

單幫浦文氏管肥灌裝置之流量輸出性能評估¹

陳令錫²

摘 要

單一離心幫浦構成的文氏管養液注入單元比雙幫浦構造簡單、成本較低；離心式幫浦在輸送灌溉水過程中的水壓，經過文氏管產生壓力差，構成養液注入功能，本研究目的為評估此架構下的養液注入性能。試驗結果顯示養液桶水位高度會影響養液輸出量，差異高達0.6 L/min，比三公升定量試驗之誤差值0.12 L/min為高。注入量穩定性試驗結果，各養液桶在1.0 L/min到3.0 L/min之間呈線性上升趨勢，表示此規格的文氏管養液注入單元在1.0~3.0 L/min範圍內各養液桶之輸出穩定性高，而且文氏管式養液注入單元之流量輸出誤差百分比小於4.5%，因此，該單幫浦文氏管式養液注入架構可以用於農業灌溉之養液調配應用，而操作使用上需注意選用底面積大高度差小的養液桶，減少養液桶水位高度對養液注入性能之影響。

關鍵詞：文氏管、養液、注入、肥灌

前 言

本世紀全球面對幾項關鍵問題，包括環境惡化、天然資源減少、人口增加與糧食不足等^(1,7,8,9,10)，其牽涉到的層面相當廣泛。由於未來人口不斷的增加已經是事實，因此，糧食需求量也相對的需要提高^(1,10)。自從我國加入WTO後，國內市場面臨巨幅轉變，必須發展成為具國際市場競爭力的農糧產業。隨著大環境轉變，我國農業面臨勞力不足之嚴重問題，若欲提升產業競爭力，必須導入整合自動化與資訊化之生物生產技術，以降低人力需求，提升營運管理效率，穩定產能，增進產品品質，提高農產品的附加價值。

國內在面對人力老化與不足日趨嚴重，農業生態保育與資源利用的要求，及國外進口等多重壓力下，經由多方面努力在機械與自動化上已有了相當的成果^(2,4)。生產技術改進成功的關鍵點在於省工機械化及自動化技術的發展，以達降低成本、減少人力及提高品質增強競爭力。政府曾經積極推動農業自動化計劃，提升國內農業的產銷體質，發展重點為生產栽培管理自動化^(2,4)、生產環境監管自動化、收穫後處理自動化等發展連貫性作業系統，達到省工及穩定產能與品質的目的；農業機械之研發對於農業自動化舉足輕重，農業機械產業相較於其他機械產業來說，雖無高成長率或高產值，但因屬基礎民生工業所需，故無論景氣如何波動，

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0903 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場副研究員。

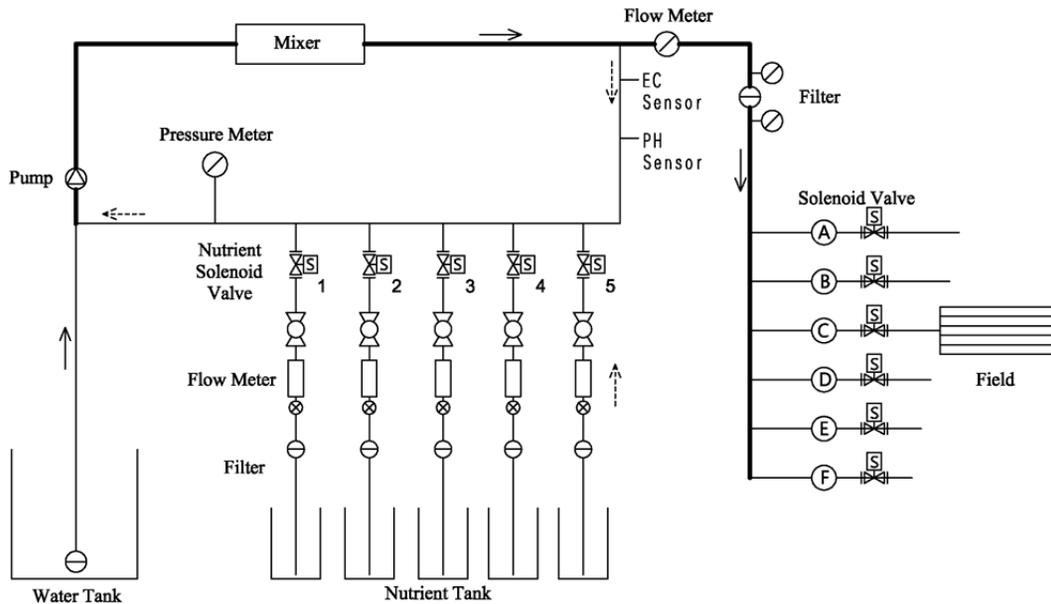
仍可穩定成長。儘管目前國內已有以電腦系統控制環境溼度、溫度及日照之成功案例，亦有灌溉調控系統之引進與研發，但迄今為止，肥灌系統之研發仍有待更多投入^(3,4,5)。

