

# 地下水毛細管作用對旱作灌溉之影響\*

## The influence of the levels of ground water on upland crops irrigation

臺灣大學農工系副教授

徐 五 標

Yuh Piau Shu

### 一、引 言

旱田作物之生長，有賴於土層中有效水分之供應。根系土層中有效水分(Available soil moisture)之來源，為灌溉、降雨及地下水毛細管之作用。前二者可以測定計算，其數值較為一定；後者因地區而異，許多地區地下水位高，毛細管水之作用成爲土壤有效水分之主要來源。因此，單以灌溉用水量及降雨量與每日消耗水量來估計每次施灌之間隔期距成爲不可靠。根據近五年來，嘉南地區旱作灌溉試驗之結果，灌溉間隔期距受地下水毛細管之作用很大。以坊質壤土爲例，灌溉有效土層60厘米深度中，大體上，一次灌溉後所能保持之有效水分相當於灌溉水深約 100 mm 左右，如果每日田間之蒸發蒸散量爲5mm 計，則土層中有效水分，在理論上僅能供應三星期之消耗，亦即說明旱作灌溉間隔期距應短於三星期，否則作物將生長在凋萎點之下，有枯死之可能。但事實上不然，嘉南地區每年自十一月旱季開始之後，至翌年四月，在長達 150 天之旱季中，往往連續兩個月以上，全無降雨，然而土壤中之水分，在表土 20cm 左右，很

少有降至凋萎點，土層深度在 40cm，大多保持在有效水分50%左右，深度在 80cm 以下時，土壤水分幾近田間含水量(Field capacity)。此種現象，可說明旱作栽培，土壤中水分含量受地下水之毛細管作用之影響很大。臺灣旱作栽培，多數爲三年輪作田、單期作田或冬期裡作田，許多地區，地下水位高，由於地下水位之影響，其對於旱作灌溉之效果與灌溉期距之探討，是目前推行旱作灌溉，必須先行研究之目標。

### 二、試驗方法

本試驗爲控制地下水位，然後分別測地下水水位之不同，其毛細管水作用，在各土層中水分含量分佈情形，所以初步研究，在室內控制之條件下進行。

#### (A) 供試土壤

爲配合全省旱作灌溉推行計劃，故供試土壤亦分別採自各旱作灌溉工作站試驗區，按各地區之田間實際狀況，以旱季中最低之地下水位起，每隔 10cm 分層採集，茲將採樣地點、取樣深度與地下水位，表列如下：

表(一) 取樣地點及所在地地下水位記錄表

樣品號碼	採 樣 地 點	冬夏季地下水位 範圍 (cm)	垂直土層取樣本 個數 (個)	備 註
1	臺北臺灣大學灌溉試驗場	80~120	16	
2	石門旱作灌溉試驗站	> 200	16	1公尺以下爲卵圓石礫層
3	後龍 " "	125~150	20	
4	彰化 " "	120~180	20	
5	新港旱作灌溉示範站 砂壤土	> 150	18	
6	" " 壤土	> 150	20	
7	學甲旱作灌溉試驗站	> 150	20	
8	七股鹽分地改良試驗站	100~160	16	
9	岡山旱作灌溉試驗站	140~180	18	
10	瑞穗旱作灌溉試驗站	> 200	19	120公分以下，全爲礫石層

脚註：\*本研究承國家長期發展科學委員會補助，謹致謝忱。

分層採集之土壤樣品，携返研究室，風乾搗細，再按層次分別裝置於特製直徑8cm，高約200cm之透明塑膠圓筒中，塑膠圓筒每隔10cm開一小孔，供試驗期間，採取土壤樣品，作土壤水分測定用。

(B) 測定項目

試驗樣本裝妥後，用不同地下水位處理，觀察其毛細管水上升情形，並測定不同水柱高度毛細管水之含量。同時測定下列諸項目，估計有效水分，進一步判斷其對灌溉可能產生之影響。

1. 土壤剖面水分含量測定：

自地下水位起，向上每隔10cm距離，分別測定土壤水分含量，繪成曲線，觀察水分含量在各土層之分佈狀況。

2. 土壤質地及各種水分常數值之測定：

- a. 土壤機械組成分。
- b. 土壤田間容水量 (Field capacity)。
- c. 水分當量 (Moisture Equivalent)。
- d. 1/3atm水分保持值 (Porous-plate Apparatus)。

e. 15atm. 水分保持值 (Pressure-Membrance Apparatus)

f. 凋萎係數。

g. 土壤容重。

三、結果及討論

根據 Keen 氏(1922)之研究，均質土壤毛細管水理論上可能上升高度：細礫可以升高至地下水面上0.1公尺，粗砂為0.45公尺，細砂2.25公尺，粉質土9.3公尺，粘土可以達到45公尺以上。但事實上，由於孔隙大小、溫度、及土壤導水力(Water Conductivity)之不同，毋論是在試驗室內研究或自然狀態下之觀察，均不可能達到此種高度。1927年，Keen氏曾實地試驗，在土壤表面蒸發之狀態下，經過6~8月之時間，粗砂上升之高度為35cm，粉質壤土之上升高度僅85cm，且在試驗第三個月以後，上升高度幾乎沒有變化。本試驗所採集之土壤，係按各地區土壤之不同層次，分層採集。故土柱實為非均質土壤。但其水分分佈情形，可代表該地區土壤毛細管作用之情形。茲將試驗結果表列如下：

表(二) 各地區土壤物理性質，毛細管水上升高度及其水分含量  
The relationships between soil physical properties and the contents of capillary-rise in different soils.

臺大農場砂頁岩沖積土																(1)	
土層深度(cm)		150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
		土層距地 下水位高度(cm)															
測定項目		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
機械組成分	土 壤 別	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	砂壤土	粘質壤土	砂壤土	壤土	壤土	粘質壤土	粘質壤土	粘土	粘土	壤質粘土	壤質粘土
	砂 粒 (%)	36.6	48.6	39.6	37.6	39.6	52.6	34.6	60.6	42.6	44.6	22.6	22.6	19.6	14.6	2.6	7.6
	粉 粒 (%)	40.7	32.7	37.7	39.7	37.7	27.7	37.7	20.7	30.7	30.7	39.7	39.7	28.7	36.7	44.7	48.7
	粘 粒 (%)	22.7	18.7	22.7	22.7	22.7	19.7	27.7	18.7	26.7	24.7	37.7	37.7	51.7	48.7	52.7	43.7
	土 壤 容 重 (g/c.c.)	1.63	1.56	1.63	1.54	1.61	1.56	1.57	1.62	1.57	1.54	1.50	1.43	1.38	1.36	1.35	1.22
土壤水分常數	水 分 當 量 (%)	20.0	18.9	19.9	21.2	20.3	18.4	19.5	16.3	18.6	20.4	23.0	25.1	28.2	29.4	31.0	34.1
	1/3氣壓土壤水分保持值(%)	19.6	19.8	20.6	20.5	21.2	18.8	20.1	16.4	19.1	21.6	24.6	27.2	32.1	35.4	34.4	39.2
	田 間 容 水 量 (%)	19.6	19.8	20.4	22.1	20.9	18.9	20.0	16.8	19.1	21.3	23.9	26.1	30.4	33.2	32.4	36.5
	15氣壓土壤水分保持值(%)	6.9	6.8	6.9	7.2	7.1	6.7	7.3	6.6	7.5	8.9	11.1	12.9	17.1	17.5	17.0	13.8
	凋 萎 係 數 (%)	5.8	5.7	5.9	6.1	6.0	5.7	6.1	5.6	6.2	7.2	8.8	10.9	13.1	13.5	12.7	10.7
	毛 細 管 水 含 量 (%)	29.6	26.1	24.6	26.4	23.5	19.7	18.4	12.1	9.9	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	26.7	27.5	23.4	24.2	23.8	24.0	21.0	19.4	18.0	17.4	10.1

