

# 利用光積值改善番茄灌溉排程之研究<sup>1</sup>

陳令錫<sup>2</sup>、陳加忠<sup>3</sup>

## 摘 要

灌溉技術的課題在講求何時灌溉與每次灌溉多少水量及運送時機與灌溉水量的控制。本研究運用光度(太陽輻射強度)與作物蒸發散呈現正相關的原理，設計光積值控制邏輯，隨作物光合作用速率決定灌溉時機，並結合國產自動肥灌系統測試於介質耕番茄栽培，由試驗結果顯示，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0.5 hr；下雨天自動延長灌溉間隔，灌溉2~5次，約2~3 hr灌溉一次。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58~61%，是一種簡單低成本性能穩定的灌溉技術之決策方法。

**關鍵字：**光積值、肥灌、番茄、灌溉排程

## 前 言

在臺灣，有一句氣象諺語是這樣說的：「有錢難買五月旱。」<sup>(12)</sup>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。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<sup>(13,15)</sup>。臺灣南部2013年與2014年春季同樣面臨水資源儲量不足問題。

番茄原產於中美洲高山地區，喜歡冷涼、濕潤的氣候條件及肥沃的土壤，遇到不良環境就會造成大量落花落果，降低產量<sup>(1,3)</sup>，其具體原因為光照不足、開花期溫度過高或過低、營養生長過旺或植株生長衰弱、花期遇乾旱缺水或供肥不足等<sup>(14)</sup>，高與張<sup>(5)</sup>研究植物光調控，闡述光是植物生活中最重要的環境因素之一，它不僅為植物光合作用提供輻射能，而且還為植物提供信號調節其發育過程。高等植物具有一套精細的光接受系統和光信號轉導系統，以此對光強度、光質、光照方向和光照時間、光週期等環境光條件的變化作出適應性反應。

Wook等人<sup>(25)</sup>研究仙客來在相同日夜溫生長箱中不同光積值條件下的來花日數、葉片數、花朵數、乾重與光合作用速率之關係，試驗結果顯示來花日數隨光積值增加而降低，平均葉片數與花朵數隨光積值增加而增加，乾重與光合作用速率的變化和平均葉片數與花朵數之變化相似。

<sup>1</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0851 號。

<sup>2</sup> 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

<sup>3</sup> 國立中興大學生物產業機電工程學系教授。

植物生長需行光合作用製造碳水化合物，光合作用需要光線與水分，水分不足植物會萎凋，過度灌溉水分過多，有浪費水、浪費抽水的動力、環境潮濕容易孳生病害等缺點<sup>(10)</sup>。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，而淹灌用水量最大。節水灌溉的基本概念為給作物澆水，非給土壤澆水<sup>(4,6,23)</sup>，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與流失的肥料污染環境等問題<sup>(22)</sup>。節水灌溉的臨界點為萎凋，作物暫時萎凋還能在澆水後恢復生長，因此這是植物水分耐受下限。

土耕與離地介質耕之灌溉特性不同，土耕之慣行灌溉方法為農民巡視田區根據土壤質地、作物種類、生長階段、氣候與耕作管理經驗等條件綜合判斷，於適當時機進行淹灌；但是現今臺灣許多農民為了避免雨水淋洗植株和地面土壤不利條件對栽培作物的影響，採用設施離地介質耕種植作物，此時的灌溉特性比慣行土耕複雜許多，因此設施離地介質耕講求精準灌溉。

為維持作物生長環境水分之動態平衡，須考量介質材料、介質體積、灌溉方法、灌溉材料、作物種類、生長階段、品種特性、種植場地、氣溫、相對濕度、風速、季節與氣候變化等因子，複雜且多變。植物生長環境受陽光、風速、氣溫、濕度等影響，水分是植物行光合作用必要元素之一，植物根部缺乏水分將面臨萎凋逆境，植物在水分利用上，少部分用於代謝與光合作用，大部分都是藉由蒸散作用經由氣孔排出植物體。

運用質量守恆定理分析植物根部土壤水分平衡(soil water balance)<sup>(16)</sup>：

$$P + I + CR + \Delta SF - ET - R - DP = \Delta SW$$

P：降雨

I：灌溉

CR：地底毛細上升

$\Delta SF$ ：地下伏流水

ET：蒸發散

R：地表逕流損失

DP：地下深層滲漏

$\Delta SW$ ：土壤水分含量之變量

對管理良好的溫室介質耕作物，降雨、地底毛細上升、地下伏流水、地表逕流損失與地下深層滲漏均可視為零，此時，灌溉量等於蒸發散量可讓土壤水分含量之變量保持穩定的範圍，灌溉技術高超與性能優異時灌溉量等於蒸發散量，對介質耕而言，最理想的灌溉水量為作物蒸散量與地表水分蒸發量的和。