肥灌(Fertigation)為現今世界各農業先進國家廣泛採行的省工高效率農耕技術^(3,4,5,6,11,12,13,14,16,17)，此技術將灌溉與施肥結合，利用滴灌或微噴灌系統，在灌溉的同時將液態肥料以特定比例加入灌溉水，使其成為水肥液，同時進行灌溉與施肥的複合作業^(3,4)。肥灌概念結合自動化控制系統，可精確控制灌水量、肥料施用量與灌溉施肥的時間⁽¹⁴⁾，除提高產量與品質外，還可達到節省灌溉施肥人力、減少肥料與水資源之使用量及減低環境污染的效果⁽¹³⁾。文氏管式肥灌機具有雙幫浦與單幫浦之區別，單一離心式幫浦構成的文氏管式養液注入單元構成的肥灌主機具有構造簡單、成本較低的優點，離心式幫浦在輸送灌溉水的過程中產生的水壓差經過文氏管式產生養液注入功能，本研究在了解此架構下的養液注入性能。

材料與方法

一、材料

- (一)文氏管式養液注入單元：由文氏管、3/8"電磁閥、面積式流量計、止逆閥與球閥等各5只組成養液注入單元，AC220V 3HP 2"口徑離心式軸流幫浦、130網目碟片式過濾器、機械式水表與管路連結組成灌溉水輸送單元，6只2"電磁閥作為田區灌溉開關，灌溉水由一只300公升大水桶盛裝，循環方式為經由養液注入單元、灌溉水輸送單元調配好養液混合均勻後經由2"電磁閥送至指定田區(試驗機則流回大水桶)。
- (二)文氏管規格：文氏管之進口直徑12 mm，長度38 mm；養液入口喉管直徑為8.3 mm；出口直徑13.8 mm，長度65.2 mm。
- (三)流量計：5只Seametics S系列低流量計，口徑3/8"，塑膠本體耐壓10 bar，耐溫70℃，電源24VDC，3芯電線脈波輸出。1只2" Flow X3流量計，1只2"機械式水表。
- (四)主幫浦為AC220V 3HP 2"口徑離心式軸流幫浦，入口連接水源與過濾器、出口連接水表與田區電磁閥，中間旁通並排連接5只文氏管的養液注入單元。文氏管式養液注入單元的連接方式為進口連接到主泵出口之三通支管，注液管連接到20公升水桶，其間裝置3/8"流量計，一只水桶配合一支文氏管及一台磅秤，文氏管的出口連接到泵入口之三通接頭，組成並聯式養液注入迴路。注液口設置球閥調整注入量。
- (五)PLC控制系統：由國產台達電子公司可程式控制器(PLC)、類比輸出入模組、數位輸出入模組、人機介面、電磁接觸器與繼電器等構成，人機介面規劃數值顯示、參數設定與運轉測試功能頁面。具有網路介面與PC連線收集運轉資料。
- (六)磅秤：5只15 kg電子式磅秤，5只20公升水桶，每只水桶以3/8"透明塑膠水管接到文氏管注入口。長條桌一張調整水桶高度分別為0 m、0.75 m和1.5 m。



