

X

以 Tension Table 控制土壤水份探求臺北及新竹地區幾種代表性土壤在凋萎點， $\frac{1}{2}$ 有效水份及田間容水量時之土壤張力

A Study on soil Tension V.S Permanent Wilting point, $\frac{1}{2}$ Available Soil Moisture and Field Capacity in Typical Taipei and Hsinchu Soils by Tension Table Control

臺灣大學農業工程學系講師

洪 有 才

一、前 言

水，土壤與作物為灌溉之三主要因子。良好作物之生長賴良好之灌溉。即使土壤肥力佳、氣溫、日光、濕度適合，若無良好之灌溉，作物之生育必受其影響，收穫量減少，甚至完全失收。欲得適量之灌溉，作物生長期中之需水量變化，除由各種氣象條件而左右外，土壤中水份之變化乃一重要之影響因素。土壤中水份受土壤質地，結構以及地下水位等之錯綜因子而變化。影響灌溉之因素有如上所述之多，為以往研究灌溉者最感束手之處。

一般以土壤中水份為決定灌溉時期及水量較其他方法理想，故土壤中水份之增減為良好施灌水之指標。從以往之研究，吾人知旱作物生長最適土壤水份含量在永久凋萎點至田間容水量之間。此範圍之水份稱為有效水份 (Available Soil Moisture)。又根據過去國內外之試驗報告指出，大部份之旱作物最適宜土壤含水量常在 $\frac{1}{2}$ 有效水份至田間容水量之間。土壤水份依土壤深度其分佈有異，各種作物又有其不同根系之分佈，灌溉之實施如以土壤水份為依據，則採取何等深度之土樣作為含水量之分析以決定灌溉，實為難題。臺灣目前在嘉南平原之旱作灌溉試驗，採取自表土下二十五公分處，此為一假定之數字，但不能適合於各種不同之土壤以及作物之條件，此乃須待將來之研究。

作者從另一角度着眼，認為土壤中毛細管水之上升速率與蒸發散量消失速率之平衡與否，對於灌溉水量與期距有極大之關係。若無表面灌溉或由表面補充水量，毛細管水上升之高度有一定之極限，在此極限內距地下水愈遠，則其上升之速率愈遞減，因此，蒸發散量之消耗速率，如在毛細管水上升之限度內，

大於毛細管水量上升速率，則土壤各層中水份自然遞減至低於某種程度，此時應施於灌溉之必要。若毛細管水量之上升能補充消耗之量，土壤中含水量即能保持一定。補充之水量超過消耗之量時，土壤中各層之水份增加，或致大於田間容水量而趨於飽和。利用此種方法研究灌溉為一較新之觀念，但在作此方面之研究前，必先知悉一些有關土壤水份在土壤中移動之情形以及些與灌溉有關之土壤水份常數之分佈情形。

由前些報告指出，土壤水份與張力有密切之關係，從此觀點可推出土壤張力與各種不同土壤之水份常數之關係。本文除對於各種土壤加以分析研究其張力與各種不同土壤常數之關係外，並對毛細管上升之速率亦同時加以測定，以便將來作更進一步之研究參考。

二、試驗設計與試驗方式

本試驗採用鋅板特製直徑 25cm，深 60cm 有底圓筒十六座，每筒底中央開一直徑 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 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 (Tension)，負水頭依不同處理，由給水瓶內玻璃管下端控制。

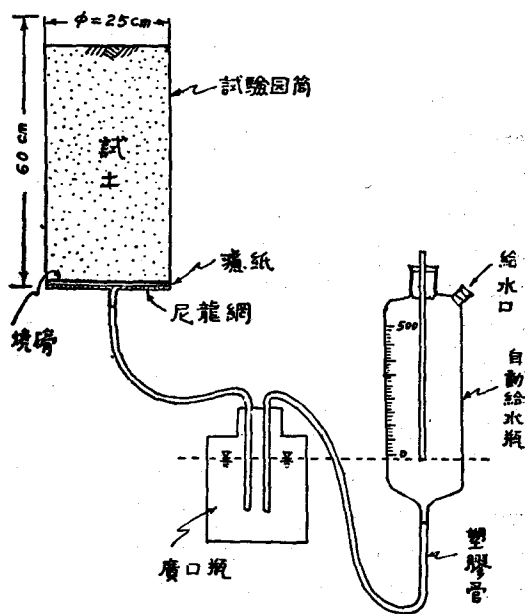
採用之四種土壤係臺北粘土，臺北壤土及新竹粉質壤土，新竹壤土。各種土壤由田間採取，經粉碎風乾並經過 2mm 篩孔後，稱重依毛細管水上升及時間，分別平均壓實填入圓筒內至時間 20 日 ~ 40 日，試驗結束後將試土依深度每 10cm 為一層取土樣測定假比重 (Bulk Density) 及水份含量。