土壤表面的水分蒸發加上植物葉片的蒸散等於植物的蒸發散量(evapotranspiration, ET)<sup>(21,26)</sup>，蒸散作用乃由植物葉片氣孔蒸發水分，蒸散作用對植物是有利的，可幫助從根部吸收與傳導礦物營養，晴天陽光照射到葉片因蒸散作用而帶走蒸發潛熱，具有調節冷卻葉片溫度的效果，然而太大的蒸散作用對作物是一種逆境<sup>(10)</sup>。Fernandes等人<sup>(21)</sup>運用FAO (Food and

Agriculture Organization of UN)的計算作物水分需量的標準方法為參考蒸發散量乘以作物係數( $ET=ET_r*K_c$ )，此方法也可用在土耕塑膠布溫室裡使用，在地中海地區有許多土耕塑膠布溫室，但是缺乏估測土耕塑膠布溫室內參考蒸發散量的方法。地中海地區通常三月到九月在塑膠布溫室表面塗白，用來控制溫度，通常可以降低參考蒸發散量21.4%。

灌溉技術之決策著重灌溉多少水量(how much?)與何時灌溉(when?)，若能掌握植物生長環境的蒸發散變化<sup>(26)</sup>，適時適量灌溉便容易達成。灌溉自動化技術提供省工節水的灌溉作業<sup>(6,7,8,9)</sup>，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，但是蒸發散的量測設備組成複雜且昂貴，站在實用與推廣的角度，需要有簡易可行的方法來執行適時適量灌溉。根據相關作物蒸發散之研究結果<sup>(16,17,18,19,20,21,26)</sup>顯示，影響因子包括太陽輻射、溫度、相對濕度、風速、葉面積、作物冠層溫度、土壤水分、降雨與氣壓等，其中光度(太陽輻射強度)與作物蒸發散呈現正相關<sup>(18)</sup>，但是可以簡化成季節與太陽輻射為影響因子<sup>(21)</sup>。因此光度強弱會影響蒸發散量，作物的灌溉量也需要隨之調節。

土壤水分計或張力計直接量測土壤水分條件<sup>(20,24)</sup>，但是需要能夠提供具有代表性的測量位置、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菲。

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，但是天氣有陰晴變化，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許多次，因此定時器自動灌溉是不符合農業天候變化之需要的，況且某些定時器還有停電時停止與時間不準問題，因此開發一種簡單有效且低成本的自動灌溉管理器具更形重要。

本研究運用光度(太陽輻射強度)與作物蒸發散呈現正相關的原理，提供一種簡單低成本且性能穩定的灌溉技術決策方法，在番茄介質耕栽培應用，結合自動肥灌系統，期望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。

## 材料與方法

### 一、自動肥灌系統

自動施肥灌溉系統之組成單元包括清水桶1只、養液桶3只、隆笙牌FG3型肥灌系統，含注入式養液混合器3組、一只5 HP孔徑2 in.離心式幫浦裝設於主管路輸送混合養液至指定田區、一只2 in.孔徑流量計檢測混合液輸出量、3只3/8 in.孔徑流量計檢測養液輸出量，一組PLC控制系統負責執行養液與灌溉水量之參數設定與程序輸出、一只主管路50 mm管徑累積式機械式水表，解析度 $0.001\text{ m}^3$ ；運用1只RS-485轉Ethernet轉訊器與網路連接。本系統設計可應付10田區之肥灌需求，每田區之面積按照噴/滴頭種類，計算總噴/滴頭數量來決定幫浦之規格與流量。

## 二、照度計

考量性能與成本，本研究採用照度計作為光照強度感測器。照度計LXT-401A (0~200,000 lux, 4~20 mA, RIXEN, Taiwan)裝設於農具室屋頂，感測太陽光的強弱，將訊號傳輸至自動肥灌系統之訊號輸入模組。另外，於臺中場內農機溫室屋頂裝設照度計長期監測氣溫、相對濕度、風速、光照強度。

## 三、番茄離地介質耕

2012年9月7日與2014年3月在彰化縣溪湖鎮楊福來農友的設施試驗田種植紅番番茄，面積1,000 m<sup>2</sup>，採用介質籃耕離地栽培，田區長90 m寬11.2 m，總計7行植畦，其中西側3行植畦採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 m<sup>2</sup>；其餘東側4行植畦採用原有定時自動肥灌設備。

