

砂地滴水灌溉之土壤水分運動 及分佈型態研究

Studies on Soil Moisture Movement and Distribution Patterns of Drip Irrigation in Sandy Soil

農復會水利工程組副工程師

蔡 明 華

Ming-Hua Tsai

ABSTRACT

In recent years a new method of water application-Drip Irrigation-has aroused considerable interest in Israel. This irrigation method has been introduced for experiment and demonstration at Chiting Sandy Soil Irrigation Experimental Station in Taiwan since 1971.

Function of soil moisture movement and distribution pattern consists of drip discharge and time. This paper presents some results obtained from field experiments in sandy soil on soil moisture distribution profile trickled with different drip discharge and time. From the results, gravity force is the most important factor affecting the soil water movement in sandy soil, because it has a lot of large pore space, so that the soil moisture movement in vertical direction is larger than in horizontal direction.

一、前 言

滴水灌溉 (Drip or Trickle Irrigation) 是最近幾年新發展之灌溉方法，目前在以色列、美國、澳洲等國家，已有大規模之應用。

所謂滴水灌溉方法，係先使灌溉水受壓由導水管輸送至適當距離排列之配水支管上配置之滴嘴 (Trickle Nozzle)，以相當慢之速率滴出，其滴嘴流量通常在 2-10/hr.，同時灌水流出滴嘴之壓力亦幾近於零。為達此目的，滴嘴通常係由特殊之構造組成，目前滴水灌溉系統所使用之管路及滴嘴均為 PE 塑膠製品。

滴水灌溉法有許多優於慣用灌溉方法 (如溝灌及噴灌) 之特性如下：

(1) 從土壤水分觀點而言：它能建立理想之生長條件 (desirable growing conditions)，同時能延續此條件，而此理想之生長條件即提供作物之最適土壤水分範圍。因其土壤水分含量可以控制經常保持在高於田間容水量 (Field Capacity) 而小於飽和含水量之範圍。據試驗結果顯示在此水分範圍，最適於作物生育，有最高之產量。為達到此作物最佳生育條件，其他慣用方法幾無法以少量之水及短暫期距實施灌溉，唯有滴灌可僅開關制水閥，即可由滴嘴滴出水滴，依毛細管作用擴散至作物根系範圍，而且經常保持。

(2) 從灌溉管理觀點而言：滴水灌溉法是針對畦溝灌溉 (Furrow Irrigation) 之一種有意義的改進。它似溝灌之帶狀灌溉，但無水在溝灌流動。因此關於

水流動在畦溝中所發生之困難，均可消除，如灌溉前不需水準測量及整地，亦無流水之沖蝕及末端逕流之損失。同時水分之分佈均勻而準確。滴水灌溉係將灌溉水滴於作物根系容易吸收之範圍，較其他灌溉方法如噴灌、溝灌、漫灌等，可節省可觀之水量約25~50%，故其適於灌溉水缺乏之乾旱地區。

(3)從植物水分生理觀點而言：對於使用含鹽分灌溉水或鹽分地之灌溉，在慣用方法中，由於灌溉前，在植物根羣附近，土壤有效鹽類濃度甚高，土壤水分張力亦甚高，在此條件下，鹽分滲透作用所引起之張力，將激烈減低植物吸收水分的能力。而滴灌因常連續灌溉，保持低土壤水分張力，而降低鹽分滲透作用所引起之張力，減少影響植物吸收水分之機能，使一般慣用灌溉方法難以施用者亦能從事生產。

(4)就土壤本身而言：土壤本身之作用不再是一蓄水庫 (Reservoir)，而僅為支持作物根系及供給吸收水分與養分之構造體，故對貧瘠構造 (Poor Structure) 之粗質地土壤亦能表現良好之功能。

(6)就作物栽培管理觀點而言：由於滴水灌溉系統之配水支管係塑膠製成，稍具軟性，能順應地形配置，不須整平。支管可置於地表上，亦可埋入5~10cm深之土內。在採用塑膠網覆蓋之隧道式或網室栽培，此類灌溉頗合適，亦可配合液肥施入，節省勞力。又滴嘴附近為濕潤外，大部份土壤仍維持乾旱狀態，雜草稀少。滴灌不易形成表面硬殼或地下硬盤，無須耕耘以增加土壤內氧氣流通。在施灌中，亦可同時進行田間噴藥，除草、疏花疏果，收穫等田間操作，不受阻碍，對於勞力之應用甚為有利。

由上述各觀點之特性說明，可知此種滴水灌溉方法特別適合於海岸砂丘地，含鹽分灌溉水區，山坡地及灌溉水缺乏之乾旱區等之灌溉。對於高價作物如花卉蔬菜、瓜果類等需要用水分控制品質之栽培，或利用覆蓋保護之集約栽培等，發展滴水灌溉方法頗有遠景。

臺灣對滴水灌溉方法之試驗與應用，於民國六十年七月，曾自以色列直接購入 0.2 公頃之滴水灌溉系統設備一組，現正於崎頂海岸砂丘地灌溉試驗站實地進行試驗研究。六十一年八月該站亦自行利用臺灣製造之塑膠材料設置一組，正從事於草莓滴水灌溉處理試驗。目前臺灣許多試驗機構，對於滴水灌溉之發展及運用甚感興趣，諒將有助於大規模應用之促成。

滴水灌溉之發展，在設備方面已有顯著之進步，惟對滴水灌溉有關之實際應用基本資料則甚感缺乏。

崎頂灌溉試驗站已完成砂地滴灌之適應性觀察試驗，為求進一步實際應用於設計及管理，對於有關滴水灌溉之土壤水分運動及分佈型態等基本資料，乃為首先而必須探求者。

二、研究目的

經由土壤水分觀測及土壤剖面切視方法，觀察研究滴水灌溉在砂地之土壤水分運動現象及分佈型態，並比較其與滴嘴流量之關係，以求獲得應用在砂地滴水灌溉所需之基本物理性資料，以求供作物滴水灌溉應用管理之參考。

