

以 Tension Table 控制土壤水份探求各種土壤 各深度水份變化對於蒸發之影響

A Study of Evaporation Losses from Soils by Tension Table Control

臺灣大學農工系講師

洪 有 才

一、前 言

臺灣以往之灌溉研究主要為水稻與甘蔗。關於水稻灌溉需水量之研究已有相當成果，並因此而產生目前臺灣之輪灌制度，進一步之水田節水試驗亦在進行中。甘蔗灌溉研究臺灣糖業試驗所已進行多年，不乏可供用之資料，但水稻與甘蔗以外之作物灌溉研究並未進行，近幾年來方被予以重視由於過去旱地作物之灌溉被忽略。故凡旱作物之栽培，均之灌溉研究並未進行，近幾年來方被予以重視。由於未列入灌溉計劃內，其所需水量亦僅賴天然之降雨。臺灣為濕潤地區，年雨量平均二千公厘以上，唯地坡陡峻，所降之雨不能久留於陸地，同時雨量分佈不均，旱作物之生長受降雨量之均勻與否所支配，生產量不穩定，農民收入無保障，影響國家經濟鉅大。

從另一方向觀之，以往臺灣旱地作物之研究，僅在品種改良，病蟲害防治，栽培方法以及施肥方法等方面努力改進，並已有相當之成績，但無良好之灌溉以配合，致使生產量未能達於最高點，尚且因無灌溉或發生缺水現象時使上項之成效未能表現。近幾年來有關方面鑑於旱作灌溉之需要，紛紛提倡旱作灌溉，並已積極從事試驗研究。

- 旱作灌溉之研究，由於作物之種類，土壤性質及其含水量，氣象，地下水位變化等因子之錯綜影響，
- 給予之困難較水田為多。目前在旱作灌溉方面之研究對象有二，一既灌溉需水量 (Irrigation water requirements)，二即灌溉方法 (Irrigation methods)。前者係研究有關作物，土壤及水份之綜合性問題。後者即研究如何將應灌之水量以最經濟之方法灌入田間以增加灌溉效率，即所謂灌溉方法之問題。後者之研究自去年分別在臺灣中南部開始進行，至於前者在臺灣已實施約四年有餘，採用之方法不外下列三種：(1)盆栽法，(2)滲漏計法，(3)田間法。盆栽法乃在溫室內將作物栽植於盆內，控制土壤水份在有

效水份 (Available moisture content) 範圍內分別處理，但由於所測定之水份係全盆土壤含水量之平均值，其中含作物本身之重量，故非但未能知悉土壤中各深度水份變化，同時因作物在生長期中本身重量經常在變化，所得之平均含水量非為正確之數值，實屬不合。

本試驗目的乃為改善盆栽法試驗，在國立臺灣大學農業工程系暗室內進行。設計 Tension tables 以自動給水裝置施行地下灌水法供給水量，測定試樣土壤各深度水份變化，土壤蒸發量與各種不同水頭等，求其間之關係。如果此種設計能够成功，則將可應用於盆栽灌溉之研究，而求較精確之蒸發散量，以解決盆栽法研究蒸發散量之困難。

二、試驗設計

本試驗採用鋅板特製直徑25cm，深60cm有底圓筒十二座，每圓筒底中央開一直徑6mm圓孔，自孔接一長3cm之銅管，由銅管接一塑膠管至另一廣口玻璃瓶（參考圖一設計圖），另一膠管由廣口玻璃瓶接至500cc一漏斗型自動給水瓶，給水瓶上口有一橡膠栓，中插入直徑6mm兩端開啓之玻璃管，管底恰與給水瓶零點齊平，廣口瓶內所需水位可由給水瓶內玻璃管下端之高低調節。廣口玻璃瓶內水面至圓筒底垂直高差稱為負水頭，負水頭依不同之處理，由給水瓶內玻璃管下端控制。

採用之兩種試驗土壤係臺北地區之粘土及壤土。各種土壤由田間採取，經粉碎風乾並經由2mm篩孔篩後，稱重壓實平均分別填入圓筒內至土柱高為20cm及40cm為止。填入試土前必先設立 Tension table Tension table 之設法如次：每筒用直徑23cm濾紙各5張及20cm 2mm×2mm方孔尼龍網。先將筒內用肥皂水洗淨，倒水入筒內約至3cm深，此時負水頭約30cm，並將連接筒底之塑膠管端抬高不致使筒內之水流出，再想法將筒內含有之空氣泡驅走。

