

彈性節能灌溉系統之研製

陳令錫

臺中區農業改良場助理研究員

摘 要

機械工業在 1980 年代自動化製造技術發展之下，依據製造數量之多寡分為 3 種自動化系統：固定、彈性與可程式自動化，固定自動化適於高產量的場合，可程式自動化適於產量相當低且變化多的製造環境，彈性自動化介於 2 者之間。"彈性製造系統"(Flexible Manufacturing System, FMS)其意義為在相同硬體設備條件下，改變軟體版本後可生產別種工件或產品。本場開發的自動肥灌系統具有多樣的參數設定功能可適於不同使用者的需求，以及同一使用者種植不同作物能有不同的操作設定，具有彈性製造系統的特性。本場開發的自動肥灌系統為即時注入式，5 只養液混合裝置採用文氏管流速變化造成壓差之原理，將養液混合到灌溉主管路中，經過輸送過程充分混合，送抵田間作物根部附近的滴/噴頭，根部可迅速吸收水分與養分。自動肥灌系統具有照度感應器擷取太陽光之照度，應用累積照度驅動灌溉系統作業，養液輸出量約 3.0 l/min，主管路流量約 150 l/min。每日肥灌次數隨氣候條件穩定變化，晴天 6 至 8 次，陰雨天 1-3 次；夏季肥灌 285 次累計用水量 59 噸，充分發揮少量多次省工彈性自動肥灌功能。因此，自動養液灌溉機具結合日照量資料感測與擷取功能，具備環控節能功能，精確地隨天候陰晴改變灌溉次數，具備環控節能功能，利用日照量已能有效節省灌溉次數，可依據天候自動肥灌，已初具智慧發揮節能效果。

中英文關鍵字：肥灌 Fertigation、節能 Energy saving、均勻性 Uniformity。

前 言

全球溫室效應、地球氣候極端化導致近年極端氣候在世界各地輪番發生，如 2008 年臺灣南部 88 水災連續 2-3 天內降下 2000 mm 雨量約等於年平均降雨量；2010 年冬季北半球受北極震盪影響，中國大陸及歐美各國普遍降下大雪，中國華北卻發生乾旱的寒冬影響農作物播種發育。過去 100 年臺灣氣溫平均上升攝氏 1.4 度遠較全球的 0.5 度為高，是生活在臺灣的我們必須正視的問題。氣候異常導致糧食歉收與物價上漲進而影響國民生計及引發政權危機，因此穩定糧食供應是政府責無旁貸的任務，臺灣地處亞熱帶的西太平洋邊緣，每年春季梅雨、夏季的颱風、秋冬季的東北季風與寒流常導致農作物生產失調、新鮮蔬果價格缺貨價格上漲或豐收價跌，因此周年穩定生產農作物的要求是農業技術發展必要的課題，設施精緻農業生產是一個可行的方向之一。

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，但是進口機型昂貴、英文操作介面、維護修理時程長等問題，本土化機種才是農民首選，提升臺灣肥灌技術與提升農耕效率及農產品質。新北市立圖書館表示，根據統計，臺灣年平均降雨量有 2 千多毫米，是世界平均值的 3 倍之多，但因為降雨時間與空間的分布不均，因此臺灣雖然雨水多，但卻是名列世界第 18 個缺水的國家，因此在未來氣候變遷的影響下，水資源愈來愈珍貴，如何充分利用、節約用水就相當重要。

臺灣名列世界第 18 個缺水的國家，雖然年降雨量豐沛但是地形的關係中央高南北長東西窄，降雨容易在短時間內流入大海，幾個月沒有降雨就要鬧旱災。2002 年春夏，北臺灣嚴重乾旱，石門、翡翠水庫供應不足需求；2004 年南臺灣乾旱，曾文水庫儲水位下降必須限制民生與灌溉用水。因此，節約用水、培育耐旱作物與節水灌溉技

