

滴水灌溉法 (Drip Irrigation)

原著：D. Goldberg and M. Shmueli

原刊：Transaction of the ASAE 1970 Vol. 31 No. 1

蔡明華¹

鄧東茂譯²

一、引言

近年來以色列有一種新的灌溉方式名滴水灌溉。這種方法是將水由壓力導管輸送至間距頗近之方格配置出口，而在出口處水流出之壓力近乎於零。

滴灌法有許多優點，特別是在屬於貧瘠鹽分地，含鹽分灌溉水及蒸發率高之乾旱農業地區，尤能表現其特性。其優點為：(a) 顯著增加作物產量。通常比噴灌高二倍或以上。(b) 因鹽害不能實施一般灌溉之作物，亦能生長。(c) 縮短生長期，提早收穫。

本文包括系統技術之簡單說明，在以色列沙漠地區所做之幾次實驗結果摘要，以及討論涉及滴水灌溉之一些土壤現象。

二、系統組成之一般技術介紹

滴水灌溉系統包括：

1. 首部 (head)：連接給水水源到田區間之設備。包括濾淨器 (filters)、活門 (valves)、接頭 (couplings)、水錶 (water meter)、壓力計 (Pressure gage) 及液肥裝置 (fertilizer apparatus) (如圖 1)。

2. 導管 (Conducting pipes)：其適當之管徑視長度與流量而定。

3. 支管 (Distribution tubes)：其管徑通常為 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{3}{4}$ 吋，與導管垂直，支管之間相互平行。

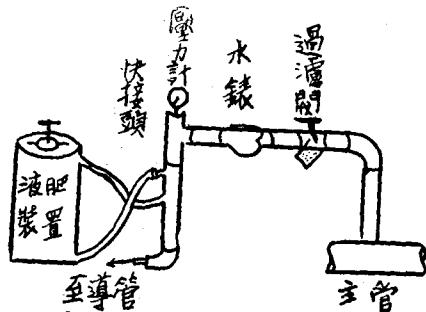


圖 1. 與水源連接之首部，包括過濾器、活門、接頭、水錶、壓力計和液肥裝置。

1. 水利局工程師 2. 臺大農工系研究生

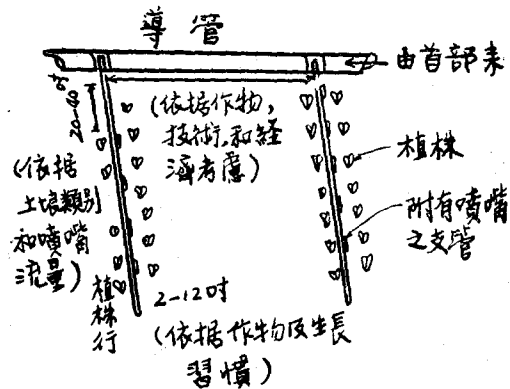


圖 2. 輸水導管及分佈支管網

4. 滴嘴 (Nozzles)：有許多型式，具有一小孔塞及降低壓力之裝置，因此水可以水滴形式離開系統。滴嘴之流量範圍通常在 0.4~2.2 每小時加侖。

5. 液肥裝置 (Fertilizer apparatus)：與首部連接在一起，約有全部流量之 $\frac{1}{2}$ ~ $\frac{1}{4}$ 通過該處，而稀釋肥料。

除了首部和液肥裝置外，其他各部均為塑膠製品。支管和噴嘴可安置在地表面上或埋在 2~4 吋深度之土層裡。

本系統特別適於行栽作物，每一附有滴嘴的支管可灌溉一單行或數密植行。

三、系統之詳細說明與運用

在多數試驗情況下認為， $\frac{1}{2}$ 吋支管下最適長度為 100~140 呎。滴嘴之間距視滴嘴流量及土壤類別而定。在砂質土壤到壤質砂土情形下，滴嘴之流量為 0.4 每小時加侖時，支管上之滴嘴間距以 20 吋所得結果最佳。