三、理論及文獻研討

1.在滴水灌溉中，灌溉田區僅部份表土被濕潤，但濕潤時間較長，農作物即種植在這濕潤範圍內。當滴嘴以適當流量施灌時，可發現在滴嘴附近之特殊地帶，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，但却小於土壤飽和含水量。

2.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，是土壤別和滴嘴流量之函數，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。

3.按 Bordman 及 Colmann 之層次區分法，滴水灌溉之入滲現象，大部份應屬傳導層 (Transmission zone) 以上之水分運動。土壤水分之運動情形，屬二向度 (水平與垂直方向) 問題。

4.滴水灌溉之入滲現象與溝灌不同，後者之入滲係在有水頭作用之下，而前者之給水並非完全充分，亦即水供給未達入滲容量 (Infiltration capacity)。滴水灌溉之入滲量可以說即等於滴嘴流量，蓋滴嘴流量須不引起沖蝕逕流等問題。

5.滴水灌溉之垂直方向水分運動，除受擴散作用外，主要向受重力之影響。在砂土地區，大孔隙多，毛細管孔隙少，水流在砂土中受重力影響最為明顯，水流向下運動時先填滿大孔隙，而後向周圍擴散，故向下入滲速度及量均大。

6.滴水灌溉之水平方向水分運動，主要係土壤水分張力差異所引起之擴散及毛細管作用。故時間及土壤含水條件為影響濕潤端前進之主要因素。

7.Philip 以數值分析法 (Numerical analysis) 求解垂直濕潤端與時間之關係為

$$Z = \phi t^{1/2} + \lambda t$$

式中 Z 為垂直距離, ϕ, λ 為係數, t 為時間。同時 Hanson 亦導出水平濕潤端與時間之關係為

$$X = \phi t^{1/2} + a$$

式中 X 為水平距離, ϕ, a 為係數, t 為時間。霍雨時氏更建議以

$$X = at^b, \quad Z = ct^d$$

二式合併求得二向度之水分運動公式。式中 X, Z 為水平及垂直之距離, t 為時間, a, b, c, d 為係數。鄧東茂氏在其論文中, 利用風乾之砂土在實驗室試驗其滴水灌溉之入滲現象, 彼以橢圓方程式表示滴水灌溉浸潤體之形狀, 並認為砂土受重力之影響甚大, 故橢圓形中心之位置隨入滲時間有下移之現象 (圖 1)。而砂壤土受毛細管吸力影響較砂土顯著, 其中心固定保持在供水點 (Point Source) (如圖 2)。

彼旋轉橢圓方程式 (圖 3) 為

$$q = 3\ell/\text{hr.}$$

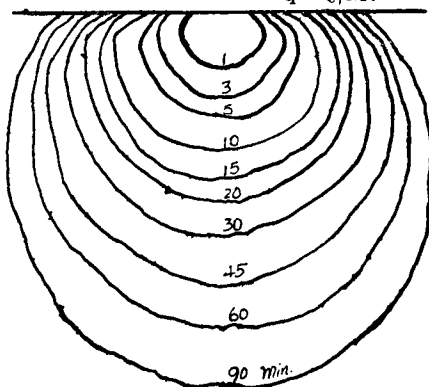


圖 1. 砂土滴水灌溉之土壤水分浸潤面圖形, 為成橢圓而其橢圓中心有隨入滲時間而下移之現象。

$$q = 1.8\ell/\text{hr.}$$

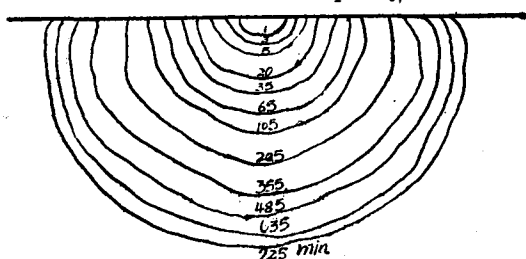


圖 2. 砂壤土滴水灌溉之土壤水分浸潤面圖形, 為成橢圓而其橢圓中心固定保持供水點。

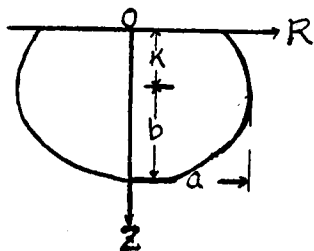


圖 3. 浸潤體側視圖

$$\frac{R^2}{a^2} + \frac{(Z-K)^2}{b^2} = 1 \quad R = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

並利用因次分析法, 求得浸潤體橢圓之特性如下:

$$a = c_1 t^2 g \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^\beta$$

$$b = c_2 t^2 g \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^\beta$$

$$K = c_3 t^2 g \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^\beta$$

式中: a : 橫軸

b : 縱軸

K : 土面與橢圓中心之距離

t : 入滲時間

Q : 流量

g : 重力加速度

並根據風乾砂土之試驗資料統計得試驗式如下

$$\frac{a}{t^2 g} = 0.958 \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^{0.328}$$

$$\frac{b}{t^2 g} = 0.399 \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^{0.315}$$

$$\frac{K}{t^2 g} = 0.222 \left(\frac{Q}{t^5 g^3} \right)^{0.310}$$

8. Brandt 氏等認為滴水灌溉入滲現象係為多次間歇性入滲 (Multidimensional infiltration) 彼等並以理論之觀點討論及借用數學方法分析其入滲現象, 以下式表示水流之擴散方程式

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] - \frac{\partial [K(\theta)]}{\partial z}$$

式中 θ : 土壤含水量 (容積百分數)

t : 時間 (分)

$D(\theta)$: 土壤水分擴度 (cm^2/min)

$K(\theta)$: 土壤導水係數 (cm/min)

