

## 果菜類的養液栽培因應技術

星芝國際農業科技 技術執行長 蔡尚光

台灣農業生產的自然環境受到先天地形的影響，普遍山高坡陡且水急，能真正適合農業生產的土地面積本來就較為受限，依據農試所土壤地力勘查，富含天然有機質的比例僅占 8.3%，其中強酸性土壤更占 35% 以上；環保署的農地土壤重金屬調查與場址列管計畫中，亦明確指出包含銅、鋅、鎳、鎘等重金屬污染土地均在 320 公頃以上，至 2012 年底，即已支應超過 4 億 5 千萬以上的整治經費，但仍然效果不彰。

近年來良田耕地的品質更屈就於工業的開發，也正步入萎縮曲線而逐年下滑。依照農業國土開發資料顯示，2005 年可耕作地在 78.9 萬公頃之譜，近十年間即減少至 2014 年僅為 74.8 萬公頃。台灣位處於熱帶和副熱帶之間，全球暖化、乾旱缺水、颱風肆虐、聖嬰現象以及土壤劣化等的加劇，皆令作物的種植產生莫大威脅與困擾，亦間接導致原物料及後端商品之價格與品質的不穩定，進而影響糧食供給的安全面。只單純倚賴傳統的“土耕慣行農業”或是“自然農法”的倡導，並無法滿足作物的正常供應模式，因而合乎現代化進程的科技農業推廣，才能在土地利用、環境保護和作物質量之生產過程中，確立農業的未來目標。

民生農產品的供應除畜產漁業、五穀雜糧以外，蔬菜果物應屬最大的消費項目，依照財團法人中技社(CTCI Foundation) 2017 年的統計數據，台灣平均每人每年食用之各果品類為 129.6 公斤和蔬菜類 113.0 公斤，而隨著國人飲食習慣的西化和健康養生概念的普及，推算 2020 年後二項總合約為超過 5400 (千噸)，如此龐大的優質蔬果需求，若無適當而合宜的新型農業技術作為支撐，利用工業化轉型之優勢，在有限面積內實現倍數值的生產，當無法滿足市場之所需，因此設施果菜類的智慧型農業之推展已勢在必行。然而果菜類的項目眾多，生理機制與成長規律複雜，並不似一般葉菜類的栽培來的單純且容易，全程的生殖生長和營養生長以及其中的生理細節都需有明確的操作流程來做為對應，從種源的選擇、水質與養液的管理、匹配環境設備的規劃以及各種作型技巧與病蟲害的防治等等。這些架構中，諸多操作均仰賴技術與經驗的導向，可謂現代數位化農法成敗的標竿。因此，針對若干可為其發展重點的項目需加以探討：

### (種苗來源)

選擇適地適季或是易於管控與生理調節的品種，可以說是跨越門檻且事倍功半的第一步，其中雜交優勢種子的挑選、嫁接苗的培育、組織馴化苗的繁殖，可謂主導優良種苗的三大來源。適合果菜類設施栽培的品系，通常亦需具備：  
1. 增加植株的耐高低溫環境適應能力、  
2. 提昇植株的抗病抗蟲能力、  
3. 擴大根系的有效營養吸收範圍能力、  
4. 可降低連作之危害能力、  
5. 提高產量與產期調節效

果的能力。此五大項目的搭配若能合宜，當可令植物增強或免除鹽積障害和外來與自體有害物質的影響，經營上舒緩很大程度的設備成本及操作與生產困境。

台灣本土適合不同季節和地區的品系種類琳琅滿目，引進國外的品種亦多采多姿，外觀、口感、耐運送、耐存放等各方面毫不遜色，以自然光植物工場模式的設施技術，例如日本的網紋洋香瓜、紅白草莓或是歐美系的大小番茄、胡瓜、椒類等，皆為本地市場接受度頗高的產品，也幾乎是多數生產者考慮的項目。這類大都以進口 F1 雜交優勢種子來提供農民的種苗商，除少數國外特定品牌直接以分公司設立的廠商有較清楚完備的品系保證外，幾乎本土在地的民營或私人進口種苗商，皆以自行命名之中文名稱替代原國外之品種名標示，對於其種子的來源、性狀以及熟果的外觀、口味等，信口開河或是更甚者以膺品混淆獲利的情況比比皆是，造成農民無所適從而蒙受損失，類似此種苗供應亂象之立法與規正亦迫在眉睫，投資生產前對於信用種苗來源的準備與確認絕不容忽視。