在一處葡萄園所做之試驗結果顯示：儘可能在每株葡萄下設一滴嘴，即 60 吋之間距。有一試驗區之流量為 2.2 每小時加侖，而另一地區為 7.7 每小時加侖。

支管之間距視作物和耕作條件（如耕耘、日照、收穫等）以及經濟條件（支管和滴嘴之成本與導管成

本之比較)等而定。通常為 4~6 呎。

在一年生作物，灌溉系統在播種整地後按置。系統之運用操作甚為簡單，僅對欲灌溉田區所需用水之多寡而施開關閘門之操作。近收成前，再把設備收集起來，便於下作之整地。

四、灌溉與施肥

在乾旱區要達到滴水灌溉之成效，至少有兩個主要決定因子：頻繁的（甚至每天的）灌溉和經常在灌溉水中補充氮肥。

許多作物需要每天灌溉，通常滴水灌溉之期距不超過三天。在作物生長盛期，每次灌溉水均混有肥料一起施灌。

系統之普通操作，主要技術為處理滴嘴之阻塞或填塞。滴嘴之構造及其操作之目的，是要使與灌溉水及肥料等無關之物質不能進入。欲達到此目的，在系統之首部及液肥裝置之後各裝設一適當之過濾器。滴嘴之構造及其按裝（緊靠地表或置於地上），務必保證植物之根不進入而阻塞孔眼。本系統是基於在地表上以滴水灌溉之原理組成的。

五、作物之位置

在砂土至壤質砂土地，作物離噴嘴之最適距離為 2~12 吋。如距離遠些，可能使作物生長緩慢，產量減少。通常作物不適宜種植在地表可見濕潤區之外。在粗質地土壤，此濕潤地區可達離滴嘴 20 吋之處。

六、在受保護下作物栽培之用法

滴水灌溉方法特別適於在塑膠棚或類似構造保護下之作物。因通常僅在棚道打開時才可灌溉，否則恐對作物有所損害。

七、田間試驗之結果

試驗地區之灌水、土壤、和氣候條件：所有試驗都在以色列之阿拉法(Arava)沙漠進行。此地區之農業均以越季作物為主 (off-Season Crop production)。主要生產季節在八月至翌年四月，此期間之氣候資料列如表一，年平均雨量在 0.8~1.6 吋，有效雨量幾近於零。

灌溉水含有硫酸鹽，根據美國 Riverside 驗試所之分類列為 C_4S_2 ，電導度為 3000 微姆歐/公分（在 25°C），氯化物濃度約為 600 毫克/升，有時高些，硫酸鹽濃度約為 700 毫克/升。

試驗區土壤之質地為砂土至壤質砂土，田間含水量以容積百分比表示為 12~15%，飽和土壤之 pH 值為 7.7~8.2， C_4CO_3 含量為 10~18%，陽離子交換容量之範圍為每 100 克土壤含 2.5~5.5 毫克當量 (Meq)，吸溼係數為 0.5~3%（重量百分比）。在正常灌溉條件之下，飽和土壤溶液之鹽類含量在 5000~25000 微姆歐/公分。

實驗 1

噴洒、畦溝和滴水三種灌溉方法之效果比較試驗作物為香瓜，生長期間自九月到十二月中旬。

三種灌溉方法比較試驗中，香瓜植株之生長曲線示如圖 3。滴水灌溉與其他二種方法顯出明顯的差異：如生長速率和全部植株生長較高。而且，滴灌區果實較噴灌區果實早熟二星期。而較畦溝區提早一星期。試驗之產量比較示如表 2。

表 1 試驗區之平均氣候資料 (南 Rava 沙漠)

月別	平均氣溫 °F		平均日 相對濕度 %	A 級蒸發皿 蒸發量 (吋/月)
	最低	最高		
8	73.0	102.7	30	18.90
9	67.5	98.1	53	15.45
10	63.3	91.9	57	11.94
11	56.5	82.9	68	8.34
12	45.5	74.5	62	6.33
1	44.8	68.0	61	5.98
2	43.5	71.0	51	6.93
3	49.1	77.0	43	10.22
4	57.9	87.3	38	13.10

表 2 試驗一之香瓜產量

灌溉方法	產量, 噸/畝		產量, 公斤/吋水	
	總量	出口品級	總量	出口品級
噴洒灌溉	9.52	5.18	95	55
畦溝灌溉	9.68	6.68	98	68
滴水灌溉	17.20	13.96	173	140