第一次填入試土前，先設立 Tension Table，Tension Table 之設法如次：每筒採用直徑 20cm，2mm × 2mm 方孔尼龍網及一張徑 23cm 濾紙及 1 磅燒石膏粉。先將筒內用肥皂水洗淨，倒水入筒內約至 3cm 深，將筒底內可能有之空氣泡驅出，再將接於筒底之膠管端抬高不致於將筒內水流出。置放尼龍網於筒底，再除去可能滲入之氣泡，次將濾紙一張輕放其上，再將已攪拌好之燒石膏倒入其中，俟約半小時後燒石膏即硬化變為一多孔板 (porous plate)，然後將筒內重力水流出至相當程度後，即達某一毛細管平衡狀態，然後即可盛土開始試驗。

本試驗係在臺灣大學農業工程系研究室進行，其試驗處理如次：

土壤種類	負水頭 (cm)
臺北粘土	20
臺北壤土	30
新竹粉質壤土	40
新竹壤土	50

每一處理共三重複，共 16 盆。每一處理約費時 30 日至 60 日，視毛細管水上升之速率而定。其試驗裝置如圖一。



圖一 試驗裝置

各種土壤之水份常數分析結果如下表一

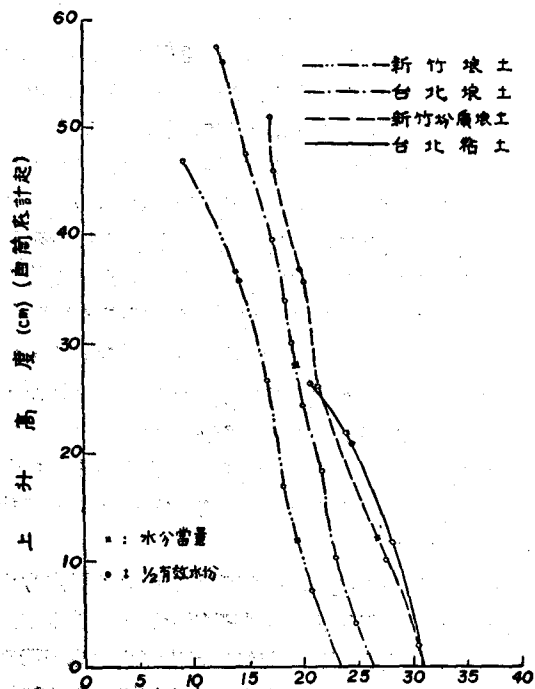
表一

水份常數(%)	臺北粘土	臺北壤土	新竹粉質壤土	新竹壤土
田間含水量	35.49	19.33	26.81	19.57
有效水份	24.43	13.14	19.93	13.12
永久凋萎點	13.57	6.95	7.05	6.67