圖一、單幫浦文氏管式養液注入系統簡圖

Fig. 1. The sketch of single pump venturi fertigation device

二、方法

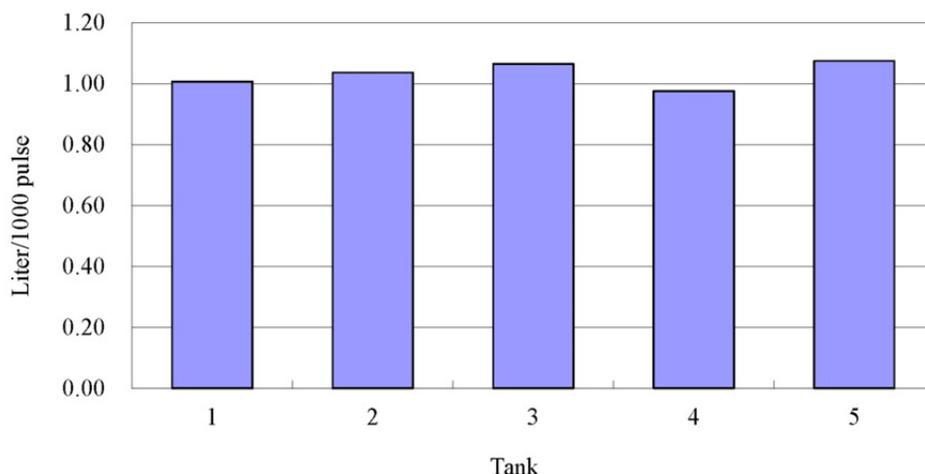
- (一)流量計校正試驗：將養液注入水管分別接到5只20公升水桶，選擇養液控制系統之「流量計調整校正」功能畫面，設定5組文氏管注入脈波數為1,000 pulse，按下測試鍵，系統開始作業，流量計擷取1,000 pulse後系統停止，讀取磅秤數值之差值即為實際養液注入量⁽⁵⁾，將此數值填入「實際值」位置，系統自動算出「顯示值L/min值」及「pulse/L」，重複試驗3次。
- (二)最大注入量試驗：養液注入口球閥開到最大，啟動系統運轉約1分鐘排除管路空氣，水桶裝水約15公升置於磅秤上，記錄磅秤讀值，控制系統手動功能設定連續運轉1min，運轉期間記錄主管及文氏管出口端之壓力值，記錄運轉後磅秤讀值⁽⁵⁾，如此為一處理，每處理三重複。此試驗分別針對水桶與磅秤置於地面0 m、0.75 m及1.5 m高處進行試驗，比較水位高度對注入量的影響。同時目視觀察與記錄浮球流量計數值，比較不同高度之實測流量與目視浮球流量之誤差。
- (三)三公升定量試驗：養液注入口球閥調整到面積式流量計之浮球顯示約每分鐘3公升，啟動系統運轉約1分鐘排除管路空氣，水桶裝水約15公升置於磅秤上，記錄磅秤讀值，控制系統手動功能設定連續運轉1 min，運轉期間記錄主管及文氏管出口端之壓力值，記錄運轉後磅秤讀值⁽⁵⁾，如此為一處理，每處理三重複。此試驗水桶與磅秤置於桌面進行試驗。