$D(\theta)$ 及 $K(\theta)$ 均為 θ 之函數, x, y 為水平座標, z 為垂直座標 (向下時取正號)。

彼等將滴水灌溉入滲運動數學模式依兩種情況考慮: 平面流模式 (Plane flow model) 及圓柱狀流模式 (Cylindrical flow model)。(如圖 4 及圖 5)

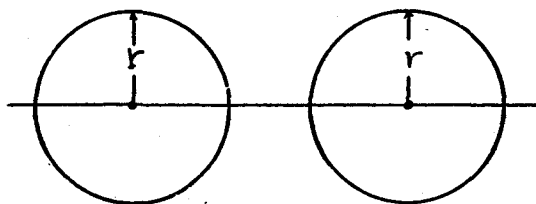


圖 4. 滴嘴間距較大, 濕潤域不發生水分相交時, 以 Cylindrical flow model 考慮

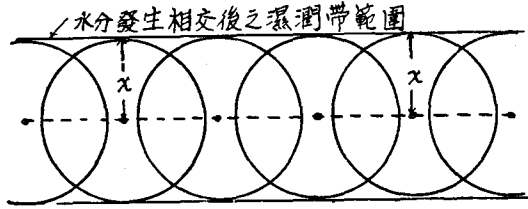


圖 5. 滴嘴間距較小，濕潤域發生水分相交時，以 Plane flow model 考慮

如考慮單一滴嘴或滴嘴間距較大，由滴嘴所滴出之水分濕潤域不發生相交，則可視為圓柱狀流模式考慮，其考慮方向為 z, t 及 $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$ ，其方程式為

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial s}{\partial r} + \frac{\partial^2 s}{\partial z^2} - \frac{\partial K}{\partial z}$$

如果一組滴管嘴間距較小，由滴嘴所流出之濕潤域能發生一段時間的相交，而最後呈帶狀的濕潤域，在此情形下則以平面流模式討論，其座標方向為 x 及 z ，方程式為

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial^2 s(\theta)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 s(\theta)}{\partial z^2} - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z}$$

式中 $s(\theta) = \int_{\theta_n}^{\theta} D(\alpha) d\alpha$

四、試驗觀測設計

1. 試驗佈置：利用定水頭控制原則按裝滴水灌溉管路及滴嘴，水質採用過濾後之清潔用水，以防滴嘴堵塞。

2. 試驗地點及土壤：選定砂土地，利用崎頂灌溉實驗站實驗田。田間係在連續乾旱一星期後之裸地情況。

3. 試驗觀測方法及步驟：

(1) 開始滴灌時，先檢定滴嘴在此定水頭控制下之水流量 q_1 ，並調整滴嘴使其流量適合於處理流量範圍，測定其 10 分鐘滴水量計算得平均流量 q_1 ，作滴灌前流量代表值。

(2) 在不改變滴水條件下，將滴管略架起離地面約 2cm，使滴出水成滴灌情形，滴水入土壤均同一點。

(3) 當滴灌水開始滴入土中時，開始計時，並同時觀測記錄表土擴散濕潤圈直徑隨時間之變化。

(4) 滴水時間達到滴水處理時間時，即停止滴灌，並在不變更滴水狀態下迅速再檢定滴嘴 10 分鐘滴水量，計算滴嘴流量得 q_2 ，作為滴灌後流量代表，取 q_1 及 q_2 之平均得 q ，此 q 即表示本試驗滴水流量之代表。

(5) 滴灌完成後 2 小時，迅速採土測定以滴嘴滴水點為中心之土壤水分分佈剖面，測定方法為自中心點起，向外每隔 10cm 測定一點，測至濕潤圈外一點，每點測定深度為 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60cm，以烘乾法測定土壤水分含量。

(6) 同時採相鄰未滴灌區，測定土壤水分分佈，測定 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60cm，深度作為無灌溉情況之土壤水分分佈代表。

(7) 滴灌完成後 20 小時，再以同樣方法測定土壤剖面水分分佈。

五、試驗結果資料

1. 測定地區之土壤物理性 (重量%)

土層深度 (cm)	在壤機械組成			土壤質地	假比 重	真 比 重	飽和 水 量 (%)	田間 容 水 量 (%)	凋 萎 點 (%)	有效水分	
	砂 粒 (%)	粉 粒 (%)	粘 粒 (%)							重 量 比 (%)	容 積 比 (%)
0~10	96.5	0.7	2.8	砂 土	1.63	2.53	30.10	5.41	1.99	3.42	5.58
10~30	96.0	1.0	3.0	砂 土	1.65	2.60	30.45	7.22	1.92	5.30	8.75
30~50	96.0	0.8	3.2	砂 土	1.66	2.62	30.61	9.00	2.03	6.97	11.57

土壤累積入滲公式 $D = 35t^{-0.735}$ 。

基本入滲率 648mm/hr.

2.水分不發生相交情形灌溉3小時之試驗資料。

(1)灌溉前土壤水分剖面

灌溉前利用採土烘乾測定法測定，測定表土至60cm各土層含水百分比。測定結果平均如圖6。灌溉前土壤水分已受一星期以上之連續乾旱蒸發作用，故越接近表土，含水量越低，往下則土壤水分漸漸增高。另測定表土乾燥層厚度為4cm（乾燥層度土壤含水量小於1%）。

(2)表土擴散濕潤域之測定

水分不發生相交時，表土濕潤圈直徑與時間之變化情形如圖7。濕潤圈直徑隨時間之增加而逐漸擴大，開始時擴大速率較快，而漸漸減少，至相當時間後，即趨緩慢。開始滴灌時，表土濕潤圈流量大者較大之現象較為明顯，二十分鐘以後則較不明顯，三十分鐘以後反而無相關性存在，由此資料顯示，在同一砂土中，流量大小之差異對擴散濕潤圈直徑大小無甚大關聯，而與滴水時間關係較密切。蓋水分之運動在