## 四、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)與啟動灌溉一小段時間(how long)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，此為灌溉技術最佳狀況。

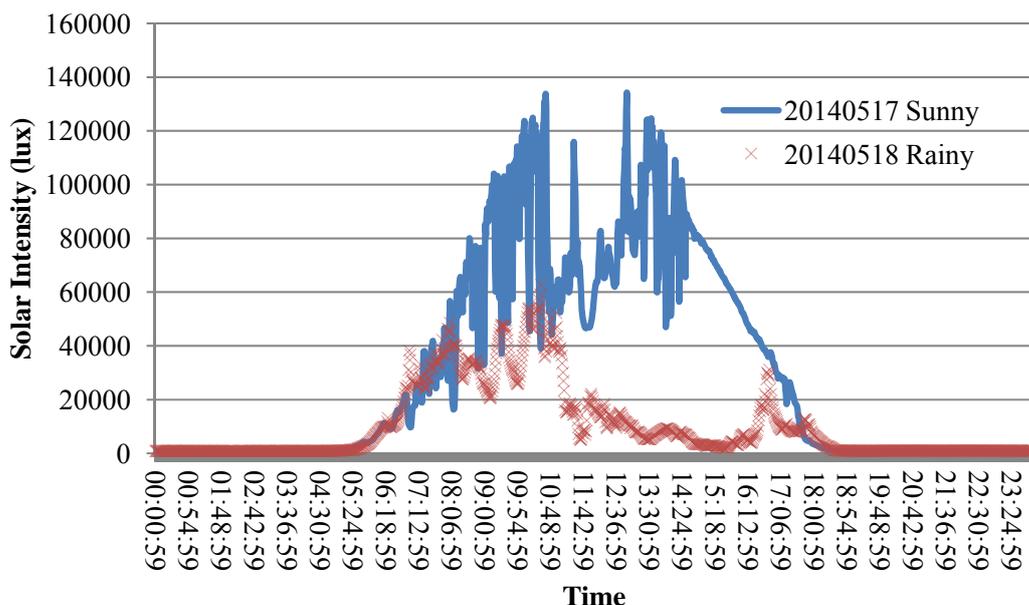
光積值灌溉模式之概念為假設中午灌溉間隔為一小時，量測當地中午光照強度並預設灌溉間隔為1小時，則當地中午光照強度與換算係數c (依據取樣頻率而定)的乘積就是灌溉門檻值。2012年9月25日溪湖中午光照強度約60,000 lux，因此灌溉光積值門檻值為43,200 klux。

# 結果與討論

## 一、日光變化曲線

臺灣的天氣多雲，2014年梅雨季節在5月份彰化縣下雨日數達21天，接連斷續陰雨的天氣造成番茄面臨光強度嚴重不足問題，衍生出落花與落果的減產問題<sup>(1,2)</sup>。該月份17日陰晴與18日下雨的光強度變化情形如圖一所示，17日早上10:30光強度高達120 klux，隨之下降到70 klux上下，維持到中午12:30，顯示有雲層遮擋陽光；接著光強度維持在80 klux以上，顯示此時晴天無雨但是雲層散佈於空中飄移不定，使得太陽光忽隱忽現；14:30以後的光照強度穩定的降低到傍晚，顯示雲層稀疏放晴。18日彰化縣降雨量42 mm，光強度低於60 klux，11:00以後到16:30期間低於20 klux，顯示降雨集中於此時段。光度感測取樣週期為1 min，累積白日時間從05:20到18:40計13小時20分鐘之平均光強度與大小比率如表一所示，降雨天之平均光強度約晴天的三分之一。

當雲層擋住太陽時照度降低，光照強度隨之下降，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75 klux<sup>(11)</sup>。



圖一、彰化縣 2014 年 5 月 17 日陰晴與 18 日下雨的光強度變化情形

Fig. 1. The light intensity fluctuation during sunny (May 17, 2014) and rainy (May 18, 2014) days in Changhua County.