種苗來源的準備與確認不容忽視



優良適合的品種可穩定高品質生產(Autopot)

### (水質管理)

水份的吸收是主導植物生理成長的重要因子，尤其是在養液栽培的進行中，培養液(營養液)的使用上更是需要利用水來調和各種無機營養成份以供植物地下根部的吸取，因而養液的用水或是原水的性質都會在日後的栽培途中呈現深遠的影響。

通常農業水源上的利用不外乎地下水、雨水、泉水、河川水以及自來水等種類，這些來源都有各個不同程度的有機、無機成份或是病原菌等的混入，台灣特別是西部區域由於長期受工業直接或間接的汙染，雨水呈現酸性或是地下水重金屬過高等情形十分普遍，一般使用前水質的處理以及檢定手續自然成為前置作業上的必要程序，特別是在長期生產過程裡，水質的穩定度對培養液的組成與濃度變動更需格外留意。

一般水質的檢驗大體上皆以無機成份(Inorganic composition)的含有量為主要確認項目，而另外 BOD (Biological Oxygen Demand)和 COD (Chemical Oxygen

Demand)的指標亦為檢測上的重要依據。它們是水中還原性物質多寡的一個指標，也能反映水中受污染的程度，例如還原性甲烷(CH<sub>4</sub>)、氨(NH<sub>3</sub>)、硫化氫(H<sub>2</sub>S)、鐵(Fe)、錳(Mn)等含量的多寡。培養液進行調配前，首要考慮用水之水質內容主要包括：水的電導度(EC, Electric conductivity)、水中之酸鹼度(pH)、溶氧度(DO, Dissolved oxygen)和上述之生物需氧量(BOD)之多寡，另外氨態氮(NH<sub>4</sub>-N)、鉀(K<sup>+</sup>)、鈣(Ca<sup>2+</sup>)、鐵(Fe<sup>3+</sup>)、錳(Mn<sup>2+</sup>)、硼(B<sup>5+</sup>)、鈉(Na<sup>+</sup>)等陽離子以及硝酸態氮(NO<sub>3</sub>-N)、磷酸根(PO<sub>4</sub>-P)、硫酸根(SO<sub>4</sub><sup>=</sup>)、碳酸根(CO<sub>3</sub><sup>=</sup>)、氯(Cl<sup>-</sup>)等陰離子含量與有機質(Organic matter)等皆為用水的評鑑基準。這些含量在培養液調製或長期使用後會明顯干擾其他離子之活性，因而未經設計的特殊配方，將不適合直接利用。綜合來說，較適合設施技術使用水質的檢測限值一般以 EC 值 0.3 dS/cm 以下，pH 值 8.0 以下，且溶氧量保有 4~5ppm 以上的條件為培養液調配時成本範圍內較合理的原水性質。

水源中的一般簡單的處理方式可利用用雨水稀釋或是加入酸鹼液來中和後再進行操作。可溶性重碳酸鹽或碳酸鹽(包括重碳酸鈣、碳酸鈉、碳酸鎂、碳酸鈣等)會有改變 pH 值的傾向，因而水的重碳酸鹽含量不足時 pH 與肥料濃度亦可能呈現不穩定情形。商業上水質優化作業有多種的處理法，各有其優缺點，部分裝置的維護成本不低，較經濟的靜置過濾方式某些程度上對地下井水中惱人之過高 Fe、Mn 含量能有部份的去除效能。基本上果菜類栽培之水量消耗較大而技術性也高，在各個生理階段皆需費心穩定水質的供給，如果無法取得乾淨地下水或是考慮水質處理的成本等，盡可能以自來水方便提供的區域為首選。

不同水質或設備使用之配方參考表(日本大塚水耕肥料)

