設施甜瓜介質耕定時與適時二種灌溉模式之管理效益比較[1]

陳令錫[2]、戴振洋[2]

摘　　要

本研究目的在導入環境感測技術，於適當時間啟動灌溉設備，節能智慧操作，分析管理效益與對設施甜瓜生育之影響；比較傳統定時定量和光積值自動化適時適量二種灌溉驅動模式處理間的灌溉水量、操作次數、水電資源消耗、植株生理、葉片養分與果實性狀。試驗結果顯示，基於光積值自動化適時適量養液灌溉量及肥料量使用約少33~66%，農民生產成本可相對降低，顯然甜瓜栽培在合理適時適量養液灌溉供應範圍內更符合友善栽培目的。22天紀錄期間，適時灌溉模式之灌溉次數比定時灌溉模式少13次，平均每天節省1.5 l/m^{2}灌溉水量。定時灌溉模式在晴天、陰天和下雨天三種不同天氣都是肥灌2次、水灌1次，而智慧動態適時灌溉模式在晴天(26 Sep.)肥灌2次、水灌1次；陰天(20 Sep.)肥灌2次，節約用水33%；下雨天(15 Sep.)則只有肥灌1次，節約用水66%，顯示適時灌溉模式隨天氣而智慧動態地改變灌溉水量。由介質體積含水率的數據變化趨勢顯示，日間除了灌溉有上升波峰之外，各田區介質體積含水率維持在適當的穩定區間內。甜瓜葉片在傳統定時定量或合理適時適量養液灌溉供應範圍內，對葉長、葉寬、葉柄長、莖粗及節間長之生育影響在統計上差異並不顯著。對於甜瓜葉片元素吸收，兩者灌溉方式相同，並無受到影響。

關鍵詞：灌溉、甜瓜、介質耕、定時器、適時

前　　言

臺灣蔬菜生產應用袋植栽培肇始於1992年前後(6)，主要是因設施內長期栽培茄、瓜果類蔬菜，致使土壤酸化、劣化及發生連作障礙，促使農民在生產上勢必要解決連作衍生出來的土壤問題，遂有坊間自國外引入「介質袋耕」之技術。初期流傳於南投縣埔里山區，之後逐漸在埔里、草屯、信義一帶之山區及全臺部分地區，陸續有農民採用介質袋、微量介質袋、籃耕或槽耕等介質栽培方式(18,19,20,21)。雖然此種介質栽培在臺灣已日益普遍，但針對介質耕栽培之養液配方及應用管理技術等研究報告卻付之闕如(3,6,18)。日本山崎氏養液配方，主要依據作物的生長階段詳細調查其養分、水分的吸收量及吸收之型態，以決定其組成和濃度(1)。

---

[1] 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0953 號。
[2] 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

一般可利用化學分析方法及配合儀器分析以測定植物體中無機(或有機)養分含量之高低，以瞭解施肥效率及植株生長情形，藉以調整施肥之參考及依據[3,16,32]。依現行臺灣設施「介質袋耕」栽培估算，每公頃每天使用養液用量約為40~80 ton，所調配肥料過高時，在設施內高複種且連作之下，亦產生許多栽培管理上的問題[6,21,27]。在臺灣天氣陰晴不定，且溫室設施種類繁多[9,10,11,19]，作物種類特性[21,32]、地域環境氣候也不同，加上農民累積的管理經驗也可能不同[6]，需要的管理標的也會不同。因此，適合各種場域應用的新技術開發相對重要，新技術的教育訓練與推廣亦極為重要。

作物生長時，水分對作物的生長影響很大，臺中區農業改良場(簡稱本場)及各國開發出設施適用之自動肥灌系統[5,7,8,13,14,26,30,31]，可供農民選用，本場研究發現連續陰雨天候下，作物的光合作用低，且容易落花減產[2,4,11,17]；Hagin等[26]學者研究減少肥料汙染環境的肥灌技術，各國學者也投入適時適量灌溉技術之研究[7,12,25,30,31]。光線強弱對水分之蒸發散影響的權重較氣溫、相對濕度與風速為高[9,10,23,24,25]。利用自動肥灌系統與適時灌溉驅動裝置，可隨天候陰晴之變化，自主調整肥灌次數，已達成智慧省工與適度調節灌溉量之目標[15]。

溫室設施內的自動化灌溉管理，農民目前大部分都採用定時器驅動灌溉、或測量設施內某幾處的土壤含水率[31]及空氣濕度，做為全域一致的水分及養液灌溉，並無法直接偵測不同區域作物的生理狀態來訂製配合其所需灌溉需求[15]。

