

灌溉施肥機具與灌溉技術

前言

灌溉施肥(簡稱肥灌)技術，係依作物生長階段供給適量的水分與養分，具有省工、節水、省肥、提升作物生產質量的特性，是一門複雜的農耕管理技術，必須考慮水質、肥料、作物、生長階段、季節、耕作方式(土耕、土質、介質耕、介質材料特性、溫室內、溫室外)、生產規模、農機具(預留走道與頭地寬度)、行銷途徑與投資效益等，在正確的學習與認知下，才會得心應手。

肥灌的概念是在灌溉水中加入肥料，灌溉時兼行施肥。自動肥灌系統的功能是根據設定的時間、水量與肥料量，按照比例調配液態肥料到灌溉水中，透過管路微灌(滴灌與微噴灌的統稱)將具有養分的灌溉水藉由滴/微噴到作物根部區域，可根據作物生長階段少量多次的調整水量與肥量。

肥灌技術包括硬體和軟體，硬體由水源(水質處理)、肥灌主機、養液桶、管路、微灌的微噴頭或滴帶等組成，設置前得經過完善規劃，設置完成後保持最小變動以減低投資成本。軟體由肥料種類、配方、操作策略(作物、季節、微噴灌、滴灌；少量多次，少次大量；時間模式，日照模式等)組成，在經營過程中可作彈性變動調整。

節水灌溉的基礎-灌溉作物根部、非灌溉全區土壤

灌溉方法分為淹灌、溝灌、噴灌、微灌，其中淹灌與溝灌屬於傳統灌溉方法，灌溉效果好但是用水量最多，水的使用效率

低，1/3到1/2的灌溉水流失，帶走可觀的養分。微灌包括微噴灌與滴灌，其中滴灌最省水，滴灌的原則是灌溉作物根部，沒有根的地方乾燥反而減少雜草孳生。整合施肥與灌溉技術的肥灌系統採用噴灌、微噴與滴灌之水資源利用率較高，約從70%到95%，水和養分的流失可以獲得較佳控制，具有減低肥料對環境污染之特性。肥灌可以藉由微灌供給作物養分，根據作物之需要管理灌溉水量，準確且均勻的施用養分到有效根聚集的潮濕區域，調整肥料比例與濃度促成作物產量與品質的提升，以及根部下方最小的滲流損失。歐美各國及中國大陸對水資源與肥料的有效運用極為重視，在肥灌技術上的研究發展投入許多人力物力，也有不錯的商品上市行銷，但是存在進口機型昂貴、看不懂英文操作介面及維護修理時程長等問題。



▲ 簡單的滴帶，便宜好用

肥灌機具分類

目前臺灣使用的肥灌機具大略分成2類：混合桶式與即時注入式。混合桶式為肥灌系統前端設置適當容量的混合桶，所有肥料溶解後投入混合桶，再依操作策略逐次輸送到作物根部。混合桶容量依據田區大小和調配後供應次數決定，採單次進肥單次出肥者混合桶可小容量；採單次進料多次出料者混合桶須大容量，並考量混合肥液濃度不可太高，避免結晶沉澱發生。

即時注入式為肥灌系統之機房設置即時注肥系統和多(3-5)個養液桶，養液桶內放置單質液肥或幾種化學性質相符的液肥，當灌溉泵啟動時，注肥系統依據預先設定

的注肥量將各個養液桶的液肥注入灌溉主管路與清水混合，混合後的灌溉水經管路輸送到作物根部。定比稀釋器也屬於即時注入式，使用簡單容易，每個養液桶一只定比稀釋器，要改變輸出量時需要在現場轉動調整器。

我國農業特性為小農與田區分散，因此2-3分地的溫室一般採用混合桶式，使用定時器啟動灌溉，具有基本的自動定時操作功能與價格較低的優點，然而肥液與灌溉水進出混合桶均消耗電力，此方式電力成本可能較高，而且作物蒸散量是隨作物種類、生長階段與季節天候改變，操作者必須隨天候陰晴來調整定時器的每日灌溉次數，否則會灌