砂土地區，受重力支配之成分遠較毛管力及擴散因素等大甚多。

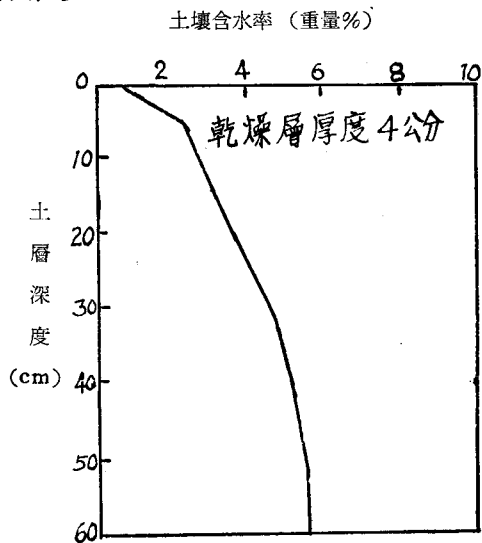


圖6. 灌溉前土壤水分剖面分佈

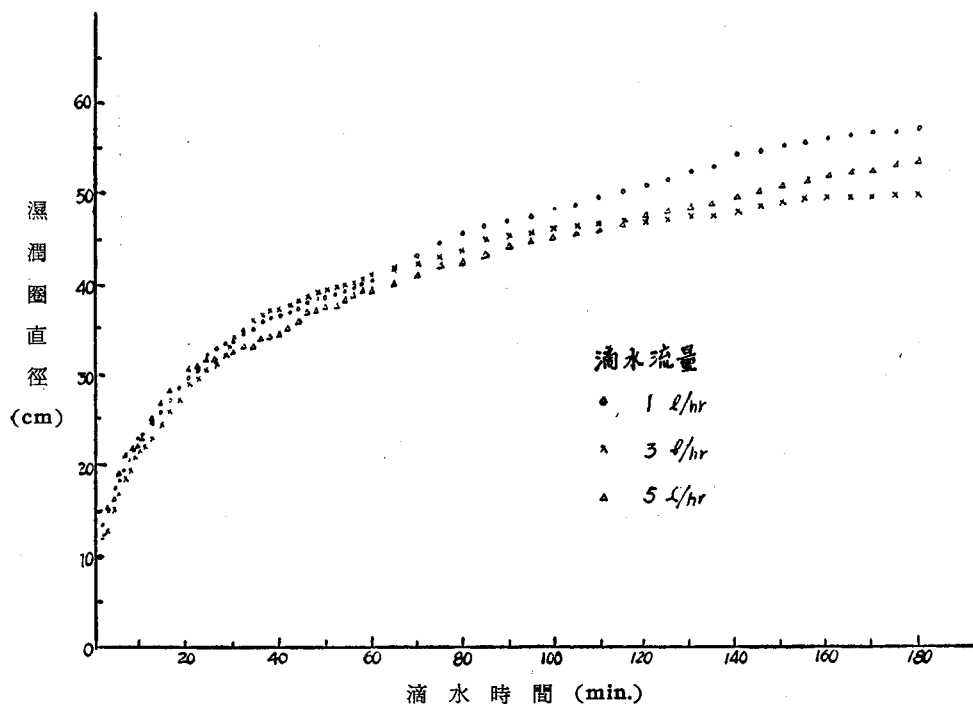


圖7. 滴灌表土濕潤圈直徑與滴水時間之變化關係

(3)灌溉後土壤水分剖面

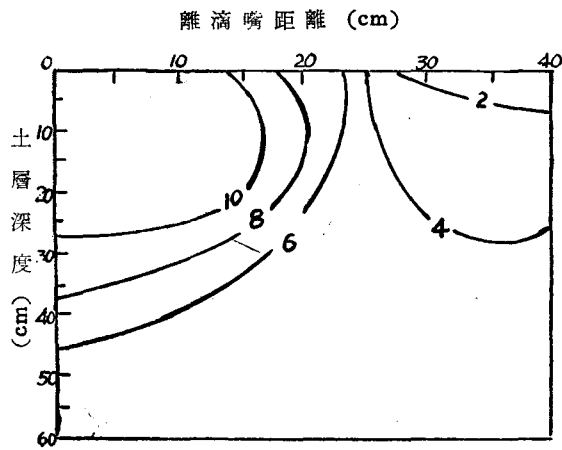
①灌溉後2小時土壤水分分佈剖面

選定灌溉後2小時之測定，代表重力水尚未排除前之土壤水分分佈情形。三種流量（1,3,5L/hr.）同時滴灌3小時，灌溉結束後2小時採土測定離滴嘴不

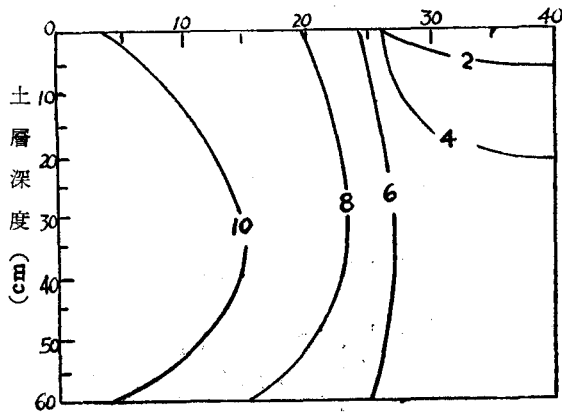
同距離各土層深度含水率，並由此資料點繪等含水率線，比較結果如圖8。

由圖8資料之比較，顯示各流量處理間之土壤水分分佈剖面有顯著的差異。因流量不同，且差異大，滴水時間相同，即滴水入滲總量差異大。此土壤水分

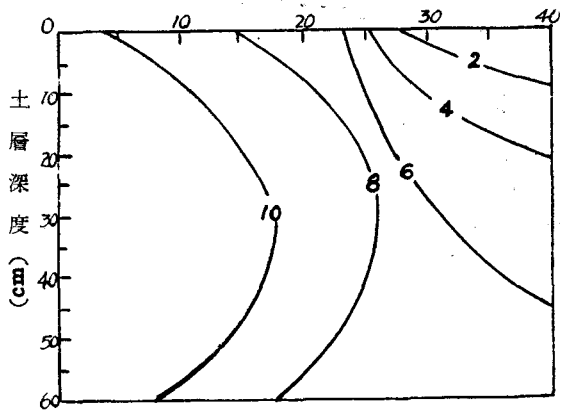
分佈剖面之差異顯然為入滲總量不同所致。



A. 滴水流量 $q=1\text{ l/hr}$ ，滴灌 3 小時
離滴嘴距離 (cm)



B. 流水流量 $q=3\text{ l/hr}$ ，滴灌 3 小時
離滴嘴距離 (cm)

