

應用光積值有效管理番茄灌溉排程之研究

陳令錫

摘 要

定時器是農業自動化管理最基本的元件，但是天氣有陰晴變化，定時灌溉或啓閉遮陰網是不夠的，況且某些定時器還有停電時停止與時間不準問題。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，因此開發一種簡單有效且低成本的自動灌溉管理器具更顯得重要。考量性能與成本，本研究採用照度計作為光照強度感測器，設計光積值控制邏輯，並與國產自動肥灌系統結合，實際在面積430 m²的介質籃耕設施番茄園測試，獲得2012年冬季12月21日晴天中午光照強度約7.5萬Lux灌溉7次，總灌溉水量737公升、養液用量33公升，中間的5次集中在上午10點到下午3點之間，這段時間也是作物蒸散最強的時候。12月8日陰雨天中午日照強度約2萬lux灌溉3次，總灌溉水量減少為309公升、養液用量減少為14公升，有效減少灌溉水量與養液用量58%。

前 言

在臺灣，有一句氣象諺語是這樣說的：「有錢難買五月旱。」(2008 陳正達)它的意思是說，臺灣地區從每年的10月開始，便進入少雨的季節，如果到了隔年的5、6月間，梅雨季還是沒有帶來充足的雨水，即使有再多的錢，也都難逃缺水的夢魘。近期的例子便是在2002年春夏交接的時候，北臺灣所發生的嚴重乾旱，破紀錄的少雨，使得2座供應北部用水的石門及翡翠水庫都無法提供充裕的水源，以致接續實施分區輪流供水、稻田休耕等抗旱措施，反映出水源不足的旱象。今(2013)年春季同樣面臨水資源儲量不足問題。

比較各種灌溉方法，淹灌、噴灌、微噴灌與滴灌中，最節約灌溉水資源的方法為滴灌，淹灌用水量最大。節水灌溉的基本概念為給作物澆水，非給土壤澆水，只供應作物根部水分，作物根部以外的範圍可保持乾燥，節水之外亦可減少雜草孳生。

省水灌溉的臨界點為萎凋，暫時萎凋作物還能在澆水後恢復生長，因此這是植物水分耐受下限。過度灌溉亦非良策，有浪費水、消耗抽水動力、環境潮濕與衍生的病蟲害問題等。

灌溉技術之決策著重灌溉多少水量(how much?)與何時灌溉(when?)，灌溉自動化技術提供省工省水的灌溉作業，但是前提是必需瞭解作物每日蒸發散量，及適當的感測訊號提供灌溉自動化系統運用。適當的感測訊號需考慮性能與成本，性能方面以蒸發散量之感測最準確，雖然可以提供何時灌溉與灌溉多少水量的決策訊息，但是也最昂貴，一般農民較少採用；根據相關作物蒸發散之研究結果顯示，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，其中光度(太陽輻射強度)與作物蒸發散呈現正相關；土壤水分計或張力計直接量測土壤水分條件，但是需要能夠提供準確的觸發點，以及足夠的土壤水分解析度始具功效，目前能夠提供準確觸發點的土壤水分計亦價格不斐；現今最為廣泛使用在灌溉觸發訊號的方法是定時器，為農業省工化的基本元件，但是天氣有陰晴，作物的灌溉需要隨天氣陰晴作調整，才不會浪費水電資源，定時灌溉往往在陰雨天還是灌溉，因此定時器自動灌溉是不符合農業天候變化之需要的。

內 容

光度積算法則

訊號分成連續性與離散性，自然界試驗擷取的時間序列資料均屬離散性資料，根據微積分的概念採用疊加累計方法求得時間段內的積算值，此積算值與設定的灌溉門檻值比較，作為灌溉觸發依據。當取樣間隔 $\Delta t = dt$ ($\Delta t \rightarrow 0$)趨近於無限小，

$\int R_n dt \approx \sum R_n * \Delta t$ 二者相近。

光度積算法則整合到本土化自動肥灌系統中，讓該系統具有定時灌溉與光積值灌溉雙模式。光積值的設定值(when)與啓動灌溉一小段時間(how much)這二個數值巧妙的搭配，可讓介質籃耕植床下的灌溉滴漏量降到最低，灌溉給水量與作物生長的蒸發散量達到平衡，此為灌溉技術最高境界。

日光變化曲線

臺灣的天氣多雲，99年6月22日彰化縣晴天的光照強度變化頻繁，雲層擋住太陽時照度降低，光照強度隨之下降，該日中午光照強度約12萬Lux。臺灣白天無雲的日期約在秋天與冬天，晴天無雲時太陽從昇起到西沈，光照強度變化在中午前後各1小時達到高峰，早晨到中午逐漸增加，中午到傍晚逐漸減低，秋冬中午光照強度約7.5萬Lux。