▲ 壓力補償型的滴帶，頭尾出水量比較均勻，但是需注意避免堵塞發生



▲ 微噴頭噴出水滴，覆蓋面積較大



▲ 壓力補償型滴帶內部細小的孔道最怕堵塞



▲ 倒懸式微噴頭之高度可調整

溉過多或不足。定時器使用一段時間若遇到停電，時間會不準確，請時常查看與校對定時器的時間。

中改型自動肥灌系統之特性

本場研發的自動肥灌系統屬於即時注入式，歷經2次改型才有今日第三代肥灌主機的優異性能，為典型的機電整合系統，結合管路機械、流體力學、電氣控制、程序控制與PC-based遠端連線控制等專業而成，研發團隊乃由上述專家組合而成。其控制軟體功能較多，可上網路遠端監控，附加價值高，適於集中的多田區、批次生產、種植多種作物的農場使用，發揮其強大的肥灌管理功能，使用中改型自動肥灌系統前，請詳讀操作使用手冊，充分了解內容意涵，發揮本系統之彈性省工節水節肥功能。

中改型自動肥灌系統之特性為：

1. 具有時間模式與日照模式。
2. 配方表，為每次養液輸出量(公升/次)。
3. 階段行程表，為依據作物、季節、生長階段、土壤特性等預設每次灌溉量。
4. 遠端監控(選購)，具網路連線遠端監看、控制與記錄功能。
5. 管理灌溉施肥1-10個田區，各田區可種植不同生長期或相異的作物。
6. 動力：AC220V 20A 60Hz。
7. 機台尺寸、重量：L 800×W 1,000×H 1,100 mm，80 kg
8. 養液混合方式與原理：文氏管壓差之即時注入式。
9. 文式管注入器組數：2-5。
10. 控制系統：可程式控制器。
11. 操作介面：中文彩色觸控液晶螢幕。

12. 監測數據：pH、EC、壓力、流量。
13. 養液輸出量：0.5-4 L/min。
14. 灌溉施肥次數：0-15次/天。
15. 中文介面，國人可輕易學習使用。

灌溉技術與程序控制

灌溉技術之決策著重何時灌溉(when?)與灌溉多少水量(how much?)，灌溉自動化技術提供省工省水的灌溉作業，觀察現今採用微灌技術的農家普遍使用定時器控制灌溉設備，因此，定時器是農業自動化管理最基本的元件，同時也是農民最熟悉的自動操作器具，一般農民採用時間模式操作，而對作物蒸發散量隨氣候變化有基礎瞭解的農民，可學習日照動作值設定之方法後，使用日照模式。無論日照模式或時間模式，仍須依

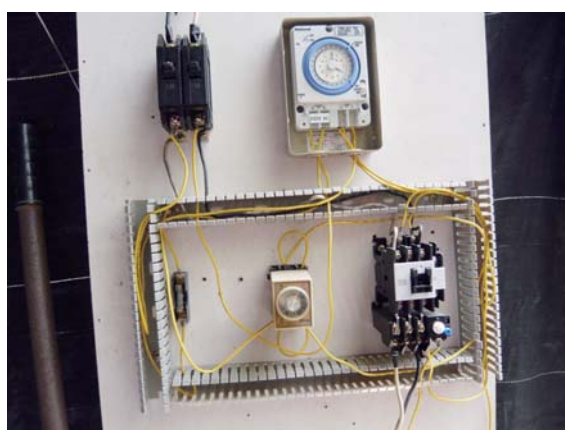


▲ 混合桶肥灌器材是最簡單與低成本的肥灌組合

照每日田間觀察作物生長情形，天氣的陰晴變化，視需要隨時機動微調灌溉水量、養液量、灌溉次數等之單一或綜合參數之調整。

作物蒸發散量的影響因素包括光度、溫度、濕度、風速、葉面積與氣壓等，然完整的蒸發散量測設備價格昂貴，一般農民不會採用。某些定時器在停電時停止運轉，造成時間不準，所以使用定時器需要時常檢查，確保時間正確。