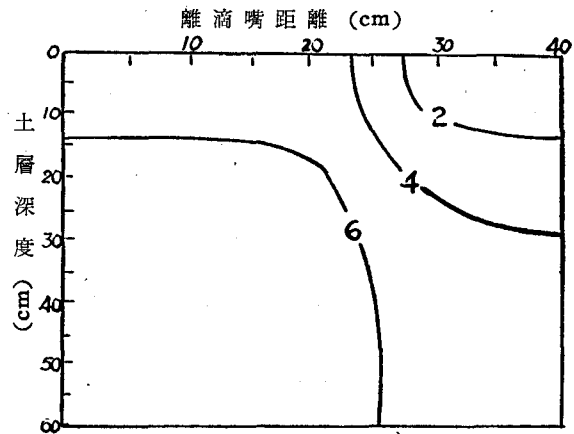


C. 滴水流量 $q=5\text{ l/hr}$ ，滴灌 3 小時

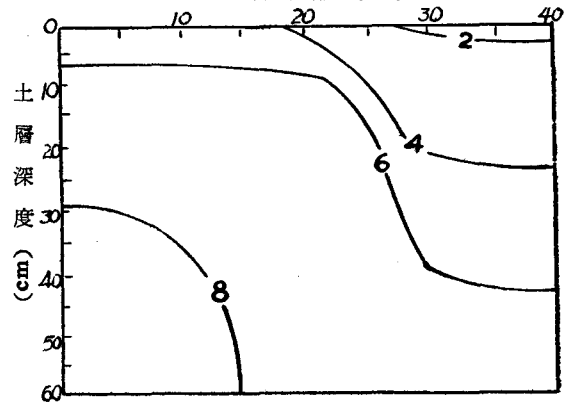
圖 8. 灌溉後 2 小時 (重力水尚未排除前) 土壤水分分佈 (等含水率線, 重量%)

②灌溉後 20 小時土壤水分分佈剖面。

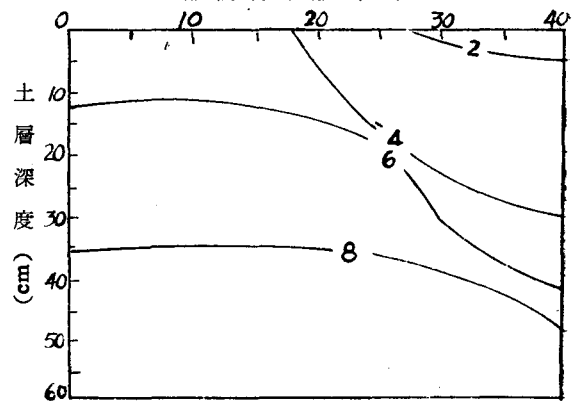
選定灌溉後 20 小時之測定，係代表重力水已排除後之土壤水分分佈情形，按砂土區重力水排除時間約 6~12 小時。三種流量之等含水率線比較資料如圖 9。



A. 滴嘴流量 $q=1\text{ l/hr}$ ，滴灌 3 小時
離滴嘴距離 (cm)



B. 滴嘴流量 $q=3\text{ l/hr}$ ，滴灌 3 小時
離滴嘴距離 (cm)



C. 滴嘴流量 $q=5\text{ l/hr}$ 滴灌 3 小時

圖 9. 灌溉後 20 小時 (重力水已排除) 土壤水分分佈 (等含水率線, 重量%)

由圖 9 資料之比較，顯示流量處理間之土壤水分分佈剖面也有顯著之差異。

(4) 滴入灌溉水之分佈範圍

利用灌溉前與灌溉後同土層深度位置之土壤水分剖面測定資料加以比較，設土壤水分增加率大於 1% 時，即視為灌溉水到達該處分佈，將土壤水分增加率為 1% 處連接線作為分佈範圍之臨界線繪製入滲剖面分佈圖。