桃園石門台地紅壤

(2)

測定項目		土層深度(cm)															
		150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
土層距地 下水位高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
機械組成分	土 壤 別	砂質 粘壤土	砂壤土	砂質 粘壤土	砂質 粘壤土	粘質 壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	粘質 壤土	粘質 粘壤土	粘質 粘壤土	粘質 粘壤土
	砂 粒 (%)	61.1	64.1	57.1	48.1	42.1	43.1	26.1	22.1	32.1	36.1	30.1	36.1	32.1	35.1	13.1	17.1
	粉 粒 (%)	18.6	16.6	20.6	26.6	29.6	30.6	38.6	39.6	37.6	39.6	38.6	35.6	35.6	36.6	53.6	46.6
	粘 粒 (%)	20.3	19.3	22.3	25.3	28.3	26.3	35.3	38.3	30.3	34.3	31.3	28.3	32.3	38.3	33.3	36.3
土壤容重 (g/c.c.)		1.37	1.38	1.39	1.31	1.33	1.31	1.33	1.32	1.32	1.33	1.35	1.30	1.33	1.32	1.36	1.30
土壤水分常數	水分當量 (%)	17.1	17.7	18.3	24.1	25.8	26.9	23.5	29.1	27.1	28.4	27.2	28.4	27.0	26.6	26.0	26.8
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	17.1	15.6	17.7	24.3	24.6	26.2	27.8	29.7	28.5	29.6	27.8	30.9	30.1	28.7	31.2	30.0
	田間容水量 (%)	17.4	16.1	17.9	23.6	23.9	25.3	26.7	28.3	27.3	28.2	26.7	29.3	28.7	27.4	29.6	28.6
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	12.0	11.8	12.7	16.4	18.6	19.0	19.1	19.4	19.3	19.3	19.0	18.6	18.4	17.9	14.9	17.4
	凋萎係數 (%)	9.4	9.8	9.9	12.5	14.0	14.3	14.4	14.6	14.5	14.5	14.3	14.0	13.9	13.5	11.4	13.2
毛細管水含量 (%)		23.5	28.5	22.0	24.7	23.9	24.2	26.3	23.4	20.6	9.8	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	35.6	33.4	33.2	34.1	31.3	30.7	29.0	27.4	25.6	22.6	19.8

苗栗後龍砂頁岩沖積土

(3)

測定項目		土層深度(cm)																			
		190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
土層距地 下水位高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
機械組成分	土 壤 別	砂壤土	砂壤土	砂質 粘壤土	砂壤土	砂壤土	砂土	砂土	壤質 砂土	砂土	壤質 砂土	砂土	壤質 砂土	壤質 砂土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	壤質 砂土	砂土	砂土
	砂 粒 (%)	74.9	73.9	65.9	75.9	76.9	91.9	93.9	87.9	91.9	85.9	91.9	84.9	87.9	79.9	79.9	78.9	78.9	85.9	88.9	89.9
	粉 粒 (%)	9.6	9.6	13.6	4.6	10.6	0.6	0.6	1.6	0.6	3.6	0.6	4.6	3.6	7.6	7.6	8.6	8.6	4.6	3.6	2.6
	粘 粒 (%)	15.5	16.5	20.5	19.5	12.5	7.5	5.5	10.5	7.5	10.5	7.5	10.5	8.5	12.5	12.5	12.5	12.5	9.5	7.5	7.5
土壤容重 (g/c.c.)		1.46	1.49	1.33	1.37	1.36	1.51	1.53	1.47	1.53	1.53	1.54	1.53	1.48	1.45	1.43	1.50	1.53	1.53	1.54	1.57
土壤水分常數	水量當分 (%)	12.0	14.6	17.7	17.1	11.4	3.2	3.0	5.6	4.5	4.5	4.3	4.7	5.4	7.0	7.7	6.7	9.4	4.3	3.6	3.5
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	12.2	14.3	18.6	17.7	11.6	5.6	5.2	6.5	5.1	5.9	9.1	6.5	6.1	6.9	7.8	7.2	9.6	5.2	4.7	4.8
	田間容水量 (%)	13.2	15.0	18.7	17.9	12.7	7.5	7.1	8.2	7.0	7.7	10.5	8.2	7.9	8.6	9.4	8.8	10.9	7.1	6.7	6.8
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	5.0	6.0	7.5	6.8	5.1	2.0	1.9	3.1	3.1	3.1	2.9	3.1	3.1	3.7	4.3	3.5	4.5	2.0	1.8	1.9
	凋萎係數 (%)	4.5	5.2	6.2	5.8	4.6	2.4	2.3	3.2	3.2	3.2	3.0	3.2	3.2	3.6	4.0	3.4	4.1	2.4	2.3	2.3
毛細管水含量 (%)		18.0	24.6	22.3	24.2	15.3	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	29.4	21.2	19.9	16.9	5.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	18.1	18.0	17.4	14.2	13.1	12.6	10.2	11.0	7.0	—	—

彰化粘板岩質沖積土

(4)

測定項目		土層深度(cm)																			
		190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
土層距 地下水位高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
機械組成成分	土壤別	砂土	砂土	砂土	砂土	砂土	砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤土	壤土	壤土	粘質壤土	粘質壤土	粘質壤土	砂質粘壤土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土
	砂粒 (%)	91.5	95.5	93.5	94.0	90.0	89.5	88.5	88.5	82.5	79.5	49.5	35.5	43.0	43.5	38.0	35.5	62.0	88.0	82.0	84.5
	粉粒 (%)	3.5	1.3	2.0	2.0	4.0	5.5	5.0	4.5	9.5	11.5	35.0	44.5	37.0	27.0	26.0	26.0	14.5	4.0	8.5	7.0
	粘粒 (%)	5.0	3.2	4.5	4.0	6.0	5.0	6.5	7.0	8.0	9.0	15.5	20.0	20.0	29.5	36.0	38.5	23.5	8.0	9.5	8.5
土壤容重 (g/c.c.)		1.67	1.64	1.66	1.66	1.57	1.56	1.54	1.54	1.48	1.57	1.49	1.46	1.49	1.48	1.45	1.41	1.50	1.63	1.61	1.62
土壤水分常數	水分當量 (%)	4.2	3.5	3.4	4.3	4.9	5.8	8.0	5.9	7.6	9.1	17.6	22.2	20.6	21.2	22.7	23.3	15.4	6.3	7.0	7.2
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	4.9	3.6	3.7	5.0	5.9	6.4	7.4	7.2	7.8	9.7	17.7	24.9	21.8	21.8	23.9	24.6	16.1	5.6	6.0	7.8
	田間容水量 (%)	6.8	5.8	5.9	6.9	7.7	8.2	9.0	8.9	9.4	11.0	17.9	24.2	21.5	21.5	23.3	23.9	16.6	7.5	7.9	9.3
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	1.9	2.3	2.0	2.1	2.3	2.3	2.5	2.7	2.7	3.0	4.8	5.8	5.7	7.8	10.3	10.2	5.7	2.0	2.0	2.2
	凋萎係數 (%)	2.3	2.6	2.4	2.4	2.6	2.6	2.7	2.9	2.9	3.1	4.3	5.0	5.0	6.5	8.2	8.1	5.0	2.4	2.4	2.5
毛細管水含量 (%)		15.6	9.3	9.7	10.6	11.0	12.6	11.0	8.7	9.0	11.2	11.3	12.1	11.7	4.1	—	—	—	—	—	—