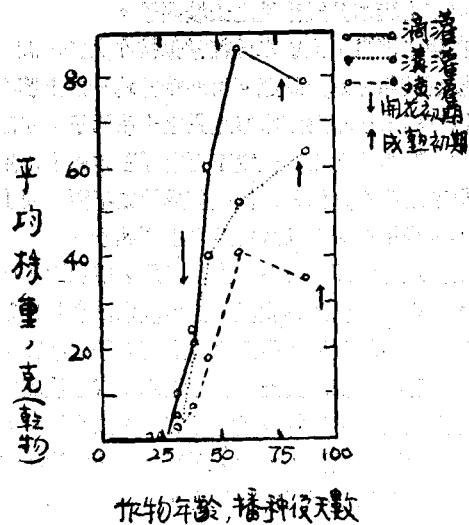


圖3. 實驗1 香瓜之生長曲線

實驗 2

對黃瓜之噴灌（該區常用之方法）與滴灌比較試驗。生長期自十一月至翌年二月。

以噴洒灌溉者沒有收成，植物之枝葉幾全被鹽分灼害，因此植株產不出果實來。相反地，在滴水灌溉區，則每畝有 15.76 噸之黃瓜生產。

實驗 3

不同灌溉水質對噴灌及滴灌之比較試驗。試驗作物為蕃茄。生長期自十月至翌年五月。結果如表 3。

良好水質之電導度為 400 微歐姆/公分，氯鹽濃度為 60 毫克/升 (mg/l)。

當鹽分高於良好水質之灌水時，二灌溉方法間有很大的不同。滴水灌溉以含鹽分水所獲之產量幾與使用良好水質者相同。

表 3 在實驗 3 之蕃茄產量比較 (噸/畝)

灌溉方法	含鹽分水 (3000 micromhos/ cm)	不含鹽分水 (400 micromhos/ cm)
噴洒灌溉	15.72	20.80
滴水灌溉	25.96	26.68

實驗 4

以滴水灌溉方法，對各類作物，實施各不同灌溉頻度之試驗。試驗結果示如圖 4。

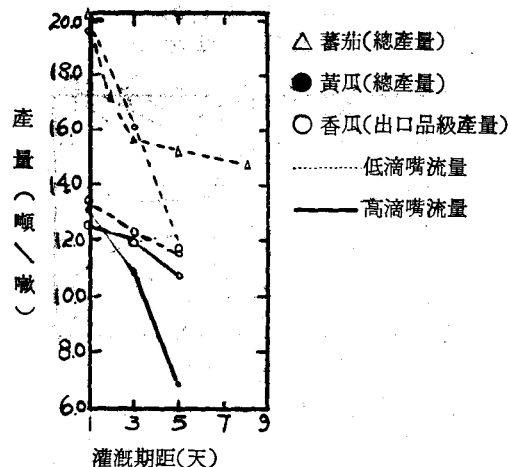


圖 4. 各類作物不同滴水灌溉期距對產量之影響比較

全部試驗之三種作物，當灌溉期距拉長時，均會發生減產。而最高產量者為由每日施灌溉處理區獲得，其滴嘴流量為 0.4~2.2 每小時加侖。

實驗 5

在使用滴水灌溉二年之葡萄園，實施鹽分度剖測。該園葡萄生長情形良好，而且其生長速率較使用漫灌之葡萄園高出 5 倍或 5 倍以上。實驗在新株結果前進行。

鹽分度剖測示如圖 5，這剖面是使用滴水灌溉條件之典型，可分為三個主要地帶：上部地帶，其鹽分度隨離滴嘴之距離增加，隨深度而減小。寬廣之中間地帶，其鹽分度較低。下部地帶，其鹽分度則隨深度及離滴嘴之距離而增加。

植物根系大多集中在中間地區，深入淋洗層。

在全部實驗中，並未發現有不良影響結果，因鹽分集聚於近地表，僅植物之下部莖與之接觸，根系本身却沒有與之接觸。

八、幾種有關滴水灌溉之土壤現象

在滴水灌溉中，僅部分表土被濕潤，但濕潤時間較長，農作物在這濕潤範圍，水分在土壤中水平運動之速率和離滴嘴各距離之土壤水分張力，是土壤類別及滴嘴流量之函數。而濕潤帶與滴嘴平行之最後寬度，為施灌量與蒸發散量關係及土壤類別之函數。將用以表示這些函數關係之水量致使水分運行情形，目前正進行試驗中。這些定量資料係按鹽分度、肥料、和通氣等條件而異——為決定水分運行規律性之主要因子