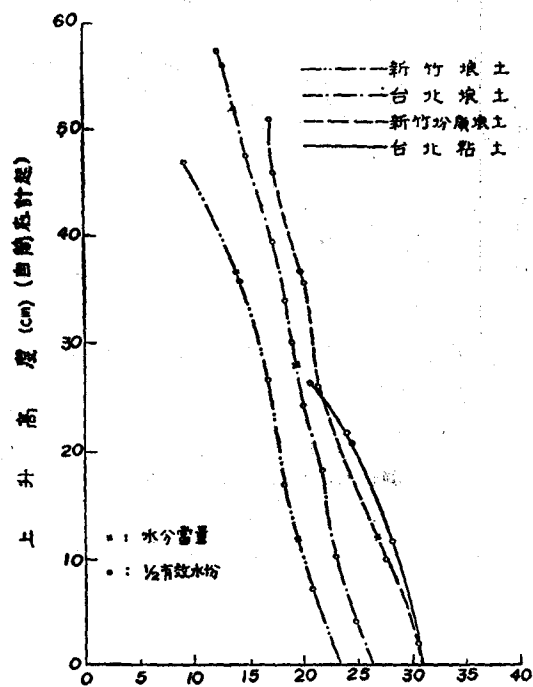
三、試驗結果與討論

本試驗自民國五十四年十月一日正式開始至民國五十五年五月卅一日完成，前後作過 48 盆試驗，試驗經過相當順利，其結果分析討論如次。

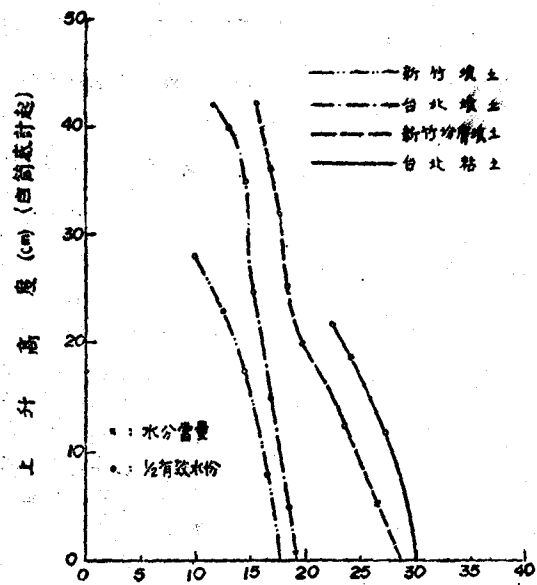
茲將各種不同負水頭處理土壤水份含量與上升高度，繪如圖二、三、四。圖中四條曲線係三重複之平均值。



圖二 土壤水份(%) (負水頭20cm)



圖三 含水量(%) (負水頭30cm)



圖五 土壤水份(%) (負水頭50cm)

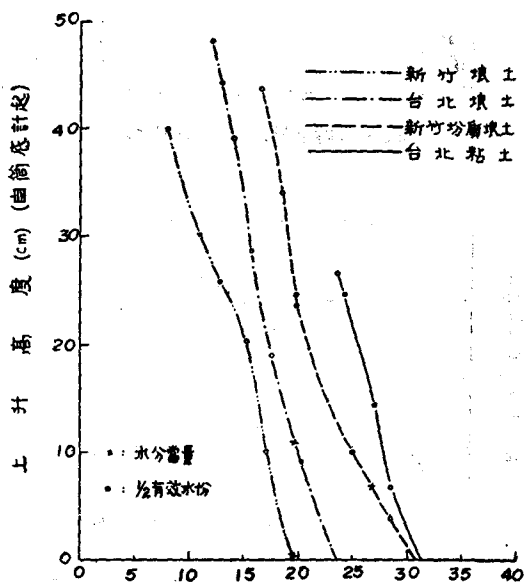
由圖二、三、四、五，知不管負水頭之大小，自筒底計起土柱高，在同一高度之含水量以壤土小於坩質壤土，坩質壤土又小於粘土，說明壤土之保水力小於坩質壤土，坩質壤土又小於粘土，此結果與理論相當吻合。

再由圖二、三、四、五，中將負水頭加水份常數在土柱中上升高度，則得表二之結果。

表二 毛細管水總上升高度

土壤類別	水份常數 負水頭 毛細管水 升高值				田間容水量				1/2有效水份			
	20	30	40	50	20	30	40	50	20	30	40	50
新竹壤土	32	36	40	—	55	58	65	72				
臺北壤土	48	45	50	51	76	87	84	88				
新竹坩質壤土	32	35	46	55	56	61	64	85				
臺北粘土	—	—	—	—	40	46	64	67				

由表二知各種不同負水頭所作試驗，換算自地下水水位計起(或毛細管水總上升高度)時，水份常數之分佈變化，由於負水頭之增加有略高之傾向。茲將自地下水水位計起四種土壤田間容水量及1/2有效水份點之平均值列表三：



圖四 土壤水份(%) (負水頭40cm)

表三 毛細管水總上升平均高度

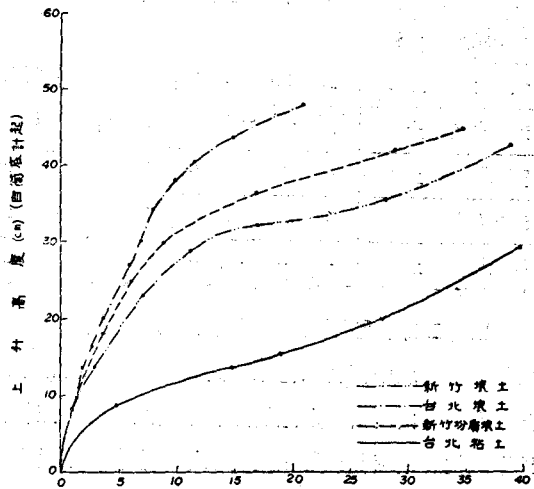
土壤類別	水份常數	田間容水量	有效水份
新竹壤土	—	36(cm)	62.5(cm)
臺北壤土	—	48.5	78.8
新竹坩質壤土	—	42.3	66.5
臺北粘土	—	—	54.3