## 二、光照強度與作物蒸發散變化之變化關係

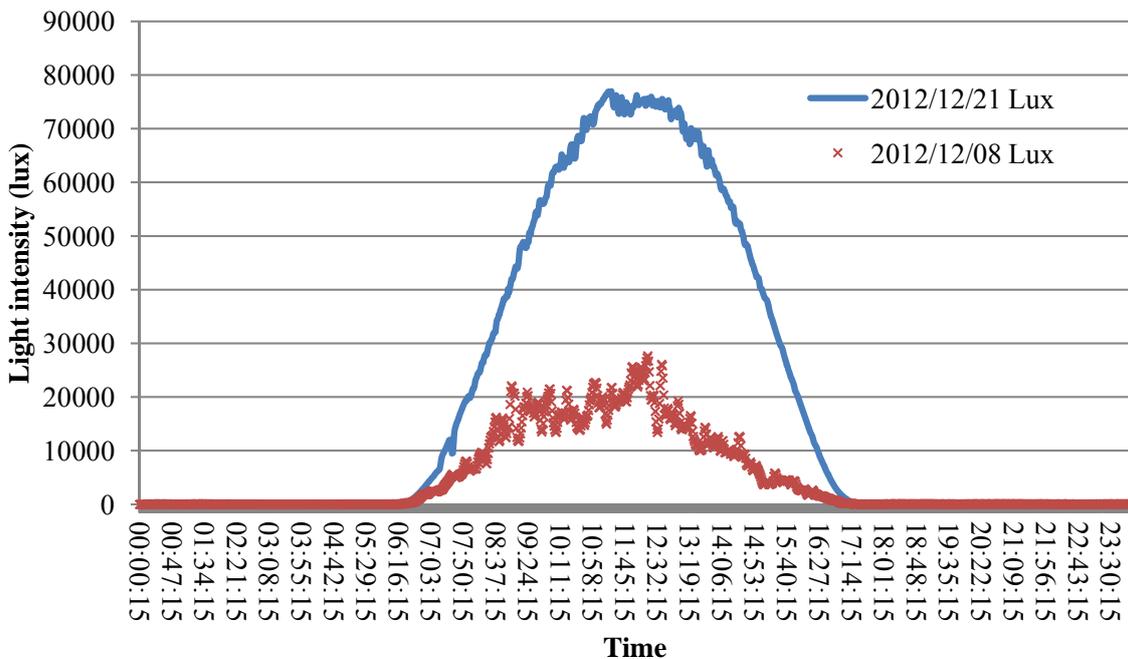
根據Chen等<sup>(18)</sup>之試驗結果，番茄植株的蒸發散量分別與照度、蒸氣壓差、風速等迴歸之結果，以單一因子而論，照度的相關性最高，蒸氣壓差次之，風速在設施內較低，故相關性最低。以多因子而論，照度、蒸氣壓差與風速對番茄植株的蒸發散量複迴歸，可獲得最佳的相關性，但是設備成本較高，對臺灣的小農負擔較大。因此，若可以取得中央氣象局在當地的氣象資料來應用，可免除氣象感測儀器之購置與維護成本，獲得較佳蒸發散量推估的信息，讓農民享用氣象資料改善灌溉排程之效果。

## 三、整合自動肥灌系統與光度積算法則於番茄介質籃耕栽培應用

試驗田為彰化縣溪湖鎮楊福來農友的「紅番」番茄設施田，設施面積1,000 m<sup>2</sup>，採用介質籃耕離地栽培，田區總計7行植畦，其中西側3行植畦採用臺中場的本土化自動肥灌系統，結合光積值灌溉模式，3行植畦之面積約430 m<sup>2</sup>；其餘東側4行植畦採用原有混合桶定時自動肥灌設備。

## (一)2012年秋冬季試驗

從2012年9月迄2013年1月中旬止為一生產期，試驗結果，圖二為彰化縣2012年12月21日陰晴與12月8日下雨的光強度變化情形，圖三為2012年12月21日晴天的灌溉時間點與灌溉量，該日晴天無雲，太陽從昇起到西沈之光強度變化形成漂亮的升降曲線，中午光強度約75 klux，全日灌溉7次，中間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，該日總灌溉水量737公升，肥料養液用量33公升。圖四為2012年12月8日陰雨天的灌溉時間點與灌溉量，該日降雨量8.5 mm，中午日照強度約20~25 klux，全日灌溉3次分別在10:02、12:23及15:47，該日總灌溉水量309公升，肥料養液用量14公升，有效減少灌溉水量與養液用量58%。

