

直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能研究¹

陳令錫、田雲生、何榮祥²

摘 要

肥灌系統的主要功能是將調配好的高濃度養液經過適當輸出量控制，讓適量的養液與灌溉水稀釋混合後輸送到作物根部區域，提供作物各階段生長所需，減少肥料與水資源浪費，具有節能減碳的功能。文氏管注入器的特性是沒有驅動元件，具有故障率低與不耗電的優點，其流量輸出重現性不錯，5組文氏管注入器之試驗數據變化呈現穩定且集中的結果，誤差約±3%；養液輸出量隨養液桶水位高度升高而增加，因此水位高度對吸入量有決定性的影響，而且1.5 m與0.0 m之輸出差值高達0.65 l/min，誤差為20%，因此建議養液桶底面積越大越好，減少水位高度對輸出量的影響；實測值比浮球面積式流量計之設定值為小，誤差百分比由0.26%到8%不等，此誤差值遠小於養液桶之水位誤差，電子式流量計之測值經過校正試驗，重現性很好，可據以了解養液實際輸出量。養液桶水位高度0.0 m時養液實際輸出量約3.18至3.52 l/min，因此，養液輸出設定值以小於3 l/min為佳，此資料可配合主管路流量作為調配肥料稀釋比例之依據。整體性能顯示文氏管注入器確實可用於養液灌溉系統。

關鍵字：文氏管注入器、肥灌、水位、養液。

前 言

挪威諾貝爾委員會將2007年諾貝爾和平獎頒給聯合國跨政府氣候變遷專家小組(IPCC)，及同樣為氣候變遷付出貢獻，致力於宣傳其環保意識的美國前副總統高爾。頒發諾貝爾和平獎給IPCC和高爾，是根據保護未來全球氣候，對過程和決策有敏銳專注的貢獻，藉此得以降低對人類生命安全造成的威脅。大範圍的氣候變遷有可能改變並威脅到大部分人類的生存環境。另外，也有可能引發大規模的遷徙，抑或地球資源的爭奪，該委員會不僅強調全球暖化對世界和平造成的威脅提出警訊表示，在氣候變遷超出人為可控制的範圍前，我們必須立即採取行動⁽¹²⁾。氣候變遷與生活在地球上的人們息息相關，氣候變遷、溫室效應、冰山融解、海平面上升、大雪、豪雨、乾旱等天災需要我們重視與共同落實減碳，避免繼續惡化或延緩發生，持續暖化將會影響臺灣的氣候、生態環境、公共衛生、水資源與經濟^(4,5,7)。

¹ 行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第 0737 號。

² 行政院農業委員會臺中區農業改良場助理研究員、副研究員、研究員。

灌溉技術隨農業發展過程從原始時代的刀具農作，放火墾田及依靠雨水灌溉；進化到傳統農業利用農器具的犁具、鋤頭、鐮刀、碾米機具等提升耕種及採後作業效率，及蓄引灌溉用水以穩定生產⁽²⁾；目前的現代農業從播種到收穫機械化與溫室省工自動化管理，運用地面加壓灌溉提高產量與品質。氣候變遷造成氣象乾旱、農業乾旱、水文乾旱及早澇不均之極端現象，嚴重衝擊社會國家安定、經濟民生發展與基本的生存環境⁽¹³⁾，同時，糧食不足造成的飢荒是引發社會動亂的主因之一，古代文明均沿著各地河川水源發展，農業生產與灌溉水源之豐欠密不可分。農業技術先進國家的灌溉用水占全國總用水高達70%⁽¹⁾，我國98年水旱田合計耕地面積為815,462 ha⁽⁹⁾，農田水利會灌溉排水受益地面積為383,165 ha，灌溉排水受益地面積占水旱田合計耕地面積47%⁽¹⁰⁾，農業灌溉面積擴大的結果是需要繼續開發新水源，而水資源的過度開發衍生水量分配與環境惡化等問題⁽¹⁾。

根據經濟部水利署97年水利統計資料，公務統計報表之水資源供需統計資料顯示，臺灣地區總供水量17,978百萬立方公尺，其中農業灌溉用水11,212百萬立方公尺，占總供水量72%，生活用水占總供水量19%，工業用水占總供水量9%⁽¹¹⁾，農業灌溉用水若要減量，除品種改良研究耐旱品種之外，亦必須重視節水灌溉技術之開發、研究與推廣運用。

