

## Autopot Systems 完全人工光植物工場

星芝國際農業科技 技術執行長 蔡尚光

農業生產環境隨著現今科技層面的推波，正朝向數位可控化、品質均衡化、勞力節約化、收量最大化以及能源合理化等五大目標跨越，未來經營的模式已儼然逐步成形。台灣近年來拜工業產值的提昇，緊追日本的新世代農業亦步亦趨，尤其以完全封密式人工光植物工場的發展，激發了新一輪農業工業化的經營遠景；然而建成植物工場中最關鍵的養液栽培系統之架構，卻仍絕大多數承襲日本自經濟蕭條多年以來，一直停滯而無所突破的傳統“湛液循環”體系，令整體設計背後的真實表現與節能減碳的綠色環保議題不易達成交集，因而導致多數經營者黯然退場，即使在國外亦不乏風光登台而悄然謝幕的大小型設施。台灣本地農業生產在植物工場的議題上並無明確的方向與政策引導，皆憑藉著各個公私立投資單位土法煉鋼或混裝抄襲，適用之法條、能源的供給、設場之規範與產品的認證等，至今仍然混沌不明而造就了劣幣驅逐良幣的亂象，以致於經營上不免窒礙難行。

Autopot “Smart Wing” 和 “NUWA” 二套自主潮汐式養液栽培技術有鑒於本地相關農業開發的遠景，亦先後於澳洲墨爾本、新加坡、馬來西亞以及台灣南投縣、雙北市等地設置多場完全人工光型植物工場，以特定 LED 光源為主搭配全自動電腦環境制御，除正規封密廠房的專業配置外，亦同時開發貨櫃型可移動併裝式設施，不論在能源消耗、空間利用或是生產品質的基礎上，皆優於傳統循環式架構，期待能為當下脫序的科技農業生產環境，提供較為完善合理的經營選項。



Autopot Smart Wing 系列植物工場



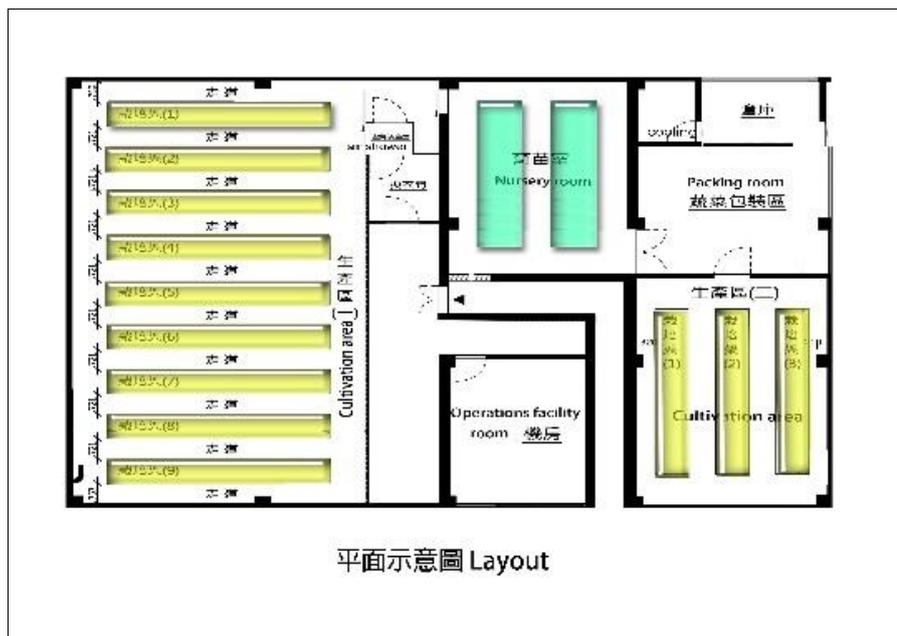
Autopot NUWA 系列植物工場

### [ Autopot Smart Wing ]

以封密型全環控為藍圖配置之 Autopot Smart Wing 植物工場，主要建構在零排放與低耗能的基礎上，設計中劃分為播種作業區、育苗促進區、栽培生產線、包裝清理區以及自動控制區等五大區域，五大區域中依照操作之需求，再