	T-N	A-N	N-N	P2O2	K2O	CaO	MgO	MnO	B2O3	Fe
A 配方	260	23	223	120	360	230	75	1.5	1.5	2.7
B 配方	258	23	221	138	440	184	75	1.5	1.5	2.7
C 配方	243	25	218	120	460	184	64	1.0	1.0	2.9

\* A 配方: 一般 DFT 通用葉菜類使用

\* B 配方: 適合 NFT 及岩綿使用

\* C 配方: 水質高 EC > 0.5 之葉菜使用

### (養液系統)

“養液栽培系統”發展至今雖已趨多樣化，但其構造的理念仍然以水質的處理、養液配方的設計、養液條件的控制、檢測分析、介質型式的選定與消毒回收等六項目為主軸，特別是設施果菜類的生產，需要一套至少具備下列主要條件的硬體設備：

- 1.合理的架構與簡易且精準的配置

- 2.作業容易且生產效率高
- 3.價位合乎經濟成本之要求
- 4.符合水源和能源之節約訴求
- 5.友善的綠色環境保護設計

現代化的”養液栽培”硬軟體更是其中的指標技術之一，它具有明顯的省勞力、省時間、高品質和安定產量的優勢，施肥合理化、均一化而且不具連作障害的發生，在正確的管理下，作物健康茁壯且可以讓產品達到安心、安定與安全的三大指標。這兩大分野裡皆囊括了”循環”(Flowing or Circulating System)和不循環(Non-circulating system)，也就是所謂的排廢液 Run To Waste 方式，另外獨樹一格的自主潮汐式(Autopot 系列)則是較新思維的技術。各家公司都有其適合不同作物、不同地區氣候、不同操作技巧的設計，其中舊型循環式水耕與點滴方式的利用，由於吸收機制、能源耗費及鹽類蓄積等諸多存在的瓶頸，於台灣多年來的運作經驗中，已產生明顯適應上的缺失；目前仍以最新研發的”自主潮汐式 Autopot 系統”在各操作與效能層面上的應用最為突顯，不論在介質與非介質或是無機與有機的領域，都是現階段跳脫傳統的特殊養液栽培方式。

果菜類的栽培，自育苗、定植、營養生長、生理調控、生殖生長，乃至開花、結果、收穫等過程，任何環境參數或是養液配方等都隨著生長韻律而持續變動，即使安裝多數高價的機械或儀器，亦難以在人為的主動控制上達到均衡而準確的調整，讓植物“自體驅動”(Plant driven)的概念和技術結合，才能落實質與量的生產以及較高良果率的獲得。

養液栽培在果菜類種植上易引發困擾的連作問題，像是葫蘆科、茄科等常見的連作障害，諸如影響土壤的物理化學性狀而使肥效降低、加速消耗某些特定養分形成營養失調、加重對植物具專一性危害的病原害蟲微生物和寄生性雜草的滋生繁殖以及經年累月使土壤中不斷的累積根系有毒分泌物等缺失，養液栽培技巧的便利和高效性，可提供根本的解決之道，因而以此項技術為主體的設施，基本上在果菜類高品質的生產上就已捷足先登。



自主潮汐式 Autopot 果菜栽培床設備



作業容易且生產效率高的指標技術(Autopot)



合理的架構與簡易精準的配置(Autopot)



胡瓜設施水平放任技術(Autopot)

不同養液栽培方式的洋香瓜品質及影響 (Agromatic Corp.Seminar 2018)

品 種 方式	アールスパリス 秋 I			アールセイヌ 夏 6		
	果重 g	網紋級	糖度 %	果重 g	網紋級	糖度 %
碳化稻殼	1250	3.5	14.7	1350	3.5	14.8
泥炭土	1272	3.2	12.5	1325	2.8	13.1
薄膜 NFT	1248	3.0	13.5	1315	3.1	13.5
湛液 DFT	1260	2.8	12.9	1440	2.5	12.2
Autopot	1269	3.8	15.8	1420	3.4	14.5