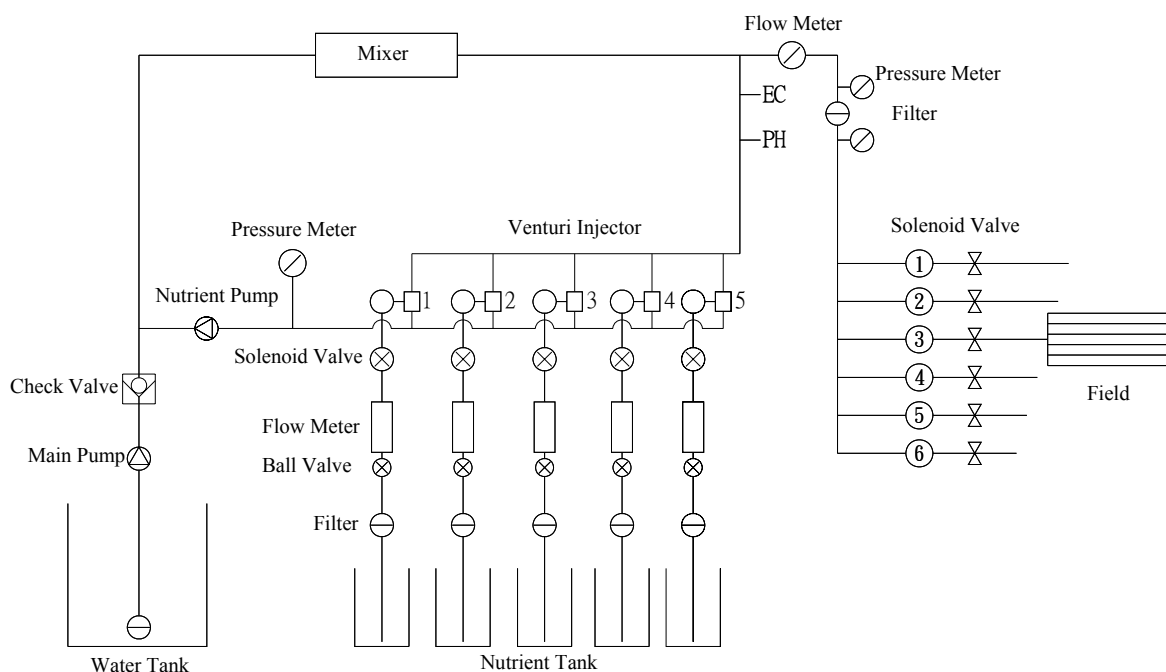
灌溉方法分為淹灌、噴灌、微噴灌、滴灌與地下滴灌(SDI)^(2,14,15)，農業灌溉及過量施肥會導致營養素污染地下水與地表水。普遍採用的淹灌，水的使用效率低，1/3到1/2的灌溉水流失，帶走可觀的養分，整合施肥與灌溉技術的肥灌系統之水資源利用率較高，約從70%到95%，水和養分的流失可以獲得較佳控制，具有減低肥料對環境污染之效果。肥灌可以藉由滴灌頻繁的供給作物養分，根據作物之需要管理灌溉水量，準確且均勻的施用養分到有效根聚集的潮濕區域，調整肥料比例與濃度促成作物產量與品質最大的提升，以及根部下方最小的滲流損失^(15,16)。1994年以色列需要灌溉的園藝作物有90%通過灌溉進行施肥，其溫室種植全部採用微灌，以滴灌為主，其溫室滴灌的最高水分利用率可達95%^(1,15)。SDI比噴灌少24%的滲漏損失，相同產量條件下，SDI之用水量較少，定時器時間灌溉的土壤水分變動較大⁽¹⁴⁾。養液注入器的種類有很多種，包括注入式膜片幫浦^(3,6)、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，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是可行方式，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。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⁽⁸⁾。

肥灌系統栽培胡瓜之年灌水量僅為傳統淹灌方式的43.4%，節省灌溉水達56%。每日少量多次自動肥灌6至8次，調查胡瓜產量、果實性狀、葉片性狀等均在水準之上，顯示自動施肥灌溉系統能夠充分發揮省工、省水、省肥之效益⁽⁶⁾，但是養液隔膜幫浦負責輸送養液注入主管路的方式具有耗電、驅動器及馬達可能故障之缺點，因此本研究改用目前國外普遍採用的文氏管注入器取代隔膜幫浦，文氏管注入器沒有驅動元件，具有故障率低與不耗電的優點。本研究試驗直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能及試驗結果作為調配肥料之依據。

材料與方法

材料

文氏管注入器5組直列並排，每組包含管徑9.5 mm電子式流量計、球閥、透明浮球面積式流量計、附止逆功能電磁閥及3口式文氏管注入器及連接管路由令等。主管路幫浦為220V，2.2 kw，管徑50 mm之離心式幫浦；養液幫浦為義大利製CALPEDA 220V，2.2 kw，9 m³/h，管徑30 mm之多段直立式幫浦，管路配置如圖一，另有養液桶、水桶、過濾器、管徑50 mm電子式流量計、指針式壓力表、電子式壓力計、50 mm管徑田區電磁閥等其他材料。直列並排第1組最靠近多段直立式幫浦，第5組最靠近主管路三通入口。



圖一、直列並排 5 組文氏管注入器之肥灌系統配置圖。

Fig. 1. The scheme of 5 sets Venturi injectors for line-type of fertigation system.