細分為共十個平面規劃單位。場內潔淨度通過 SGS Class1000 等級的極高無塵室 (Clean room) 規格設置，人員進出均需更換專屬清潔操作服及手部與腳底之消毒，空氣浴塵室(Air shower)為必要之出入通道。栽培生產線內之建物四周內部結構則以特殊斷熱資材等多層金屬烤漆板(ColourBone)佐以陶瓷纖維棉(Ceramic Fiber)等資材處理，地面採用環氧樹脂 EPOXY 塗裝與 T-bar 型天花板系統，令整體上可具備較好的保溫斷熱及隔菌防塵功能。

場內為達到清潔、迅速、無毒無農藥的生產目的，亦定期利用電功能水的強氧化還原特性來進行全面無殘留之物理形式殺菌消毒，其他諸如空氣流動過濾循環及排煙系統、外氣空調箱、加濕系統、冷暖房空調設備、消防灑水系統、供電供水管路、RO 水質淨化及 254nmUVC 消毒設備、環境條件監控系統、LED 植物栽培燈具、專用養液自動供給設備以及防斷電安全保護機制等皆為基本配置項目。全體劃分的多個平面作業單位比率，依照栽培植物種類生長性狀所需，大約以浸種催芽與播種作業區約佔 5~10%，育苗綠化及移植促進區約佔 15~25%，生長促成區 60~80%的規劃面積來提供操作利用，而其他環控、養液、包裝等空間則以實際需求及空間的接納度為主進行配置。



場內配置平面示意圖



Smart Wing 全環控垂直農場



立體空間利用率較一般增加 30%

浸種催芽區 → 進行種子的篩選、消毒、浸種以及收藏與保存。

播種作業區 → 無菌介質的準備及調理、人工或真空吸附半機械式播種、暗室催芽處理。

育苗綠化區 → 完成催芽比例確認、進行人工補光綠化、養液供給。

移植促進區 → 為提高栽培迴轉率的中間作業程式，視實際需求可與生長區轉換。

生長促成區 → 自二次後的定植作業到產品收穫為止的主力生產區。

電腦控制室 → 環境因素及養液條件等參數的持續監控項目(含遠端監控功能及保全系統)。

養液管理室 → 營養液的調配管理、給液系統的維護保養作業。

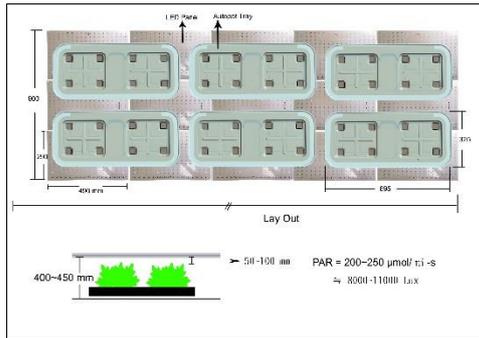
環控設備區 → 含暖房、冷房、濕度、風量、二氧化碳濃度、不斷電系統的監管。

包裝調理室 → 採收後的清理、分級、冷藏保鮮、包裝等到出貨的作業流程區域。

員工休息室 → 提供作業人員的休憩場所以及採購客戶的洽談空間(含辦公區及資材儲放區)。

生產促成區因應不同季節作物之生理參數需求，場內暫區隔為大小兩室，可分別以不同生長參數進行電腦設定及管理，其主要搭載 **Autopot Smart Wing** 自主潮汐式養液栽培系統作為栽培架構。由於 **Autopot** 技術屬於不循環且不排放型之自主潮汐式設計，每只栽培床均獨立給液單獨運作，免於像傳統使用的循環方式，需在各栽培架底部或佔用其他可利用空間來另設大小型養液槽進行水體交換，更不必要侷限於全數床內水體的重量而不得不為建物樓板的承重結構作考量，也同時避開了水體病原菌因循環而導致的感染傳播途徑。

生產線上的 **Smart Wing** 系列栽培床單位厚度僅有約 6cm(內水位最高約 3cm)，搬移清理皆十分輕巧，因而相等建物的高度或容積，可提昇 30~35%的栽培空間，場內床架的構成也由於無循環水床的多量水體積壓，只需一般輕型鋁質材料即可勝任；至於第二生長區內，則採用節省平面空間之滾輪式活動床架，令栽培植株與收穫數量大幅度的增加。全體栽培架各層上方皆設置植物用全光譜 LED 防水燈板，每片燈板 46w，平均單位面積的投射光量子數約在 220~340  $\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$  之間(測定以一個月內新品為主)，每日作動時間視植物性狀、生長階段與種類而定，約在明期 8~16 小時或暗期 16~8 小時。