(四)注入量穩定性試驗：將養液注入水管接回大水桶，啟動系統運轉，目視透明面積式流量計，調整文氏管注入口球閥，使得流量計浮球之流量為3 L/min。設定養液自動控制系統之注入量分別為，田區A每桶養液輸出量均為1 L/min，田區B每桶養液輸出量1.5 L/min，田區C每桶養液輸出量2.0 L/min，田區D每桶養液輸出量2.5 L/min，田區E每桶養液輸出量3.0 L/min，田區F每桶養液輸出量3.5 L/min，共試驗3天，每天操作9次。本項試驗自變數為養液輸出量設定值，因變數為實測值。運用校正後的流量計、網路介面與PC連線自動記錄試驗運轉資料。

結果與討論

流量計校正試驗

此試驗之目的為校正養液迴路的流量計輸出1,000脈波時，利用磅秤實測養液迴路輸出的液體重量，試驗結果由人機介面填入PLC控制系統，獲得測量每分鐘養液流量公升數之依據。實測結果如圖二所示，校正數值在0.97至1.07 liter/1,000pulse之間。流量計經校正後進行下述各項試驗之流量數據收集。



圖二、流量計校正 1,000 脈波之檢測流量為 0.97 至 1.07 liter

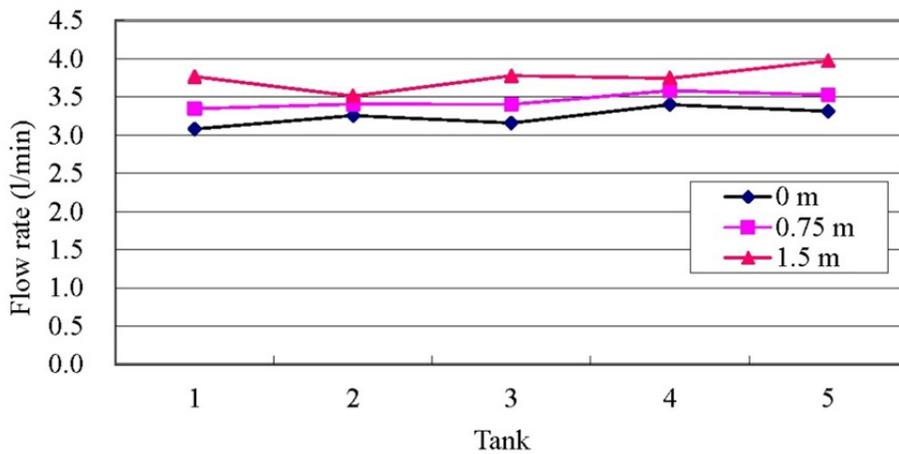
Fig. 2. The flow volume were 0.97 to 1.07 liter detected by flow meters with 1000 pulses

最大注入量試驗

此試驗之目的為了解在此單一離心式幫浦構成的文氏管式養液注入系統之最大養液注入性能與養液桶水位高度對養液注入性能之影響，比較目視浮球流量與實際流量之差異。試驗結果如圖三，顯示養液桶水位1.5 m高時之養液輸出流量約大於3.5 L/min；養液桶水位0 m高時之養液輸出流量約在3至3.5 L/min之間。5只養液桶之間受水位高度之影響存在差異，圖中