放尼龍網於筒底，再驅除可能滲入之汽泡，次將濾紙一一輕放於其上，加壓然後將塑膠管端插入廣口瓶內。廣口瓶內具有一虹吸管保持廣口瓶內水位，使筒內水流經廣口瓶，再由虹吸管排出，至筒內重力流至相當程度後即達某一毛細管平衡狀態，約置24小時視其乃能保持平衡，才盛試土至預定之高度為止。盛土後約等48小時後開始記錄。

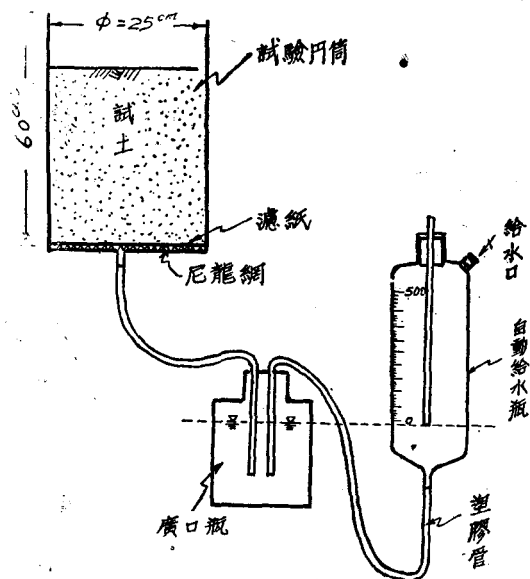
筒內土壤面蒸發量由於給水瓶內水量之損失量度之。因給水瓶內有一玻璃管其所佔之體積由給水瓶量出之水之體積減去。

室內溫度控制係利用電燈或密閉冰塊調節。室內濕度則無設計控制之設備。

試驗處理如次：

土壤種類	土柱深度 (cm)	負水頭 (cm)	濕度 (°C)
壤土	20	20	(20低溫)
			(26中溫)
			(33高溫)
粘土	40	40	

每處理三重複，共12盆。三種溫度控制，每一溫度處理20天共60天 720 觀測。



圖一、試驗裝置

三、試驗方法及步驟

每日上午8時30分觀測自動給水瓶之損失量，並加以體積修正，該值相當於土壤面蒸發量（體積最小讀數為1cc）除以圓筒斷面積即得 mm 蒸發量，蒸

發量以公量 / 每天表示之。室內濕度每日觀測兩次即於上午8時30分及下午5時30分，濕度計乃用乾濕球濕度計。每筒表土及土上 10cm 處各設濕度計（最大50°C），其測定時間與濕度相同。

四、試驗結果與討論

本試驗自民國五十三年十二月上旬開始作預備試驗，因 Tension table 之裝置不易，屢次遭受失敗之後反復試作，於民國五十四年二月初始告成功，遂於同年三月初設計較健全之 Tension table 後便着手裝盛土壤試樣，其中曾有兩筒，因未能保持連續之毛細現象，使試驗進行發生困難，幸找出原因修復。並自同年三月廿七日開始試驗記錄至同年五月廿八日始告結束。

試驗結束後，維持三種氣溫即 20°C、26°C 及 33°C，並保持原試驗，取土壤樣品測定各深度之水份含量（以乾土重為水份含量計算標準）。並土壤深度為 20cm 時，取自表土下 10cm 處，土壤深度為 40cm 時，取其表土下 20cm 處測定假比重（Bulk density）每筒取二樣品測定結果平均之。結果不管壤土或粘土在各種不同溫度下，每筒壤土間之假比重極為接近，其值約在 1.25~1.30 之間。粘土之各筒假比重亦極為接近約在 1.00~1.04 之間。試驗期雖然無濕度控制，所得相對濕度之變化均在 93~96% 之間，不管溫度之變化濕度不變。茲為便於討論起見將原處理記號述之如下：A：粘土。B：壤土。

A 及 B 記號之右下分別依序記負水頭及土壤深度，例如 A 20-40 即表示粘土負水頭 20cm，土壤厚度 40cm 之意，茲將土壤各種物理性質及其試驗結果列如下：

1. 土壤各種物理性質：

表 一		
物理性質	壤 土	粘 土
真 比 重	2.58	2.36
平均假比重	1.23	1.02
水份當量(%)	19.33	35.49
永久凋萎點(%)	6.95	13.57