方法

一、流量計校正試驗：本試驗之目的為試驗輪葉電子式流量計之性能及獲取各組文氏管注入管路每分鐘之流量資料，作為開啓與關閉養液電磁閥之基準，控制養液之輸出量。主管路流量計選用Digiflow FlowX3流速0.15~8 m/s；養液流量計選用SPX-038-01-13流量範圍0.27~18.9 l/min。將養液吸入水管分別接到5只20 l養液桶，養液桶置於15 kg電子式磅秤上，試驗前後記錄磅秤數值，其差值即為該次養液吸入量。選擇養液控制系統之「流量計調整校正」功能畫面，設定5組文氏管吸入脈波數為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吸入

量，將此數值填入「實際量」位置，系統自動算出新的「pulse/L」值取代原先的舊值；再次按下「測試」鍵，系統運轉後「顯示值」欄位顯示該「pulse/L」下之流量應為1.0 l/min，重複試驗3次。本試驗養液入口之球閥開度保持最大。

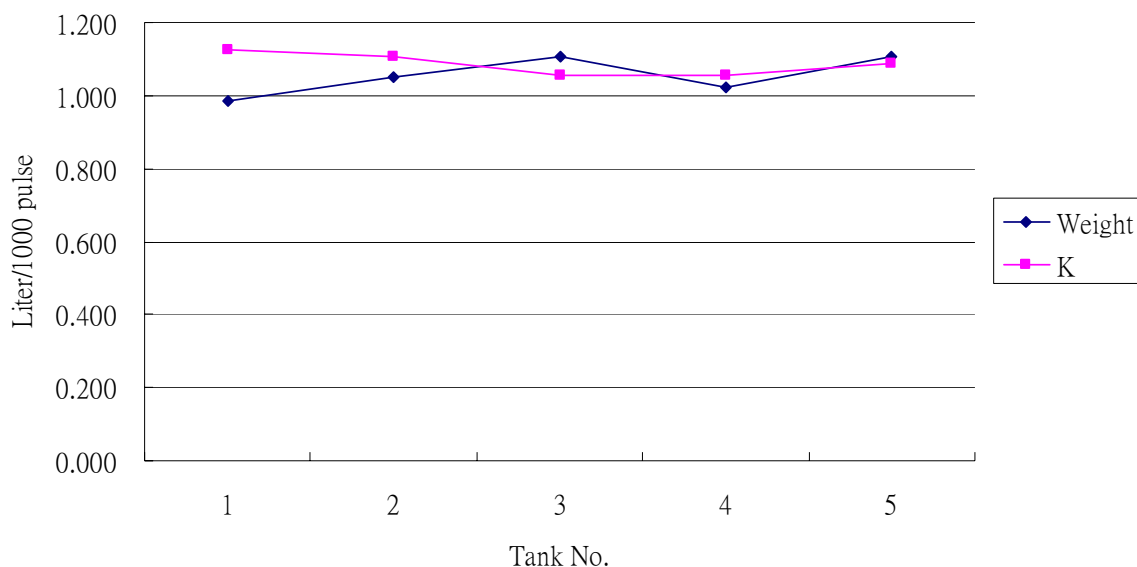
二、最大吸入量試驗：養液吸入口球閥開到最大，啟動系統運轉約1分鐘排除管路空氣，水桶裝水約15 l置於磅秤上，記錄磅秤讀值，控制系統手動同動功能設定連續運轉1 min，運轉期間記錄主管及文氏管出口端之壓力值，記錄運轉後磅秤讀值，如此為一處理，每處理三重複。此試驗分別針對水桶與磅秤置於地面0.0 m、0.75 m及1.5 m高處進行試驗，比較水位高度對吸入量的影響。

三、3 l定量試驗：養液吸入口球閥開到浮球顯示3 l/min，啟動系統運轉約1分鐘排除管路空氣，水桶裝水約15 l置於磅秤上，記錄磅秤讀值，控制系統選擇設備測試功能，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，如此為一處理，每處理三重複。此試驗水桶與磅秤置於0.75 m高度之桌面進行試驗。