栽培床與 LED 燈板配置示意圖



Autopot 活動滾軸式輕型鋁材架構

Autopot 每單床內皆依照擺放距離和排列管路的壓力標準，設置一匹配規格之給液智能閥(Smart valve)型號，依據每床內植物的吸收與蒸散等作用的消長，自體驅動且無動力供給新鮮的培養液，床內培養液若非用盡至 0cm 水位則不會主動放流。換言之，場內全數 1800 床的栽培單位即有 1800 個各自不同的水位呈現，且各智能閥的作動亦各自獨立進行而不相互干擾，此乃因每株植物的吸收皆有相異的誤差，由植物自體來決定何時吸收或是吸收多寡的思維得以實現，是農業技術上的一大突破，也因而在每只單位床內約 5~6 公升的總設計水量，始終能確保穩定的 EC 濃度與 pH 酸鹼值，不至於像循環模式的變動無時無刻需頻繁調整。

Smart Wing 的栽培面板(定植板)為白色反射效率優良之亮面 ABS 耐候材質，可間接累積人工照明光量子的數值，每床每片約 70x32cm，平均容納 8 孔不同的植株種植(或是 8 株 60~120g 內的萵苣類)，一般 2~3 小葉齡的幼苗定植後，可在 2~3 周內達到是市場收穫的預設值，半結球性類 Butter head 或蘿蔓類 Romaine 等則視收穫重量而定約 3~4 周。育苗期的操作均集中至育苗綠化區的 Caplus Table 系列來進行，利用毛細管浮根原理自動培育 2~3 周不等，介質通常採用 3x3cm 無菌人工泡綿或等體積岩綿介質，視普通或是粉衣造粒種子以手動點播和搭配真空吸附半機械方式來完成播種動作。

該工場整體生產年度收穫回轉率可達 16~20 次不等，以該整場投資之 1800 組栽培床 x 8 株萵苣/床的數量來計算，每年平均 18 次的回轉約可收穫 26 萬株(即月收穫約 2.2 萬株前後，約 70g±10g/株，每日可提供 750 株產量)，若折合本地目前的市販 1 元/g 之水準出貨，則年粗收益約為 1 千八百萬元上下，扣除人工、能源、材料與折舊等成本，平均淨獲利期望值約在 30~35%之間，對於未來的二期工程擴場空間更為樂觀。