地球人口逐年增加，糧食需求吃緊，糧食生產取決於水電資源的掌控。臺灣的陽光型設施環境控制若採定時自動控制灌溉，普遍存在不足或過當之處[9,11]。例如晴天蒸發散量高、陰雨天則低，灌溉水量需要隨天候陰晴而變動，採用定時器灌溉的農場，常見陰雨天沒有減量灌溉，發生大量滲流水溢流損失，普遍存在浪費水電資源問題。本研究擬導入環境感測技術，運用作物蒸發散量與光度累積量成比例的創新發現[15]，實現於作物蒸發散量累積一段時間的適當時間點啟動灌溉設備，分析探討節能智慧操作與管理效益與對設施甜瓜生育之影響。

材料與方法

一、試驗材料

(一)供試品種：農友種苗公司甜瓜"嘉玉"品種。

(二)栽培方式：介質槽耕栽培方式。

(三)灌溉機具：本場研發自動肥灌系統，具有5支文氏管注肥器，可設定灌溉配方、灌溉量與灌溉驅動模式，介質槽耕微噴灌。自動肥灌系統主機之人機介面具有USB埠儲存數據功能。灌溉機具擴增擷取光度感測功能，光度計(200,000 lux, Rixen LXT-401A, Taiwan)裝設於強固型溫室內橫樑上。自動肥灌系統主機可作肥灌或水灌之操作，養液配方表可設定10組(養液編號1-10)養液配方，本試驗將養液配方表簡化為田區1-4，分別使用養液編號1-4；養液編號0為水灌，沒有注入養液肥料的純粹灌溉水分輸送。

(四)溫室：於彰化縣大村鄉本場內強固型單開頂塑膠布10連棟溫室(N24.001456, E120.531684)，長度40 m，每棟寬度4.8 m，水槽高度3.5 m，圓弧屋頂高度4.85 m，側邊捲收塑膠布和防蟲網，建造於2012年，南北走向，中間8棟屋頂開設單側電動氣窗，氣窗開口面向東方，全開之垂直開口寬度1.1~1.2 m。溫室隔成二區，東側離地介質耕、西側土耕，本試驗在東側實施。東側離地介質耕分成10田區，本試驗於南北向的田區1至田區4實施，每田區有2個栽培槽面積約60 m^2，槽寬0.4 m，走道寬1.1 m。植體分析樣本採自田區3與田區4。

(五)介質體積含水率紀錄：介質體積含水率感測器透過RS-485埠將訊號傳送至可程式控制器，可程式控制器經由RS-485埠連結雲端盒將數據儲存於USB隨身碟。

二、試驗方法

(一)試驗處理：處理間的養液配方相同，比較傳統定時定量和光積值自動化適時適量二種灌溉驅動模式處理間的灌溉水量、操作次數、水電資源消耗、植株生理、葉片養分與果實性狀。僅在日間灌溉，二種灌溉驅動模式為：

1.傳統定時定量給養液：田區1、3，根據經驗、季節與作物生長階段，設定灌溉時間與灌溉次數，早上下午各灌溉1次，每天2次；或早上2次、下午1次，每天3次。

2.光積值自動化適時適量給養液：田區2、4，養液配方相同，灌溉驅動觸發採光積值模式，根據經驗、季節與作物生長階段等溫室栽培環境條件，設定光積值之門檻值，灌溉次數與水量隨天氣陰晴而智慧地自動調整。自動化程序為預設光積值門檻值(灌溉次數)與灌溉持續時間(灌溉水量)，系統每分鐘擷取光度值累加，當累加的光度值大於設定的光積值門檻值，立即觸發灌溉操作、累加的光度值歸零、灌溉持續時間後停止，即完成一次灌溉操作。

(二)試驗設計：採完全逢機(CRD)排列方式，四重複，小區槽長20 m，計2處理×4重複×20 m ＝160 m。

(三)調查項目與方法：

1.甜瓜生育性狀與產量調查：甜瓜於2018年8月3日定植，於採收期調查植株頂端向下第四片成熟葉[19]之最大葉長、葉寬及葉柄長、莖粗及節間長等園藝性狀，並於收穫期分別調查各小區果實品質包括果高、果徑、總可溶性固形物及單果重等項目。

2.甜瓜植體分析：收穫後進行葉片樣品取樣，分析葉片中氮、磷、鉀、鈣及鎂等養分含量[28]。葉片樣品自頂端向下第四片成熟葉，所採集植體樣品以70℃烘乾進行養分含量分析，以濕灰法(硫酸)分解後測定N、P、K、Ca、Mg含量，其中以蒸餾法測定全氮量，利用鉬黃法呈色及分光光度計於420 nm下比色，測定其全磷量，利用燄光分析儀測定其全鉀量，利用原子吸收分析儀測定其鈣及鎂含量[22,28,29]。