結果與討論

流量計校正試驗

試驗結果如圖二所示，每個電子式流量計之性能均不同，累計1,000 pulse各電子式流量計之流量各為0.98、1.05、1.10、1.02、1.11 l，標準差小於0.004。圖中K值為原廠提供之數值，與本試驗相比較，顯示該K值資料之參考價值不高，還是以實際管路組裝後之實測值為準。

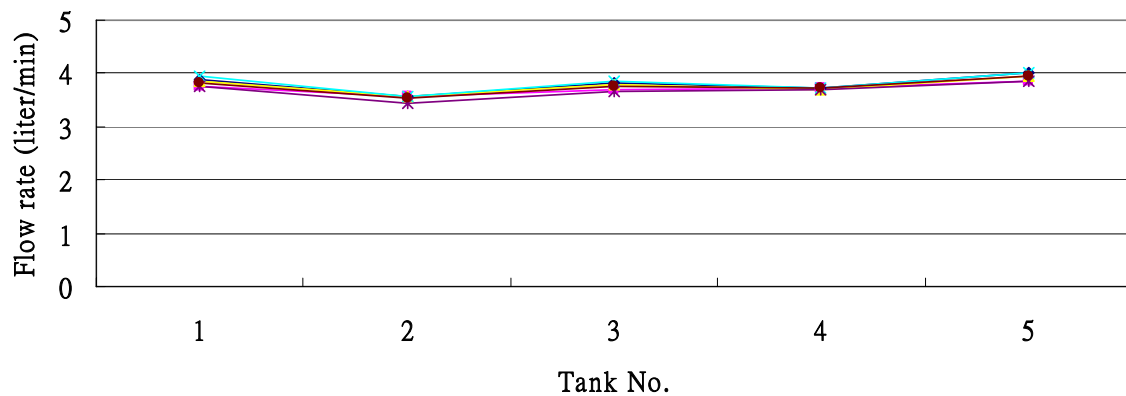


圖二、5 只電子式流量計之檢測性能與 K 值之關係。

Fig. 2. The performance of 5 sets electronic-type flow meter and their K value.

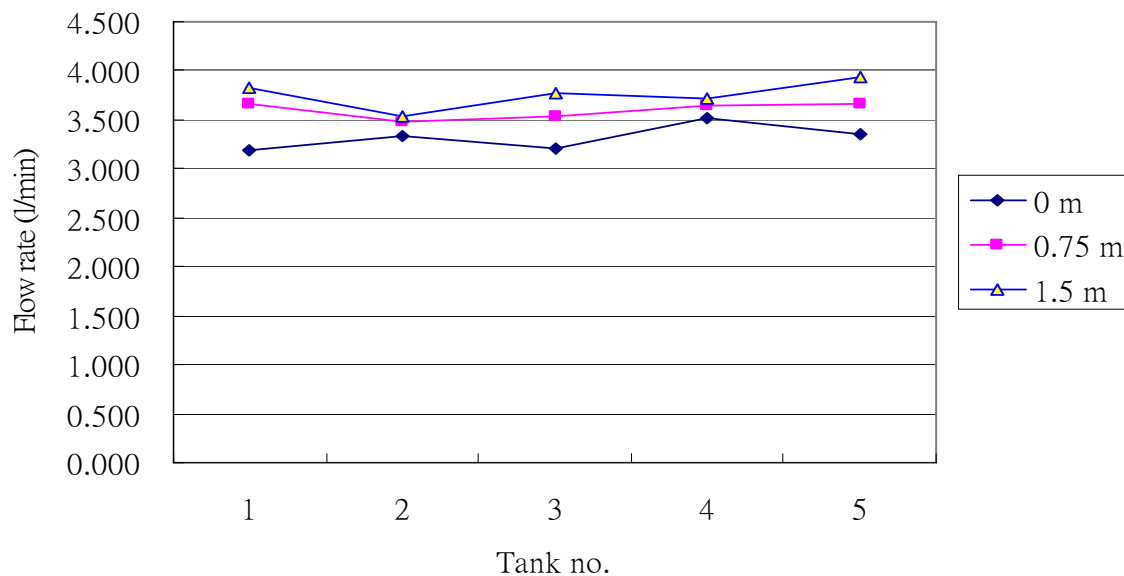
最大吸入量試驗

此試驗分別針對水桶與磅秤置於地面0.0 m、0.75 m及1.5 m高處進行試驗，圖三為1.5 m之試驗結果，標準差從第1桶至第5桶分別為0.081、0.061、0.082、0.012及0.084，顯示文氏管注入器之流量輸出重現性不錯，5組試驗數據變化穩定且集中，誤差約 $\pm 3\%$ 。圖四為3種養液桶水位高度呈現之最大養液輸出量變化，此種管路配置之最大養液輸出量在養液桶水位高度0.0 m時約3.18至3.52 l/min，1.5 m時最大養液輸出量可達3.53至3.94 l/min，輸出量隨養液桶水位高度升高而增加，顯示水位高度對吸入量有決定性的影響，而且1.5 m與0.0 m之輸出差值高達0.65 l/min，如圖五所示，若以0.0 m高度之流量為基準，誤差高達20%，因此建議養液桶底面積越大越好，減少水位高度對輸出量的影響。