床內健康生長的根部



穩定的 EC 濃度與 pH 酸鹼值

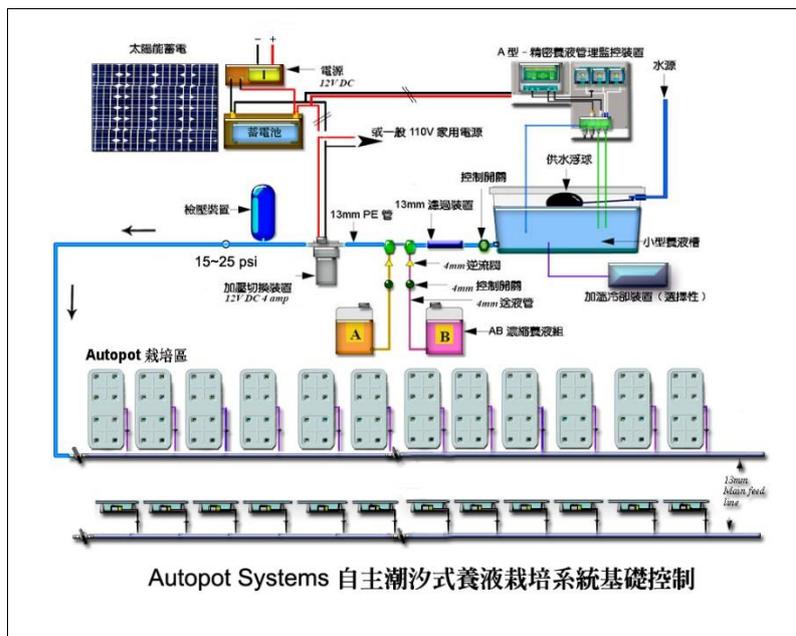


Autopot Caplus 自動育苗床系統



人工介質的均一發芽綠化情形

Autopot Systems®植物工場(或以垂直農場 Vertical farm 稱之更為貼切)內各項系列產品皆有其專屬或共通的養液補給系統相互搭配，從無動力簡易控制到高精密度電腦管理，都必需依照其設計上的應用原則來進行。Smart Wing 的主控機制主要分為環境監控、養液制御、恆壓供液以及保全系統等四大部份，監管全場的地下部以及地上各設定項目條件以呈現最理想的生產參數。



## Autopot 標準配置示意圖



室內空氣調節熱泵



二氧化碳補充一應俱全

**Autopot Commander** 是地上部環境及地下部養液之全方位 PLC 電腦自動控制系統，分為控制機房內架設之立地型主控箱塔以及分置於各區域內的壁掛副控制面板，二者均採封閉型工業等級規格設計以強化資訊之安全管理，一般皆配置於完全密鎖式環控 LED 人工光型的植物工場設施，並搭載保全監視系統及遠端遙控機能，在全球任何角落皆可透過資訊網路，以桌上 PC 或手機 App 雙向控制，生產業者可以正確掌握設施內的情況，並隨時做出快速之對應。**Commander** 主控電腦具中英文介面顯示，24 小時監控並紀錄，亦支援 Android、iOS 系統，100~240V，50/60Hz；內容項目包含水位、水壓、流量、浮力、消耗水量、交換率、水溫、溶氧度、酸鹼度、養液濃度以及室內外溫度、濕度、二氧化碳 Co2、風流速、光量子、日積射等 6~12 段多功能之人機介面邏輯管理，實現最現代化且最高效率的植物工場信賴體系。

主電腦利用畫面切換功能可顯示各不同栽培區域內的影像及所有相關數值和曲線紀錄，包括上述各區之環境監控、養液制御、恆壓供液以及保全系統的狀況。經過自動調配後的正確培養液皆需通過 **Smart Pump Set** 恆壓輔助系統以 15~25psi 設定值的水壓，藉由養液管線輸送至生產線上需要水份補充的各獨立栽培床，耗電量視生長階段及品種需求，供水情形大約只有一般傳統循環幫浦的 1/50~1/200 相當節省；由於採用 12V DC 6~7.5Amp 國際規格，即使用於非封密式植物工場的日光溫室內，亦可快速連結一般汽車用蓄電池及 5~30W 小型太陽能裝置，令無電力供應之偏遠區域的設施正常運作，其節能效率卓越超群。**Smart Pump Set** 使用上不需傳統數噸之大型水槽以及多數耗能之大小循環幫浦設置，每組內只含 40L 之超小型集水槽，依照管理區域需求目的增設組數即可控管碩大的栽培面積，穩定確實且成本低效率高。

**Autopot Smart Wing** 全環控人工光植物工場的設計理念，自初期開發至今並非只限於葉菜類或是萵苣類的生產，種苗、藥草、果菜類等作物亦為長期以來的努力目標，例如可穩定本地夏季大果番茄的室內栽培架構，在系統作業設計與作型操作技術的搭配下，亦已成功達到一般傳統溫室設施近 20 倍的產量且質優穩定；另一方面由於 **Autopot** 各獨立栽培床的適當尺寸，也帶動了葉菜類輕