術之開發、研究與推廣運用是必要的。本報告主題的目的為開發省工節省資源的灌溉系統，提高灌溉施肥效率，達成節省人、水、肥、電等資源之目標。傳統施肥方法包括人工撒施、點施與條施，具有費工、不均勻與表土施肥容易流失的缺點。灌溉方法分為淹灌、噴灌、微噴灌、滴灌，農業灌溉及過量施肥會導致營養素污染地下水與地表水。普遍採用的淹灌，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，整合施肥與灌溉技術的肥灌系統之噴灌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效果。肥灌可以藉由滴灌頻繁的供給作物養分，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最大的提升，以及根部下方最小的滲流損失。1994 年以色列需要灌溉的園藝作物有 90%通過灌溉進行施肥，其溫室種植全部採用微灌，以滴灌為主，其溫室滴灌的最高水分利用率可達 95%。養液注入器的型式有很多種，包括比例稀釋器、定量幫浦、壓差混合出肥、文氏管(Venturi)注入器等，栽培介質為土壤時，可採用文氏管注入器抽吸養液與灌溉水混合輸送到田區植物根部，或採毛細管原理運用不同直徑和長度之細管尺寸變化調節流量以進行養液稀釋，此二種方式混合的精準度不高，但是土壤具有耐受 20% 濃度變化之緩衝能力，應該可以使用，但是不適合在無土栽培應用。無土栽培可利用活塞式注入器，活塞幫浦具有定容量排出的特性，每一行程注入等量的養液至水流中，故混合比例比較穩定。在省工的前提下，定時器的定時灌溉可執行低階自動灌溉操作，只是定時灌溉之土壤含水率之變動較大。

機械工業在 1980 年代自動化製造技術發展之下，依據製造數量之多寡分為 3 種自動化系統：固定自動化、彈性自動化與可程式自動化，前者適於高產量的場合，可程式自動化適於產量相當低且變化多的製造環境；"彈性製造系統"(Flexible Manufacturing System, FMS)其

意義為在相同硬體設備條件下，改變軟體版本後可生產別種工件或產品。本場開發的自動肥灌系統具有多樣的參數設定功能，灌溉系統操控面板除主畫面之外，還有田區設定、階段設定、流量設定、手動灌溉操作等，可適於不同使用者的需求，以及同一使用者種植不同作物能有不同的操作設定，因此具有彈性製造系統的特性。

內 容

自動灌溉施肥系統結合施肥與灌溉在一起，灌溉時兼行注入液肥的動作，完成肥灌作業。本場開發的自動肥灌系統為即時注入式，主機包含電器控制系統與養液混合裝置文氏管注入器等組成，5只養液混合裝置採用文氏管流速變化造成壓差之原理，將養液混合到灌溉主管路中，經過輸送過程充分混合，送抵田間作物根部附近的滴/噴頭，根部可迅速吸收水分與養分。該系統裝設檢測主管路壓力、養液管路壓力、養液流量計與主管路流量計等具有養液流量檢測功能之感測元件，收集系統運轉之流量資料。此外，系統之人機介面依據規劃的肥灌系統作業流程設計成包括：灌溉參數設定、系統參數設定、手動灌溉、設備測試與流量設定、田區灌溉詳圖、全區灌溉詳圖、灌溉歷程、灌溉監控、顯示畫面切換等功能圖示，與田區狀態顯示；按下各功能圖示可進入子畫面作參數設定或作業狀態顯示。



圖一、自動灌溉施肥系統主機包含控制器及注肥器

Fig. 1. The automatic fertigation system comprised by PLC controller and injectors



