

# 土壤水份特性與灌溉指標

## The Studies on the Soil Moisture Characteristic and Starting Irrigation Index.

嘉南水利會烏山頭管理處主任

臺大農工系助教

李源泉

陳增壽

### 摘要

適時灌溉，對經濟用水及產量與品質之控制，均十分重要。因此各專家學者無不想求得一表示適時灌溉之簡便指標。過去在本省旱作物灌溉有主張以「 $\frac{1}{2}$ 土壤有效水分含量」做為灌溉指標。事實上以土壤水分特性加以檢討此指標，其合理性尚有商榷餘地。今筆者根據各類土壤之保水特性曲線，尋求一土壤水分含量稍減即可造成土壤水分張力急劇增加之折點，定義為灌溉指標點(Starting Irrigation Point)。並求其與土壤質地(Soil Texture)成分和土壤構造(Soil Structure)間之多元性直線迴歸式，期能作為今後田間設置自動灌溉時，灌溉起始點之參考應用。

筆者是利用臺糖研究所土壤物理及灌溉研究室，過去二年(61-62年)多以來在新營以南、高雄以北所採集得臺糖公司農場看天田蔗園之自然土樣，測定分析得各類土壤之保水特性，容積重(AS)，和質地成分：砂(SD)、坩(ST)及粘(CL)粒百分比，利用成功大學IBM 1130電子計算機分析其與灌溉指標(I.P.或I.M.;前者表示指標點之土壤水分張力值，後者表示該指標點之土壤水分容積百分比。)間之多元性直線迴歸相關式及相關係數(r)，其結果如次：

$$I.P. = 5.2296 - 0.0196(SD) - 0.0037(ST) - 0.0065(CL) - 1.4085(AS)$$

$$r = 0.4522^*$$

$$I.M. = -13.4248 - 0.0955(SD) + 0.0714(ST) + 0.3089(CL) + 17.1715(AS)$$

$$r = 0.6246^{**}$$

為與以往學者之研究結果比較；筆者同時以各變數值與各水分常數值(田間含水量(F.C.)、凋萎點水分(W.P.)及土壤有效含水量(A.M.))間之多元性直線迴歸相關式及相關係數(r)，其結果如次：

$$F.C. = 28.9269 = 0.0753(SD) + 0.0580(ST) + 0.2626(LL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.5896^{**}$$

$$W.P. = -16.7693 - 0.1288(SD) + 0.0238(ST) + 0.2626(CL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.6287^{**}$$

$$A.M. = 46.546 + 0.0369(SD) + 0.001(ST) - 0.0808(CL) - 19.3138(AS)$$

$$r = 0.4561^*$$

筆者亦以相同資料分析各因變值與各自變值間之直線簡單相關式及相關係數。

本文所採用分析之土壤樣品係田間自然狀況下之樣品，變異甚大，相關係數意料中就不可能太高，然而以F值顯著性測驗，均在顯著水準以上。相信此種現象在衆多樣品數參與分析之情況下，當可大大地改善。

就上式各結果而論：容積重數值於各關係式中具有舉足輕重之關係。唯就其與各變值間之相關係數而言，其相關程度並不太高。

就質地成分而言：以粘粒為主宰灌溉指標及土壤水分常數之主要因子。坩粒則為相關性最小之因子。砂粒介於兩者之間。

## 一、緒論

適時的灌溉，不但在經濟用水的目的有極其重要的決定性，而且在作物的品質與產量上也會發生顯著的差異性。因此過去在農業科學界無不想求得一簡便的方式，以爲適時灌溉的指標。亦即求得灌溉之起始點。有以植體生理之變化爲指標者，如糖研所楊滔慈氏等之生長指標方法<sup>(1)</sup>。有以大氣水分蒸發散速率決定灌溉時機者，如張灝氏之蒸發皿比值 (P.R. Ratio)<sup>(2)</sup>。也有以植體生存之土壤水分含量以控制灌溉時機者，如張玉鑽氏及嘉南水利會學甲旱作灌溉試驗站之「1/2 有效土壤含水量方法」<sup>(3,4)</sup>。