### (設施環境)

果菜類的生產架構上主要可區分為地上部之環境結構控制以及地下部之營養條件供給等兩大項目，通常地上部的操作以環境監視和控制為主軸來搭配植物的栽培作型和一般的例行管理，為設施園藝中不可或缺的前置工程。若以廣義的植物工場定義來劃分，則較偏重於”太陽光利用”或是”補光併用”的模式，室內完全人工光照的模式，現階段仍受限於能源管控與生理參數的技術，一般現行的設計理念在實施成本上較為困難。而事實上，台灣本地的農產需求飽受天候的影響極大，生長收穫期較長的果菜類栽培，才應該是高於葉菜類的主要研究發展項目。近年來自主潮汐式 Autopot 系統已在若干果菜類的設施立體栽培上，特別是番茄作物的完全人工光植物工場架構中，達到一般溫室同時期產量的 10~20 倍，不但質優型美且對於穩定本地夏季果菜類之需求，提供了具體的解決方案，目前仍朝成本降低的目標持續進展中。台灣地屬亞熱帶氣候所呈現的不穩定和嚴苛之因素影響，運用人為環境控制來加以舒緩或改善微氣候條件，並搭配合宜的作業流程，才能提升植物栽培的收穫質量。

果菜類設施的規劃大體上可細分為設置藍圖、溫室結構、通風換氣、被覆資材、光照調節等五大部分，根據作物的生長要因、栽培種類、不同生長階段、種植型態等又可劃分為1.日射量以及內外氣溫的關係、2.室內換氣和風向風速的關係、3.溫室主體與和床架座落配置的關係。這類歸屬於結構的項目之外，尚

需考慮到室內有可能的溫濕度調節機制和二氧化碳補給功能，諸如水簾或水霧方式的冷房加濕系統的應用，或是公認最環保也最省能源之”熱泵”設備等。以市場高經濟價值導向的日本系網紋洋香瓜為例，適當的 CO<sub>2</sub> 補充和後期的溫濕度調整也能明顯提昇數倍的均勻網紋外觀，同時果肉厚度及甜度皆較不施用者優良，自然光型設施中生產的番茄其增收量亦明顯高出 20~30%的程度。

另外，光條件的調控在果菜類栽培上更是重要，畢竟其較高之光飽和點以及光質內含的要求，絕非像種植葉菜類的條件簡易。一般自然光設施的遮光裝置的光量調控，在傳統上大都以光照度(Lux) ”勒克司”為依據進行測定，然而”勒克司”是以人類的視覺作用所訂出的光量測量單位，以 Lux 為單位元的測定方式並不客觀亦不適用，因為 PAR 值才是真正代表植物對光量之需求量。果菜類更由於在設施配置上，皆以立體向上生長的模式居多，光量子的需求須搭配單位葉面積指數(Leaf area index,LAI)來計算，一般至少超過 300  $\mu$  mol/m<sup>2</sup>-S 或更高為適當，這與類似草莓等果菜作物以電照促進花芽分化的機制並不相同，因而溫帶地區國家大都仍採用高輝度鈉光燈具(HID)的情形仍不在少數。

自然光利用型設施在歐美或日本先進設備的光量調控與灌溉給液機制皆改以日照能量為基礎的”積射值” { Cal/cm<sup>2</sup> · min or Wm<sup>-2</sup> or Ly/min(day) } 進行操作 (1Cal/cm<sup>2</sup> · min  $\approx$  75~85 Klux)，並在必要時同步作出特定人工光源或是二氧化碳之修正補給程序，以此模式才可以獲得對植物生理較客觀且較精準的搭配。以 Lux 為參數設定的機制，不論在灌水或遮蔭設備的利用上，容易產生精準度的瑕疵，同時氣候和雲層的瞬間變化，也易造成機械間(On/Off)的過度頻繁開關動作而降低設備的使用期限，並增加定期之維修保養工程的成本支出。

春秋季大果番茄不同生長階段的日數與積算溫度參考(條塚 1995)