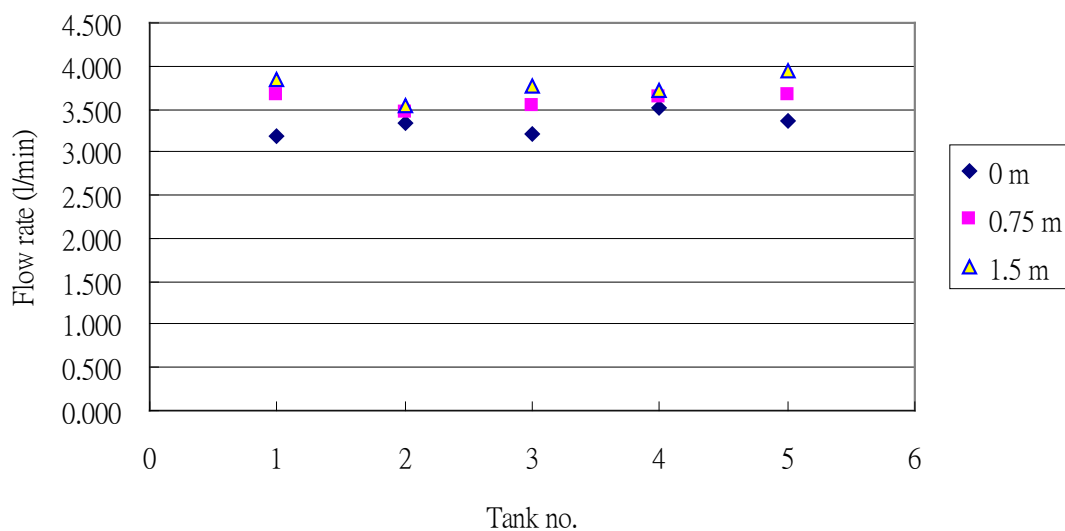
圖二、自動灌溉施肥系統控制器之主次畫面

Fig. 2. The home screen and sub-screen of automatic fertigation system

自動肥灌系統性能試驗分成注入量性能試驗、滴灌分布均勻性試驗與日照感測節能試驗 3 部分：

一、注入量性能試驗

分別針對 3 種養液桶水位高度 0、0.75、1.5 m 對養液注入量之影響，以 1.5 m 為例標準差第 1 桶至第 5 桶各為 0.081、0.061、0.082、0.012、0.084，顯示文氏管注入器之流量輸出重現性不錯，養液輸出量穩定且集中，誤差約 $\pm 3\%$ ；3 種養液桶高度之最大養液輸出量變化顯示養液注入量受水位高度之影響(圖三)，同時取得各桶流量 liter/min 數據，作為輸出量控制之基準。接著探討 3 種養液桶高度之間對養液輸出量的差值多大？1.5 m 與 0 m 之輸出差值高達 0.65 l/min，若以 0 m 高度之流量為基準，誤差高達 20%，遠較文氏管注入器之流量輸出誤差的 $\pm 3\%$ 為大，顯示此型注入器之性能可以用於農業肥灌系統之應用，但需留意養液桶之底面積越大越好。

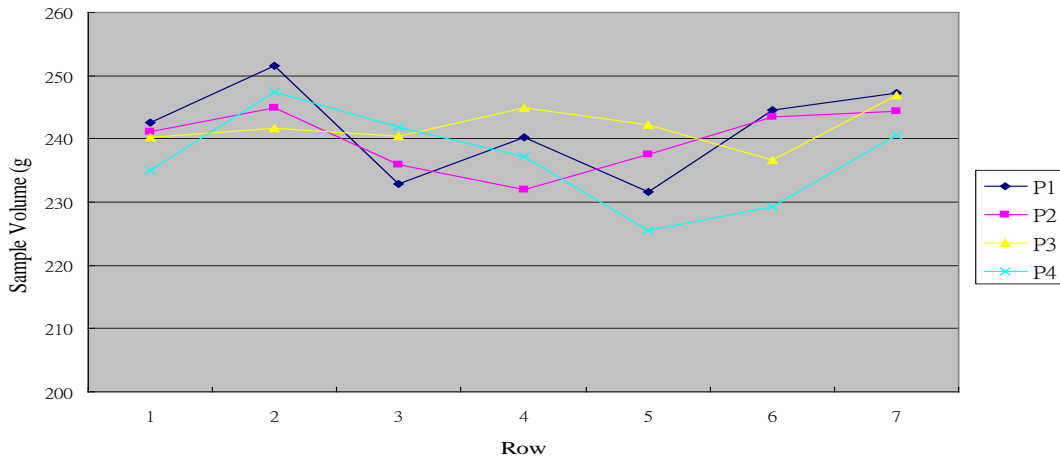


圖三、3 種養液水位高度之養液注入量變化

Fig. 3. The changes of injection rate for 3 water level of nutrients

二、滴灌分布均勻性試驗

灌溉均勻性部分，田區 15 行選 7 行，每行平均分佈 4 量杯承接養液，每杯試驗樣品經電子天平秤重記錄，試驗結果樣品平均值為 239 g、流量 50 g/min、標準差 4.88、變異係數 0.03，顯示滴灌系統之配置有很好的滴灌分布均勻性(圖四)。