本土化自動肥灌系統

採用光積值灌溉模式，量測當地中午光照強度並預設灌溉間隔為1小時，則當地中午光照強度與換算係數c的乘積就是灌溉門檻值。2012年9月25日溪湖中午光照強度約60,000 lux，因此灌溉門檻值為43,200 k。

番茄介質槽/籃耕栽培應用

試驗田為彰化縣溪湖鎮楊福來農友的紅番番茄設施，面積1,000 m²，採用介質籃耕離地栽培，田區長90 寬11m，總計7行植畦，其中西側3行植畦應用臺中場的本土化自動肥灌系統，採用光積值灌溉模式，面積約430 m²；另外東側4行植畦採用原有定時自動肥灌設備。試驗結果，獲得2012年冬季12月21日晴天中午光照強度約7.5萬Lux灌溉7次，總灌溉水量737公升、養液用量33公升，中間的5次集中在上午10點到下午3點之間，這段時間也是作物蒸散最強的時候。12月8日陰雨天中午日照強度約2萬lux灌溉3次，總灌溉水量減少為309公升、養液用量減少為14公升，有效減少灌溉水量與養液用量58%。

因此，本研究提供一種簡單低成本性能穩定的灌溉技術之決策方法，在番茄介質槽耕栽培應用之結果，晴天灌溉6~8次，陰雨天灌溉1~2次，結合自動肥灌溉系統，可以隨作物光合作用速率決定灌溉時機，灌溉兼備施肥，提供作物適當的水量與肥量。

結 語

1. 定時器是農業自動化管理最基本的元件，但是天氣有陰晴變化，所以定時灌溉是不符合作物生長需求的。
2. 應用光積值的灌溉技術有效減少陰雨天的灌溉水量與養液用量58%，更衍生減少裂果發生的效益，對番茄生產品質的提升作出貢獻。
3. 臺灣冬季陰雨天中午日照強度約2萬lux，對番茄而言光度是否足夠？是否需要補光？晴天中午光照強度約7.5萬Lux，是否過高？清晨與傍晚是否過低？需要相關的光飽和點與光補償點之研究輔助。
4. 冬季低溫的影響亦需考慮進來，用比例係數的概念調整灌溉水量。
5. 介質最少的滴漏原則下，生產的番茄沒有裂果；若陰雨天過度灌溉會造成裂果
6. 作物蒸發散量的應用可達成完善的灌溉管理目標，可在現代化農場投資實行；光積值技術成本較低，一般的農家容易採用，可享受適時適量灌溉的效果。