3.環境監控紀錄：室內光度、空氣溫度、空氣溼度、風速、介質體積含水率。

4.灌溉數據紀錄：傳統定時定量給養液與光積值自動化適時適量給養液之灌溉數據，比較操作次數、水電資源消耗等。

(四)實施方法：以甜瓜"嘉玉"品種於2018年7月20日播種，以60格穴盤育苗方式在本場蔬菜育苗室管理。播播後第14日定植(8月3日)於蔬菜溫室。栽培管理為將甜瓜幼苗植株分別依處理定植，整枝方式採用單幹整枝，生育期間的栽培管理依慣行方式行之。

結果與討論

一、灌溉數據紀錄：

比較傳統定時定量給養液與光積值自動化適時適量給養液之灌溉數據、操作次數、水電資源消耗等。每次灌溉水量隨作物種類、生長階段、季節而增減之幅度。

(一)定時灌溉模式：

取樣甜瓜收穫前從2018年9月11日到2018年10月2日止計22日的灌溉數據統計分析如表一，定時灌溉模式操作參數變動包含每天灌溉次數由2次增加為3次，每次灌溉時間由70 sec更動為60 sec，清管時間由20 sec減為10 sec，再減為0 sec。灌溉總次數為61次，包含肥灌44次與水灌17次，累計灌溉量為9,569 l (田區3)；每次灌溉量平均為156.87 l (田區3)。最大與最小灌溉量係操作者依據季節與作物生長階段所做的灌溉量調整所致。

(二)適時灌溉模式

適時灌溉模式操作變動包含每次灌溉時間由70 sec更動為60 sec，清管時間由20 sec減為10 sec，再減為0 sec。每天灌溉次數由控制系統依據天候陰晴之蒸發散量不同而智慧動態調整。灌溉總次數為48次，包含肥灌42次與水灌6次，累計灌溉量為6,795.7 l (田區4)；每次灌溉量平均為141.58 l (田區4)。

因此，取樣數據22天紀錄期間，適時灌溉模式之灌溉次數比定時灌溉模式少13次，每次灌溉水量150 l計算，節省灌溉水量1,950 l，平均每天節省88.6 l (1.5 l/m^2)。適時灌溉模式的灌溉次數較少，水電的能源消耗亦隨之比例減少。灌溉次數與節省水電能源消耗的效益隨天氣陰晴條件而不同，偵測天候陰晴而智慧地調節灌溉驅動時機。

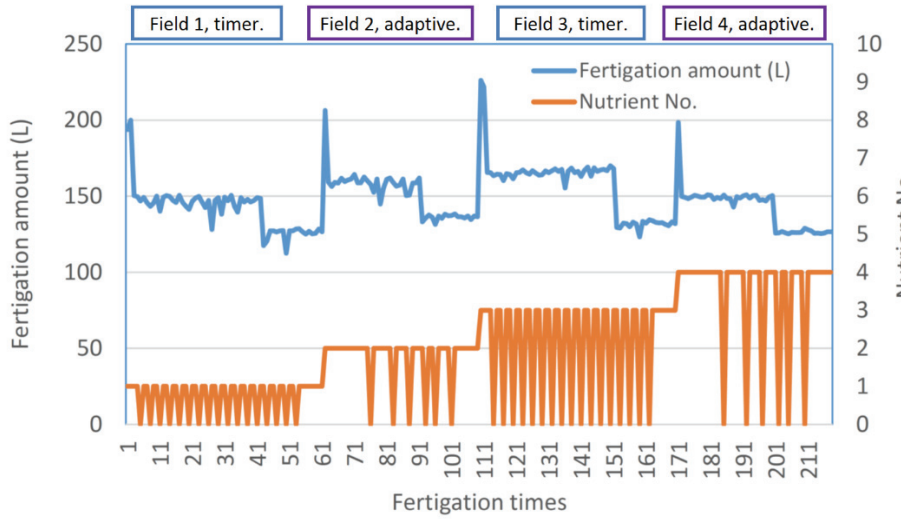
表一、甜瓜收穫前 22 天定時和適時二種灌溉模式的灌溉數據
Table 1. The irrigation data of melon at 22 days before harvest by timer and adaptive modes

Field	Mode	Times			Amounts (L)			Mean (L)
		Irrigation	Fertigation	Watering	Total	Max.	Min.	
1	Timer	61	44	17	8627.2	200.0	112.5	141.43
2	Adaptive	48	42	6	7246.7	206.3	131.5	150.97
3	Timer	61	44	17	9569.0	226.1	123.3	156.87
4	Adaptive	48	42	6	6795.7	198.5	125.3	141.58