由表三知在試驗期中，臺北壤土毛細管水上升最高，次為新竹坩質壤土，再次為新竹壤土，最低者為臺北粘土。又從田間容水量與有效水份在土柱中分佈情形觀察，除臺北粘土因其田間容水量在自地下水水位計起 20cm 以內無法得知外，亦以臺北壤土最高，次為新竹壤土，再次為新竹坩質壤土。

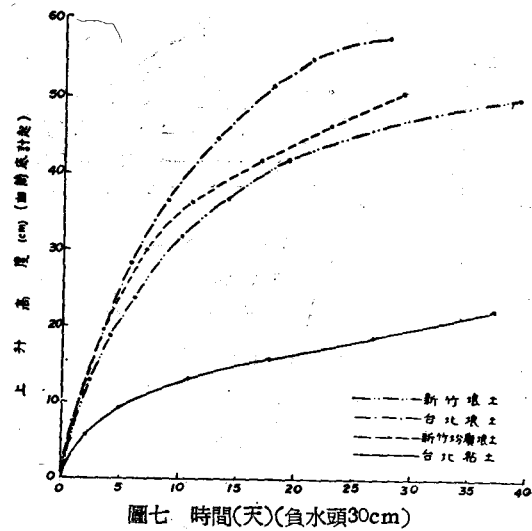
永久凋萎點水份，常在圖二、三、四、五中曲線上端極限之上，由於土壤係風乾土分層加入，故永久凋萎點常在水份上升前端 (Front) 之上端。事實上由「前言」中談及，一般作物最適土壤水份係在田間容水量與有效水份間，故永久凋萎點在灌溉立場上已佔不住重要之地位。本試驗主要乃注重於田間容水量與有效水份之測定研究。

從毛細管上升速率方面觀察，又得圖六、七、八、九之結果。

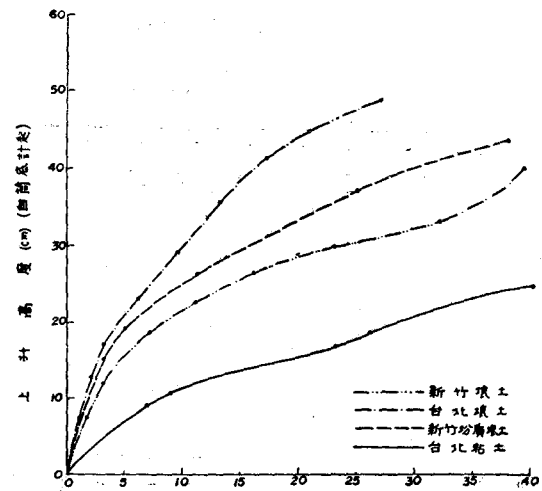
由圖六、七、八、九知四種土壤，在四種不同負壓力處理下，有一共同之現象，即在試驗期中，毛細管水上升之速率，在初期較快而後逐漸變緩。就同一時間中，以臺北壤土最高，次為新竹坩質壤土，再次為新竹壤土，最低者為臺北粘土。在初期時，除臺北粘土較慢，其餘三種土壤之上升速率相差較少，頭五天內上升高，自地下水水位計起約在 45cm~60cm 內。



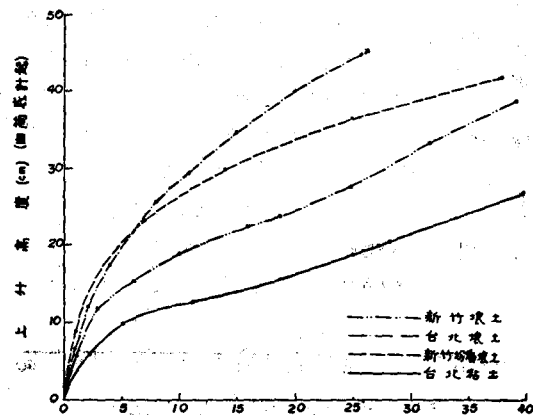
圖六 時間(天)(負水頭20cm)



圖七 時間(天)(負水頭30cm)



圖八 時間(天)(負水頭40cm)



圖九 時間(天)(負水頭50cm)

四、結 論

總合以上試驗結果分析可下如下之結論：

1. 採用燒石膏代替濾紙，在預備試驗中發現它能承受 1.20m Tension，不失為一良好設置 Tension Table 之材料。

2. 燒石膏使用時間過久，則受細菌之侵襲，易使毛細管斷掉，故不適於長年生作物之試驗。一般短期旱作物之試驗使用燒石膏相當理想。若在燒石膏內加入防腐劑，可能會延長 Tension Table 之壽命，則將對任何作物之試驗亦可適用。