圖三、養液桶高度 1.5 m 之最大養液輸出量穩定且集中，誤差約 $\pm 3\%$ 。

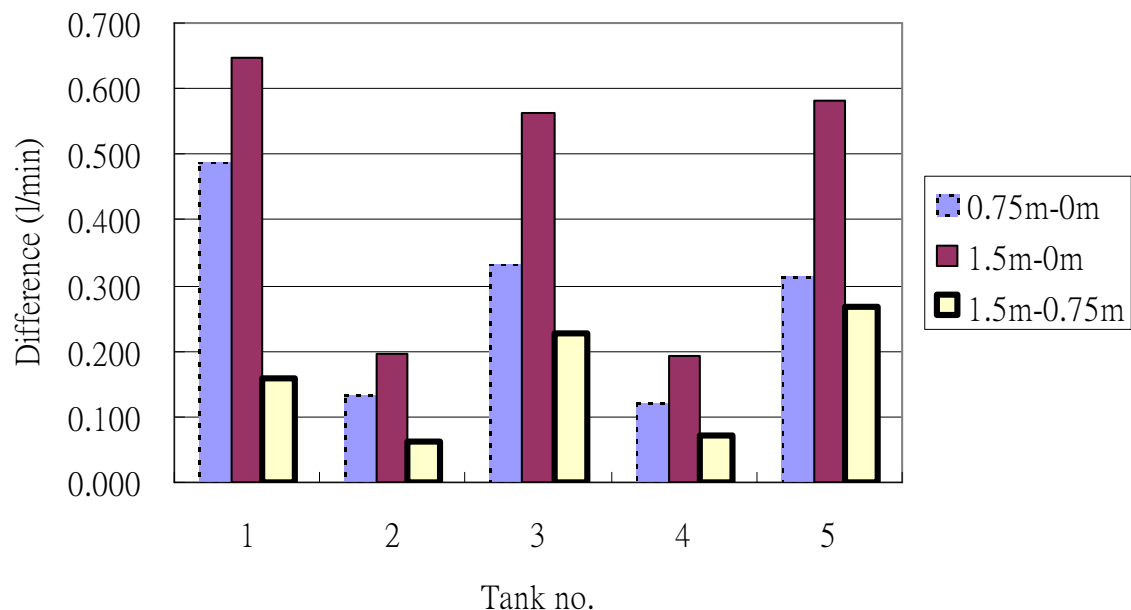
Fig. 3. The maximum flow rate of 5 nutrient tanks put on 1.5 m high above ground, the error is about 3%.



圖四、3 種養液桶高度呈現之最大養液輸出量變化。

Fig. 4. The maximum flow rate of 5 nutrient tanks put on 3 different heights above ground.

圖四顯示第2組與第4組流量較集中，受水位高度影響較小，其他三組受到較大的影響，推測原因可能壓力差值不同所致，若要細察原因，需要在各組文氏管吸入端裝設真空壓力計，進一步觀察壓力變化情形。