本文亦在以土壤含水量變化之最適點爲指標，以期達到適時灌溉之目的。唯研究方向着限於土壤水分特性，合理訂定灌溉指標。作物自土壤中吸取水分所耗費之能量在不同土壤含水量情況下，並非一定不變的，當含水量減至某一階段時，作物吸取水分的能力就呈極限而消失。這是由於土壤顆粒表面及排列後空隙所產生之強大吸着力所致，吾人稱此吸着力爲土壤水分張力，有高至 50atm，甚至 11,000atm 者<sup>(5)</sup>，而一般植體所能產生吸取土壤水分之最大能力約爲 15atm<sup>(6)</sup>。事實上，在植體最大吸取水分之 15atm 土壤水分張力範圍以內，對土壤水分之吸取，亦有難易之分。在較低之土壤水分張力情況下吸取水分較易且多。反之，則難而且少，甚至可能影響作物之品質及產量。

爲日後預估此灌溉指標點之方便，筆者試圖以影響土壤水分特性之兩大因子爲參數，與灌溉指標點時之土壤水分含量及水分張力尋求相關性。俾爲將來田間自動灌溉設施設置後之灌溉指標值之參考應用。

## 二、前人之研究

有關灌溉指標點之研究，過去有利用產量比較 1/4、1/2 及 3/4 有效土壤水分點，而結論 1/2 有效土壤水分點爲灌溉指標，對作物之產量不發生影響<sup>(3,4)</sup>。然而對該指標尋求其與影響因子間之相關性，以爲應用者，尙未見及。

對有效土壤水分範圍內各有關土壤水分常數；田間容水量 (Field Capacity; F.C.)、凋萎點係數 (Permanent Wilting Point; P.W.P.)、有效土壤水分 (Available Water Capacity; A.W.C.) 及土壤水分當量 (Soil Moisture Equivalent; M.E.) 等之研究，則早自 1912 年即有學者開始研究，如

Briggs 氏等 (1912)<sup>(7)</sup>、Alway & Russel 氏 (1916)<sup>(8)</sup>、Smith 氏等 (1917)<sup>(9)</sup>、Gardner 氏 (1919)<sup>(10)</sup>、Middleton 氏 (1920)<sup>(11)</sup> 及 J.B. Bodman & A.J. Mahmud 氏 (1932)<sup>(12)</sup> 應用土壤質地分類表標示水分當量值。以上結果如下：

Briggs etc. ME = 0.02SD + 0.22ST + 1.05CL

Alway etc. ME = 0.14SD + 0.27ST + 0.53CL

Smith etc. ME = 0.023SD + 0.25ST + 0.61CL

Gardner ME = 0.027SD + 0.187ST + 0.555CL

Middleton ME = 0.063SD + 0.291ST + 0.42CL

稍後開始有學者考慮及構造 (Structure) 因子對此等水分常數，或有效土壤水分張力內某些含水量間之關係。構造因子中影響土壤保水能力的主要原因，以有機物及鬆緊度 (容積重) 爲最。因此常以有機物含量或容積重當做構造因子之代表值。有關此類研究文獻有；V.C. Jamison 氏等 (1958)<sup>(13)</sup>，認爲有效土壤水分含量與有機物含量有正比關係。D.J. Salter 氏 (1966)<sup>(14)</sup> 研究結果亦然，Salter 同時聯合質地成分作多元性直線迴歸分析，如下式：

$$AWC = 1.50 - 0.012 (\text{粗砂}) + 0.0123 (\text{細砂}) + 0.302 (\text{有機物})$$

D.A. Rennie 氏 (1967)<sup>(15)</sup> 以 Saskatchewan 土壤分析各土層層次有效土壤含水量間之相關性，認爲其間有 0.7 以上之相關程度。Adrain H. Maclean 氏等 (1970)<sup>(16)</sup>，更聯合土層深度因子，分析其相關性有 0.8 以上相關程度。其相關式如下：

$$AWC = 0.606 + 0.025 (\text{坩}) + 0.0131 (\text{粘}) + 0.165 (\text{有機物}) - 0.0026 (\text{深度})$$

G.W. Petersen 氏等 (1968)<sup>(17)</sup> 分類各種不同土壤求得容積重，有機物含量及質地與 1/3atm 及 15atm 時之含水量間有顯着相關，而有機物含量僅與 15atm 時之含水量有相關性存在。有效土壤水分含量與粘及砂粒間有負相關係，但與坩粒則有正相關係。

除外，對各土壤水分常數尋求其與質地間之簡單相關者很多。也有將質地綜合以相對表面積表示而與各水分常數尋求相關者。簡列如下以爲參考。

D.R. Nielsen etc. (1958)<sup>(18)</sup>：15atm (V.S. 粘粒,  $r = 0.808^{**}$ )、(V.S. 坩粒,  $r = 0.159$ )、(V.S. 砂粒,  $r = -0.537^{**}$ )。