項目	第一花房開花		陸續收穫開始		栽培結束	
	日數 (Day)	積算溫度 deg.day	日數 (Day)	積算溫度 deg.day	日數 (Day)	積算溫度 deg.day
春作	87	1000	145	2067	184	2915
秋作	39	1079	88	2160	155	3126
總平均	63	1040	117	2114	170	3021

綜觀果菜類的設施，不論自然光溫室架構或是室內植物工場等型態，設立的前提除了考量溫度、濕度、CO<sub>2</sub> 濃度、風流等因素外，整體性的光合成速度、光量子吸收速度、水分營養吸收效率等“狀態變數”以及“速度變數”二大分野的設計若能合宜搭配，生產的質與量將可呈現倍數的增長，日本 SAIBAIX 與 Culture Machine 合作的 PLANTX Platform 實現了一般植物工場方式 5 倍的收量平台或許也可作為參考的實例。

	控制項目	控制機構	備註
地上部環境控制	通風、換氣	天窗、側窗、換氣扇、內循環風扇	* 外部人工氣象感應裝置
	暖房	熱泵、溫風、鍋爐溫水、地中熱	* 內部感應器
	冷房	風機水簾、水氣細霧	* 比例積分控制 (PID 控制模式)
	除濕	除濕裝置	* 6 時間帶邏輯控制
	光照	遮光網、保溫簾、雙重帷幕	
	二氧化碳	CO2 發生裝置	
地下部生長調節	養液濃度	電導度 EC 監控裝置、加藥定量 Pump	* 搭配人工氣象之應用軟體及介面
	養液酸鹼值	酸鹼度 PH 監控裝置、酸鹼定量 Pump	* 給液量之控制
	水中溶氧值	溶氧度 Do 監控裝置	* 養液配方調整
	養液溫度	水溫測知器、加溫冷卻系統	* 循環或廢液排放之水質處理
	養液水位	水位測知器、水位調節器	
	養液流量	流水測知器、循環 Pump	
	水質處理	過濾裝置、消毒殺菌裝置	



光量的需求須搭配單位葉面積指數來配置 光條件的調控在果菜類栽培上更顯重要

### (作型操作)

有了周詳的立地條件評估，加上適當且合乎經濟效益的溫室設施與養液系統，果菜類的栽培最重要的操作關鍵無外乎植物作型的確立，一個適合生產目標的作型，往往讓植物的品質與收量有顯著提昇。例如在瓜類的整枝上，單枝一果、單枝多果或是雙枝多果等方式，都可令最終果實的形狀、大小、甜度、香氣等有著天壤之別的影響，也間接左右良果的收穫比率；又例如番茄的長期高段、短期中段、低段多收、吊掛果型、放任型式以及特殊 U 段整枝、N 段誘引的各種操作模式，也都需視品種的性狀和目的以及設施的容許配置架構來考量。

果菜類由於大都為開花結果性的作物，具有雌雄同株、雌雄異株、兩性同花或是各種授粉親和性等的細節問題，設施作業的行進中同時必要實施機械震動、荷爾蒙或昆蟲等的人為授粉處理，這是設施生產上不同於露天的必要措

施，所有相關人力、時間的安排自然成為生產計劃的一部份而不容忽略。



洋香瓜作型的確立有助於網紋提昇(Autopot) 串收番茄的直立作型良果率高(Autopot)

### (生理及病蟲害管理)

病蟲害的防除為一般設施園藝作業中不可或缺的流程，理論上與外界的隔絕空間雖然可以避免許多病蟲害的干擾，但內部適宜的環控條件下，一旦病蟲害源侵入，則相對所造成的蔓延與損失將更加迅速和嚴重，因此除了管理嚴謹的密閉型植物工場方式外，傳統溫室養液栽培的進行中，病蟲害防除技巧是難以避免的手續。病蟲害的防除方式以地上部和地下部為主，地下部通常於養液栽培中主要在針對不影響元素間作用的培養液消毒除菌手續，特別是較易出現的 *Pythium* 屬、*Phytophthora* 屬、*Fusarium* 屬以及 TMV 病毒等；而一般的防除則泛指其地上部的管理，可區分為化學、物理、機械、生理、生態、綜合等各種不同技巧的運用。

