以 3.0 公分厚之保利龍最佳，水槽蓋之大小與水耕槽之面積相仿，至於水槽蓋之洞數則依栽培植物而定，一般在二~十個間，洞徑在二公分左右。

適合栽培之植物及數量：

以 30x50 公分之水耕栽培床為準，可栽種之植物種類及株數如表一：

表一、適栽之植物種類及數量

株數	植物種類
2~3	小黃瓜、蕃茄、香瓜、西瓜、茄子、青椒
5~6	草莓、結球萵苣、西洋芹菜、大豆、綠豆、毛豆、豌豆

5~6	草莓、結球萵苣、西洋芹菜、大豆、綠豆、毛豆、豌豆
8~10	小芹菜、小白菜、青江白菜、台灣芹菜、葉萵苣、茼蒿、甕菜

育苗法：

取 3×3×3 海棉塊將其中切 0.5 公分後，先浸在清水中浸潤，然後放入種子 3 粒于海棉內口，此海棉塊置於黑暗中 3~5 天，待種子發芽後移入陽光中 3~5 天讓其充分生長，待之第一對葉完全展開後即可移入水耕栽培床上。

水耕養液：

水耕槽內之液體為人工調配之營養液，可取定量之自來水、地下水或泉水，依本場開發之水耕養液配方(表二)調配之。

表二、台中區農業改良場水耕養液配方

巨量肥料	用量 公克/1000 公升	微量肥料	用量 公克/1000 公升
硝酸鈣	472	鐵(Fe EDTA)	16.0
硝酸鉀	808	硼酸	1.2
磷酸鉍	152	氯化錳	0.72
硫酸鎂	492	硫酸鋅	0.09
		硫酸銅	0.04
EC=2.00mmho		鉬酸鉍	0.01
Ph=6.00~6.40		氯化鈉	1.64

上述配方為通用配方(S)，可依蔬菜類別及生育時期調整其濃度，表三為各蔬菜之最適濃度。

表三、各種蔬菜之適用水耕濃度

蔬菜別	營養別	開花結實期
葉萵苣	1/2 S	—
結球萵苣	1/2 S	3/4 S
白菜	1/2 S	—
鴨兒芹	4/5 S	—
茼蒿	S	—
草莓	3/8 S	3/4 S
番茄	1/2 S	1/2 S
胡瓜	S	3/8 S

水耕液之調節

水耕液之組成：

生物生育、開花、結實及種子等所必需之營養元素為碳、氫、氧、氮、磷、鉀、鈣、鎂、鐵、硫、銅、鋅、硼、鉬、氯及錳等十六種，除了二氧化碳可經由葉部進行光合作用獲得外，均由根部之吸收而得到。因此進行水耕無土栽培時，水耕液中化學組成可依植物生育時需要量之多寡分成巨量元素—氮、磷、鉀、鈣、鎂、硫及微量元素—銅、鋅、硼、鉬、氯及錳。原則上每一種作物對每一元素之需求量均不同且隨作物之生育期別水耕液之組成亦不同，因此栽植前每一種作物均需決定一最適配方。依據本場開發之水耕配方(如表二)，巨量元素之組成分為硝酸鈣、硝酸鉀、磷酸銨及硫酸鎂，而微量元素之組成分為鐵(Fe EDTA)、硼酸、氯化錳、硫酸鋅、硫酸銅及鉬酸銨。

水耕液之酸鹼度：

植物生育之根圈之環境有一定之酸鹼度，酸鹼度一般用酸鹼度計來測定(如圖七中上面之儀器)，其顯示之數字稱為 pH 值，pH 值從 1~14.7 為中性，1 為強酸，14 為強鹼。在水耕栽培時，一般將水耕液之 pH 值調在 5.5~6.5。實際栽培時若 pH 值超過 6.5 時，用 0.1N 硫酸調回；若 pH 值低於 5.5 時，則用 0.1N NaOH 調回。



水耕液中 pH 之調整相當重要，pH 值太高(鹼性)時，水耕液中微量元素鐵、錳等重金屬會發生沉澱，pH 值太低(酸性)時植物因鈣及鎂之吸收效率降低，而影響其發育。