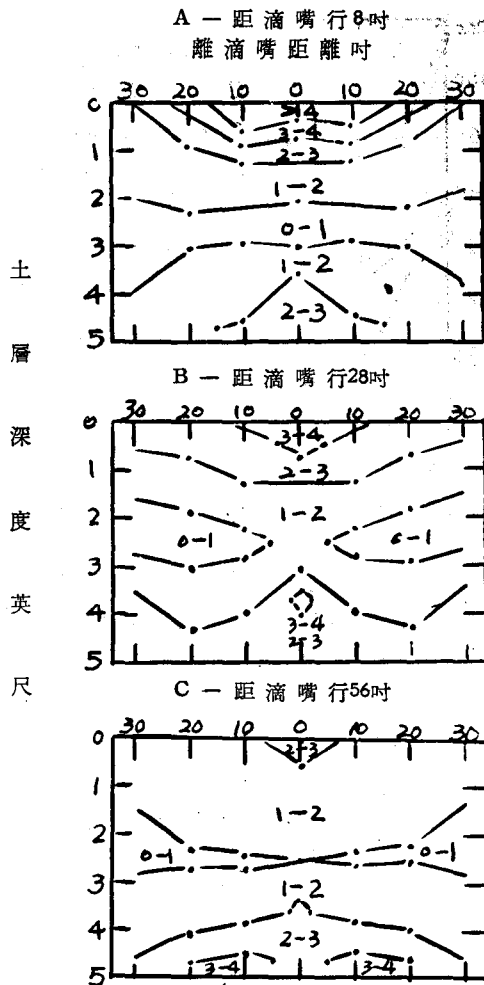


圖5. 土壤鹽分剖面，每歐/公分（在 25C 於 1:1 之土壤：水分）平行於新葡萄園之滴嘴行，滴水灌溉系統設立 1½ 年後取樣測定。滴嘴流量為 15.4 每小時加侖。

滴水灌溉系統之優點為：(a) 從生長之土壤因素觀點，建立理想的生長環境 (desirable growing conditions)。 (b) 延續理想的環境條件 (desirable conditions)。

當滴水灌溉以某種流量施灌時，可能發現在滴嘴鄰近之特殊地帶，其生長條件最適。此最適條件主要決定於土壤水分含量，其經常高於田間含水量 (Field Capacity)，但却小於土壤飽和含水量。

傳統的灌溉方法是以噴灑灌溉和畦溝灌溉為主。從植物根系層之觀點，有當灌溉時，從飽和含水量變到田間含水量很快；而從田間含水量變到下一次灌溉水分，其變化是緩慢的。後者之變化，在土壤水分張力方面有很寬之變化幅度。同時亦發生其他生長之影

響而決定土壤水分規律性之土壤因子。

在滴水灌溉，土壤水分經常保持在高於田間含水量或接近其值之水分狀態。可能維持均一之土壤水分狀態以及與水分相關而影響生長之土壤因子。在滴水灌溉中，對水分而言，土壤不再有「蓄水庫」作用，因為根系土壤水分消失之恢復幾為連續不斷。而土壤類別不再是用以決定灌溉期距之主要因子。

當傳統方法灌溉時由於生長作用之植物因子所產生之水分含量變化甚為廣泛，而用滴水灌溉是期望作物能產生更大的效果。從灌溉與土壤因子之觀點，這種情況之存在，在砂質土，鹽分灌水；或土壤肥力低的條件尤其明顯。就氣象觀點而言，當蒸發散量大時，此種情況更是廣泛。因此，看起來，滴水灌溉似乎甚適合於乾旱和沙漠條件之農業。

九、討 論

1. 貧瘠土壤（粗質地）因滴水灌溉是基於補充每日之水分消耗（或以非常頻繁的期距），土壤已不再為灌溉期間保持水分之因子。因此，貧瘠構造之土壤雖沒有良好構造土壤那樣好，但亦可表現頗佳之功能。是以實際上，土壤之作用僅為支持植物根及吸收灌溉水分之構造體。