圖四、滴灌之分布均勻性

Fig. 4. The distributed uniformity of drip irrigation

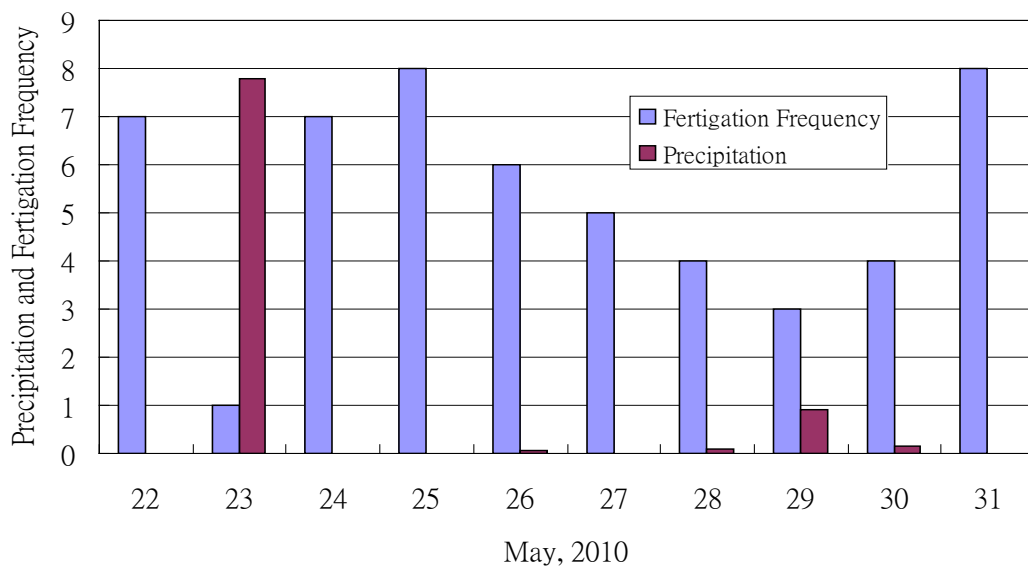
三、日照感測節能試驗

日照累積量之應用，肥灌系統導入照度感測器(圖五)擷取太陽照射到地面的照度資料，了解天氣陰晴，彈性地依據天氣晴自動調整灌溉次數，將自動化程度由定時自動灌溉提升為隨天候之陰晴灌溉，以 99 年 5 月 23 日西南氣流風強雨急，26-30 日陰雨之灌溉次數與降雨量之變化為例，晴天灌溉 5 至 8 次、陰雨天灌溉 1 至 3 次(圖六)，若採用定時自動灌溉將每日灌溉 8 次，自動肥灌系統導入照度感測器之後，確實發揮節省人力、灌溉水、肥料與電力，初具環控節能效果。



圖五、照度計之感測元件

Fig. 5. The sensing element of photometer



圖六、日照量對灌溉次數之影響

Fig. 6. Sunlight effect on the numbers of irrigation

詳細肥灌操作歷程資料為 99 年 4 月組裝試驗原型機於溫室試用，取代第 1 代養液邦浦注入式之養液灌溉離型系統，99 年 5 月完成即時注入式養液灌溉離型系統試車，養液輸出量約 3 l/min，主管路

流量約 150 l/min。5 月 10 日種植甜瓜，每日肥灌次數隨氣候條件穩定變化，晴天 6-8 次，陰雨天 1-3 次；至 7 月 5 日開始採收，全程使用有機液肥沒有用化學液肥，至 7 月 16 日試驗結束，繼續給水清管，7 月 26 日清園並停止給水，累計用水量 59 噸，5 月份灌溉 126 次，6 月份 122 次，7 月份 37 次，合計 285 次，充分發揮少量多次省工自動肥灌功能。清園後植床整理，9 月份於溫室另一側增設 2 個田區種植瓜類種苗與香草作物，同樣由本系統自動滴灌灌溉，節省人力。另外於 10 月 13 日以小塑膠袋種植番茄，每袋一株一枝滴灌管，每天灌溉 6-7 次，植株生長良好。