圖五、3種養液桶高度之間對養液輸出量的差值。

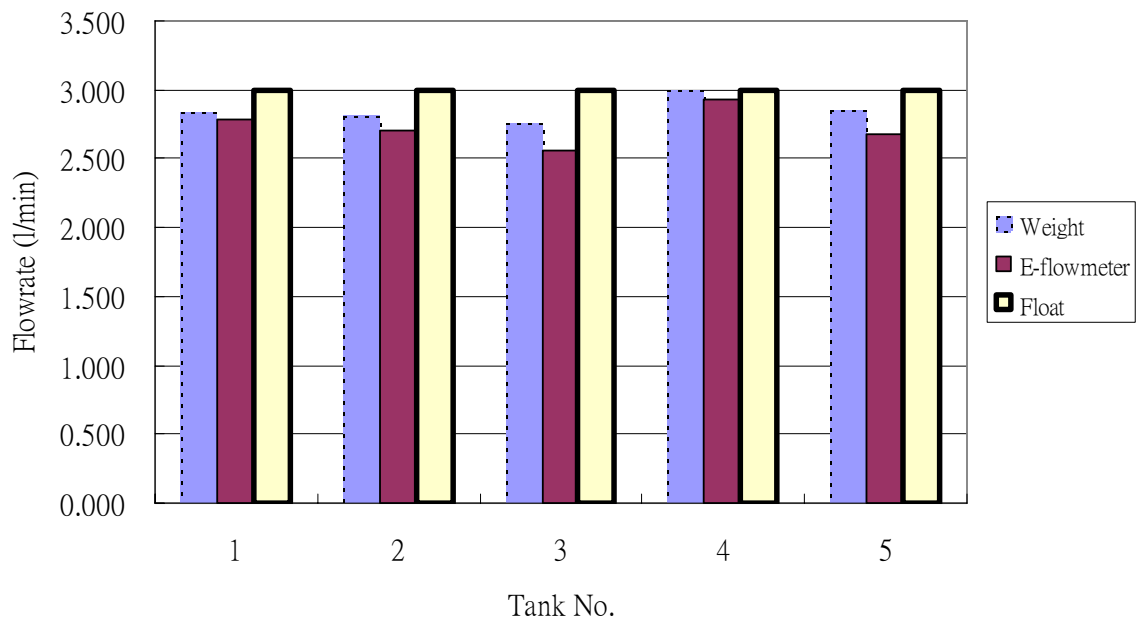
Fig. 5. The flow rate difference of 5 nutrient tanks put on 3 different heights above ground.

三公升定量試驗

電子式流量計價格高，除試驗用途之外，一般不會裝在養液系統上，以降低成本，因此，操作者只看得到浮球面積式流量計的浮球升降來了解流量變化情形，實務上操作者可以根據目視浮球面積式流量計的浮球高度，調整各養液管路之輸出量，因此本試驗欲了解浮球面積式流量計與實際輸出量之差異。各組養液吸入口球閥開到浮球顯示3 l/min，控制系統選擇設備測試功能，設定連續運轉1 min，記錄運轉前後之磅秤讀值。此試驗水桶與磅秤置於0.75 m高度桌面進行試驗。經由本試驗取得實際輸出量為磅秤之差值，另比較實際值與電子式流量計擷取數值之差異，以了解流量輸出性能及藉由浮球面積式流量計與電子式流量計顯示之流量與實測值之差異。

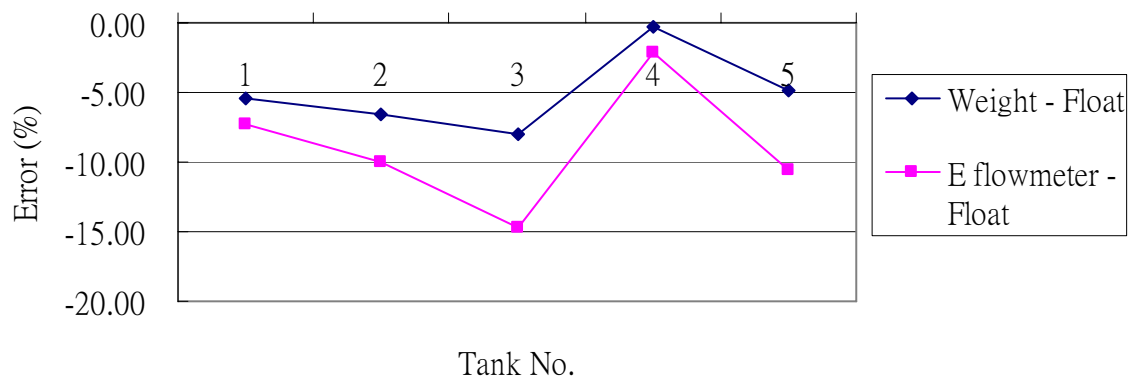
試驗結果如圖六所示，圖中浮球面積式流量計為設定值，試驗前後磅秤之差值為實測值，電子式流量計測值直接顯示在控制系統面板上。根據試驗數據顯示實測值標準差從第1桶至第5桶分別為0.019、0.021、0.011、0.064及0.027；電子式流量計測值標準差從第1桶至第5桶分別為0.033、0.068、0.088、0.019及0.077，試驗資料之穩定性高。因此，本試驗之管路架構性能穩定，試驗之重現性很好，圖六所示5組養液注入器以第4組表現最好，實測值最接近設定值，其他各組的輸出量比浮球面積式流量計之設定值為小，顯示實際輸出量比浮球面