3. 田間容水量在 $\frac{1}{2}$ 有效水份間之水份分佈於土壤中之土柱長度，以壤土較粉質壤土高(指在試驗期間)，各為 30.3cm, 26.5cm 及 24.2cm。

4. 毛細管上升之速率，不管土壤之類別，在開始頭五天速率較快，以後之上升速率逐漸緩慢。

5. 由於試驗之土壤，其田間容水量至 $\frac{1}{2}$ 有效水份之分佈，在土柱中之長度並不大，若能調節地下水位，使其範圍分佈於根系內，則對於淺根作物之栽培較為適合。

6. 配合 5 項，若能作地表上之蒸發散量，並與毛細管水上升速率關連之，則能找出灌溉上所需之條件，以決定灌溉需水量與灌溉期距。

7. 永久凋萎點在本試驗無法得到，乃因試驗期過短。事實上永久凋萎點，在本試驗圖二、三、四、五中應在曲線上端之上。

五、感 謝 詞

本試驗承國家長期科學委員會，及中國農村復興委員會之補助，並由國立臺灣大學農業工程系唐榮福，袁鑒州及廖舜諸先生之協助，特在此表示謝意。

參 考 文 獻

1. Keen, B. A. (1927) The Limited role of Capillarity in Supplying Water to plant roots. *proc. 1st Intern. Congr. Soil Science*, 1:504-511.
2. Harris, F. S., and H. W. Turpin (1917). Movement and distribution of Moisture in the soil. *J. Agr. Research*, 10: 113-155
3. Wollny, E. (1885) Untersuchungen über die kapillare Leitung des Wassers in Boden. *Forsch. Gebiete Agr.-phys.*, 7:269-308, 8: 206-220
4. D. A. Wells, R. Soffe (1962). A Bench Method for the Automatic Watering by Capillarity of plants grown in pots. *The British Society For Res. in Agr. Eng.* p. 42-46.
5. 洪有才 (1964) A Study on Evaporation Losses from Sandy Loam and Clay Loam Soils (M. S thesis).
6. 洪有才 (1965) 以 Tension Table 控制土壤水份探求各種土壤各深度水分變化對於蒸發之影響，中國農業工程學報第十一卷第三期。

Summary

Soil water plant relationship is the major concern in the respect of irrigation. Better plant growth depends on well scheduled irrigation. Fertilized soil and moderate temperature, light and humidity are not effective if there is no irrigation. Consequently the yield may decrease or even without any production. In order to obtain a better irrigation, it is necessary to realize that soil moisture variation is a main factor which influences crop water requirements. However soil type, soil structure and the variation of the ground water table make soil moisture in various conditions. So far as stated above, the factors influencing irrigation are so complicated that give most of irrigation researchers difficult problems.

Soil moisture variation used as an irrigation guide is better than other ways. It can be used to determine crop water requirements and irrigation intervals. From the previous literature, we know that most of upland crops need soil moisture ranging from $\frac{1}{2}$ available soil moisture to field capacity. However, the soil moisture distribution varies differently along with the depth of soil column and crop root distribution is also different that make

irrigation application more difficult. How to take the soil sample to determine the soil moisture as an irrigation guide is a difficult problem.

The objective of this study is to find out the relationship between soil tension and soil moisture constants (Mainly for field capacity and $1/2$ available soil moisture) for Taipei clay soil and loam soil, Hsinchu silty loam and loam soil and also to find out the rate of capillary movement for the purpose of further application in the field of irrigation.

The results obtained from the experiment may be concluded as follows:

1. The plate made of calcium sulfate instead of blotting paper can take maximum tension of 120cm. It is a fairly good material for constructing tension table.
2. The calcium sulfate could last for 4 months in this study. It is suitable for short life plant experiment. However it is possible to be used for long life plant if an antiseptic is added.
3. The distribution of soil moisture ranging from field capacity to $1/2$ available soil moisture in the soil column may be concluded that the loam soils have wider distributions than the silty loam soil.
4. No matter what kind of soils, the rate of capillary movement was very fast within the beginning 5 days. Its rate reduced considerably afterward.
5. Since the soil moisture ranging from field capacity to $1/2$ available soil moisture in the soil column is very shallow, it is necessary to adjust the ground water table and make the moisture distribution within the root zone thus be able to adapt the shallow root plant growth.
6. Associating with item 5, correlate the consumptive use and the rate of capillary movement we may find out the data for determining irrigation intervals and crop water requirement.
7. It failed to find out the permanent wilting point due to the shortage of time for the experiment.