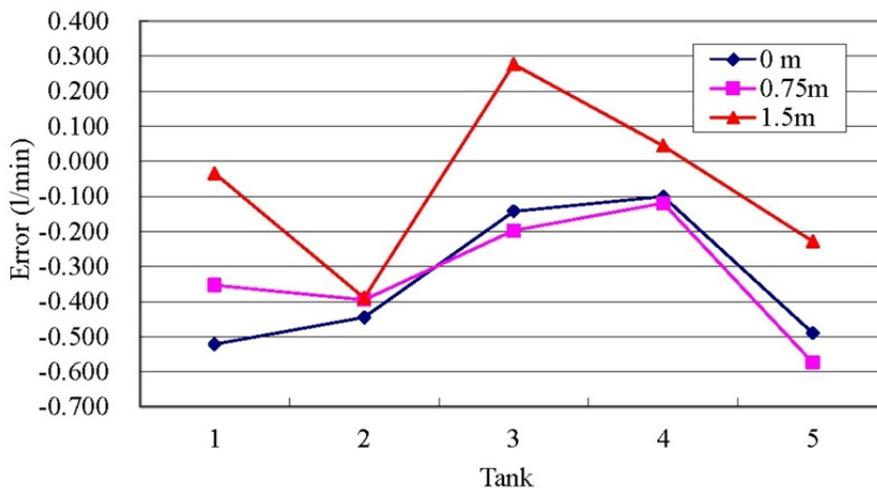
顯示第二及第四桶之流量數值分布較集中，表示其注入性能較為穩定，受水位高度之影響較少；第一、三與五桶之最大差異(水位1.5 m與0 m)均大於0.6 L/min以上，第一桶更高達0.68 L/min。因此，養液桶水位高度會影響養液輸出量，差異高達0.6 L/min，操作使用上需注意選用底面積大高度差小的養液桶，減少養液桶水位高度對養液注入性能之影響。圖三養液桶3種水位高度對養液注入性能影響之結果與陳等⁽⁵⁾之試驗結果相似，因為試驗器材為同一組直列並排文氏管注入器。

圖四顯示養液桶3種水位高度之電子秤實測流量與目視浮球流量之誤差，負值表示電子秤實測流量小於目視浮球流量，須注意目視浮球流量比實際流量高的問題。



圖三、養液桶3種水位高度對養液注入性能之影響

Fig. 3. The effect of 3 water levels of stock solution on the nutrient injection rates



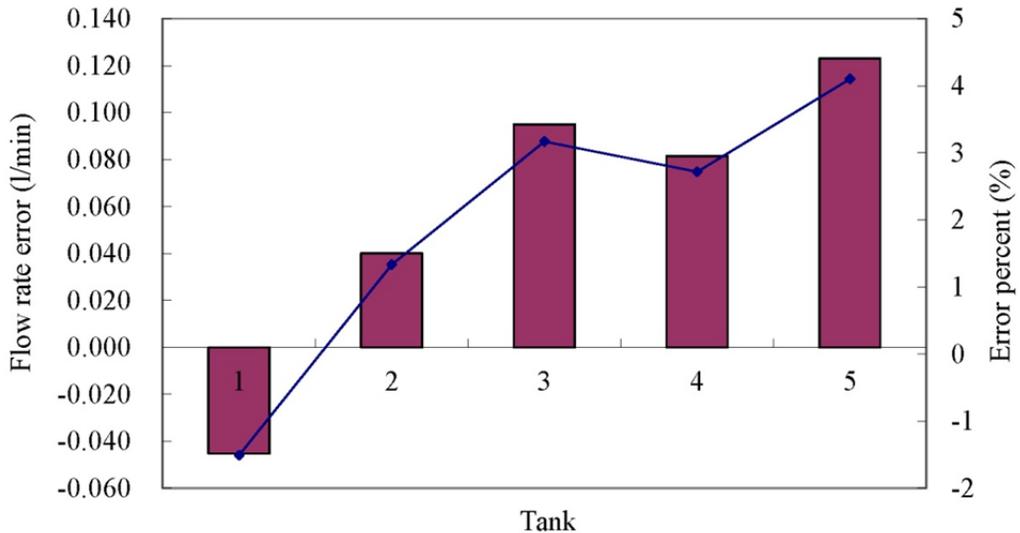
圖四、養液桶3種水位高度之電子秤實測流量與目視浮球流量之誤差

Fig. 4. The flow rate errors between electronic balance measurements and visual float scales

三公升定量試驗

此試驗之目的為了解在此單一離心式幫浦構成的文氏管式養液注入單元各養液之輸出穩定性，試驗結果如圖五所示，在設定每分鐘3公升養液輸出條件下，第一至第四養液桶之輸出誤差均在0.1 L/min以內，第五桶則為0.12 L/min，誤差百分比在4.5%以內。此誤差百分比可作為農機性能測定標準之參考。