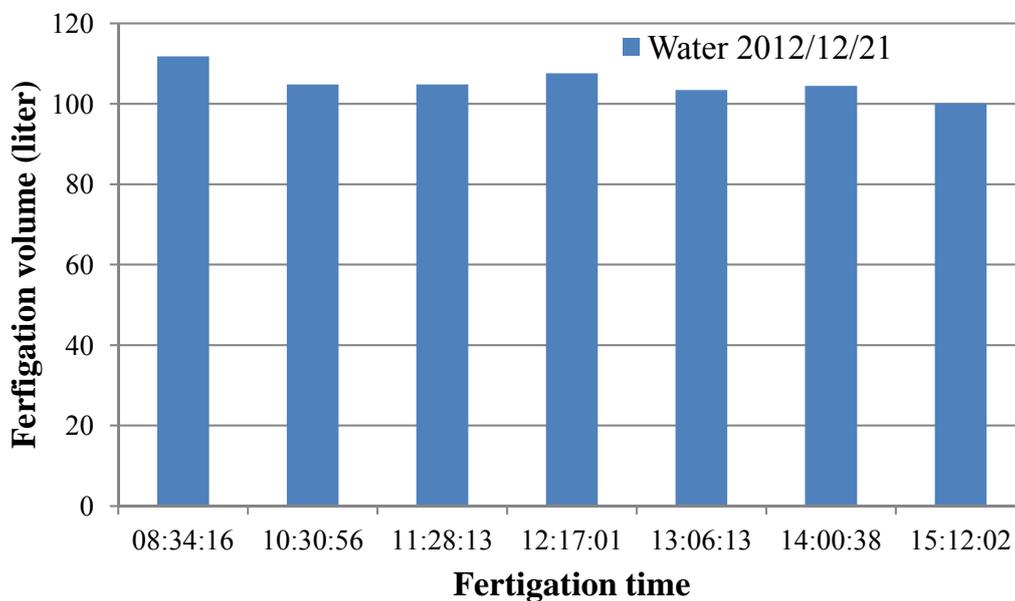


圖二、彰化縣 2012 年 12 月 21 日陰晴與 8 日下雨的光強度變化情形

Fig. 2. The light intensity fluctuation during sunny (Dec. 21) and rainy (Dec. 8) days in Changhua County in 2012.

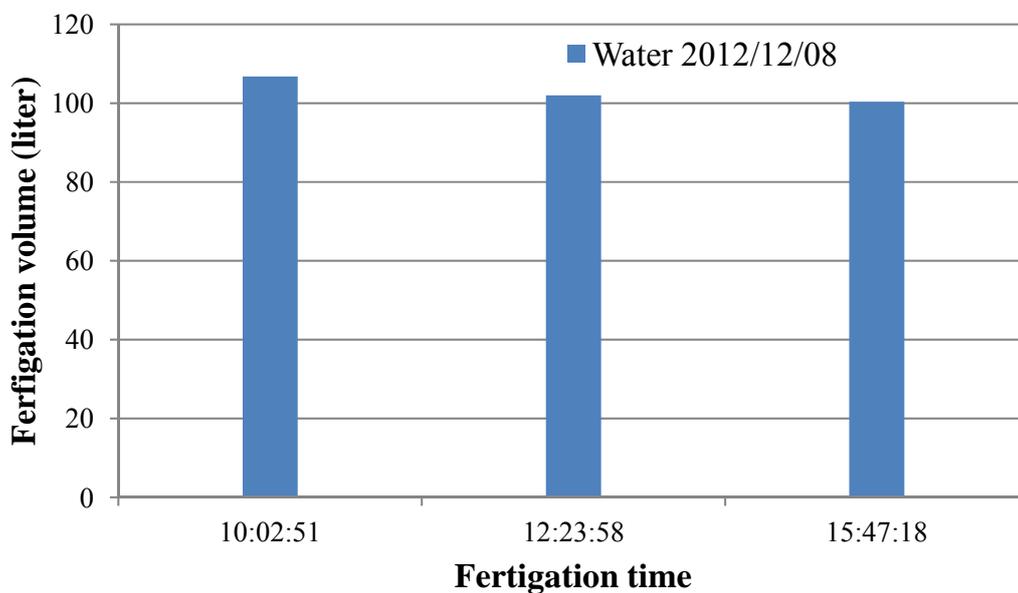
## (二)2014年春夏季試驗

2014年梅雨季5月17日晴天(如圖一所示)白日光照強度平均53.7 klux灌溉13次(如圖五所示)，該日總灌溉水量2,496公升、養液用量50公升，中間的7次集中在上午10點到下午2點這4小時之間。5月18日陰雨天(如圖一所示)白日光照強度平均17.5 klux灌溉5次(如圖六所示)，總灌溉水量減少為971公升、養液用量減少為19.3公升。因此，陰雨天的總灌溉水量為晴天的0.39% (如表一所示)，有效減少灌溉水量與養液用量61%。