四個田區二種灌溉模式的灌溉量、肥灌與水灌(養液編號0為水灌、養液編號1-4分別為田區1-4之養液配方編號)次數之分布如圖一所示，各田區的灌溉量呈現穩定變化，顯示自動肥灌主機之灌溉輸出性能穩定。四個田區灌溉量在生長晚期減少的原因為灌溉時間由70 sec更動為60 sec造成。圖中各田區都有1次灌溉最大值的原因也是灌溉秒數之更動所造成。

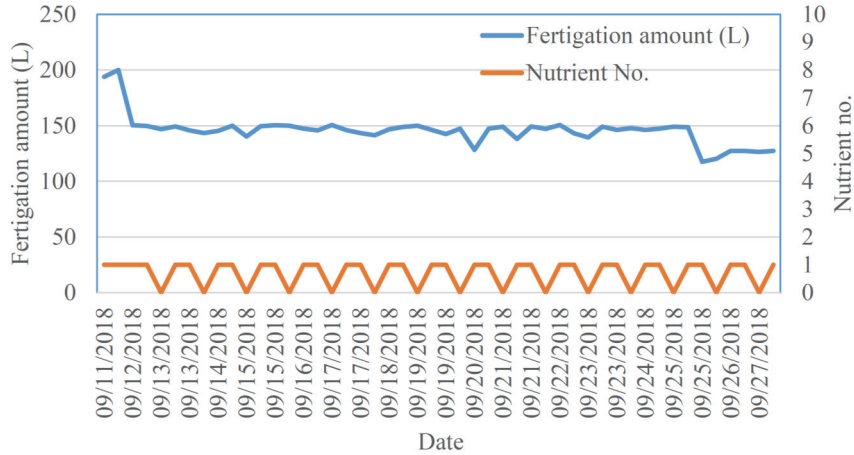
田區1的定時灌溉模式灌溉量、肥灌44次與水灌17次之分布如圖二所示，固定每天根據設定參數(依據季節與作物生長階段而調整)，執行之結果為肥灌2次水灌1次。

田區2的適時灌溉模式灌溉量、肥灌42次與水灌6次之分布如圖3所示，灌溉次數呈現非固定結果，只有晴天出現灌溉第3次時，養液編號0的水灌才會出現。因此，適時灌溉模式具有隨天氣陰晴而省工智慧動態地改變灌溉量，此結果乃根據蔬果作物蒸發散量隨天氣陰晴而變動之試驗結論，所設計的智慧灌溉方法。



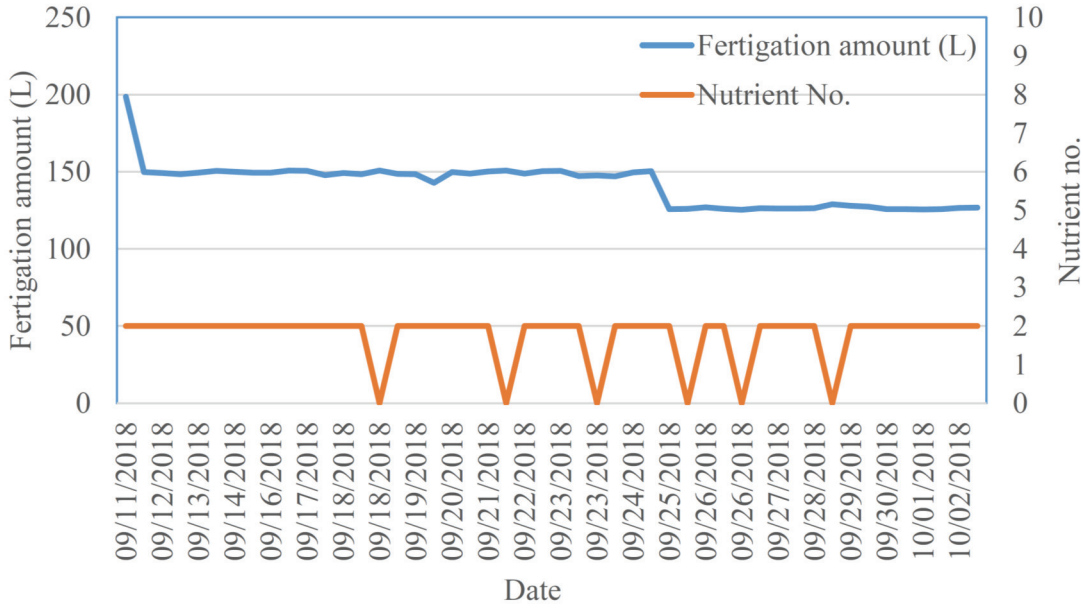
圖一、四田區二種灌溉模式的灌溉量、肥灌與水灌次數之分布

Fig. 1. The distributions of fertigation amount, fertigation and watering times of four trial fields



圖二、田區 1 之定時灌溉模式的灌溉量、肥灌 44 次與水灌 17 次之分布

Fig. 2. The distributions of fertigation amount, fertigation 44 times and watering 17 times of field no.1 via timer mode