此三公升定量試驗之誤差值0.12 L/min小於上述養液桶水位高度影響養液輸出量之誤差值0.6 L/min，表明文氏管式養液注入單元之流量輸出誤差小於養液桶水位高度對養液注入性能之誤差，文氏管式養液注入單元之流量輸出性能可以用於農業灌溉之養液調配上應用，其誤差小於養液桶水位高度對養液輸出之影響。

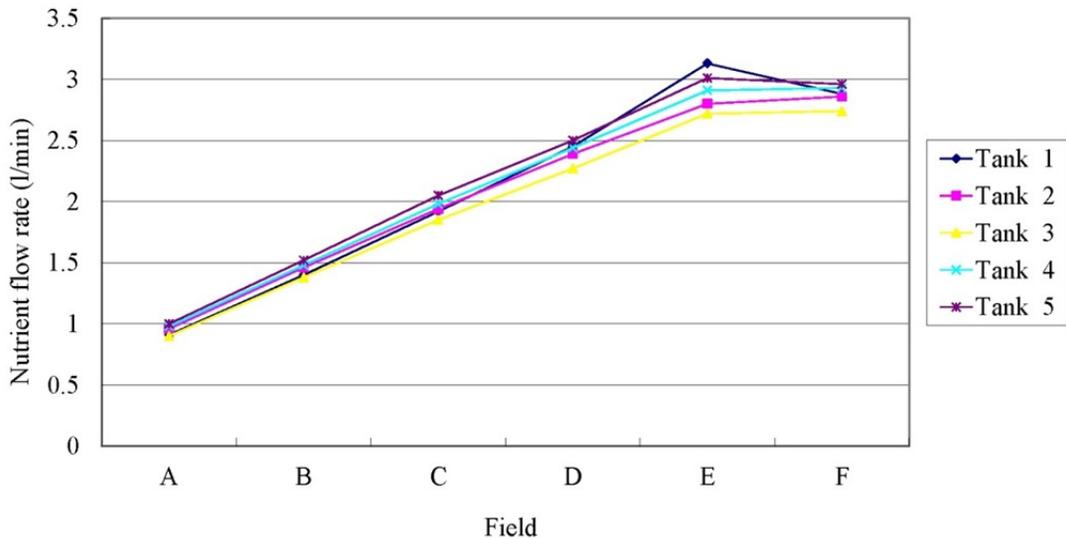


圖五、三公升定量試驗之養液輸出量誤差百分比在 4.5%以內
Fig. 5. The nutrient output error percentages were lower than 4.5%

注入量穩定性試驗

目視透明面積式流量計，調整文氏管注入口球閥，使得每桶養液之流量計浮球之流量為3.0 L/min。設定養液自動控制系統之注入量分別為田區A每桶養液輸出量均為1.0 L/min，田區B每桶養液輸出量1.5 L/min，田區C每桶養液輸出量2.0 L/min，田區D每桶養液輸出量2.5 L/min，田區E每桶養液輸出量3.0 L/min，田區F每桶養液輸出量3.5 L/min，共試驗3天，每天操作9次。在田區電磁閥全開狀況下，主管路流量約288 L/min。

注入量穩定性試驗結果，各養液桶在1.0 L/min到3.0 L/min之間呈現線性上升趨勢，但是3.5 L/min之輸出結果顯示不穩定。表示文氏管式養液注入單元在1.0~3.0 L/min範圍內各養液桶之輸出穩定性高，可以在此範圍內做養液灌溉之應用。



圖六、養液注入量在 1.0 到 3.0 L/min 間穩定上升

Fig. 6. The stability of nutrient injection rates were linearly increased between 1.0 L/min to 3.0 L/min