① 灌溉後 2 小時之分佈範圍如圖 10。

② 灌溉後 20 小時之分佈範圍如圖 11。

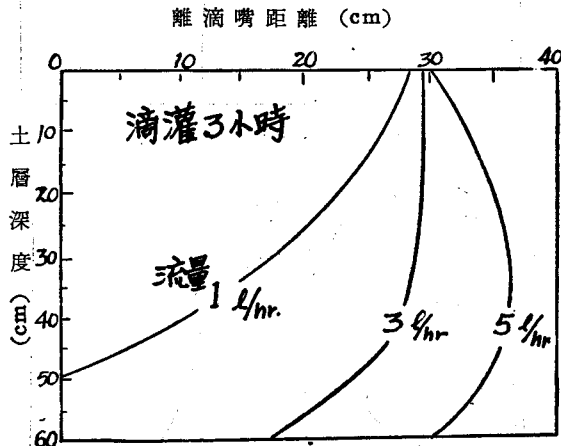


圖 10. 灌後 2 小時之入滲剖面

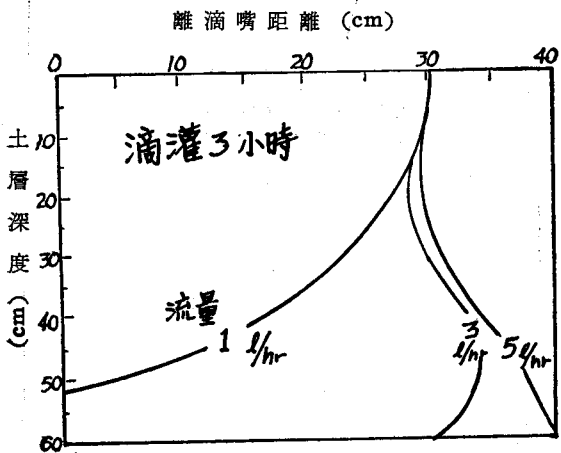


圖 11. 灌後 20 小時之入滲剖面

3. 水分不發生相交情形灌溉 1.5 小時之試驗資料。

(1) 灌溉前土壤水分剖面，如圖 12。

(2) 表土擴散濕潤域之測定

測定資料如圖 13。本次試驗資料變化較具規則性。表土擴散濕潤域大小隨滴灌流量及時間增大而增大。

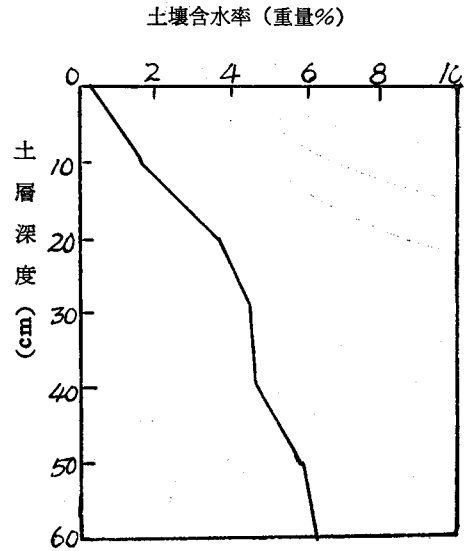


圖 12. 灌溉前土壤水分剖面分佈

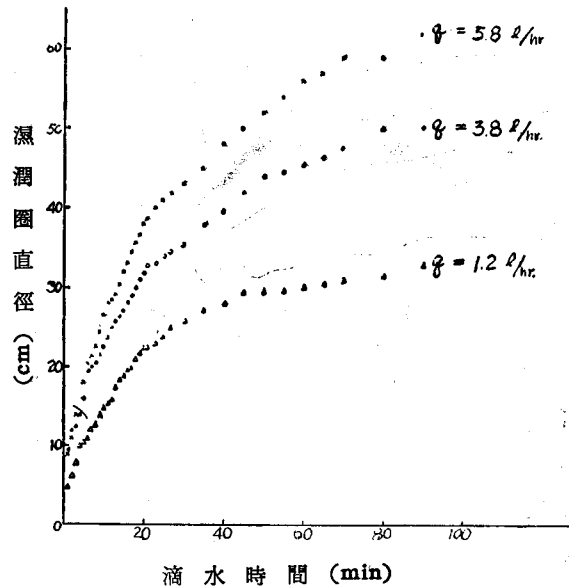
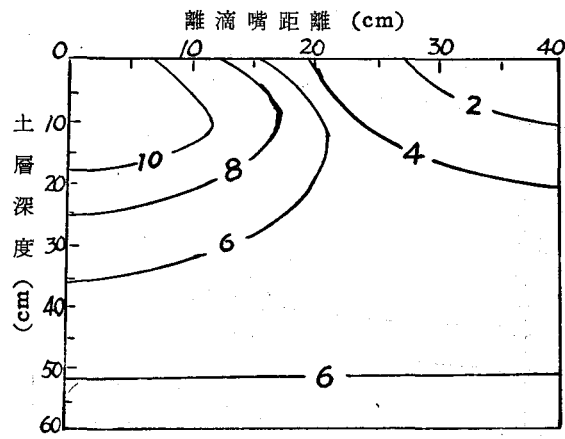