Zane F. Lund, (1959)<sup>(19)</sup>：A.W.C. (V.S. 粘粒,  $r = 0.179$ )、(V.S. 坩粒,  $r = 0.626$ )、(V.S. 砂粒,  $r = -0.730^{**}$ )、P.W.P. (V.S. 粘粒,  $r =$

0.932\*\*)。

L.J. Bartelli et. (1959)<sup>(20)</sup> 1/3atm (V.S. 粘粒 0.680 (一般土壤) ; -0.809 (看天田) )、( V.S. 坩粒 0.738 (一般土壤) ; -0.717 (看天田) )、15atm (V.S. 粘粒 0.889 (一般土壤) ; 0.811 (看天田) )、(V.S. 坩粒 0.293 (一般土壤) ; -0.784 (看天田) )。A.W.C. (V.S. 粘粒 0.228 (一般土壤) ; -0.165 (看天田) )、(V.S. 坩粒 0.837 (一般土壤) ; 0.235 (看天田) )。

張玉鑽氏<sup>(21)</sup> (1965) , P.W.P. (V.S. 粘粒 0.9531\*\*) ; (V.S. 坩粒 0.7290\*\*) ; (V.S. 砂粒 -0.8710\*\*)。

徐玉標氏<sup>(22)</sup> (1967) , M.E. (V.S. 粘粒 0.783) ; 1/3atm (V.S. 粘粒 0.736) ; 15atm (V.S. 粘粒 0.860)。

林漢民氏<sup>(23)</sup> (1968) , 1/3atm (V.S. 粘粒 0.613) ; M.E. (U.S. 粘粒 0.634) ; 15atm (U.S. 粘粒 0.788)。

蔡明華氏<sup>(23)</sup> (1968) , 相對表面積值\* (V.S. M.E. 0.8144\*\*)、(V.S. 1/3atm 0.7558\*\*)、(V.S. 15atm 0.80847\*\*)。

\* 相對表面積值<sup>(24)</sup> =  $\frac{\text{砂粘}\% \times 1 + \text{坩粘}\% \times 10 + \text{粘粒}\% \times 100}{100}$

#### 四、試驗材料與方法

本文採集之分析樣品，包括有新營以南、高雄以北臺糖自營農場所屬看天田土壤 11 處。各處土壤依不同土層剖面採集 3 至 5 個層次，各層次採集樣品 8 至 10 個。土樣採集使用 100c.c. 定容積之 2 吋不銹鋼管，垂直壓入各層次內，以採集不經擾動（或稱自然）土壤樣品（Undisturbed Soil Sample），同時亦採集各層次之分散土壤樣品（Disturbed Soil Sample），以便測定其質地成分。

樣品採集後，將 8（或 10）個樣品分成兩組，每組各 4（或 5）個重複，分別依 Richards, L.A. 氏之多孔板裝置<sup>(25)</sup>，實施高壓壓力鍋及低壓壓力鍋之保水含水量測定。高壓壓力分別為 1、3、6、10 及 15atm；低壓壓力分別為 0.1、0.3、0.6、1atm。各組土樣依序由低壓力而高壓力連續測定其受壓後之土壤含水量，或稱各壓力下之保水量。而後將各壓力之保水量點繪成曲線，稱之為保水特性曲線（Retention Characteristic Curve）。全部樣品測定後共

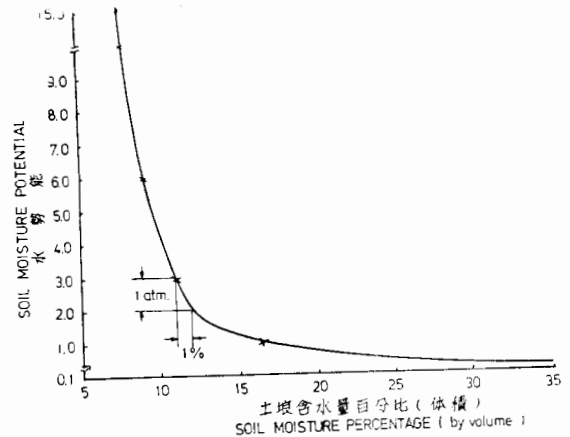
繪製有 46 個土壤保水特性曲線。

各土樣之質地成分依 Bouyoucos, G.J. 氏<sup>(26)</sup> (1951) 之比重計法（Hydrometer Method）測定之。容積重（Bulk Density）則利用採得之不擾動土樣，依烘乾法（Oven Dry Method）<sup>(27)</sup>求得。各項結果列如表(-)。