結 論

流量計校正試驗之校正數值在0.97至1.07 liter/1,000pulse之間，性能堪稱穩定。單一離心式幫浦構成的文氏管式養液注入單元之最大養液注入性能試驗結果，顯示養液桶水位高度會影響養液輸出量，差異高達0.6 L/min，比三公升定量試驗之誤差值0.12 L/min為高。而且，注入量穩定性試驗結果各養液桶在1.0 L/min到3.0 L/min之間呈現線性上升趨勢，但是3.5 L/min之輸出結果顯示不穩定，表示此規格的文氏管養液注入單元在1.0~3.0 L/min範圍內各養液桶之輸出穩定性高，而且文氏管式養液注入單元之流量輸出誤差百分比小於4.5%，因此，該單幫浦文氏管式養液注入架構可以用於農業灌溉之養液調配應用，而操作使用上需注意選用底面積大高度差小的養液桶，減少養液桶水位高度對養液注入性能之影響。

參考文獻

1. 台灣環境資訊中心 2008 <http://e-info.org.tw/node/27327>。
2. 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>。
3. 郭彥彪、刘兰生、张承林 2007 設施灌溉技術 第一版 化學工業出版社 北京。
4. 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 p.143-144 台灣大學生物產業機電工程學系。

5. 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。
6. 陳令錫、張金元 2015 研習蔬果作物嫁接苗生產技術及參加GreenSys 2015國際研討會 公務出國報告C10401796_1。
7. 陳雲蘭 2008 百年來台灣氣候的變化 科學發展 424: 6-11。
8. 陳正達 2008 明天過後氣候會如何 科學發展 424: 18-27。
9. 許晃雄 2008 氣候變遷的衝擊 科學發展 424: 5。
10. 蕭政宗 2007 乾旱 科學發展 416: 64-70。
11. 鍾瑞永、許涵鈞 2014 臺荷合作－導入節能型溫室於設施蔬果生產之應用 公務出國報告 C10300507_45633。
12. 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.
13. Hagin, J. and A. Lowengart. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer Research* 43: 5-7, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
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.
15. Prenger, J. J., P. P. Ling, R. C. Hansen and H. M. Keener. 2005. Plant response-based irrigation control system in a greenhouse: system evaluation. *Transactions of the ASAE*. Vol. 48(3): 1175-1183.
16. Silber, A., G. Xu, I. Levkovitch, S. Soriano, A. Bilu and R. Wallach. 2003. High fertigation frequency: the effects on uptake of nutrients, water and plant growth. *Plant and Soil* 253: 467-477, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
17. Zhang, M., A. K. Alva, Y. C. Li and D. V. Calvert. 1996. Root distribution of grapefruit trees under dry granular broadcast vs. fertigation method, *Plant and Soil* 183: 79-84, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.

The Performance Evaluation of the Nutrient Injective Rate of Single Pump Venturi Fertigation Device ¹

Ling-Hsi Chen ²

ABSTRACT

The single pump venturi fertigation device is simpler in the layout and cheaper than the double pumps system. The centrifugal pump builds water pressure in the pipeline during operation, and creates a pressure difference in the inlet and mixing port of venturi tube. Nutrients of stock solution tanks were injected into pipeline by this pressure difference. The aim of this study was to evaluate performance of the nutrient injective rate of the single pump venturi fertigation device. The nutrient injection rate was influenced by water level of stock solution, the flow rate difference reached 0.6 L/min, which was higher than the error of flow rate 0.12 L/min in the fixed 3 L/min injection test. The stability of nutrient injection rates were linearly increased between 1.0 L/min to 3.0 L/min, therefore, this type of venturi injection unit has flow rate error lower than 4.5% and high nutrients output stability in the range of 1.0 L/min to 3.0 L/min. Therefore, the single pump venturi fertigation device can be used to deliver nutrients and water to the root zone. In practical use, the stock solution tank with bigger bottom area and small height difference can reduce the effect of water level on the nutrient injection rate.

Key words: venturi, nutrient, injection, fertigation

¹ Contribution No. 0903 from Taichung DARES, COA.

² Associate researcher of Taichung DARES, COA.