圖 13. 滴灌表土濕潤圈直徑與滴水時間之變化關係

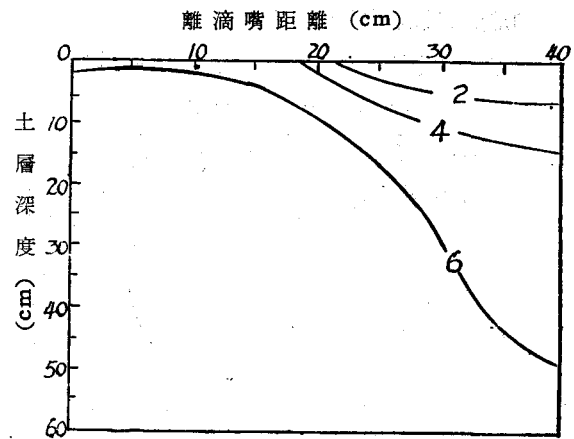
(3) 灌溉後土壤水分剖面

① 灌溉後 2 小時土壤分佈剖面。

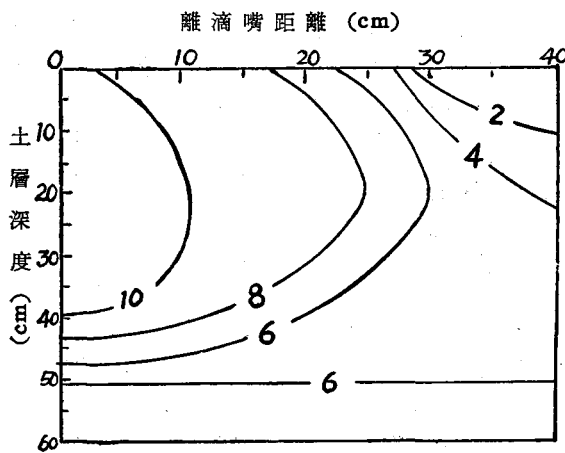
測定方法同上述，測定結果比較如圖 14。



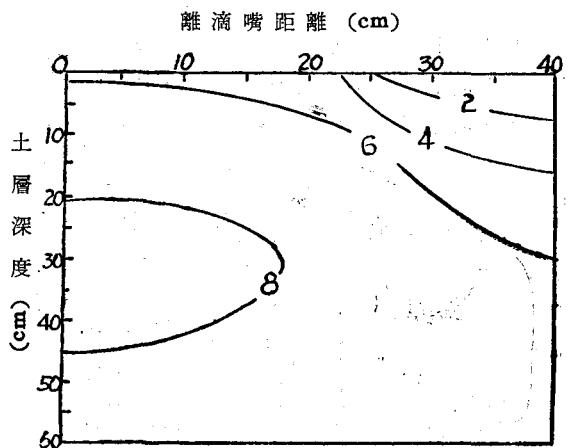
A. $q=1.2\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時



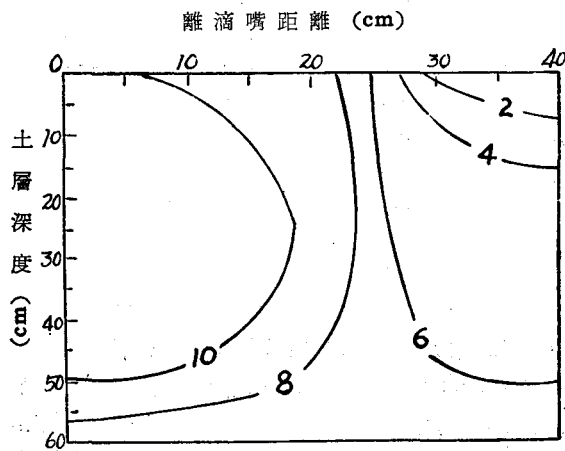
A. $q=1.2\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時



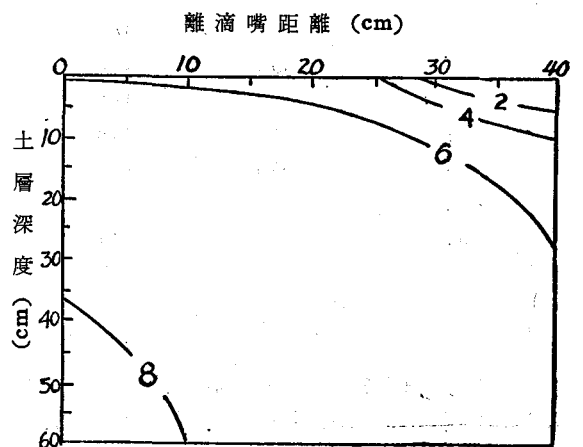
B. $q=3.8\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時



B. $q=3.8\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時



C. $q=5.8\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時



C. $q=5.8\text{l/hr}$, 滴灌 1.5 小時

圖 14. 灌溉後 2 小時之土壤水分分佈(等含水率線, 重量%)

②灌溉後 20 小時土壤水分分佈剖面

測定方法同上述, 測定結果比較如圖 15。

圖 15. 灌溉後 20 小時(重力水已排除)土壤水分分佈(等含水率線, 重量%)

(4)滴入灌溉水之分佈範圍

分析方法上述，結果比較如圖 16 及圖 17。

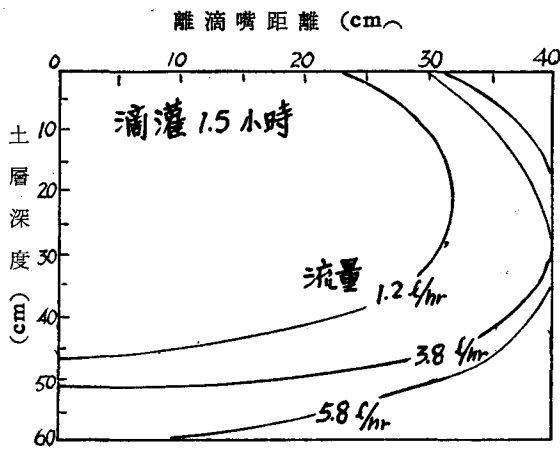


圖 16. 灌溉後 2 小時之入滲剖面圖

4. 水分發生相交情形，表土濕潤帶寬度

水分發生相交時，表土濕潤帶寬度與滴水時間之

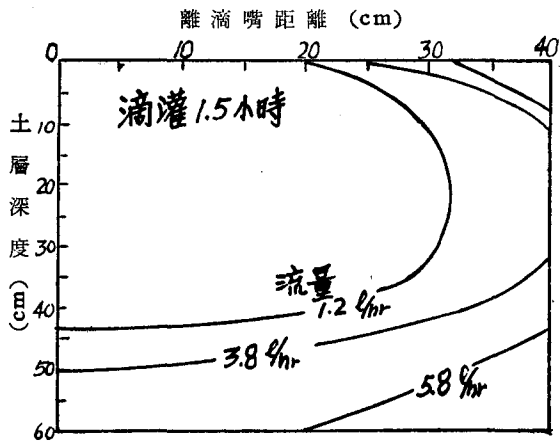


圖 17. 灌溉後 20 小時之入滲剖面

變化情形如表 1。表土濕潤帶寬度也隨時增加而逐漸擴大，開始時擴散速率較大，而漸趨減小，至相當時間後，即趨緩慢。濕潤圈大小，大致而言，流量大者稍大，但差異並大。

表 1. 各試驗流量表土濕潤帶寬度與時間之關係 (cm)

q (l/hr) \ T (min)	1	2	3	4	5	6
10	18.0	18.5	19.0	20.0	23.0	19.5
20	23.6	22.0	27.0	23.5	30.5	29.5
30	28.4	26.1	34.0	31.0	32.5	34.0
40	30.1	28.5	35.7	34.7	34.5	36.5
50	31.8	30.9	37.3	35.6	37.5	39.0
60	33.5	34.4	40.7	39.5	39.5	41.5
70	35.7	36.7	44.0	41.9	41.5	43.5
80	38.6	39.0	46.7	43.6	42.0	47.8
90	40.4	42.5	43.7	45.4	44.5	48.3
100	42.1	44.4	50.7	47.5	45.6	48.8
110	42.8	45.8	54.3	48.3	46.0	50.5
120	43.9	47.7	55.0	48.7	47.5	50.8
150	45.6	48.4	57.7	49.5	51.0	53.3
180	46.6	49.9	60.2	50.7	53.5	53.3