水耕液之溫度：

水耕液之溫度影響植物根部吸收能力甚鉅，植物根部生長有最適之溫度。液溫太低時根部生理活性低下，對磷、硝酸態氮及鉀之吸收能力下降。液溫高時，根部對硝酸態氮之吸收能力增加，但鈣之吸收能力下降，以番茄為例，液溫超過 30℃ 時，根部呼吸率加速，水耕液中溶氧量減少，因此發生根腐現象且果實腐爛。水耕液溫度之調整法一般將水耕液槽置放地下，且栽培床採用隔熱保溫資材，儘量地減少水耕液在栽培床之停留時間，換言之，加速水耕液之循環，使水耕液溫維持在 15~27℃ 間，否則水耕液槽內需加入控溫系統。

水耕液之溶氧量：

水耕液之溶氧量與液溫及水耕液在栽培床中之流動速率有關，液溫升高時，水耕液中之溶氧量下降，而且液溫升高時，植物根部呼吸作用加速，導致水耕液中溶氧量下降。一般水耕液之溶氧量需維持在 3~6ppm 間，否則水耕植物

生育不良。要維持水耕液溶氧量之方法為(1) 增加水耕液之循環次數；(2)增加水耕液之流量及流速；(3)水耕液流入栽培床時加裝空氣混入器；(4)水耕液導入栽培床時改用噴霧式；(5)增加栽培床傾斜度，以加速水耕液流速；(6)將植株根部上方遠離泥面 2~3 公分，使根部直接露於空氣中。

水耕液之濃度：

水耕液內填加之化學肥料一旦加入水中以後均以離子形態存在，因此吾人檢定水耕液中電導度(electric conductivity, EC)之多寡來判定水耕液是否因植物吸收而缺失。一般而言，作物所需之水耕配方決定後，吾人可依配方中每一元素之克當量之總和換算出該配方之理論電導度值(EC, mmho)，例如表二之配方 EC 值為 2.0mmho，依植物種類及生育期別而調配成植物所需之最適濃度(如表三所示)。又，水耕液經植物吸收後 EC 值會逐漸下降，日常管理上以電導度計(圖七中下面的儀器)測量 EC 值之變化，當 EC 值降至最適值之 10%以下時，則需補充新的水耕液使之保持最適濃度。

水耕栽培之日常管理

陽光：

水耕栽培床最適宜之放置地點為溫室、陽台、屋頂或園院中，尤其是番茄、胡瓜、草莓等需要較強之陽光，但一般葉菜類蔬菜需光性不太強，甚至在栽培床上方加上黑色遮蔭網。

氣溫：

吾人可選擇季節性之蔬果來栽培將可避免氣候之成為制限因子，例如：春夏以胡瓜、白菜、芹菜、茄子、青椒為宜，秋冬季以菠菜、萵苣、番茄、碗豆等最易生長，若要栽培非季節性蔬菜則在夏天需遮蔭，冬天需加人工照明才可順利生產。

根溫：

吾人利用保利龍作為栽培床之用意，利用其隔熱、保溫之特性來維持養液之溫度。因此避免將栽培床置於太陽直射之地方或在栽培床上加置一塊反光塑膠布較能保持水溫。



圖八 適合本省氣候之水耕專用溫室

水耕液之管理：

栽培床若無打氣或打水循環裝置，易造成養液內氧氣缺乏，因此以每七天將栽培床內養液倒掉後換新鮮養液為宜。水耕液在深度與植株幼苗根系成反比，最初在幼苗移入栽培床時由於

根系少可將栽培床 內營養液加滿，以促進植株根系生長，但 2~3 天後， 植株根部已伸長，因此水位與水槽蓋保持 2 公分左右 之空間，藉此有利於根毛之生育及氧氣之供給。