積式流量計之顯示值為小，誤差百分比如圖七所示，由0.26%到8%不等。圖七另一曲線為各組電子式流量計測值與浮球面積式流量計之設定值之差，其差值更大，但是電子式流量計測值小於實測值，因此比較實測值與電子式流量計測值之誤差百分比如圖八所示，誤差百分比介於2%到7.23%之間，表示實際流量輸出大於電子式流量計測值2%到7.23%，而且電子式流量計之測值經過校正試驗，重現性很好，可據以了解養液實際輸出量。



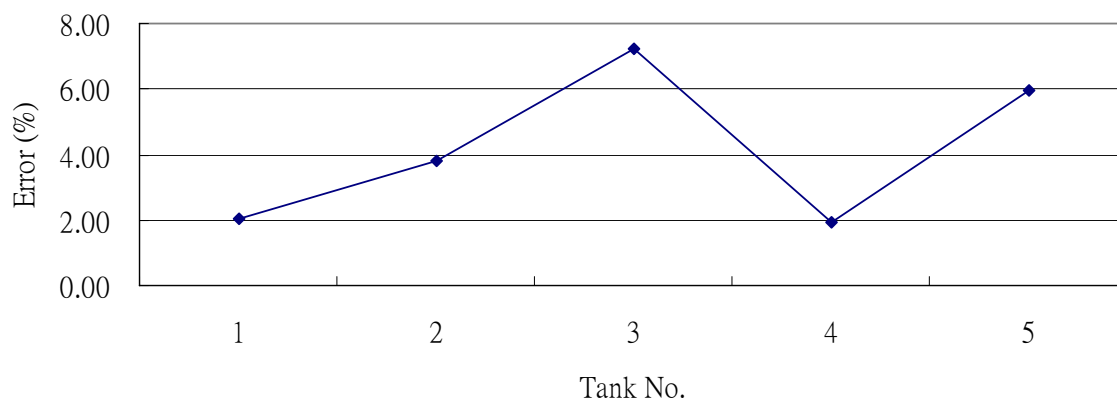
圖六、5 組養液注入器之設定值、實測值與電子式流量計擷取數值之差異。

Fig. 6. The set value, actual value (weight) and data by electronic-type flow meter of 5 nutrient tanks.



圖七、5 組養液注入器之實測值與電子式流量計測值與設定值之誤差百分比。

Fig. 7. The error percentages of both actual value (weight) and data by electronic-type flow meter with set value of 5 nutrient tanks.



圖八、實測值與電子式流量計測值之誤差百分比。

Fig. 8. The error percentages of actual value (weight) with data by electronic-type flow meter of 5 nutrient tanks.

經由以上試驗分析，整體性能表明文氏管注入器確實可用於養液灌溉系統。本試驗之管路架構性能穩定，試驗之重現性很好，5組養液注入器以第4組表現最好，實測值最接近設定值，其他各組的輸出量比浮球面積式流量計之設定值為小，的誤差百分比由0.26%到8%不等，此誤差值遠小於養液桶水位高度差異造成的輸出量誤差20%，而且電子式流量計之測值經過校正試驗，重現性很好，可據以了解養液實際輸出量。

另外根據前期試驗，養液注入式膜片幫浦之養液輸出性能標準差最大值為0.43，平均輸出流量為2.05 l/min，誤差百分比約21%，顯示養液注入幫浦之輸出量差異大，但是觀察田間作物生長的表現，該養液注入幫浦之性能已經足夠運用在農業介質耕與土耕之生產⁽⁶⁾。本試驗文氏管注入器之標準差最大值為0.064，誤差百分比為8%，性能遠較注入式膜片幫浦佳。

本研究試驗養液輸出性能，養液桶水位高度0.0 m時約3.18至3.52 l/min，養液桶水位高度1.5 m時最大養液輸出量可達3.53至3.94 l/min，因此，養液輸出設定值以小於3 l/min為佳，此資料可配合主管路流量作為調配肥料之依據。整體性能顯示文氏管注入器確實可用於養液灌溉系統。

結 論

機械構造自然存在誤差，管路誤差自是難免，誤差大小與成本相關，耗費較高成本可獲得越精密的結果，實務上，依據用途的不同，選擇適當精密程度的設備是為明智之舉。

文氏管注入器取代隔膜幫浦，沒有驅動元件，具有故障率低與不耗電的優點，其流量輸出重現性不錯，5組試驗數據變化穩定且集中，誤差約±3%。

3種養液桶水位高度之輸出量隨養液桶水位高度升高而增加，水位高度對吸入量有決定性的影響，而且1.5 m與0.0 m之輸出差值高達0.65 l/min，誤差高達20%，因此建議養液桶底面積越大越好，減少水位高度對輸出量的影響。

第2組與第4組流量較集中，受水位高度影響較小，其他三組受到較大的影響，推測原因可能是壓力差值不同所致，若要細察原因，需要在各組文氏管吸入端裝設真空壓力計，進一步試驗觀察壓力變化情形。