筆者利用上表(-)點繪成之保水特性曲線，尋得各曲線上之最適灌溉指標點。而以該點與質地及容積重求得相關性。同時亦以各土壤水分常數（Soil Moisture Constant）與質地及容積重求其相關性。

最適灌溉指標點之選定，如前緒論所述，過去之方式是依土壤水分特性觀點檢討之，其合理性有商榷餘地；因各種土壤之保水特性曲線之形狀迥異，有土壤水分含量變化時，張力值變化平緩，如粘土者，有張力值變化急劇，如砂土者。若以「1/2 有效土壤含水量」為灌溉指標，在粘土類有浪費水源之嫌，而在砂土類則有灌溉不及之弊，致影響作物之產量及品質。為求改進上述之缺點，筆者以為有根據土壤保水特性曲線作合理評定之必要。

就數理概念而論：曲線由平緩而急陡，其間必然存在有斜率開始劇增之轉折點，此折點理應為灌溉指標之極限點。今筆者為此指標點之安全性及容易尋求，暫時定義為「土壤水分含量減少 1%，而土壤水分張力值增加 1atm 時之曲線點為灌溉指標點。」見圖一。此定義之合理與否，今後當以實際試驗證實之。



本研究根據上述定義在各繪製之土壤水分特性曲線上，尋求得各水分常數點及灌溉指標值，利用成大 IBM 1130 電子計算機，計算其與土壤質地成分及土壤構造間之直線相關迴歸式。