2. 土壤水份分佈與處理別：

茲為方便計，將土壤記號加以 1. 2. 3. 表示重複數，例如 A20-0-3 表示粘土，20cm 負水頭，自表土下 0cm，重補3。

表 二

20°C		26°C		33°C	
處 理	水份含量(%)	處 理	水份含量(%)	處 理	水份含量(%)
A20- 0-3	24.24	A20- 0-1	22.54	A20- 0-2	21.90
A20-10-3	28.48	A20-10-1	26.90	A20-10-2	26.46
A20-20-3	31.84	A20-20-1	29.81	A20-20-2	30.53
A20-30-3	34.46	A20-30-1	32.14	A20-30-2	33.42
A20-40-3	37.61	A20-40-1	35.32	A20-40-2	37.72
B20- 0-3	21.79	B20- 0-1	22.20	B20- 0-2	19.59
B20-10-3	23.02	B20-10-1	23.71	B20-10-2	19.68
B20-20-3	24.28	B20-20-1	25.46	B20-20-2	24.22
B20-30-3	28.29	B20-30-1	28.42	B20-30-2	27.59
B20-40-3	30.58	B20-40-1	36.14	B20-40-2	29.88
A40- 0-3	28.53	A40- 0-1	30.14	A40- 0-2	—
A40-10-3	31.48	A40-10-1	37.82	A40-10-2	—
A40-20-3	33.32	A40-20-1	40.09	A40-20-2	—
B40- 0-3	21.43	B40- 0-1	18.05	B40- 0-2	—
B40-10-3	22.53	B40-10-1	18.26	B40-10-2	—
B40-20-3	24.41	B40-20-1	20.19	B40-20-2	—

3. 水量消耗量、土面溫度、土面上 10cm 處氣溫及相對濕度記錄與結果

表 三

處 理	平均消耗水量		土面溫度 (°C)			土面上 10cm 處氣溫 (°C)			相對濕度 平均 (%)
	c.c.	mm	最高	平均	最低	最高	平均	最低	
A20-40	36.02	0.735	23.0	20.22	18.5	23.0	20.10	18.0	94.5
A40-20	9.61	0.196	22.5	20.03	18.0	23.0	20.12	17.5	94.5
B20-40	11.31	0.228	23.3	20.42	18.5	23.4	20.36	18.7	94.5
B40-20	7.19	0.147	23.5	20.38	18.5	23.0	20.39	18.5	94.5
A20-40	40.11	0.819	30.0	26.60	24.0	30.0	26.44	23.5	94.2
A40-20	32.91	0.672	29.0	26.45	24.0	30.0	26.32	23.5	94.2
B20-40	42.58	0.869	30.0	26.71	24.5	30.0	26.19	23.5	94.2
B40-20	23.46	0.481	30.0	26.82	24.0	30.0	26.75	23.5	94.2
A20-40	62.80	1.282	37.0	33.92	30.0	37.0	33.93	30.0	94.0
A40-20	56.60	1.155	37.0	33.24	31.0	37.5	33.26	30.0	94.0
B20-40	79.38	1.620	37.0	33.79	31.0	37.5	33.39	30.0	94.0
B40-20	86.33	1.762	37.0	33.63	31.0	36.5	33.26	30.0	94.0

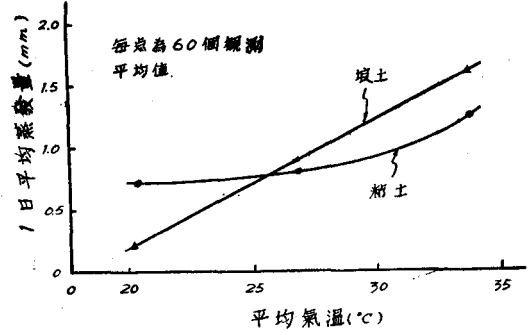
由以上數據得知兩種現象如次：(1)土表面平均溫度與土面上10cm處之平均氣溫最大差額不大於 1°C，其土面溫較氣溫略高，可能由於熱量幅射所致，但不明顯，因氣溫較易量測，以下分析時以平均氣溫為據。(2)相對濕度在試驗當中不因溫度差異而有極大變化，在整個試驗期中最低為93%最高為96%。因氣溫變化所致相對濕度變化不明顯，其平均相對濕度在三

種溫度控下互相間之差異不超過 1%，分析時可認為一獨立之不變因子。

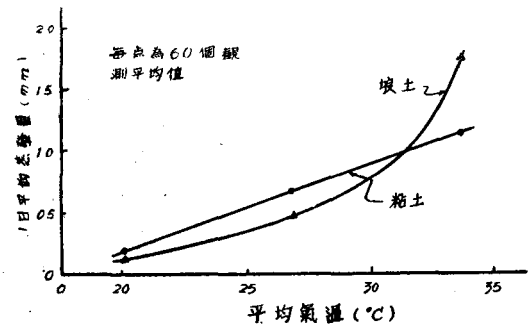
茲將試驗結果分析如下：

1. 蒸發量與平均溫度：

因室內風速極微，濕度變化僅在 1%之內，故在室內之溫度成為影響蒸發主要因子。茲就 1 日平均蒸發量與平均氣溫求其關係如圖二及三。



圖二 蒸發量與平均氣溫 (A,B-20-40)