2. 鹽分濃度高之水（不包括鹽分總量對生理學上有毒害之含鹽水分）由於幾乎連續灌溉引起自田間含水量至飽和之低土壤水分張力使水中鹽分滲透作用所引起的張力不足以激烈減低植物吸收水分的能力。相反地；在高鹽類濃度的水分及低土壤水分張力之條件下，比用低鹽類含量灌溉水而以傳統的灌溉方法會有較好的植物生長條件。後者之情況是由於在接近灌溉日期時在植物支根附近，土壤之有效鹽類濃度非常的高。

在兩次灌溉之間，不僅因減少土壤水分含量而需要灌溉，且鹽分之漸漸聚積亦需要灌溉情況在滴水灌溉中皆不存在，因為它是以同一鹽分標準之連續水分供應。

3. 滴水灌溉為對畦溝灌溉的改善：(a) 如用滴水法灌溉，畦溝內無水流動因此可省去坡度測量費用，且無流水的沖蝕問題。全部有關水流在畦溝中所發生的困難，均可消除。(b) 水分分佈均勻而準確。一般的困難是沿著畦溝之水分分佈不均，特別是在粗質地的土壤。滴水灌溉方法保證每一個滴嘴滴出非常適量的水分。因此可節省水分並可確定其均勻度。(c) 滴水灌溉在畦溝末端沒有剩餘的水。而在畦溝灌溉中當土壤

的入滲率減少時，會連續增加水分。

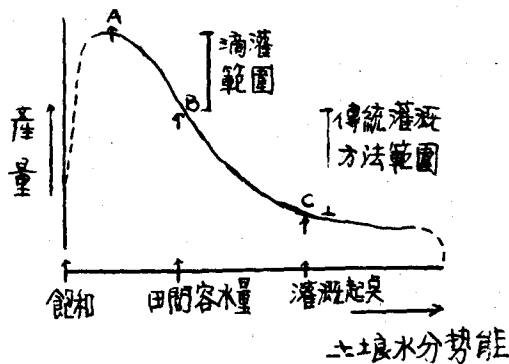


圖 6. 作物產量與土壤水分張力關係示意圖。

綜合以上之實驗結果及討論，我們可自圖 6 中明白地看出滴水灌溉的成就。在滴水灌溉方法中，土壤水分含量經常保持在 A 至 B 中，而其產量是最高的。反之，用傳統的方法灌溉其土壤水分是在 A 至 C，而大部分時間在 B 至 C 之範圍內，而其產量由圖顯示亦較低。

本文承臺大農工系教授施嘉昌老師指正，特表致謝。

中國農業工程學會六十一年度預算表

民國 61 年 1 月 日至民國 61 年 1 月 17 日

收 入		科 目	摘 要	科 目	支 出		
實收(元)	預算(元)				預算(元)	實支(元)	現金結存
	98,750.00	(60)年度移交	銀行長期存款及愛國公債				
	11,570.00	"	郵政局劃撥戶存單及現金				
	24,000.00	會 費	(61)年度團體會費				
	22,000.00	"	(61)年度普通會費				
	7,000.00	"	補收各年度會費				
	11,000.00	補 助 費	國家科學委員會及教育部補助學報出刊經費				
	30,000.00	服 務 費	委托代辦技術服務費				
	8,000.00	利 息	銀行長期存款及愛國公債利息				
	87,680.00	雜 收	廣告費及捐助				
			舉辦短期工程講習班	講 習 費	1,000.00		
			發行學報整編及校對費	校 對 費	1,200.00		
			邀請專家學術講演招待費	演 講 費	2,000.00		
			舉辦會員參加各地區工程觀摩津貼	觀 摩 費	2,000.00		
			辦事人員津貼及其他辦公費	辦 公 費	16,800.00		
			會 議 費	會 議 費	1,000.00		
			郵票印花稅票包裹郵資等費	郵 電 費	10,000.00		
			帳冊印章文具物品等費	文 具 費	1,500.00		
			劃撥儲金手續費	手 續 費	1,500.00		
			編印學報及會員通訊錄信封紙張等	印 刷 費	100,000.00		
			參加六六工程師節佈置會場等	展 覽 費	7,000.00		
			勞軍、晚賀禮品、司機工友獎金、臨時加班交通費、稿費、旅費等	旅 雜 費	30,000.00		
			長期存款及債券	存 款	126,000.00		
	300,000.00		合 計		300,000.00		