巧型自動收穫機械設計之研發，這些成果都將指日可待。



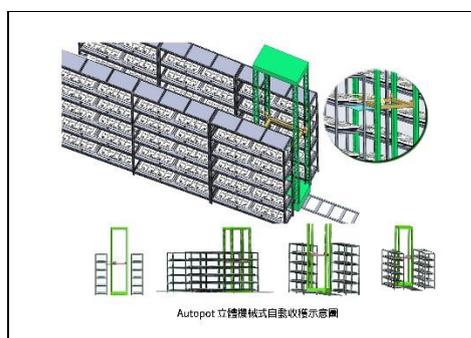
電腦主控制塔配置



Autopot Commander 控制畫面示意圖



Smart Pump Set 恆壓給液系統



自動立體收菜機械架構示意圖

### [ Autopot NUWA Container ]

Autopot 自主潮汐技術中的另一套 NUWA 系列，最初為響應現代設施化有機葉菜類栽培而推出之新設計架構，每單床尺寸約為 72x37cm，設有 21 個可容納大型有機介質杯的定植板，整體以 ABS 抗候材質成型，單位床內部各設置有一套 MK18 新型智能閥(Smart valve)以維持 0~3cm 的潮汐自動給液，栽培床四周則各有方型套管的 ABS 腳架插孔，以方便其立體堆疊的栽培需求，無須需再倚靠昂貴重型的金屬架設。而容納大型介質杯的 21 孔定植板，亦可視資材應用所需，改以 3x3cm 人工泡綿的活動定植方杯，基本上種植一般葉菜類或香草作物可設定共 21 處的栽培單位，對於萵苣類的定植則可隔孔操作，每床約可生產 11 株作物。利用 NUWA 系列的立體設計，完全可適合貨櫃型栽培設施的組裝，不論 20 呎或 40 呎的高低櫃規格，皆能讓整體空間的利用達到極致，操作簡單且清理容易。