圖三 蒸發量與平均氣溫 (A,B-40-20)

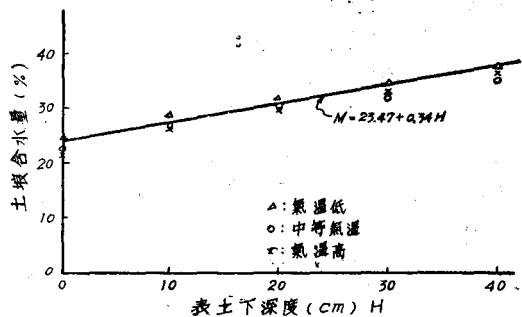
由上圖二知氣溫增高，蒸發量隨之增加，溫度較低時 (<25.5°C) 壤土之蒸發率小於粘土，但溫度大於25.5°C時則壤土之蒸發率大於粘土。尚有一現象可由圖二觀察，即壤土之蒸發率隨氣溫有直線關係，而粘土則為拋物線關係。

由圖三知，其蒸發率隨氣溫之增高而增加，溫度高至 32°C 壤土之蒸發率方較粘土為高。與圖二有相反之現象，即粘土之蒸發率在圖三發一直線而圖二則為一拋物線，壤土在圖二為直線但在圖三為一拋物線，再由圖二及圖三可看出，壤土當負水頭較小時其蒸發率隨溫度之增加而加速，至某一程度時其現象轉逆，當氣溫高時粘土在較高負水頭時蒸發率較高於低負水頭。

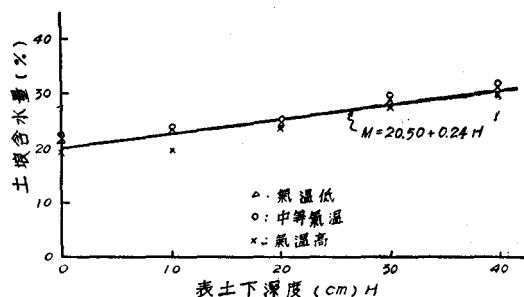
2. 土壤深度與土壤含水量：

因自表面下各深度之土壤水份含量不因溫度增加而有很大差異，故就各點之水份含量與土壤深度關係

以最小二乘法求其最確曲線（直線）。土壤含水量與表土下深度之關係依土壤繪如圖四及五。



圖四 土壤深度與含水量 (A₂₀₋₄₀)

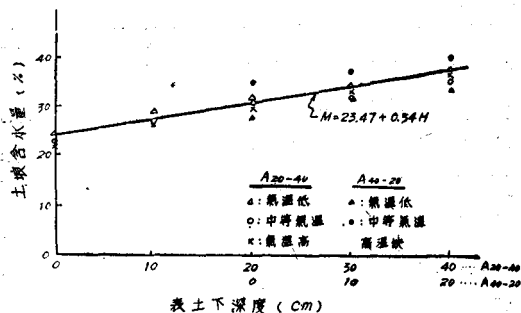


圖五 土壤深度與含水量 (B₂₀₋₄₀)

由圖四各得最確直線方程式分別為 $M = 23.47 + 0.34H$ 及 $M = 20.50 + 0.24H$ ，在負水頭為 20cm 時，不管壤土或粘土，土壤水份含量隨深度而增加，但粘土之含水量隨深度之增加率較壤土為大，前者之增加坡度 0.34 而後者為 0.24。氣溫之高低對含水量似無明顯之影響。

3. 不同負水頭與土壤含水量之比較。

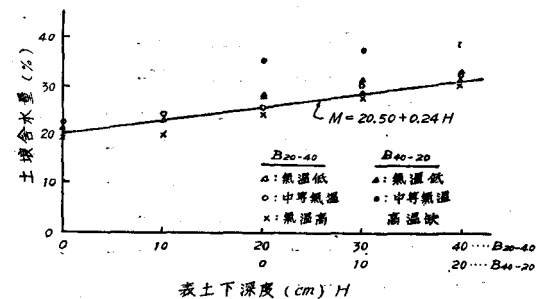
因在試驗結束後 A₄₀₋₂₀ 及 B₄₀₋₂₀ 之高溫處理時，毛細管切斷無法測定含水量故無法做分析，圖六及圖七僅將低溫及中等溫度處理之土壤水份與深度關係繪入圖四及圖五中做一比較。