經濟效益之評估

本場開發水耕栽培技術來生產蔬菜，主要為解決 夏季蔬菜供銷之困擾及生產無農藥殘毒之精緻蔬菜， 經年來試驗研究之估算，構築 25 公尺×10 公尺之簡易 溫室一棟需 164,200 元(圖八)，內設置之保利龍栽培床 需 38,400 元，養液輸送系統需 45,000 元，養液自動控制系統需 91,320 元，育苗設施需 8,100 元， 合計設置一座 250 平方公尺之水耕蔬菜工廠，需要新台幣 347,020 元(表四)。

表四、葉菜類水耕栽培設置經費(1985，台中場，1 棟，10×25m²)

項 目	數 量	單 價	合 計
1. 房舍			164,200
角鋼架	1	99,000	99,000
FRP 浪板	100	452	45,200
尼龍網	400	50	20,000
2. 栽培床			38,400
保利龍床(10.8×0.9 公尺)	12	2,900	34,800
防漏黑色塑膠布(12×1.5 公尺)	12	300	3,600
3. 養液輸送系統			45,000
PVC 配管及 1 馬力抽水馬達 1 座	1	45,000	45,000
4. 養液自動控制系統			91,320
pH 組	1	35,000	35,000
EC 組	1	35,000	35,000
電磁閥	4	1,800	7,200
PVC 配管	1	3,000	3,000
250 l (PVC)桶	4	1,280	5,120
2000 l (PVC)桶	1	6,000	6,000
5. 育苗設施			8,100
育苗架	1	4,900	4,900
育苗用海棉(3×3×49 公分)	2,000	1	2,000
育苗用塑膠箱	400	30	1,200
總 計			347,020

250 平方公尺水耕栽培之年收益性為何？以種小白菜為例年收穫 14 次，每次收穫 720 公 斤，以單價每公斤 30 元計，粗收益為 302,400 元，以生食用之萵苣為例，年粗收益為 360,000 元。開支方面分成種苗費、肥料費、電費、水費、農藥費、雇工 1 員、設備折舊費、運輸費、包裝費及稅金、手續費，合計需 234,442 元~228,774(表五)。因此淨所得為 67,958 元~131,226 元，所得率為

22.47%~36.45%。

表五、果菜水耕栽培之年收益(1986,10×25cm³)

作物別		小白菜	萵苣
調查項目			
收入	年生產量 ¹	720 公斤/次×14 次=10080 公斤	900 公斤/次×10 次=9000 公斤
	單價 ²	30 元/公斤	40 元/公斤
	粗收益	302,400 元	360,000 元
開支	種苗費	1,000 元	2,000 元
	肥料費	20,000 元	15,000 元
	電費	8,000 元	6,000 元
	水費	2,500 元	20,000 元
	農藥費	6,000 元	1,000 元
	雇工	8000 元/月×12 月=96000 元	800 元/月 12 月=96000 元
	設備折舊費 ³	49,574 元	49,574 元
	運輸費	5,000 元	5,000 元
	包裝費	10,080 元	9,000 元
	稅金及手續費 ⁴	36,288 元	43,200 元
	計	234,442 元	228,774 元
淨所得		67,958 元	131,226 元
所得率		22.47%	36.45%
1.年生產量以單層栽培床計算。 2.蔬菜單價為露地栽培者零售價加成 30%。 3.水耕栽培設備費 347020 元/250m ² ，依七年平均分攤折舊費。 4.稅金及手續費為粗收益之 12%。			

養液栽培之前瞻性

本省位處亞熱季，夏季氣溫高，雨季長，颱風頻仍，每年五月至十月間蔬菜生產受制於天候因素供銷不平衡，尤其颱風豪雨過後菜價居高不下，倘若利用水耕栽培技術來生產無農藥殘毒之精緻蔬菜，則必能穩定夏季果蔬之供應。唯目前國內尚無工廠生產水耕栽培所需之各種資料及自動化設備，最重要的是開發此技術所需之各種相關知識，比如如何(1)平衡溫室內外氣溫(2)維持最適養液溫度(3)緩和養液中 pH 及 EC 值之變動(4)維持養液中氧氣濃度及(5)發展水耕肥料配方等仍待各方專家進一步的探討。就國民所得逐年提高之趨勢下，讓消費者享受無農藥污染之高品質生鮮蔬菜是必然的且可預期的。