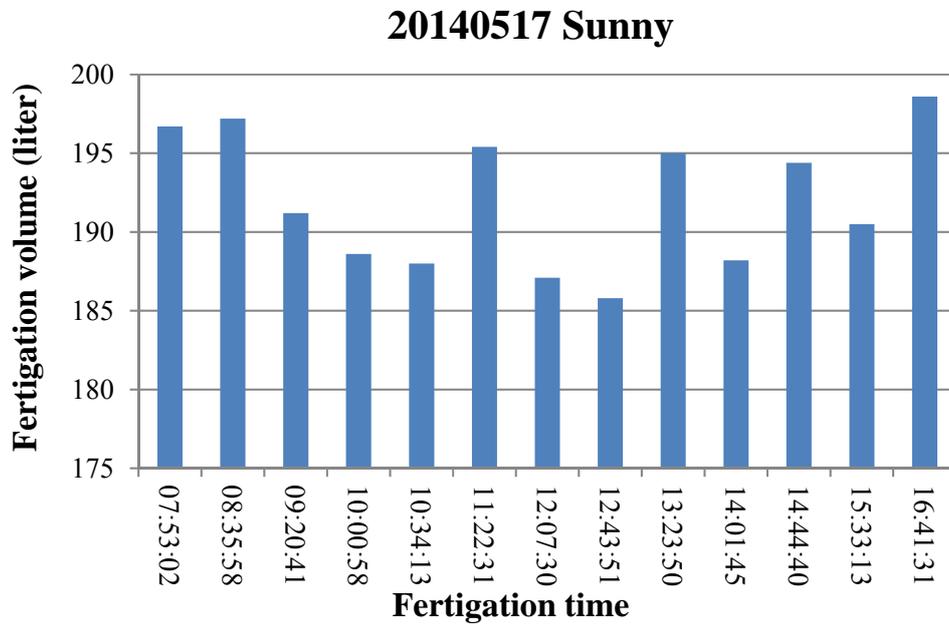
圖三、2012 年 12 月 21 日彰化縣晴天使用光積值的灌溉時間點與灌溉量

Fig. 3. The fertigation volume and schedule on the sunny day in Changhua County in Dec. 21, 2012.



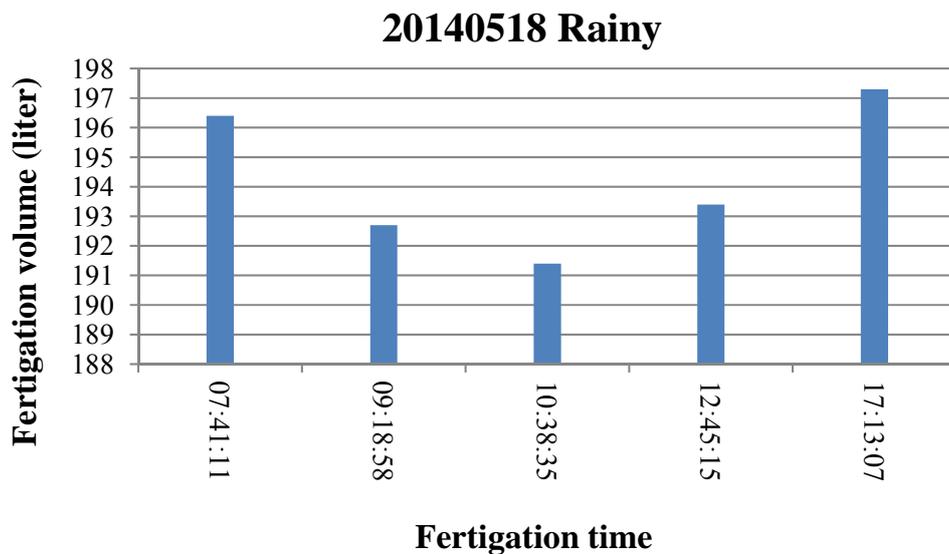
圖四、2012 年 12 月 8 日彰化縣陰雨天的灌溉時間點與灌溉量

Fig. 4. The fertigation volume and schedule on the rainy day in Changhua County in Dec. 8, 2012.



圖五、2014年5月17日彰化縣晴天使用光積值的灌溉時間點與灌溉量

Fig. 5. The fertigation volume and schedule on the sunny day in Changhua County in May 17, 2014.