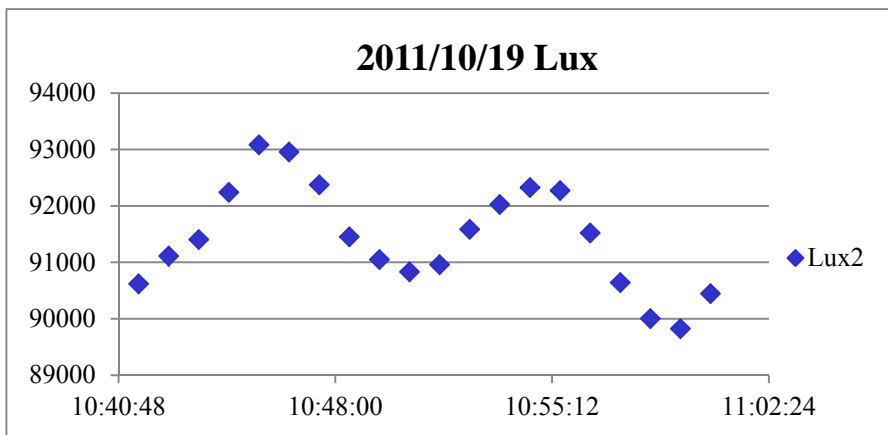


圖 1. 時間序列的照度取樣資料

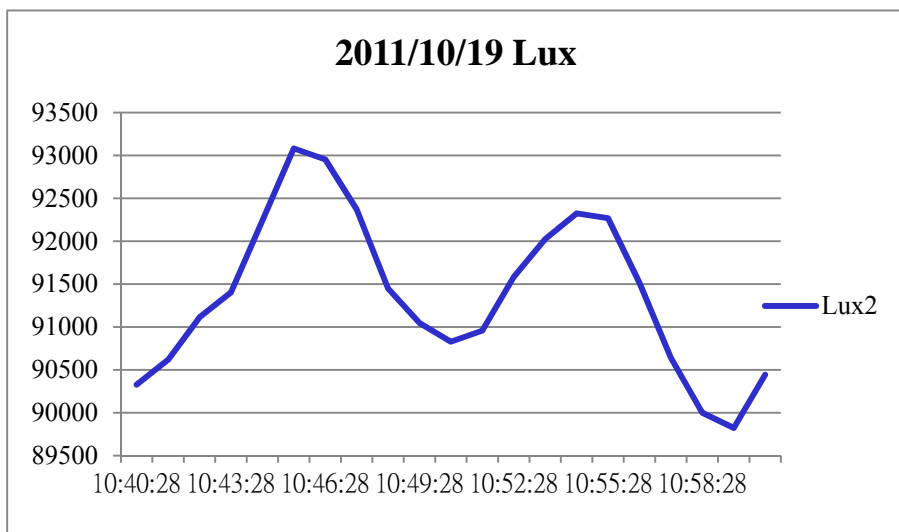


圖 2. 時間序列的照度取樣資料，取樣間隔夠小可形成連續資料

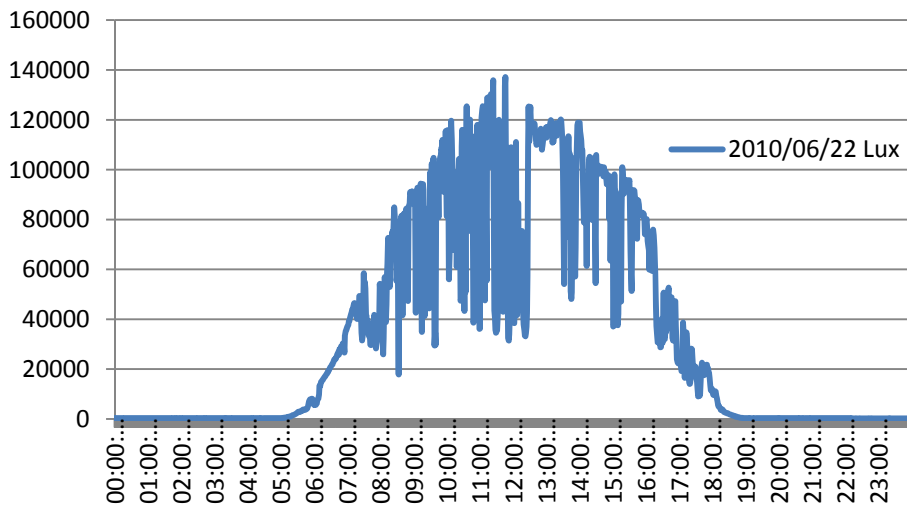


圖 3. 99 年 6 月 22 日彰化縣晴天的光照強度變化頻繁，雲層擋住太陽時照度降低

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. 陳令錫 2007 設施養液自動輸送控制系統之開發研究 中華農業機械學會二00七年度農機與生機論文發表會論文摘要集：143~144，臺灣大學生物產業機電工程學系。
3. 陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥 2009 自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培胡瓜之研究 臺中區農業改良場研究彙報 104: 29-37。
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: 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. 陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥 2009 自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培胡瓜之研究 臺中區農業改良場研究彙報 104: 29-37。
8. 陳令錫、田雲生、何榮祥 2010 直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能研究 臺中區農業改良場研究彙報 107: 13-23。
9. 蕭政宗 2007 乾旱 科學發展 416: 64-70。
10. Chen J. Lirong Lin and Guoan Lu 2010 An Index of Soil Drought Intensity and Degree: An Application on Corn and a Comparison with CWSI. Agricultural Water Management 97: 865-871.
11. F.R. van Noort, 2011, Effects of High Light Intensity, High Humidity and Wide Temperature Regimes on Crop Growth and Energy Consumption on Potted Plants. P71 Book of Abstracts, Advanced technologies and management towards sustainable greenhouse ecosystems, GreenSys2011, Greece.
12. Hagin J. and Anat Lowengart 1996 Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. Fertilizer Research 43: 5-7, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
13. Patricia I. 1999 Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops Workshop. Dapoli, Maharashtra, India.

14. Thompson R.B. M. Gallardo, L.C. Valdez and M.D. Fernandez 2007 Using Plant Water Status to Define Threshold Values for Irrigation Management of Vegetable Crops Using Soil Moisture Sensors. *Agricultural Water Management* 88:147-158.
15. Zhang B., S. Kang, F. Li, L. Tong and T. Du. 2010. Variation in Vineyard Evapotranspiration in an Arid Region of Northwest China. *Agri. Water Management* 97:1898-1904.