嘉義新港砂頁岩沖積土

(5)

測定項目		土層深度(cm)																	
		170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
土層距 地下水位高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
機械組成成分	土壤別	壤土	砂壤土	壤質砂土	粘質壤土	砂壤土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	壤質砂土	砂壤土	壤土	粘質壤土	粘質壤土	壤土	壤土	壤土	
	砂粒 (%)	31.9	69.9	81.9	25.9	55.9	85.9	87.9	85.9	85.9	85.9	61.9	39.9	38.9	36.9	35.9	39.9	39.9	
	粉粒 (%)	48.8	21.8	10.8	35.8	24.8	5.8	4.8	6.8	4.8	4.8	6.8	19.8	33.8	30.8	34.8	40.8	39.8	39.8
	粘粒 (%)	19.3	8.3	7.3	38.3	19.3	8.2	7.3	7.3	9.3	9.3	10.3	18.3	26.3	30.3	28.3	23.3	20.3	20.3
土壤容重 (g/c.c.)		1.53	1.54	1.54	1.48	1.49	1.55	1.48	1.53	1.46	1.43	1.50	1.48	1.48	1.47	1.46	1.48	1.48	1.48
土壤水分常數	水分當量 (%)	17.5	6.7	23.3	8.6	5.5	4.3	4.3	5.6	4.8	5.1	5.7	13.2	17.7	18.7	18.7	16.9	16.1	17.6
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	22.7	10.2	7.7	24.5	11.9	7.7	6.5	6.0	6.4	6.8	7.0	14.1	19.1	19.9	18.7	20.2	19.6	21.7
	田間容水量 (%)	22.2	11.4	9.3	23.8	12.9	9.3	8.2	7.8	8.2	8.5	8.7	14.8	19.1	19.8	18.8	20.1	19.6	21.4
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	6.3	2.4	1.9	10.9	3.6	2.1	1.7	1.7	1.9	2.2	2.4	4.5	7.1	8.1	7.6	5.3	4.9	4.9
	凋萎係數 (%)	5.4	2.7	2.3	8.6	3.5	2.5	2.2	2.2	2.3	2.5	2.7	4.1	6.0	6.7	6.3	4.7	4.4	4.4
毛細管水含量 (%)		25.4	29.2	22.8	27.3	25.0	23.4	19.2	17.4	15.3	8.8	8.0	—	—	—	—	—	—	—

		新港砂頁岩沖積土																	(6)		
		土層深度(cm)																			
		190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
測定項目		土層距地下水高度(cm)																			
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
機械組成分	土壤別	砂壤土	砂壤土	壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	砂壤土	砂壤土	壤土	砂壤土	砂壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土	壤土
	砂粒 (%)	77.3	57.3	49.3	28.3	21.3	27.3	35.3	53.3	58.3	47.3	59.3	61.3	47.3	44.3	43.3	42.3	47.3	47.3	47.3	48.3
	粉粒 (%)	15.0	33.0	37.0	55.0	58.0	58.0	51.0	36.0	32.0	40.0	28.0	25.0	34.0	34.0	36.0	42.0	41.0	40.0	40.0	41.0
	粘粒 (%)	7.7	9.7	13.7	16.7	20.7	14.7	13.7	10.7	9.7	12.7	12.7	13.7	18.7	21.7	20.7	15.7	11.7	12.7	12.7	10.7
土壤容重 (g/c.c.)		1.56	1.58	1.54	1.53	1.50	1.51	1.52	1.45	1.52	1.52	1.49	1.52	1.53	1.51	1.42	1.48	1.43	1.48	1.43	1.48
土壤水分常數	水分當量 (%)	6.1	11.5	14.0	18.6	20.0	16.3	17.3	10.9	11.1	13.2	12.4	12.7	15.8	16.9	17.0	14.7	13.2	14.5	14.0	12.1
	1/3 氣壓土壤水分保持值 (%)	6.9	12.6	15.4	20.8	22.0	18.1	18.8	11.9	10.8	13.9	12.0	11.9	15.8	17.9	17.1	15.2	12.3	14.9	15.0	12.2
	田間含水量 (%)	7.0	13.5	15.9	20.6	21.7	18.3	18.9	12.9	12.0	14.6	13.0	12.9	16.3	18.1	17.4	15.8	13.3	15.5	15.6	13.2
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	2.4	3.5	4.4	5.8	6.9	5.2	5.3	4.0	3.8	4.8	4.9	5.1	6.6	7.6	6.7	5.0	3.8	4.1	4.2	2.7
	凋萎係數 (%)	2.7	3.5	4.1	5.1	5.8	4.6	4.7	3.8	3.6	4.4	4.4	4.5	5.6	6.3	5.7	4.5	3.6	3.8	3.9	2.9
毛細管水含量 (%)		23.7	21.6	22.5	24.6	25.7	23.5	24.6	19.9	17.6	18.6	14.4	11.9	3.0	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	25.6	24.6	21.5	20.9	20.3	17.4	14.0	17.1	15.8	17.0	13.4	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.4	22.9	20.4	21.5	20.6	19.4	17.6	15.0	13.8	11.2	9.2

		臺南學甲鹽漬土																	(7)		
		土層深度(cm)																			
		190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
測定項目		土層距地下水高度(cm)																			
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
機械組成分	土壤別	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粘壤土	粉質粘壤土	粉質粘壤土	粉質粘壤土	粉質粘壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土	粉質壤土
	砂粒 (%)	9.3	26.3	23.3	25.3	20.3	17.3	13.3	18.3	18.3	4.3	1.3	3.3	0	18.3	13.3	21.3	25.3	20.3	22.3	20.3
	粉粒 (%)	67.0	60.0	61.0	59.0	62.0	64.0	70.0	63.0	60.0	60.0	57.0	65.0	62.3	52.0	65.0	63.0	60.0	64.0	62.0	65.0
	粘粒 (%)	23.7	13.7	15.7	15.7	17.7	18.7	16.7	18.7	21.7	35.7	41.7	31.7	37.7	29.7	21.7	15.7	14.7	15.7	15.7	14.7
土壤容重 (g/c.c.)		1.52	1.50	1.54	1.54	1.53	1.53	1.50	1.50	1.55	1.48	1.42	1.44	1.42	1.45	1.45	1.43	1.43	1.42	1.48	1.43
土壤水分常數	水分當量 (%)	22.7	18.1	16.5	19.1	19.0	20.9	18.9	19.3	20.9	25.1	27.6	29.2	27.3	24.5	22.5	17.4	15.8	16.5	16.9	16.1
	1/3 氣壓土壤水分保持值 (%)	27.2	21.5	18.2	21.2	22.7	24.0	22.2	22.0	22.8	29.3	30.2	28.7	29.6	26.0	25.9	17.2	15.4	18.6	18.8	17.9
	田間含水量 (%)	26.1	21.2	18.4	20.9	22.3	23.4	21.9	21.7	22.4	28.0	28.7	27.5	28.2	25.1	25.1	17.5	16.0	18.7	18.9	18.2
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	7.5	5.4	4.8	5.3	5.6	6.1	5.3	6.1	6.4	11.1	11.7	11.9	11.4	9.0	7.2	5.4	4.5	4.6	4.5	4.2
	凋萎係數 (%)	6.2	4.8	4.4	4.7	4.9	5.2	4.7	5.3	5.4	8.8	9.2	9.4	9.0	7.3	6.0	4.8	4.1	4.2	4.1	3.9
毛細管水含量 (%)		—	26.7	25.1	24.5	25.0	24.6	24.7	23.7	22.6	25.1	25.2	18.0	—	—	—	—	—	—	—	—
		—	—	—	—	28.1	27.3	26.5	26.5	24.9	29.7	28.3	27.4	26.1	20.1	17.8	10.1	—	—	—	—
		—	—	—	—	—	—	—	—	—	32.0	30.4	29.6	28.7	25.8	25.0	19.3	17.2	15.7	13.7	11.5