綜合病蟲害防治法(Integrated pest management, IPM)為近年來盛行於歐美的模式，對於設施果菜類的生產上，較能提供合理且有效的管控，其所施用之農藥為選擇性藥劑(Selective pesticide)，具殺滅目標性和針對性，情況允許下亦可搭配天敵或生物性藥劑合併處理，對環境中生物多樣性的破壞程度也最小。IPM 法有別於傳統之有機栽培(Organic cultivation)，一般在管理規則和作業上更容易達到商業生產的門檻，但不同地區的相同作物，其綜合病蟲害防治法的使用及策略會有所差異，受環境的影響頗大，然最終大量降低化學農藥的使用量卻是十分顯著，歐美地區的平均數據顯示，可減少化學農藥量 25~55%且節省了 30~46%不等的防治成本支出。未來 IPM 園藝專業人員的培訓，將是整體設施病蟲害防除體系中十分重要的一環，特別是果菜類的長期種植，對次代農業的保護與整個生態環境有著正面的意義。



甜瓜定植後即需進行周期病蟲害防治



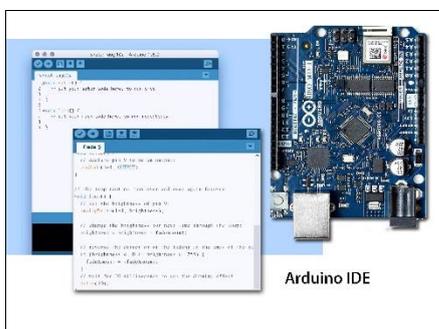
黃秋葵的下位葉去除可提高良好通風

### (AI 技術導入)

電腦應用於設施園藝的領域，可以提供高度的信賴性與省力性，其主要機能包括”換氣供氣”、”暖房保溫”、”冷房降溫”、光量調節等地上部的環境控制，以及地下部生長條件控制等兩大項目，另外還有”視頻監控與圖像傳送系統”、”遠端通訊遙控”、”數據監視記錄”、”警報發信”等周邊相關的技術配合才能構成一完整的自動化生產體系。

設計上目前以”邏輯控制電路”、”單晶片及可程式邏輯控制器(PLC)”等兩項的應用較為廣泛。然而這些環控自動設備的價位尚不普及且非親民，目前流通的 Arduino IDE 類 C 語言原始碼開放平台搭配單晶片微控制器的開發環境，可供快速製作電子電路原型(prototyping)，對於業餘開發者也容易入門，簡單的環控條件應有望自行 DIY 完成。

綜觀設施中若能具備整合物聯網IoT 監測與和電腦 ICT 資通訊應用，加上 AI 農業(Agri-Informatics)於環境因子、生理感測、立地條件、雲端運算(cloud computing)的能力，那麼果菜類至收穫期全程的生產，將可實現：1.節省勞力且大規模生產目標、2.發揮作物生理最大極限、3.安全且方便的作業環境、4.鼓舞更多農業人口的就業並確保農村的活力、5.提供糧作自給率和消費者食品安全的信賴感。



Arduino IDE 原始碼開放平台



具環境監控能力之設施可確保生產之品質

### 〈參考文獻〉

1. 古在豐樹 2005 新の苗生産實用技術 農業電化協會
2. 青木宏史 2001 トマトの連續摘心栽培 誠文堂新光社
3. 高辻正基 2007 完全制御型植物工場 東京オーム社
4. 蔡尚光 1991 植物工場(增訂版) 淑馨出版社-百通圖書公司
5. 蔡尚光 1995 設施洋香瓜與胡瓜的高品質生産 淑馨出版社-百通圖書公司
6. 蔡尚光 1994 水耕栽培的經營 淑馨出版社-百通圖書公司
7. 蔡尚光 2012 現代田園與養液栽培 淑馨出版社-百通圖書公司
8. F.W.L.Sladen . 1989. The Humble Bee. Logaston Press in ISBN 0 9510242-3.
9. Janick, J. 1986. Horticultural Science. p.74-111, 248-265. Purdue University