圖三、田區 2 之適時灌溉模式的灌溉量、肥灌 42 次與水灌 6 次之分布

Fig. 3. The distributions of fertigation amount, fertigation 42 times and watering 6 times of field no.2 via adaptive mode

二、不同天氣二種灌溉模式的灌溉次數比較

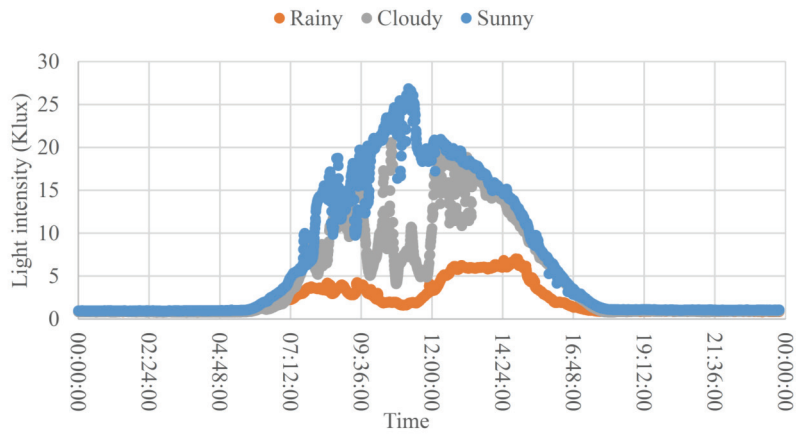
選取2018年9月15日下雨、20日陰天與26日晴天等三天太陽輻射數據於溫室內的光照強度如圖4所示，表二為各種不同天氣二種灌溉模式的灌溉次數與灌溉水量，定時灌溉模式在晴天、陰天和下雨天三種不同天氣都是肥灌2次、水灌1次，而智慧動態適時灌溉模式則在晴天(26 Sep.)肥灌2次、水灌1次；陰天(20 Sep.)肥灌2次，節約用水33%；下雨天(15 Sep.)則只有肥灌1次，節約用水66%，顯示適時灌溉模式隨天氣而智慧動態地改變灌溉水量。

表二、甜瓜栽培晴天、陰天和下雨天二種灌溉模式的灌溉數據

Table 2. The irrigation data of melon in different weather conditions

Date	Weather	Field 1 (Timer)		Field 2 (Adaptive)	
		Fertigation	Watering	Fertigation	Watering
15 Sep.	Rainy	2	1	1	0
20 Sep.	Cloudy	2	1	2	0
26 Sep.	Sunny	2	1	2	1
Water amount (L) [1]		150-127		160-135	

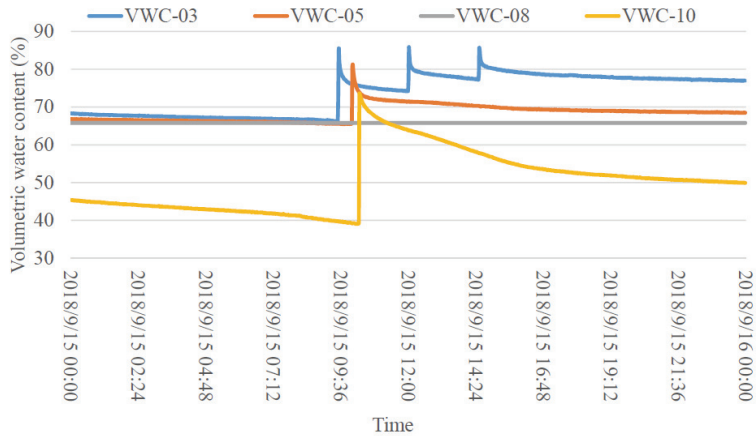
[1]Fertigation water amount were changed depend on crop stages and weather.



圖四、晴天、陰天和下雨天的光度變化趨勢
Fig. 4. The light intensities in sunny, cloudy and rainy days

三、二種灌溉模式的介質體積含水率比較

介質體積含水率用來觀測介質含水率變動情形，並沒有用在灌溉驅動。這二種灌溉模式於9月15日下雨天之介質體積含水率(volumetric water content, VWC)變化趨勢如圖五所示，編號VWC-03為田區1、VWC-05、VWC-08及VWC-10各為田區2、3、4。田區3VWC-08呈現定值，表示已經故障；定時灌溉模式田區1之VWC-03日間有3次上升波峰表示灌溉3次；適時灌溉模式之田區2之VWC-05與田區4之VWC-10有1次上升波峰表示灌溉1次，2組數據的升降振幅大小不同。介質體積含水率的數據變化趨勢顯示日間除了灌溉有上升波峰之外，各田區介質體積含水率維持在適當的穩定區間內。