圖六、2014年5月18日彰化縣陰雨天使用光積值的灌溉時間點與灌溉量

Fig. 6. The fertigation volume and schedule on the rainy day in Changhua County in 18 May, 2014.

表一、彰化縣梅雨季節晴天(5/17)和雨天(5/18)之平均光強度、灌溉次數與水量

Table 1. The average light intensity, irrigation times, amount and percentage at sunny (May 17) and rainy (May 18) days in Changhua County

Date	Weather	Average light intensity (lux/min)	Light Percent	Irri. Times	Irri. Amount (liter)	Irri. Percent
2014/5/17	Sunny	53668.421	1	13	2496.7	1
2014/5/18	Rainy	17534.356	0.33	5	971.2	0.39

進一步分析應用光積值技術在番茄自動灌溉之觸發性能，如表二所示，5月17日晴天灌溉13次，中間的7次集中在上午10點到下午2點這4小時之間，平均每小時灌溉1.75次/hr (每次間隔0.57 hr/次)，這段時間也是作物蒸散最強的時候。其他清晨與傍晚這二個時段合計9小時20分灌溉6次，平均每小時灌溉0.65次/hr (每次間隔1.55 hr/次)。5月18日雨天灌溉5次，中間的2次在上午10點到下午2點這4小時之間，平均每小時灌溉0.5次/hr (每次間隔2.0 hr/次)，其他清晨與傍晚這二個時段合計9小時20分灌溉3次，平均每小時灌溉0.32次/hr (每次間隔3.1 hr/次)。

因此，光積值技術應用在番茄自動灌溉，在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，尤其蒸散最強的中午前後灌溉間隔縮短成0.5 hr；下雨天自動延長灌溉間隔約2~3 hr灌溉一次。

表二、晴天(5/17)和雨天(5/18)在中午前後4小時與清晨傍晚之灌溉間隔時間比較

Table 2. The contrast of irrigation time gap between noon 4 hours and dawn plus evening 9.3 hours in the sunny (May 17) and rainy (May 18) days in Changhua County

Date	Weather	Period	Duration	Irri. Times	Times/hr	Hr/times
2014/5/17	Sunny	10:00-14:00	4.00	7	1.75	0.57
		05:20-10:00	9.30	6	0.65	1.55
		14:00-18:40				
2014/5/18	Rainy	10:00-14:00	4.00	2	0.50	2.00
		05:20-10:00	9.30	3	0.32	3.10
		14:00-18:40				

本研究運用光度(太陽輻射強度)與作物蒸發散呈現正相關的原理，提供一種簡單低成本性能穩定的灌溉技術之決策方法，經由2012年秋冬季與2014年春季二次試驗結果顯示，光積值應用在番茄介質耕栽培之自動灌溉觸發，晴天灌溉8~13次，陰雨天灌溉2~5次，具有顯著減少約58~61%灌溉水量之效益，而且在不同天候之灌溉間隔會自動縮短或延長。因此，光積值應用在自動灌溉上，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，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。

## 結 語

1. 定時器是農業自動化管理最基本的元件，一般農友的自動灌溉系統採用定時器驅動，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. 應用作物蒸發散量做為灌溉排程之控制參數，可達成完善的灌溉管理目標，其影響因素包括光度、溫度、相對濕度、風速、葉面積與氣壓等，然完整的蒸發散量測設備價格昂貴，可在現代化農場投資實行，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就有其重要性。
3. 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。但是需要具備肥灌基本知識，根據天候與作物生長階段隨機進行微調，才能符合作物所需。
4. 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58~61%之效益，而且在不同天候之灌溉間隔會自動縮短或延長。
5. 應用光積值的灌溉技術於蒸散最強的中午前後灌溉間隔縮短成0.5 hr；下雨天自動延長灌溉間隔約2~3 hr灌溉一次。
6. 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。
7. 陰雨天灌溉次數自動減少同時降低養分供應量，此養份減少但濃度不變情形下，是否影響番茄生長，需要作物生理專家進行相關研究。
8. 臺灣冬季陰雨天中午日照強度約20 klux，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75 klux，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。
9. 夏季高溫與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。

## 誌 謝

本試驗承蒙臺中區農業改良場鼎力支持，吳浩銘先生、李安心先生、劉志聰先生、謝宗諺先生、吳銅鼎先生及賴碧琴小姐等協助田間試驗及文稿建檔等，以及彰化縣溪湖鎮楊福來先生提供設施番茄園作試驗場地，謹誌謝忱。