圖六 土壤深度與含水量比較

由圖六知輕負水頭增加至 40cm 時氣溫低，其蒸

發量較負水頭 20cm 時低，氣溫較高（約 26°C）時其蒸發量較負水頭 20cm 時為高，其意即粘土之負水頭加土厚度值相等時，對蒸發似無明顯之差別，與理論頗符合。在圖七中很明顯可以看出當負水頭為 40cm 而氣溫高時其蒸發量超過負水頭為 20cm 土厚為 40cm 者，惟在低溫時（20°C）較為接近，但尚有超出之現象。前者與理論不合，後者雖較為合理，但仍有問題，故對此種現象尚須加以研究之必要。



圖七 土壤深度與含水量比較

五、結 論

綜合上列試驗結果可說明如下。

1. 利用 Tension table 研究蒸發量具有相當大之將來性。
2. 利用 Tension table 控制土壤水份與一般土壤水份分佈略異，前者土壤水份依土壤深度有直線變化，而後者據以前研究者報告其拋物線變化。
3. 氣溫較低時壤土之蒸發量較粘土為低，但氣溫高時則呈相反現象。
4. 負水頭加土深總高度相等時自表土面計其各相當深度土壤含水量似乎相似，其有差異可能由於土壤組織所致，本試驗所得結果因高溫時之負水頭 40cm 土厚 20cm 失敗無法做正確之比較。
5. 每日蒸發量最高為 1.762mm 較一般天然狀況為低，其原因可能由於相對濕度高，室內風速極微所致。

六、對將來研究之提議

1. 尋找較能承受大之負壓力水頭之材料，以代替濾紙。
2. 地下水位之變化對植物生長之影響可由此觀念作試驗研究。
3. 利用 Tension table 所引起土壤水份分佈是否為直線變化尚須待研究，如果是如此，利用此法較他法所得之拋物線變化簡便，其理論方程式亦容易求得。

七、參考文獻

1. Fortier, S. (1907): Evaporation losses in Irrigation and Water requirement of crops U.S. Dept. Agr. Bul 177, 1907.

2. Meyer, Adolph F. (1942): Evaporation from lakes and reservoirs. Minn. Resources Comm, St. Paul, Minn, June 1942.

3. Penman, H.L. (1948): Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc of the Royal Society, Series A. 1948.

4. Staple, W.J. (1956): Evaporation from Soil and Vegetation. Netherlands. Jour. Agr. Sci. 4: 39-42 1956.

5. Spiegel, Murray R. (1961): The Theory and Problems of Statistics. Schaum Publishing Co. New York. 1961.

6. Thomas, George B. JR. (1960) Calculus and Analitic Geometry (1960)

7. 洪有才 (1964): A study of Evaporation Losses From Sandy Loam and Sandy clay Loam Soils. (M.S. Thesis)

八、感謝詞

本試驗承蒙國家長期科學發展委員會半年補助，並承國立臺灣大學農業工程系湯松義、唐榮福、廖舜先生協助，特此致謝。

Summary

The objectives of this study is to develop a new and creative method to solve the problems which have been left by previous researchers for a long time. The previous study on evapotranspiration using small pots in Green House has a very difficult problem to evaluate the real evapotranspiration losses.

Evapotranspiration is defined as the sum of transpiration from crops and that of evaporation from soils. It is very difficult and impossible to make the two terms into complete seperable items. Therefore, it has been simplified into one subject called 'evapotranspiration'.

Since the factors of crops, soil moisture soil types and other meteorological elements have a great influence on it, it

is very difficult to derive a wide used and general formula to evaluate evapotranspiration for a large area. The above reasons therefore make complexity of study on this subject.

Two basic studies on evaporatranspiration with pot and lysimeter methods have been widely used by many workers. A field measurement of evapotranspiration is also a way to check and correlate the data obtained from pots and lysimeter. Other previous interested have also attempted to derived a formula or formulas based on meteorological factors in the Western United States and obtained quite reasonable approaches. Since the pot experiment is easy to be controlled without the influence of rainfall, it is worth to be used to find out the critical time of water use, during the growing season for the decision of irrigation schedule.

The possible applications of tension table in the field of evaporation and evapotranspiration study was first found by author in 1963 during author was studying at Michigan State University in the United States.

This study was the continuation of author's Master's thesis using thicker soil column trying to make the applications of tension table more effective. Since this approach was not at hand, crop transpiration losses were not considered in this study. The only bare soil was used in order to find the relationship among evaporation, soil moisture, tension, and air temperature.

The results may be concluded as follows:

1. Tension tables have a great contribution to the study of evaporation.

2. The study has shown the linear

(轉23頁)