圖五、四個田區於 2018 年 9 月 15 日下雨天之介質體積含水率變化趨勢
Fig. 5. The volumetric water content of 4 trial fields on rainy day 15th September, 2018

四、甜瓜園藝性狀及植體分析調查

樣本採自田區3 (定時)和田區4 (適時)，不同處理間甜瓜之葉片性狀結果顯示(表三)，葉長、葉寬及葉柄長在處理間差異不顯著，其中以傳統定時定量給養液處理不論是在葉長、葉寬及莖粗等表現均較優，分別為17.4 cm、23.1 cm及7.07 mm，優於光積值自動化適時適量給養液的16.7 cm、22.4 cm及6.43 mm，但在統計上差異不顯著。葉柄長及節間長則以光積值自動化適時適量給養液的16.2 cm及8.83 cm，優於傳統定時定量給養液處理的的15.7 cm及8.44 cm，但在統計上差異亦不顯著。

本試驗顯示養液灌溉方式不論是傳統定時定量或光積值自動化適時適量供應方式，對葉片性狀的葉長、葉寬、葉柄長、莖粗及節間長，並無顯著差異之影響，即使光積值自動化適時適量養液灌溉少於傳統定時定量，顯然甜瓜葉片在合理適時適量養液灌溉供應範圍內，對葉長、葉寬、葉柄長、莖粗及節間長生育影響在統計上差異並不顯著。

表三、二種灌溉模式對甜瓜葉片性狀之影響
Table 3. The effects of timer and adaptive modes on the leaf characteristics of melon

Treatment[1]	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Petiole length (cm)	Stem diameter (mm)	Node length (cm)
Timer	17.4	23.1	15.7	7.07	8.44
Adaptive	16.7	22.4	16.2	6.43	8.83
T test	ns[2]	ns	ns	ns	ns

[1] Description in Table 1.
[2] ns , *, non-significant, or significant at P<0.05,T test ; ns= not significant

五、甜瓜果實性狀調查

由不同灌溉模式對甜瓜果實性狀之調查結果顯示(表四)，不同灌溉模式處理對瓜果縱徑、瓜果橫徑、單果重及瓜果可溶性固形物等果實性狀無顯著之影響，但在果肉厚則處理間有顯著差異。其中傳統定時定量與光積值自動化適時適量處理分別在瓜果縱徑為8.94 cm及8.81 cm、瓜果橫徑為10.6 cm及10.1 cm、單果重為505 g及507 g、瓜果可溶性固形物為13.9及14.3 °Brix。果肉厚則以光積值自動化適時適量處理的18.1 mm顯著優於統定時定量處理的16.5 mm。

表四、二種灌溉模式對甜瓜果實性狀之影響
Table 4. The effects of timer and adaptive modes on the fruit characteristics of melon

Treatment[1]	Fruit height (cm)	Fruit diameter (cm)	Fruit weight (g/fruit)	Total soluble solid °Brix (%)	Fruit thick (mm)
Timer	8.94	10.6	505	13.9	16.5
Adaptive	8.81	10.1	507	14.3	18.1
T test	ns	ns	ns	ns	*

[1] Description in Table 1.
[2] ns , *, non-significant, or significant at P<0.05,T test ; ns= not significant.

本試驗顯示養液灌溉方式比較傳統定時定量或光積值自動化適時適量供應方式對瓜果縱徑、瓜果橫徑、單果重及瓜果可溶性固形物等主要果實性狀，並無顯著差異之影響，基於光積值自動化適時適量養液灌溉量及肥料量使用較少，相對農民生產成本可降低，顯然甜瓜栽培在合理適時適量養液灌溉供應範圍內更符合友善栽培目的。

六、甜瓜採收期葉片元素調查

由不同灌溉模式對甜瓜採收期葉片中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之調查結果顯示(表五)，不論是傳統定時定量或光積值自動化適時適量處理其採收期葉片中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量在統計上差異亦不顯著。傳統定時定量或光積值自動化適時適量處理分別在氮含量為3.14%及3.16%、磷含量為0.29%及0.26%、鉀含量為2.21%及2.20%、鈣含量為6.11%及6.41%、鎂含量為1.79%及1.96%。

「植物營養診斷」是藉分析植物之組織或器官中養分、酵素活性或代謝產物等來評估植體營養狀況，其中葉片分析較為簡便而被廣泛應用[16]。以葉片分析診斷作物營養狀態，乃因葉片各無機元素濃度適當與平衡，始可獲得有良好產量與品質。故葉片要素測定值與已定之適宜值或元素濃度分級比較後，可作為推斷營養狀況後之推薦施肥用，依據本試驗採收期葉片中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量呈現差異性不顯著，顯然傳統定時定量或光積值自動化適時適量處理對於甜瓜葉片元素吸收，兩者灌溉方式相同並無受到影響。

表五、二種灌溉模式對甜瓜採收期葉片中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之影響
Table 5. The effects of timer and adaptive modes on the N, P, K, Ca and Mg contents in leaf of melon at harvested stage.