臺南七股鹽漬土

(8)

測定項目		土層深度(cm)																
		150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
土層距 地下水高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
機械組成分	土壤別	坩質 粘土	粘土	坩質 粘壤土	質 粘壤土	坩質 壤土	坩質 壤土	壤土	坩質 壤土	坩質 壤土	坩質 壤土	壤土	坩質 壤土	砂壤土	坩質 壤土	坩質 壤土	坩質 壤土	
	砂	粒 (%)	2.12	0.1	1.1	3.1	17.1	9.1	41.1	20.1	3.1	12.1	46.1	35.1	55.1	29.1	22.1	21.1
	粉	粒 (%)	47.0	39.0	69.0	69.0	66.0	71.0	47.0	58.0	72.0	65.0	32.0	52.0	34.0	36.0	38.0	55.0
	粘	粒 (%)	50.9	60.9	29.9	27.9	16.9	19.8	11.9	21.9	24.9	22.9	11.9	12.9	10.9	14.9	19.9	23.9
土壤容重 (g/c.c.)		1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	
土壤水分常數	水分當量 (%)	33.0	41.0	29.5	26.4	19.0	21.3	12.4	21.2	24.8	22.9	10.8	12.4	9.9	15.7	18.2	17.5	
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	34.3	37.4	32.6	30.1	25.4	28.6	14.9	24.9	29.9	26.9	13.1	13.1	9.4	17.1	20.3	18.6	
	田間容水量 (%)	32.3	35.0	30.9	28.6	24.6	27.4	15.5	24.2	28.5	25.9	13.9	13.9	10.8	17.4	20.2	18.2	
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	11.9	15.6	10.4	6.9	4.7	5.0	3.5	5.2	5.5	5.1	3.1	3.4	3.1	4.2	4.2	5.0	
凋萎係數 (%)		15.6	20.8	13.4	8.5	5.3	5.7	3.5	7.1	7.5	6.9	3.1	3.4	3.0	4.6	4.6	5.7	
毛細管水含量 (%)		21.5	12.6	4.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	21.9	24.8	28.9	26.4	11.6	8.0	6.2	—	—	—	

高雄岡山礮層土

(9)

測定項目		土層深度(cm)																		
		170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0	
土層距 地下水高度(cm)		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	
機械組成分	土壤別	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	質 粘壤土	質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	坩質 粘壤土	
	砂	粒 (%)	6.5	7.5	7.5	7.5	6.5	6.5	4.5	9.5	8.5	6.5	5.5	8.5	15.5	13.5	13.5	14.5	15.5	15.5
	粉	粒 (%)	55.6	63.6	64.6	64.6	64.6	64.6	62.6	60.6	61.6	61.6	60.6	59.6	65.6	66.6	66.6	66.6	67.6	67.6
	粘	粒 (%)	37.9	28.9	27.9	27.9	28.9	28.9	32.9	29.9	29.9	31.9	33.9	31.9	18.9	19.9	19.9	18.9	16.9	16.9
土壤容重 (g/c.c.)		1.37	1.28	1.33	1.37	1.38	1.38	1.38	1.39	1.43	1.40	1.40	1.47	1.48	1.52	1.48	1.47	1.43	1.41	
土壤水分常數	水分當量 (%)	23.7	25.0	23.1	23.3	23.6	23.2	23.5	23.4	22.6	23.5	23.7	22.8	19.1	20.2	20.5	21.6	22.7	22.6	
	1/3氣壓土壤水分保持值 (%)	25.6	25.3	25.6	25.3	25.9	25.4	25.6	25.1	24.4	26.4	26.4	25.7	25.8	25.2	25.6	27.5	28.7	28.9	
	田間容水量 (%)	24.8	24.5	24.7	24.5	25.0	24.6	24.8	24.3	23.7	25.3	25.4	24.8	25.0	24.4	24.7	26.4	27.4	27.6	
	15氣壓土壤水分保持值 (%)	12.4	9.4	8.8	8.8	9.0	9.1	10.0	9.4	9.1	9.5	11.2	10.1	5.6	6.1	5.7	5.4	5.9	5.6	
凋萎係數 (%)		9.6	7.6	7.2	7.1	7.3	7.3	8.0	7.6	7.4	7.6	8.8	8.0	4.9	5.3	5.0	4.7	5.1	4.9	
毛細管水含量 (%)		31.7	32.3	29.3	28.0	26.5	24.9	24.3	21.7	17.7	13.2	4.1	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	30.0	28.4	28.4	27.1	25.2	24.5	19.6	18.2	16.8	15.2	9.4	

花蓮瑞穗結晶片岩質沖積土

(10)

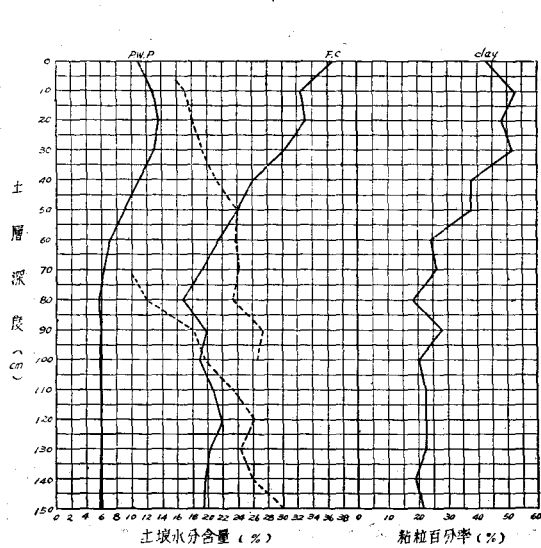
測定項目	土層深度(cm)	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
	土層距 地下水位高度(cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
機械組成分	土壤別	砂土	砂土	砂土	砂壤土	砂土	砂土	砂土	砂壤土	砂土	砂土	砂土	砂土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土	砂壤土
	砂粒 (%)	92.6	88.6	89.6	86.6	92.6	89.6	88.6	86.6	90.6	88.6	90.6	87.6	65.6	29.6	29.6	20.6	28.6	26.6	30.6
	粉粒 (%)	4.3	7.3	6.3	8.3	4.3	6.3	7.3	8.3	5.3	7.3	5.3	8.3	27.3	59.3	55.3	61.3	62.3	62.3	58.3
土壤容重 (g/c.c.)	粘粒 (%)	3.1	4.1	4.1	5.1	3.1	4.1	4.1	5.1	4.1	4.1	4.1	4.1	7.1	11.1	15.1	18.1	9.1	11.1	11.1
	土壤容重 (g/c.c.)	1.82	1.84	1.85	1.88	1.74	1.75	1.81	1.71	1.69	1.68	1.68	1.71	1.65	1.33	1.28	1.24	1.30	1.36	1.37
土壤水分常數	水分當量 (%)	4.5	4.9	4.6	5.2	4.0	3.6	5.7	5.5	4.2	3.3	3.9	4.4	12.4	22.0	24.9	28.5	16.1	22.6	20.7
	1/3 氣壓土壤水分保持值 (%)	3.7	5.5	5.2	4.5	4.0	3.3	5.2	5.5	4.1	4.1	3.6	4.2	12.3	24.7	28.7	33.1	17.3	23.9	23.2
	田間含水量 (%)	5.8	7.4	7.2	6.5	6.1	5.5	7.1	7.4	6.1	6.1	5.8	6.3	13.2	24.0	27.5	31.2	17.6	23.3	22.7
	15 氣壓土壤水分保持值 (%)	1.0	1.0	1.0	1.1	1.1	1.0	1.1	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	2.2	3.2	3.6	4.7	2.9	3.4	3.2
	凋萎係數 (%)	1.7	1.7	1.7	1.8	1.8	1.7	1.8	1.9	1.8	1.8	1.9	1.9	2.5	3.2	3.7	4.3	3.0	3.4	3.2
毛細管水含量 (%)	7.7	7.5	5.9	5.0	6.9	4.2	7.4	8.2	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		—	—	—	—	—	—	—	24.8	18.9	13.8	17.0	32.6	30.7	34.1	24.1	19.9	18.0	15.9	