## 參考文獻

1. 卞玉全 2005 番茄落花落果原因分析及預防對策 四川農業科技 11: 1004-1028 四川省茂縣農牧局。
2. 曲偉東、柴新 2011 棚室番茄落花落果的防治 吉林農業 5: 73。
3. 李曉虹、齊明芳、李天來、王倩、許巨集偉 2007 不同溫度處理對番茄離體花柄脫落及其相關酶活性的影響 瀋陽農業大學學報 38(6): 780-783。

4. 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。
5. 高榮孚、張鴻明 2002 植物光調控的研究進展 北京林業大學學報 24(5): 235-248。
6. 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。
7. 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 2007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。
8. 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。
9. 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。
10. 陳令錫 2012 淺談作物生長環境之蒸發散 臺中區農業改良場101年專題討論專集 臺中區農業改良場特刊第116號 p.109-114。
11. 陳令錫 2013 應用光積值有效管理番茄灌溉排程之研究 臺中區農業改良場101年度科技計畫研究成果發表會論文輯 臺中區農業改良場特刊第117號 p.176-182。
12. 陳正達 2008 明天過後氣候會如何 科學發展 424: 18-27。
13. 許晃雄 2008 氣候變遷的衝擊 科學發展 424: 5。
14. 楊雪芹 2005 農業知識：瓜果菜 第1期 p.34-34。
15. 蕭政宗 2007 乾旱 科學發展 416: 64-70。
16. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Rase and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, p.12, Rome, Italy, United Nations FAO.
17. Bockhold, D. L., A. L. Thompson, K. A. Sudduth and J. C. Henggeler 2011. Irrigation scheduling based on crop canopy temperature for humid environments. Trans. of the ASABE 54(6): 2021-2028.
18. Chen, L. H., J. Y. Chen and C. C. Chen. 2014. Analysis the effect of vapor pressure deficit and solar radiation to evapotranspiration of tomato. p.1176-1182, Proceedings of the 7th international symposium on machinery and mechatronics for agriculture and biosystems engineering (ISMAB), Yilan, Taiwan.
19. Chen, J. L. Lin and G. 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.
20. Dukes, M. D. and J. M. Scholberg. 2005. Soil Moisture Controlled Subsurface Drip Irrigation on Sandy Soils. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 21(1): 89-101.
21. Fernandes, M. D., S. Bonachela, F. Orgaz, R. Thompson, J. C. Lopez, M. R. Granados, M. Gallardo and E. Fereres. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspiration in a mediterranean climate. Irrig Sci. 28: 497-509.

22. Hagin, J. and A. Lowengart. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer Research* 43: 5-7, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
23. Patricia, I. 1999. Recent techniques in fertigation of horticultural crops in Israel. *Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops Workshop*. Dapoli, Maharashtra, India.
24. 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.
25. Wook, O., I. H. Cheon and K. S. Kim. 2009. Photosynthetic daily light integral influences flowering time and crop characteristics of *Cyclamen persicum*. *HortScience* 44(2): 341-344.
26. 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.

# Effects of Light Integral on the Monitoring Tomato Irrigation Schedule<sup>1</sup>

Ling-Hsi Chen<sup>2</sup> and Chiachung Chen<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Irrigation technology issues in particular about when to irrigate and how much water for irrigation, irrigation water delivery timing and volume control. In this study based on the principle of evapotranspiration that is proportional to light intensity so as to design the light integral control logic algorithm, and merged to the local automatic fertigation system. Experiments were carried out in a 430 m<sup>2</sup> greenhouse in which tomato was grown by substrate basket farming. The results indicated that 8-13 times of daily irrigation schedule was found in sunny day, and 2-5 times of daily irrigation schedule in cloudy or rainy day. Moreover, with increase light intensity in the sunny day, the irrigation interval was more frequent and shorten to 0.5 hour and concentrated between 10:00 AM and 15:00 PM.. In cloudy or rainy day with the weak light intensity, it found to be irrigated 2-5 times and the irrigation interval was prolonged to 2-3 hours automatically. The light integral irrigation method tested to be effectively reduce 58-61% irrigation water and nutrient from sunny days to rainy days. Therefore, on the basis of climate change, the light integral irrigation method is a stable and cost-down method to setup irrigation schedule automatically.

**Key words:** light integral, fertigation, tomato, irrigation schedule

---

<sup>1</sup> Contribution No. 0851 from Taichung DARES, COA.

<sup>2</sup> Associate researcher of Taichung DARES.

<sup>3</sup> Professor of National Chung Hsing University.