Treatment[1]	Contents (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Timer	3.24	0.29	2.21	6.11	1.79
Adaptive	3.16	0.26	2.20	6.41	1.96
T test	ns	ns	ns	ns	ns

[1] Description in Table 1.
[2] ns , *, non-significant, or significant at P<0.05,T test ; ns= not significant

適時灌溉驅動技術乃根據蒸滲儀研究作物蒸發散量受環境微氣候影響，在亞熱帶臺灣以光度為主要影響因子之結果，臺灣農民已經能享受類似蒸發散量的灌溉控制效果。本研究比較傳統定時定量或光積值自動化適時適量處理之研究結果，達成省工高效率智慧適量灌溉效果而不影響作物生長與果實品質。光積值驅動灌溉的感測元件只需要光度感測器，成本比整套的蒸發散感測元件低且功能穩定。

因此，當前在臺灣應該教的是蒸發散量的觀念，不用買電子秤，只要設置光度感測器連結智慧灌溉技術來加值應用，既能收集光度數據也能省工智慧地驅動灌溉。陰雨天智慧地減少灌溉水量與養液用量33~66%，晴天足量灌溉，中午豔陽下較密集灌溉，發揮適時適量灌溉的效果。

自動灌溉系統使用電力驅動灌溉幫浦執行灌溉作業，灌溉幫浦的電力消耗與操作時間成比例，由此可推論，適時灌溉驅動技術在陰雨天智慧地節省電力33~66%。

結　　論

作物水分管理每次灌溉水量隨作物種類、生長階段、季節而增減。根據試驗數據紀錄期間22天，適時灌溉模式之灌溉次數比定時灌溉模式少13次，節省灌溉水量1950 l，平均每天節省1.5 l/m^2。適時灌溉模式的灌溉次數較少，水電的能源消耗亦隨之比例減少。灌溉次數與節省水電能源消耗的效益隨天氣陰晴條件而不同，偵測天候陰晴而智慧地調節灌溉驅動時機。定時灌溉模式在晴天、陰天和下雨天三種不同天氣都是肥灌2次、水灌1次，而智慧動態適時灌溉模式則在晴天(26 Sep.)肥灌2次、水灌1次；陰天(20 Sep.)肥灌2次，節約用水33%；下雨天(15 Sep.) 則只有肥灌1次，節約用水66%，顯示適時灌溉模式隨天氣而智慧動態地改變灌溉水量。介質體積含水率的數據變化趨勢顯示日間除了灌溉有上升波峰之外，各田區介質體積含水率維持在適當的穩定區間內。

甜瓜葉片在傳統定時定量或合理適時適量養液灌溉供應範圍內，對葉長、葉寬、葉柄長、莖粗及節間長生育影響在統計上差異並不顯著。對於甜瓜葉片元素吸收，兩者灌溉方式相同並無受到影響。基於光積值自動化適時適量養液灌溉量及肥料量使用較少，相對農民生產成本可降低，顯然甜瓜栽培在合理適時適量養液灌溉供應範圍內更符合友善栽培目的。

誌　　謝

本試驗承蒙臺中區農業改良場鼎力支持，作物改良課蔬菜研究室與作物環境課農機研究室通力合作，許誌裕、林秋全、李安心、劉志聰、茆聰明先生及賴碧琴小姐等協助田間試驗及文稿建檔等，謹誌謝忱。

參考文獻

1. 山崎肯哉　1982　養液栽培全編　博友社　東京　日本。
2. 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，中國。
3. 王銀波、吳正宗　1990　栽培液之理論與實際　p.14-24　養液栽培技術講習會專刊　第三輯　鳳山熱帶園藝試驗分所編印。
4. 曲偉東、柴新　2011　棚室番茄落花落果的防治　吉林農業 5: 73，中國。
5. 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，中國。
6. 李文汕　1999　蔬菜無土介質容器栽培　p.1-17　蔬菜容器栽培技術開發研討會專輯　國立中興大學編印。