註(一) 表中田間含水量係以水分當量實測值、依 Peele 氏(1948)所求之關係式  $Pfe=0.865 Pme+2.6$  計算而得。

(二) 表中凋萎點以15氣壓實測值、依  $Pwp=0.7 P_{15}+0.99$  計算而得。

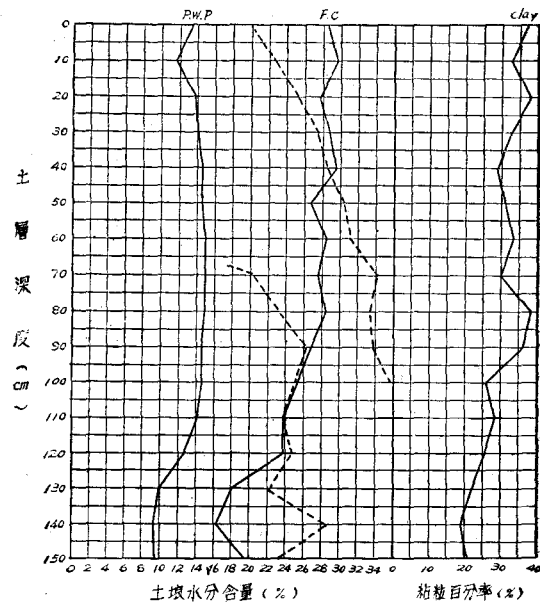
臺大農場砂岩沖積土

(1)

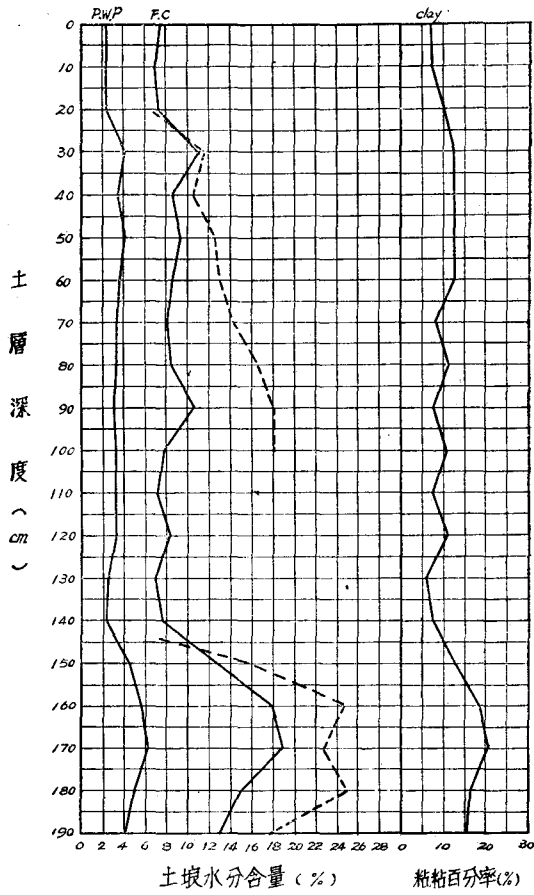


桃園石門台地紅壤

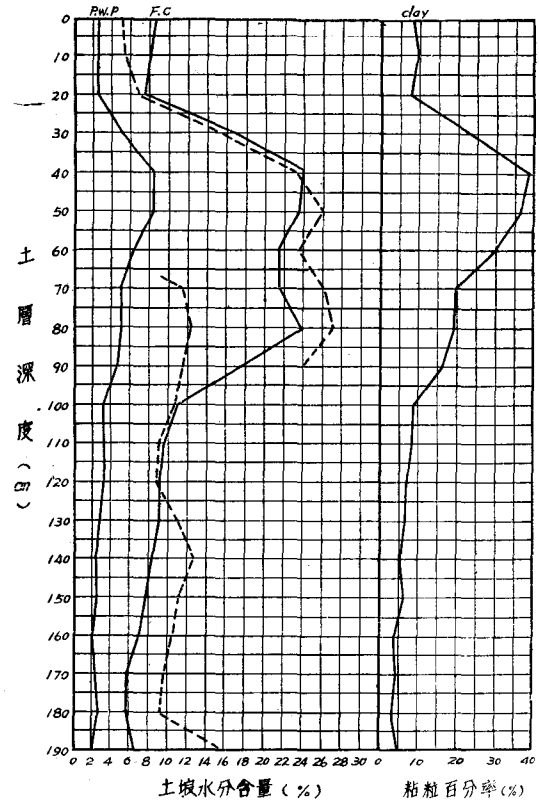
(2)



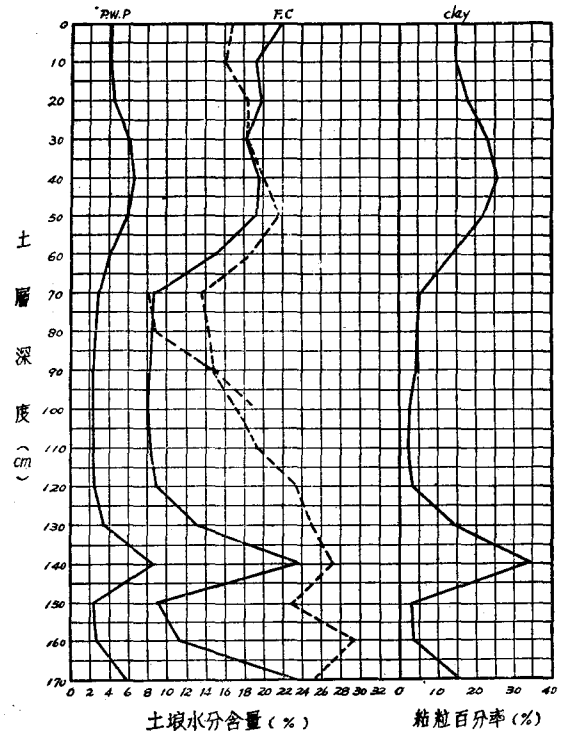
苗栗後龍砂頁岩沖積土 (3)



彰化粘板岩質沖積土 (4)