程序控制的概念是需要依循一定的順序操作、設定、執行的一種控制方式，可程式控制器(PLC)屬於程序控制，高階的農業自動控制場合常選用可程式控制器來控制機具，因為具有耐候性佳與可規劃適用多種用途的特性。因此，可程式控制器的操作設定順序相對重要，根據機器操作使用手冊之說明操作，確保設備正常運轉。程序控制之控制電腦程式依序從頭掃描到尾，人機介面(HMI)之畫面更新均需要時間，因此操作HMI時，有時需要(有時不用)觀察等待幾秒鐘，畫面資料才更新，此為正常現象。



▲ 使用定時器啟動灌溉需注意時間校對，此照片拍攝時間為早上11點，但是該定時器時間為下午4點

日照模式貼近植物需求

植物的光合作用能夠自行製造養分，光合作用的運轉除植物本身葉片的葉綠素之外，尚須光線、水分與空氣的加入才能完成。其中的空氣經由葉片表面的氣孔開啓後吸入二氧化碳排出氧氣；水分則藉由植物蒸散作用將根部吸收的水分與養分導引到葉片與其他器官；光線則取自太陽或人造光源，其光能將水分解成氫離子、氧離子和電子等，而各種植物有其光耐受性，過低無法光合作用，過高亦停止光合作用，故有耐陰性作物與需光性作物之分別。

在良好灌溉管理的田間，植物根部水分充足，植物蒸散作用與光照強度隨天候呈正比例變動關係，亦即強光有強的光合作用，弱光則弱。因此，運用此特性與光積值的概念在灌溉管理上，可達成適時適量灌溉的效果。光積值是光照強度經過一段時間的累加計算之後的數值，當光積值超過設定值時啟動灌溉一小段時間，光積值的設定值與啟動灌溉一小段時間這二個數值巧妙的搭配，可



▲ 自動肥灌系統性能優異，功能較多



讓介質藍耕植床下的灌溉滴漏量降到最低，灌溉給水量接近作物生長的蒸發散量，此為最佳節水灌溉境界。

光積值應用在自動灌溉上確實減少農民因為天氣陰晴不定衍生的反覆設定定時器的工作負擔，自動隨天氣變化減低陰雨天灌溉次數與用水用量，更減少陰雨天過度灌溉造成番茄裂果與環境過溼的損失，並且在晴天中午較密集灌溉，發揮適時適量灌溉的效果。

日照模式的設定方法

觀察與量測當地中午光照強度，當預設灌溉間隔為1小時，則當地中午光照強度 R 與換算係數 C 的乘積就是日照動作值(灌溉門檻值) $T=R*C$ ，本系統換算係數 C 為720。中午太陽光照強度最大，作物蒸散需求最強，使用者根據自己田區條件(土壤/介質、微噴/滴灌、作物生長階段、環境微氣候等)，斟酌灌溉間隔時間。如灌溉間隔欲拉長為1.5小時，則灌溉門檻值 $T=R*C*1.5$ ，以此類推進行延長與縮短灌溉間隔時間之設定。

例如：2012年9月25日彰化縣溪湖鎮中午光照強度約60,000 lux，當預設灌溉間隔為1小時，則灌溉門檻值為 $60,000*720 = 43,200k$ 。

微灌的節水效果

根據文獻記載，設施蔬菜年灌溉水量 $2,250m^3$ /分地，1年2期作，因此，期作用水量 $1,125 m^3$ /分地；而根據本場試驗結果顯示，秋冬季番茄介質耕微噴灌 $2,700$ 株/分地，期作用水量只有 $500 m^3$ /分地，節省55%灌溉水，顯示節水效果相當好，同時結合肥灌技術，期作產量約6~8公噸/分地在水準以上。

應用光積值的灌溉技術是簡單低成本性能穩定的灌溉決策方法，結合國產自動肥灌系統在番茄介質耕栽培之應用結果，不同天候之灌溉間隔會自動縮短或延長；晴天自動縮短灌溉間隔，灌溉8-13次，尤其蒸散最強的中午前後灌溉間隔縮短成0.5hr；下雨天自動延長灌溉間隔，灌溉2-5次，約2-3hr灌溉1次。應用光積值的灌溉技術有效減少陰雨