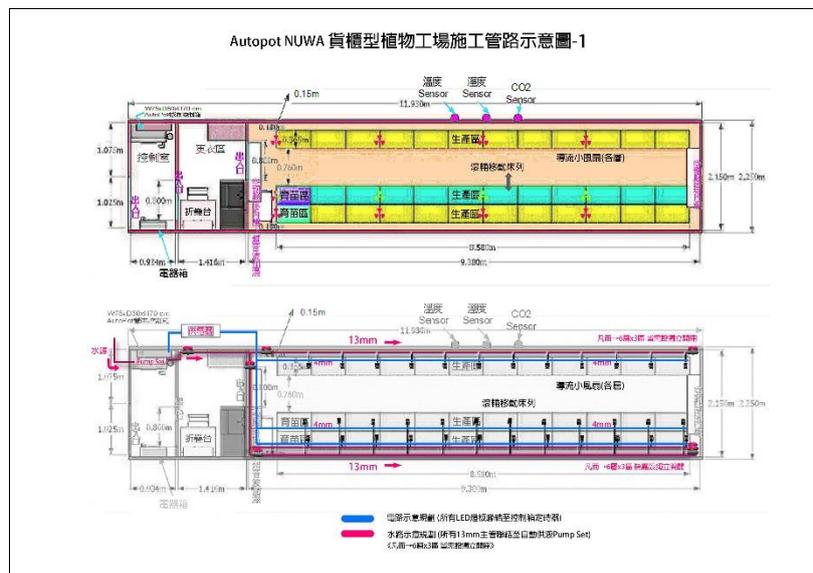
萵苣定植於 NUWA 床一周的生長態勢

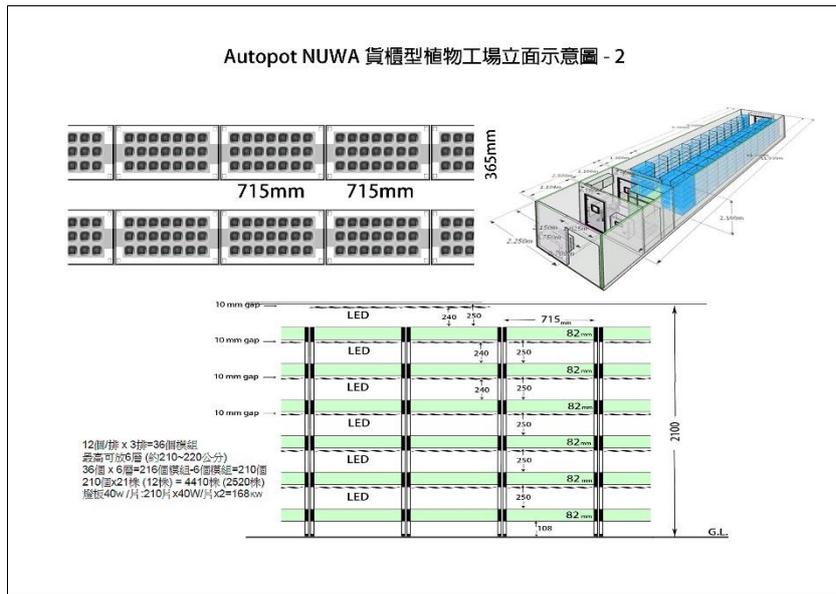


NUWA 方型人工泡綿杯利用

貨櫃四周及天頂內部皆以特殊保溫斷熱雙夾層二次貼附處理，前端出入口處劃出約 4.5m<sup>2</sup> 小面積作為小型操作室，操作室再區分為二小空間，一為養液自動控制之機房及壁掛式電氣設備，另一為小型清洗台、摺疊播種桌與更衣櫃的利用；貨櫃後段則屬於正式生產區，空調及環控機器位居上方掛設，管路與電路分置壁面兩側，內共含三縱列 NUWA 栽培床且只留一條走道，中間位置之 NUWA 床列以滾輪活動式設計，方便作業時的左右移動；育苗部分則撥用其中 5~10% 左右的床數進行交互操作。此架構令貨櫃內的生產量較傳統床架底部需占用空間放置大小槽循環水耕的方式，整體提昇了平均 30~35% 的迴轉產能，是一獨步全球的集約箱栽培技術。

以常用 40 呎標準貨櫃之規劃為例，整集箱櫃中可設置 36 套 NUWA 栽培模組，最高可疊六層(210~220cm)，總計有 210 套(已扣除前後端上方靠空調機部份之 6 套)；每套 NUWA 有 21 穴栽培孔，共可種植 4410 株直立型亞洲蔬菜，或是 2520 株萵苣類，各床底面安裝 LED 40W 燈板共 210 片(計 168KW)，預計一般葉菜類或香草作物每年可迴轉 16~20 作次，萵苣類則為 12~16 作次不等，視操作方式與品種性狀而異。





Autopot NUWA Container 萵苣生產

Autopot 技術應用於室內全環控垂直農場的項目，實際上並不止於 Smart Wing 與 NUWA 等兩系列的植物工場架構，其他諸如 Window Box 系列在草莓的周年生產、New Caplus 系列於種苗和藥草的種植等，也都有相當卓越的成果表現。台灣位處人多地稠又天候易變的地區，農業工業化的未來糧食生產期許，當無法脫離此科技農業的帶領，然而植物工場先端技術在本地的發展，現階段仍滯留於炒作、跟進、式微三個步調的泥沼裡尋找攀爬點，更由於投資頗大，能夠苟延殘喘或堅守崗位的民間業者尚居少數，主要仍以大型 IT 企業或相關資材業界的展示性質場為主，多半不惜巨資的投入。然而能源大量消耗導致的經

營成本居高或是整體碳排放(Carbon Footprint)的控管等皆為主要的困擾議題，折舊上類似高價 LED 燈具光衰週期內的使用與更換，也都是成本回收計算上重大的挑戰。

習慣上任意架設幾組水耕床、幾盞植物燈或再搭配個家用空調，如此粗糙的組合而自稱是合格的“植物工場”者亦大有人在，此等現況不免將一個未來的科技農業帶向毫無技術層面且亂無章法的深淵；因而設施定義的規範、技術操作的監督以及產品質量的判定，都需有相關認證的體制來執行。台灣盛行多年來的有機栽培監管制度，或許可為基本藍圖以進行合宜的法源升級；在日本的植物工場業界，例如第三方認證協會 TPAC 的成立，對於設備規格與市場品質等級的定位皆有嚴格的制度管理，加入該組織的業者亦逐年增加，這或許是台灣於植物工場的發展上值得借鏡的典範，也是產、官、學各界應攜手努力實踐的方針。

#### 〈參考文獻〉

1. 山崎肯哉 1988 養液栽培全編 博友社
2. 高辻正基 2007 完全制御型植物工場 東京オーム社
3. 森康裕等 1999 LED と LD 光がサラダナ生育に及ぼす影響 植物工場誌.
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 2012 現代田園與養液栽培 淑馨出版社-百通圖書公司
6. Os,E.A.Van. 1982. Dutch developments in soilless culture.Outlook on Agri.,Vol.11,No.4.
7. Roger Fox. 1999. NFT Lettuce CA Style. Casper PH&G Issue 45.