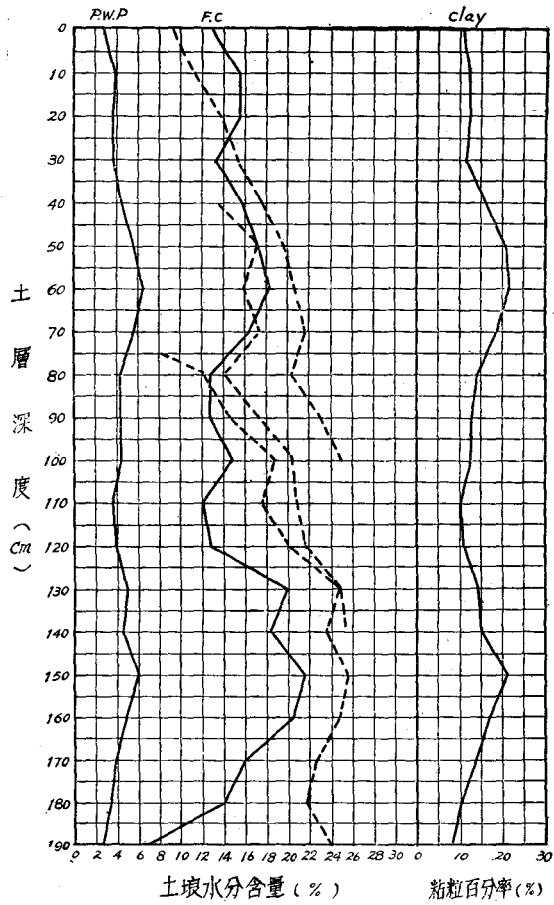
嘉義新港砂頁岩質沖積土 (5)





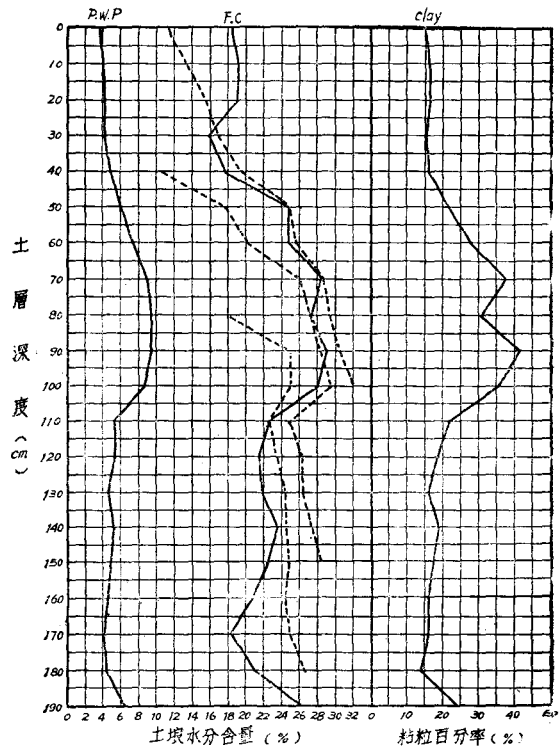
新港砂頁岩質沖積土

(6)



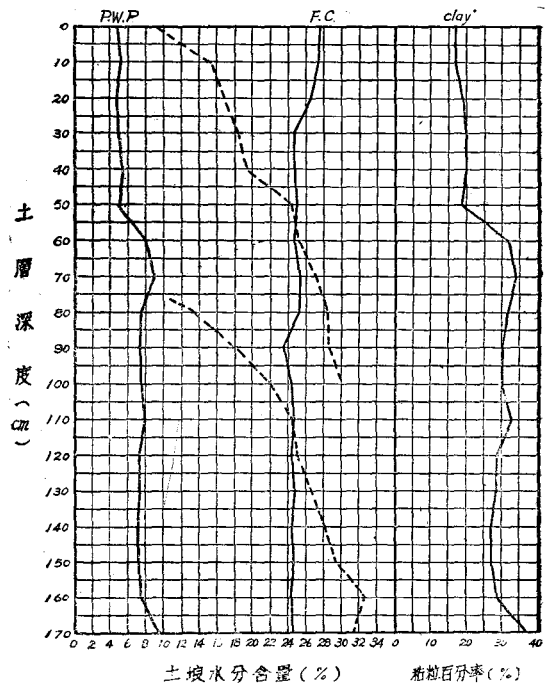
臺南學甲鹽漬土

(7)



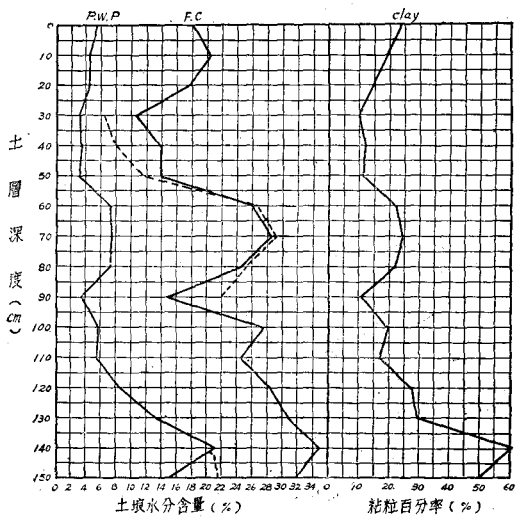
高雄岡山磐層土

(9)

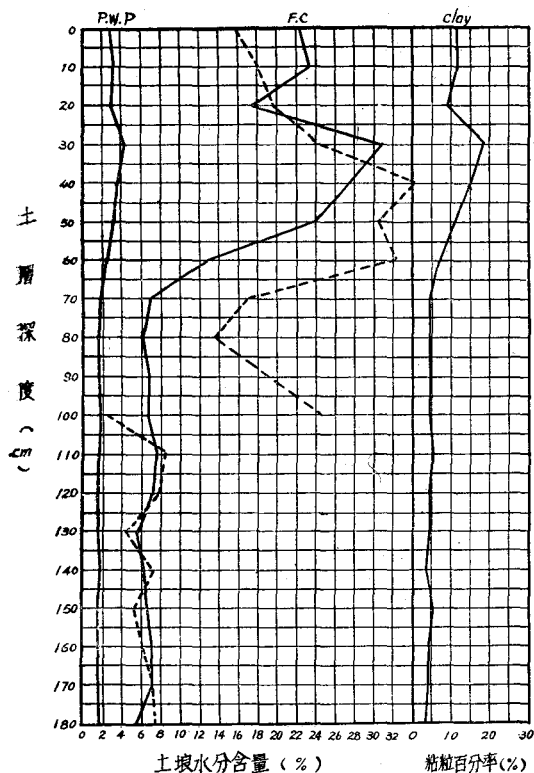


臺南七股鹽漬土

(8)



花蓮瑞穗結晶片岩質沖積土 (10)



從上表中各類土壤之物理性質，水分常數以及毛細水上升之現象看來，可以歸納如下數點加以討論說明：

(A) 各類土壤在不同地下水位時毛細管水上升情形：

土壤因質地之不同，毛細管水上升之速度差異很大。如後龍區之土壤，為砂土及壤質砂土交疊之土層，浸入水中後，初24小時毛細管水上升極快，地下水位在190cm，第一天便升高約40cm，但以後五週內，僅上升6cm。水位為100cm深度，96小時後上升至60cm左右，五週以後上升至78cm之高度，前者因質地較粗所以上升快，後者稍細，故上升較慢亦較高。又如七股區之鹽漬土，因含鹽達12.0mmhos/cm左右，土柱侵入水中後，經過五星期，毛細管水上升在190cm水位時不及20cm，在100cm水位下亦僅達62cm 是否因土壤鹽分溶液過濃影響毛細管之作用，有待今後另行研究。至於土壤質地為砂壤土，粉質壤土或粘土之類，包括臺北砂頁岩細質地之沖積土、石門台地紅壤、彰化粘板岩沖積土、新港及學甲中質地沖積土、岡山盤層土及瑞穗結晶片岩沖積土等，土柱浸水後，經過五星期之時間，毛細管水均能上升至