根據試驗數據顯示本試驗之管路架構性能穩定，試驗之重現性很好，5組養液注入器以第4組表現最好，實測值最接近設定值，其他各組的輸出量比浮球面積式流量計之設定值為小，顯示實際輸出量比浮球面積式流量計之顯示值為小，誤差百分比由0.26%到8%不等，此誤差值遠小於養液桶之水位誤差，整體性能表明文氏管注入器確實可用於養液灌溉系統。

比較實測值與電子式流量計測值之誤差百分比介於2%到7.23%之間，表示實際流量輸出大於電子式流量計測值2%到7.23%，而且電子式流量計之測值經過校正試驗，重現性很好，可據以了解養液實際輸出量。

根據前期試驗，養液注入式膜片幫浦之養液輸出性能標準差最大值為0.43，平均輸出流量為2.05 l/min，誤差百分比約21%。本試驗文氏管注入器之標準差最大值為0.064，誤差百分比為8%，性能遠較注入式膜片幫浦為佳。

本研究試驗養液輸出性能，養液桶水位高度0.0 m時約3.18至3.52 l/min，因此，養液輸出設定值以小於3 l/min為佳，此資料可配合主管路流量作為調配肥料之依據。

誌 謝

本試驗承蒙場裡長官及農機研究室同仁協助試驗之進行，產學合作廠商隆笙農業公司協助試驗機臺組裝及改裝，謹致謝忱。

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. 陳令錫 2007 設施養液自動輸送控制系統之開發研究 p.143~144 中華農業機械學會二〇〇七年度農機與生機論文發表會論文摘要集 臺灣大學生物產業機電工程學系。
4. 陳雲蘭 2008 百年來臺灣氣候的變化 科學發展 424: 6-11。
5. 陳正達 2008 明天過後氣候會如何 科學發展 424: 18-27。
6. 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。
7. 許晃雄 2008 氣候變遷的衝擊 科學發展 424: 5。

8. 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>。
9. 農委會98年農業統計年報 2010 耕地面積
http://www.coa.gov.tw/htmlarea_file/web_articles/coa/13299/098179.xls。
10. 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。
11. 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>。
12. 臺灣環境資訊中心 2008 <http://e-info.org.tw/node/27327>。
13. 蕭政宗 2007 乾旱 科學發展 416: 64-70。
14. 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.
15. Hagin, J. and Anat Lowengart. 1996. Fertigation for minimizing environmental pollution by fertilizers. *Fertilizer Research* 43: 5-7, Kluwer Academic Publishers. Netherlands.
16. Patricia, I. 1999. Recent Techniques in Fertigation of Horticultural Crops in Israel. *Recent Trends in Nutrition Management in Horticultural Crops Workshop*. Dapoli, Maharashtra, India.

A Study on the Flow Rate Performance of Line-type Parallel Arrangement Venturi Injector of Fertigation System¹

Ling-Hsi Chen, Yun-Sheng Tien and Jung-Hsiang Ho²

ABSTRACT

The fertigation system can manipulate the output volume of 5 sets Venturi type nutrient injectors that inject nutrients into the main pipe directly. The nutrients can be mixed during the path by the following filter and pipe lines before being dripped /micro-sprayed into the plant root area. Venturi injector does not have driving part so that can reduce malfunction and power consumption. The testing data reveal that Venturi injectors have good reproducibility and low fluctuation, the error percentage is about $\pm 3\%$. Nutrient solution outputs depend on the level inside the nutrient tank, the height of the nutrient solution level has decisive impact to the nutrient output, and the error percentage is about 20%. So, the bottom area of nutrient tank is as bigger as possible to reduce the level impact on output. Nutrient actual output value is smaller than float-type flow meter of the setting value and bigger than detected value of electronic-type flow meter, the error percentage is about 0.26% to 8%. This error percentage is lower than the affect of nutrient tank level. The electronic-type flow meter also has good reproducibility after calibration, and can be used to monitoring the flow rate. The actual flow rate is about 3.18 to 3.52 l/min when nutrient tank put on the ground, thus the setting value of nutrient flow rate should < 3 l/min. This value may refer to the main pipe line flow rate to get proper nutrient content. Overall performance of the Venturi injector shows that actually can be used to support the fertigation system consists of saving labors, fertilizer and water, energy and reducing carbon emissions.

Key words: Venturi injector, fertigation, level, nutrient.

¹ Contribution No. 0737 from Taichung DARES, COA.

² Assistant Researcher, Associate Researcher and Researcher of Taichung DARES, respectively.