六、試驗結果討論

1. 滴灌之土壤水分運動，在實際情況應屬三度空間之問題，惟其在水平方向之二度可視為對稱，故在理論上，其現象研究可僅考慮水平方向之擴散及垂直方向之下滲與擴散。

2. 在同一土壤，其土壤水分運動為流量與滴水時間之函數。在同一滴嘴流量下，土壤水分擴散範圍隨

著時間而增大，垂直方向主要因重力所引起之下滲，故其下滲範圍無甚限制。惟在側向擴散方向，則隨時間之增加，其速率漸低，至相當時間後，即難以覺察其繼續擴大，亦即側向擴散有一明顯之界限，令此界限為側向最大擴散範圍，此項側向最大擴散範圍及達到此範圍之開始時間資料，甚為重要，可用為滴水支管上滴嘴排列距離之設計依據及其一次滴灌時間及流量之管理決定依據。砂土測定結果為 45~55cm，滴

水時間約 90~100 分鐘。

4. 滴水灌溉使用流量，以不產生逕流之情況下愈大愈好。因流量愈大橫向之水分分佈亦愈大，可增加根域層之水分分佈均勻度。

4. 但在砂土區流量不同對側向擴散變化差異不大，但對垂直入滲則差異大。

5. 砂土因大孔隙多，故水分運動受垂直方向之重力影響大。田間實際情況因下層土壤水分較高，導水係數較大，更造成水分垂直下滲之優勢。

6. 傳統之灌溉方法是以噴洒灌溉和畦溝灌溉為主，從植物根系層之觀點，每當作物灌溉時，從飽和含水量變到田間容水量之時間很快，而從田間容水量變到下一次灌溉之土壤水分變化則較為緩慢，後者之變化，在土壤水分張力方面可謂有很寬的變化幅度，同時其土壤水分變化對作物所發生之生長影響亦很大。尤其是使用含鹽分濃度高之灌水，在接近灌溉日期時，植物根羣附近，土壤之有效鹽類濃度甚高，易引起鹽分滲透作用增加作物利用水分之困難。而在滴水灌溉，是期望作物能產生更大之效果，故其幾乎採取高頻度的灌溉，土壤水分經常保持在高於田間容水量或接近其值的水分狀態，亦即其灌溉水分下限為傳統灌溉方法之上限。在此種條件，土壤本身不再有「蓄水庫」作用，根系土壤水分之消失與恢復幾為連續不斷。而土壤類別不再是用以決定灌溉期距之主要因子。同時使用含鹽分濃度高灌溉水所可能引起之鹽類滲透作用影響，亦可避免。

7. 滴灌之土壤水分分佈型態亦為實際設計滴灌及應用管理之基本物理資料，明瞭其現象亦可作為滴灌管理控制之依據，其分佈型態資料可進而研究滴灌之灌溉效率所以優於其他慣用灌溉方法之理論依據。對於滴水灌溉應用及發展，將有甚大助益。

8. 本試驗研究即實地探討砂地滴灌之實際應用基本資料，以供砂地實施滴灌之參考。

七、謝 誌

本文係筆者任職臺灣省水利局崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站主任時所進行之試驗研究，本研究承受國家

科學發展委員會之補助；試驗之進行，蒙農復會溫工程師理仁之指導及崎頂實驗站同仁徐文翰、方盛明、鄭清坤、游金田、陳宋淋諸先生之協助，謹此敬表致謝。）

八、參 考 文 獻

1. A. Brandt, E. Bresler, N. Diner, I. Ben-Asher, J. Heller and D. Goldberg Infiltration from a Trickle Source: I. Mathematical Models Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 35 1971p 675-682.
2. E. Bresler, J. Heller, N. Diner, I. Ben-Asher, A. Brandt, and D. Goldberg-Infiltration from a Trickle: II. Experimental Data and Theoretical Predictions. Soil Sci, Soc. Amer. Proc. Vol. 35 1971 p. 683-689.
3. D. Goldberg and M. Shmuei-Drip Irrigation-A Method Used under Arid and Desert Conditions of High Water and Soil Salinity. Trans. Amer. Soc. of Agr. Engrs. Vol. 13 No. 1 1970 p. 38-41.
4. S. D. Goldberg. M. Rinot, and N. Koru-Effect of Trickle Irrigation Intervals and Distribution and Utilization of Soil Moisture in a Vineyard. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Vol. 35 1971 p. 127-130.
5. 溫理仁——PE 滴水灌溉系統及其應用。PE 塑膠農業應用研討專輯 1972 年 5 月。
6. 鄧東茂、施嘉昌——滴水灌溉土壤滲水性之研究與應用。農業工程學報第 18 卷 2、3 期 1972 年 9 月。
7. 蔡明華、鄧東茂——滴水灌溉法。農業工程學報第 16 卷 1 期 1972 年 3 月。
8. 崎頂海岸砂丘地灌溉實驗站試驗報告——滴水灌溉適應性觀察試驗 1972 年 10 月。
9. 蔡明華——滴水灌溉之一般特性及其應用。臺灣水利第二十一卷第三期 1973 年 9 月。
10. 蔡明華、徐文翰——滴水灌溉之水力性質及其均一性。農業工程學報第 20 卷 1 期 63 年 3 月。

歡迎本會會員踴躍惠賜大作