100cm左右之高度。茲為便於比較，將各地區土壤毛細管水上升高度及水分含量情形，從上列諸圖表中分別摘錄，作成表(三)如下：

表(三) 各類土壤地下水位不同毛細管水上升高度

土 類	地 下 水 位 (cm)	毛細管水上升距地面深度 (cm)	毛細管水之高度 (cm)	毛細管水含量多於P.C.所具有之高度 (cm)	毛細管水含量在有效水之間所具有之高度 (cm)
臺北砂頁岩質沖積土	150	72	78	52	26
	100	8	92	50	42
桃園石門台地紅壤	150	66	84	58	26
	100	0	100	55	45
苗栗後龍砂頁岩質沖積土	190	144	46	43	3
	100	22	78	66	12
彰化粘板岩質沖積土	190	67	123	70	53
	90	0	90	55	35
新港砂頁岩質沖積土(a)	170	76	94	78	16
	100	0	100	72	28
新港砂頁岩質沖積土(b)	190	75	115	105	10
	140	43	97	73	24
	100	0	100	72	28
學甲沖積土	190	80	110	80	30
	150	40	110	70	40
	100	0	100	73	27
七股鹽漬土	150	140	10	0	10
	90	28	62	31	31
岡山盤層土	170	78	92	55	37
	100	0	100	50	50
瑞穗結晶片岩質沖積土	180	87	93	73	20
	100	0	100	66	34

註：土柱浸水時間經過五週整，毛細管水上升高度及含量。

由表(三)所示，地下水位深度在150~190cm之間，土層經過五週之浸漬，除砂土外，中質地或細質地土壤，毛細管水均能升至100cm以上。換言之即毛細管水可上升至離地表50~90cm，如果地下水位提高至100cm，則毛細管水一般均能上升至地表。土柱中毛細管水之含量是隨土柱距地下水位之距離，愈高而遞減，即所謂 Capillary potential 因位能而不同。此點 Buckingham (1907) 氏早已證實。本試驗限於時間，惟經過五週後分別測定不同土層之高度中，毛細管水含量，有如下之事實。

(a) 粗質地土壤，毛細管上升能在數日內上升至最大高度，當上升時，其濕潤圈很明顯，即乾土與濕土間有清晰之界限。質地較粘重之土壤，毛細管上升，其前端約5~15cm之濕潤圈往往模糊不清，質地愈粘，模糊之濕潤圈愈大，毛細管上升達到平衡時之高度亦較粗質地為高。

(b) 毛細管上升將達平衡之最大高度時，其下

端土層之水分含量多超過田間容水量。上端却在有效水分範圍內。兩者間高度之比例，因土壤而有差異，其情形如圖（一）及表（二）所示。一般言之，砂土毛細管上升後，其土層水分超出田間容水量之高度較中質地及細質地為高。如後龍之砂土與壤質砂土，毛細管上升78cm之高度時，其下端毛細管水多於田間容水量所俱有之高度達66cm，低於田間容水量在有效水分範圍之內僅佔12cm。中質地或細質地之土壤，含量高於田間容水量之毛細管柱之高度亦比低於田間容水量者為高。如表（二）所列，由此可見毛細管水之移動大部分是在高於田間容水量之情形下進行。

至於細質地土壤，毛細管水上升，達到平衡最大高度之時間，據 Keen 氏估計往往需時一年甚至數年之久，惟增加之高度極其有限，學理上之探討則可，在灌溉之立場，並不重要。從上述之毛細管現象，其與灌溉之關係說明如下：

(a) 粗質地土壤如後龍之砂土或壤質砂土，地下水位在190cm時。毛細管僅能升高至地表下144cm處，在作物根層之下，無法利用。地下水位在100cm，則毛細管可升至離地表22cm。自22cm之下12cm為毛細管水之有效水分範圍。故自灌溉之立場而言，表層22cm之深度，應靠灌溉來維持其水分；22~34cm間由毛細管作用便可供應作物之生長。地表40cm以下，水分超過田間容水量，因水分過多，故不適作物根系之伸展。由是觀之，粗質地土壤，100cm地下水位，僅適於淺根作物之栽培，同時表土應行灌溉。

(b) 中質地或細質地土壤，地下水位在100cm時，毛細管水可以上升至地表。表層土壤0~40cm深

度，土壤是在有效水分範圍內，作物不賴灌溉便可生長。自40cm以下，水分過多，對耕作栽培，根系可能蒙受不利之影響。但如水位降至150cm以下時，其時毛細管水視土壤而不同，一般均可上升至地表90~50cm之深度，即表層0~50cm，為毛細管水作用所不及，應賴灌溉，50~120cm之深度是在有效水分範圍，適於根系伸長，此種事實，與近年來嘉南水利會在學甲及水林兩灌溉試驗站所試驗結果相符。學甲試驗區地下水位在160~190cm之間，土層深度60~100cm左右，水分經常保持在田間容水量附近，所以作物在表層土壤應靠灌溉，但深根作物可以利用表層下之有效水分，故試驗結果是灌溉效果顯著，而產量高。水林試驗區地下水位在旱季僅100cm，由於毛細管作用，灌溉效果不顯著，但因有效水分範圍之土層太淺，故產量亦不高。臺糖包敦樸氏曾作地下水水位對甘蔗(N: CO310)生育、產量及根系之影響，亦得到相同之結果。地水水位150cm顯較100cm為佳。

(B) 土層中有效水分貯藏量之估算：

土層中有效水分貯藏量之高低是決定於土壤有效水分範圍大小（即田間容水量與凋萎點之差值）與土壤容重之高低。本試驗根據每一土層之有效水分範圍及容重，用公式：

$$d = \frac{P_{f.c.} - P_{w.p.}}{100} \times A_s \cdot D$$

d = 某一土層中有效水分含量 (mm)

A<sub>s</sub> = 土壤容重

D = 土層深度 (cm)

分別估算各土層及全層土壤最大有效水分貯藏量以及毛細管水所供應之有效水分量，表列於下：

表（四）各類土壤土層中有效水分最大貯藏量以及毛細管所供應之有效水分量百分率

土層深度(cm)	土 壤 別										
	臺北砂頁岩沖積土	桃園石門台地紅壤	後龍砂頁岩沖積土	彰化粘板岩沖積土	新港砂頁岩沖積土	新港砂頁岩沖積土	學甲坩質壤土	七股鹽漬土	崗山盤層土	瑞德石灰片岩質沖積土	
0	mm. 31.5	mm. 20.0	mm. 7.1	mm. 11.0	mm. 25.2	mm. 15.2	mm. 20.4	mm. 17.5	mm. 32.0	mm. 26.7	
10	26.6	24.8	6.8	8.9	22.5	16.7	21.9	23.4	31.9	27.1	
20	26.8	18.3	11.5	8.3	22.8	17.3	20.6	19.2	31.9	19.0	
30	23.9	19.7	10.4	17.4	18.3	13.9	17.0	11.7	29.3	33.4	
40	21.7	19.9	8.1	22.3	19.3	16.7	18.2	15.8	29.0	30.5	
50	22.7	16.7	7.7	21.9	19.4	16.6	27.7	16.2	29.7	27.7	
60	21.7	18.2	9.3	22.0	15.8	17.8	25.8	28.5	24.7	17.7	
70	20.3	16.9	7.0	24.6	9.0	16.4	27.3	29.4	23.2	7.5	
80	18.1	18.1	7.7	28.0	8.6	12.8	26.1	25.7	24.8	6.6	
90	21.8	16.4	11.6	20.3	8.6	12.8	27.7	18.0	23.3	7.2	
100	20.6	14.4	6.9	12.4	8.6	15.5	28.4	30.4	23.2	7.3	
110	24.0	13.2	5.8	9.6	8.9	17.8	26.4	29.0	23.2	9.4	