▲ 自動肥灌系統可選購網路監控功能



▲ 定比稀釋器屬於簡易型的即時注入式調肥器具

天的灌溉水量與養液用量**58-61%**，具有顯著節水節肥效益。因此，光積值應用在自動灌溉上確實減少農民因為天氣陰晴不定衍生的定時器設定工作，減低陰雨天灌溉次數與用水用肥量，並且在晴天中午較密集灌溉，發揮適時適量灌溉的效果。

灌溉施肥機具之維護保養

自動肥灌系統包含肥灌主機、管路與微灌之噴/滴頭，跟機車、汽車、耕耘機、曳引機一樣均需定期維護保養，確保性能持久。因此，使用者-農民，依據肥灌系統選購、安裝、操作使用注意事項，選購適用的自動肥灌系統，經由正確的安裝，使用前詳讀自動肥灌系統操作手冊，充分了解自動肥灌系統之性能，正確的操作使用，並建立定期維護保養之付費觀念。裝機者-廠商或灌溉系統業者須建立規劃設計、改良、定合約、定期維護保養之制度與人力。

自動肥灌機具在良好設計規範下施作與正確使用之下，性能相當穩定，特別是經由農化專家與作物管理專家的指導之下，肥料比例調配得宜，適合作物各生長期的需求，更能避免桶底或管路沉澱結晶發生，維持系統原有性能。農民自行排定時間定期檢測混合肥液之pH與EC、清潔過濾器與管路等，確保系統運作正常，每期作或半年委託廠商進行專業的養液輸出量校正，以及每3個月校正pH、EC感測器。

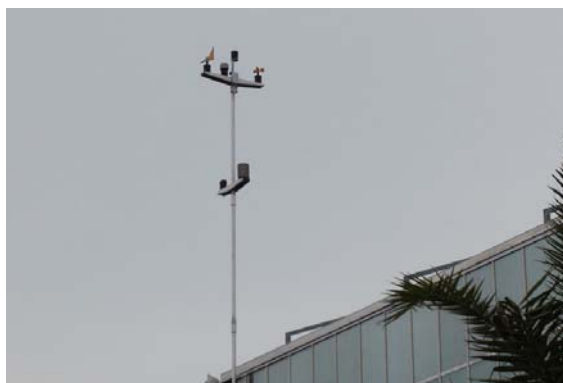
此外，採用肥灌技術尚須具備充沛的水源與良好的水質，購買溶解度、純度高，品質優良的肥料，以及穩定的電力供應等，均需注意與瞭解。

結語

肥灌技術包括硬體和軟體，養液桶與管路等硬體是必要的，至於灌溉控制器與軟體部分則視需要選用基本的定時電氣控制盤或高階的電腦遠端控制，功能不同成本也不同。基於節能減碳的立場而言，作物需要多少水就灌溉多少水是最經濟的，欲達此目標需要提升到運用作物蒸發散量的變化特性，才有機會達成高效率節水灌溉。

作物蒸發散量的影響因素除光照強度之外，還有溫度、濕度、葉面積、風速等，然完整的蒸發散量測設備價格昂貴，一般農民採用機會不高。光積值的應用須要照度計與積算的軟硬體，價格會比蒸發散量測設備低，因此，農民享用此技術的機會較大。

養液的調配須嚴謹，根據農化專家與作物管理專家指導的配方轉化成設定數據，注意水源水質，採用品質優良的單質肥料調配，減少養液桶沉澱與管路阻塞之發生；精準掌握肥料種類與濃度，確保養分均衡；平日注意水桶與養液桶水量的補充、管路是否異常洩漏或過濾器、滴(噴)頭堵塞、植株生長情形等，進行必要的調整與處理，排定時間定期清潔過濾器與管路，確保系統運作正常。



▲ 小型氣象站購置與維護之成本高，農企業可投資作農耕數據管理與控制