冬季 11 月晴天照度約 7-8 萬 lux，於玻璃屋頂溫室滴灌系統 A 區定時灌溉、B 區及 C 區試驗導入日照量改善灌溉系統的自動化程度及效果，B 區種植 2 床香草作物，日照積量設定值為 98M lux，灌溉時間 2 分鐘，11 月 1 日至 30 日累計滴灌 118 次，累計滴灌水量 3415 公升，每次約滴灌 30 公升水。C 區種植 3 床瓜類病毒試驗作物，日照積量設定值為 80M lux，灌溉時間 0.5 分鐘，11 月 1 日至 30 日累計滴灌 97 次，累計滴灌水量 4787 公升，每次約滴灌 50 公升水。

因此，自動灌溉機具結合日照量感測與擷取功能，精確地隨天候陰晴改變灌溉次數，晴天灌溉 5 次，雨天只灌溉 1 次，可依據天候自動灌溉有效節省灌溉次數，初具環控節能效果。彈性灌溉施肥系統，在有效經濟投資下，提高農耕管理效率節省農耕成本與資源投入，維持甚至提高產量。

結 語

機械構造存在自然誤差，管路誤差自是難免，誤差大小與成本相關，文氏管注入器流量輸出重現性佳，5 組試驗數據變化穩定且集中，誤差約±3%，水位高度對注入量有決定性的影響，而且 1.5 m 與 0 m 之輸出差值高達 0.65 l/min，誤差高達 20%，顯示此型注入器之性能可以用於農業肥灌系統之

應用，但需留意養液桶之底面積越大越好。養液輸出設定值以小於 3.0 l/min 為佳，灌溉均勻性試驗之變異係數為 0.03，顯示滴灌系統之配置有很好的滴灌分布均勻性。自動肥灌系統具有彈性製造系統多樣參數設定功能的特性，有效節省人力、灌溉水、肥料與電力，初具環控節能效果。日照累積量之應用為第一步，未來尚可進階應用蒸氣壓差、蒸發散量、植體水分等技術進行灌溉決策，效果更佳。

參考文獻

1. 李久生、張建君、薛克宗 2005 滴灌施肥灌溉原理與應用 第二版 中國農業科學技術出版社 北京。
2. 郭彥彪、劉蘭生、張承林 2007 設施灌溉技術 第一版 化學工業出版社 北京。
3. 陳雲蘭 2008 百年來臺灣氣候的變化 科學發展 424:6-11。
4. 陳正達 2008 明天過後氣候會如何 科學發展 424:18-27。
5. 許晃雄 2008 氣候變遷的衝擊 科學發展 424:1-5。
6. 盛中德 2002 設施生產自動化技術 第九章 灌溉與施肥自動化 「國立臺灣大學農業機械工程學系」出版。 <http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/Hort/default.htm>。
7. 溫家俊、張義發、李廣齊 1999 工業機器人 p.3-96 高立圖書公司。
8. 新北市政府 2010 臺灣雖然雨水多但卻是名列世界第 18 個缺水的國家 http://www.tpc.gov.tw/web/News?command=show_Detail&postId=209773&groupId=9144
9. 農委會 98 年農業統計年報 2010 農田水利會灌溉排水受益地面積 http://www.coa.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/coa/13307/098310.xls
10. 經濟部水利署 2010 97 年水利統計-- 公務統計報表--

水資源供需統計 <http://www.wra.gov.tw/ct.asp?xItem=20062&ctNode=5292&comefrom=lp#5292>

11. 臺灣環境資訊中心 2008 <http://e-info.org.tw/node/27327>。
12. 蕭政宗 2007 乾旱 科學發展 416:64-70。
13. Hagin, J. and Anat Lowengart. 1996 Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer Research* 43: 5-7.
14. Patricia, I. 1999. Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops Workshop. Dapoli, Maharashtra, India.