120	23.1	14.5	16.8	9.2	10.5	13.2	24.6	28.1	23.9	9.6
130	23.6	11.0	7.3	9.7	14.0	21.6	25.8	24.5	24.4	6.7
140	22.0	9.4	7.7	8.7	22.5	20.4	27.8	19.9	23.8	7.5
150	22.5	11.0	11.0	8.0	10.8	23.9	26.6	27.4	23.3	8.8
1.5公尺土層中可能保持最大有效水分含量 (mm)	370.9	262.5	142.7	242.5	244.8	267.6	392.3	360.7	421.6	252.7
1公尺土層中可能保持最大有效水分含量 (mm)	255.7	203.4	94.1	197.3	178.1	171.7	261.1	235.8	303.0	210.7
地下水位1公尺毛細管水作用所保持有效水分含量 (mm)	154.0	177.2	73.3	175.0	163.5	156.0	238.7	128.1	227.3	201.6
1公尺土層中毛細管水作用之水佔最大有效水分含量之百分比 (%)	60.2	87.1	77.9	88.7	91.8	90.9	91.4	54.3	75.0	95.7

從表(四)所列之計算結果中,150cm厚之土層除後龍區砂土可能保最大有效水分含量低於150mm外,其他各區均保持在240mm以上,如臺北、學甲、七股及岡山四區土壤質地較粘重,可能保持之有效水分均在360mm以上。土層厚度100cm可保持之有效水分亦多在200mm以上。一般之旱田作物,如甘藷、花生、大豆、玉米等在4-6月全生育期中所耗用之水量(Consumptive-use),多在300~600mm之間。因此,一公尺土層中一次貯藏之水量(充分灌溉有效深度100cm)便可供應作物1/2~1/3生育期之需要。此種僅指無毛細管水作用而言。如果由於毛細管水作用,其上升時所保持之有效水分含量往往在土層所能保持之最大有效水分含量達60%以上,一般均高達80~90%之間。換言之,地下水位在一公尺之深度時,土層中水分平均可保持在1/2有效水分以上,作物生長可不賴灌溉了。由此可知地下水位對灌溉影響密切之程度。

#### 四、結論及摘要

本研究為配合全省旱作灌溉推行計劃,試驗土壤分別採自各旱作灌溉工作站之試驗區。依各地區之土壤剖面,自旱季中最低之地下水位起,每隔10公分,分層採集,然後按層次裝置於特製透明圓筒中,觀察不同地下水位毛細管水之上升情形,探討其對旱作灌溉可能產生之影響。試驗時間自1966年1月至6月,共採集10土壤樣本,地下水位係在室內控制下進行,茲將試驗結果要點彙列如下:

1. 粗質地之土壤:毛細管水上升很快,但上升之高度較低,地下水位在150cm以下,毛細管水上升不能達到根層,植物不能利用。地下水位在100cm時,毛細管水可上升至離地表22cm之土層,自22cm之下12cm為毛細管水之有效水分範圍。地表下40cm,水分超過田間容水量。所以從灌溉立場而言,地下水位在150cm以下,作物生長,全賴灌溉。水位在100cm,表層土壤應行灌溉,但在40cm以下土層水分可能過多,不適根系伸長,所以應選栽淺根作物,如花生、

瓜類等。

2. 中質地或細質地之土壤:地下水位在100cm時,毛細管水可以上升至地表,地表40公分以下,水分已超過田間容水量,此種情況下栽培旱作,可不必依賴灌溉,但應選栽淺根作物或行高畦栽培。水位在150cm以下時,則土層下自60~100cm之間,由於毛細管水作用,水分經常保持在有效水分之間,所以在0~60cm之根層應靠灌溉,但60~100cm間之根系,可以利用毛細管作用之有效水。由是可知,質地較粘重之土壤在有灌溉之情形下地下水位低時,根系可伸長之土層較厚,對深根作物如甘蔗、玉米、高粱之類作物,其灌溉效果必顯著,產量必高。

3. 土層厚度150cm,質地較粗之土壤,全層可保持之最大有效水分量(即灌溉貯藏水量)約為150mm,中質地或細質地可保持240~360mm之間,厚度為100cm,粗質地在100mm,中質地200mm以上。

4. 地下水位在100cm時,土層中由毛細管作用而保持之有效水分量,佔土層所能保持之最大有效水分量60%以上,高者達90%。若以全土層平均而言,達1/2有效水分含量以上,作物生長可不必依賴灌溉。

#### 參考文獻

1. Baver (1960) Soil Physics. 7-9:224-358
  2. Thorne and Peterson Irrigation Soils. 3:28-55
  3. U.S.D.A. Diagnosis and Improvement of saline and alkali Soils. 3:34-54
  4. Stockinger K. R. Experimental relations of water movement in unsaturated Soil. Soil Sci 100:124-129
  5. Klute, A. 1958. Some theoretical aspects of the flow of water in unsaturated Soil. Soil Sci. Soc. Am 22:197-201
  6. 陳振鐸(民國42年)慣用土壤水分常數與水分性能曲線之研究 臺大農學院研究報告第二卷五期
  7. 包敦樸、洪瑞麟 地下水位高低對甘蔗(N:CO310)生育產量及根系之影響 臺灣糖業試驗所研究彙報24:19-53
  8. 山崎不二夫、長谷川新一 畑地かんがい 2-3:31-78
  9. 椎名乾治 畑地カンガイ調査計劃法 農業土木會誌第33卷1-7號
- 誌謝:本研究承蒙國家長期發展科學委員會之補助。

## Summary

The main purpose of this investigation was to find out the influence of Capillary-rise of ground water on upland crop irrigation. In order to accommodate the program of upland crop irrigation in Taiwan, the soil samples had been collected from each irrigational demonstration stations according to the soil profiles, and were controlled by different ground water levels under laboratory conditions. The results obtained may be briefly concluded as follows:

### 1. Capillary-rise in the coarse-texture soils:

In sandy soils, when the ground water level was at the depth of 150 cm, the capillary water could not rise up to the root zone. As the water table was held at the depth of 100 cm, upward movement of capillary water front was close to the state of equilibrium at 20 cm from the soil surface. In this case, it was found that the moisture content in the soil profile from the depth 20-40 cm was in the range of available moisture. However, below the depth of 38 cm from the soil surface, the moisture content was higher than field capacity. In view of irrigation applications, it is needed to irrigate when the ground water table is lower than 150 cm. If the water table is maintained at the depth of 100cm, it is recommended to select the shallow rooted crops, such as: peanut, pasture, and vegetables. It is because the subsoil often contains excess water and prevents the development of deeper-rooted system.

### 2. Capillary-rise in medium or fine-texture soils:

The upward movement of capillary water could rise up to the soil surface when water table was at the depth of 100 cm. In this case, the depth lower than 40 cm from the soil surface, the moisture content exceeded field capacity so that the growth of plants will not depend on irrigation and some of shallow root crops, or high furrow planting method is recommended. To keep water table at the depth of 150 cm from the soil surface is beneficial to grow the deeper root crops. No irrigation is needed in the depth of 60 cm-100 cm from the soil surface, because the soil moisture always maintained in the range of available soil moisture. However, irrigation is needed within the depth of 60 cm where the capillary water is not available.

3. If the depth of soil column is 150 cm in sand or loamy sand soil, the maximum water holding capacity of the soil is equivalent to 150 mm irrigation water depth and 240-360 mm for medium and fine soils. Similarly for sandy soil it will hold water about 100 mm, and 200 mm water depth for fine soils where the depth of soil column is 100 cm.

4. Capillary water can supply about 60-90% of the maximum water holding capacity in the soil column if the water table is at the depth of 100 cm. In this case, average moisture content in the whole profile is more than  $\frac{1}{2}$  available moisture and it is not essential to irrigate during the growing seasons.