7. 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，中國。
8. 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　p.143-144　臺灣大學生物產業機電工程學系主辦　臺北，臺灣。
9. 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。
10. 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。
11. 陳令錫　2014　春季設施番茄為何消花減產?　豐年半月刊 64(12): 40-43。
12. 陳令錫、陳加忠　2014　利用光積值改善番茄灌溉排程之研究　臺中區農業改良場研究彙報 125: 39-51。
13. 陳令錫、陳彥樺、郭雅紋、蔡宛育　2015　養液滴灌與慣行溝灌法對洋桔梗之肥培節水效益與切花品質之比較試驗　臺中區農業改良場研究彙報 127: 63-72。
14. 陳令錫　2017　單幫浦文氏管肥灌裝置之流量輸出性能評估　臺中區農業改良場研究彙報 134: 1-9。
15. 陳令錫　2018　設施園藝作物蒸發散模式應用於智慧灌溉之研究　國立中興大學生物產業機電工程學研究所　博士論文。
16. 張禮忠、毛知耘譯　1992　利用植物測試診斷礦物元素缺乏症　p.63-76　植物無機營養　農業出版社　北京，中國。
17. 薛玉梅、穆欣、許明　2007　保護地番茄生理性落花落果的原因與預防措施　北方園藝 8: 82-83，中國。
18. 戴振洋、蔡宜峯　2008　不同養液肥料對介質栽培東方甜瓜之影響　臺中區農業改良場研究彙報 99: 61-72。
19. 戴振洋 蔡宜峯　2009　不同養液配方對東方甜瓜植體中氮、磷、鉀、鈣及鎂含量之影響　臺中區農業改良場研究彙報 104: 17-28 。
20. 戴振洋、林煜恒　2016　不同栽培容器及介質量對設施番茄生育之影響　臺中區農業改良場研究彙報 132: 13-21。
21. 戴振洋　2009　設施番茄介質耕栽培技術　臺中區農業技術專刊 173: 2-12。
22. Bremner, J. M. and C. S. Mulvaney. 1982. Nitrogen-total. p.595-624. In: A. L. Page, H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Academic Press, Inc., New York.
23. 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. 22.

24. 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. p.71, Book of Abstracts, Advanced technologies and management towards sustainable greenhouse ecosystems, GreenSys 2011, Greece.
25. Fernandez M. D., S. Bonachela and F. Orgaz. 2010. Measurement and estimation of plastic greenhouse reference evapotranspirationin a Mediterranean climate. Irrig Sci. 28: 497-509.
26. Hagin J. and A. Lowengart 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. Fertilizer Research 43: 5-7, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
27. Juld, R. 1982. Bag culture Amer. Veg. Grower. 30: 40-42.
28. Mills, H.A. and J.B. Jones. 1996. Plant Analysis Handbook II Micro Macro Publishing, Inc.U.S.A. p.362-363.
29. Nelson, D. W. and L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p.539-579. In: A. L. Page, H. Miller and D. R. Keeney (eds.). Methods of Soil Analysis. Part 2. Academic Press, Inc., New York.
30. Patricia I. 1999. Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops Workshop. Dapoli, Maharashtra, India.
31. 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.
32. Valantin, M., C. Gary, B. E. Vaissière, and J. S. Frossard. 1999. Effect of fruit load on partitioning of dry matter and energy in Cantaloupe (Cucumis melo L.). Ann. Bot 84: 173-181.

Comparison to the Farming Benefits of Two Irrigation Modes - Timer and Adaptive on Protected Substrate Melon Cultivation[1]

Ling-Hsi Chen[2] and Chen-Yang Tai[2]

ABSTRACT

This study was aimed to use environment sensing technique to trigger irrigation adaptively and dynamically with energy-saving operation, and analysis farming benefits of protected soilless melon cultivation. Compared both automatic irrigation trigger modes of traditional timer and adaptive in irrigation water amount, operation times, hydropower resource consumption, plant physiology, leaf nutrient and fruit characteristics of melon. The results showed that less irrigation water amount and applied fertilizers were used by adaptive trigger, therefore the production cost can be reduced. Obviously, melon cultivation is more suitable for friendly farming purposes in a reasonable and dynamic timely supply of water and nutrients. Irrigation times of adaptive mode were 13 times less than timer mode, average save 1.5 l/m^2 of water per day during the recorded 22 days period. The timer mode is fertigation 2 times and watering 1 times for three different weather conditions on sunny, cloudy and rainy days. But, the adaptive mode is fertigation 2 times and watering 1 times for sunny day, fertigation 2 times that save 33% water for cloudy day, fertigation 1 times only that save 66% water for rainy day. Therefore, the adaptive mode change the amount of irrigation water dynamically and smartly depend on the weather. The distribution of volumetric water content data of substrate in each field showed that they were maintained within an appropriate stable range except for the rising peak of irrigation during the daytime. The melon leaves in leaf length, leaf width, petiole length, stem diameter and internode length of both timer and adaptive trigger modes were statistically not significant, thus the elements absorption of leaf was not affected by both timer and adaptive trigger modes.

Key words: irrigation, melon, substrate culture, timer, adaptive

---

[1] Contribution No. 0953 from Taichung DARES, COA.
[2] Associate Researcher, Taichung DARES, COA.