表(-) 土壤保水特性值、質地成分及容積重測定結果

農場地號	土層深度	容積重	質地			各壓力下保水量 (%)								F.C.	P.W.P.	A.M.
			砂	坩	粘	0.1	0.3	0.6	1	3	6	10	15			
本州 #17	0-27	1.50	10	52	38	35.5	32.5	29.9	27.7	21.8	18.1	15.7	14.1	33.8	14.1	9.7
	27-66	1.70	10	44	46	37.0	34.9	32.6	30.4	26.2	23.8	22.3	21.2	35.7	21.2	14.5
	66-92	1.64	12	50	38	41.5	40	37.5	35.3	31.0	28.2	26.6	25.6	40.8	25.6	15.2
	92-115	1.58	14	42	44	41.5	40	38.5	36.7	33.3	31.7	30.5	29.7	40.8	29.7	11.1
	115-135	1.69	24	50	26	36.5	24.4	30.8	28.3	25.3	23.6	21.9	20.9	35.4	20.9	4.5
鳳山厝 #14	0-30	1.50	22	34	44	29.9	28.0	26.5	24.7	22.4	18.9	16.8	14.6	29.9	14.6	15.3
	30-70	1.58	22	46	32	27.3	25.5	24.1	22.3	19.7	18.3	17.2	16.6	27.3	16.6	10.7
	70-128	1.59	10	60	30	28.0	24.0	27.0	20.1	17.9	14.7	13.5	11.7	28.0	11.7	16.3
	128-165	1.55	13	52	35	29.4	26.3	23.7	20.3	15.9	13.0	12.1	11.1	29.4	11.1	18.3
北滾水 #10	0-41	1.32	26	44	30	32.5	29.7	26.7	23.7	18.2	15.7	14.1	12.9	29.3	12.9	16.8
	41-55	1.60	20	42	38	35.1	33.7	31.9	30.2	26.4	25.3	24.7	23.0	33.7	24	9.7
	55-105	1.59	24	58	18	38.2	28.6	22.0	20.0	15.3	13.2	12.0	10.9	26.8	10.9	15.9
	105-145	1.61	54	32	14	33.5	24.2	20.0	18.0	12.6	10.1	8.3	7.0	33.5	7	26.5
北滾水 #29	0-42	1.46	8	48	44	37.3	35.4	33.5	32.2	28.9	26.6	24.6	22.9	36.2	22.9	13.3
	42-67	1.60	4	64	32	39.6	37.2	35.3	34.3	31.4	28.0	26.8	25.2	38.8	25.2	13.6
	67-105	1.69	14	42	44	37.7	36.7	35.6	34.5	32.3	31.1	29.2	27.9	37.2	27.9	9.3
	105-145	1.68	18	58	24	36.4	33.8	31.6	30.3	27.4	25.1	22.4	19.5	34.8	19.5	15.3
南滾水 #14	0-21	1.42	32	46	22	38.9	24.5	18.2	14.9	10.2	8.2	7	6.2	38.9	6.2	31.7
	21-58	1.73	40	28	32	31.0	28.2	24.0	20.9	17.7	15.6	14.3	13.7	29.6	13.3	15.9
	58-110	1.67	26	46	28	33.8	24.3	23.7	20.0	15.5	13.3	11.7	10.8	28.3	10.8	17.5
	110-134	1.55	72	20	8	20.5	14.7	12.0	11.1	8.9	7.5	7.1	6.6	20.5	6.6	13.9
	134-150	1.58	24	60	16	38.1	31.5	26.7	24.7	19.1	16.3	13.7	12.7	33.8	12.7	21.1
九圍 #13	0-31	1.48	48	20	32	29.9	28.0	26.5	24.7	22.4	20.7	18.5	16.5	29.9	16.5	13.4
	31-76	1.60	12	26	62	40.9	40.9	40.5	38.7	33.5	31.9	30.0	28.1	40.9	28.1	12.8
	76-156	1.63	6	20	74	45.1	45.0	44.1	42.7	36.8	34.3	30.5	30.9	45.0	30.9	14.1
吊雞林 #10	0-27	1.48	12	42	46	34.6	31.9		25.7	19.3	17.1	16.2		31.9	16.0	15.9
	27-76	1.59	10	42	48	34.3	32.8		26.2	21.3	19.7	18.1		32.8	18.0	14.8
	76-98	1.63	0	54	40	32.9	30.8		23.9	19.3	17.1	16.2		30.8	16.0	14.8
	98-120	1.55	2	52	46	36.4	33.2		26.4	21.6	19.1	17.4		33.2	17.0	16.2
	120-148	1.51	12	40	48	35.5	33.7		27.1	22.1	19.9	18.1		33.7	18.0	15.7
溪州 #3	0-21	1.60	11	52	37	40.9	39.8	38.6	37.6	34.0	32.8	32.0	31.4	39.8	31.4	8.4
	21-53	1.60	14	46	40	39.8	38.8	37.6	36.5	33.3	32.0	31.2	30.8	33.8	30.8	8.0
	53-81	1.52	10	49	41	46.4	45.7	44.2	42.6	39.4	37.2	35.5	34.5	45.7	34.5	11.2
	81-105	1.44	12	52	36	43.8	42.5	41.3	39.2	34.8	32.0	30.6	30.2	42.5	30.2	12.3
	105-134	1.71	36	31	33	40.0	38.0	36.7	35.7	35.0	33.2	32.4	31.7	38.0	31.7	6.3
新庄 #12	0-29	1.56	8	54	38	41.3	39.0	36.5	34.4	31.2	28.7	27.1	25.9	40.0	25.9	14.1
	29-52	1.70	4	56	40	39.0	38.3	36.7	35.4	32.6	30.5	28.9	27.9	38.9	27.9	11.0
	52-83	1.47	6	44	51	48.8	46.2	44.0	42.6	39.0	36.7	34.1	32.9	47.3	32.9	14.4
	83-115	1.56	10	51	39	42.0	39.8	38.4	36.9	34.6	32.8	30.8	29.6	40.7	29.6	11.1
太康 #14	0-45	1.54	24	46	30	38.5	34.2	31.1	28.1	22.3	20.2	19.4	18.6	36.0	18.6	17.4
	45-65	1.69	20	50	30	37.3	35.0	33.3	31.6	27.9	26.4	25.3	24.6	36.0	24.6	11.4
	65-120	1.64	22	54	24	31.1	30.3	28.5	27.1	22.4	20.2	19.3	18.5	30.9	18.5	12.4
太康 #14	0-30		19	56	25	43.0	35.4	32.0	28.0	22.4	20.6	19.2	18.1	38.1		20.0
	30-47	1.52	19	54	27	39.5	34.7	32.7	29.0	26.5	23.8	23.1	22.3	36.6	22.3	14.3
	47-80	1.63	11	61	28	38.2	37.5	35.9	35.0	32.6	30.9	29.8	28.7	37.9	28.7	9.2
	80-120	1.63	43	40	17	33.8	32.1	30.6	29.3	25.9	23.6	22.0	21.4	32.9	21.4	11.5

\* F.C. 值砂質土定 0.1atm 時之保水量，坩質土 0.2atm，粘質土 0.3atm。

## 五、結果與討論

根據前節所敘，筆者尋得各保水特性曲線之灌溉指標之水分張力值 (I.P.) 與水分含量值 (I.M.)。並以 15atm 之水分含量當做永久凋萎點水分含量、0.3atm 為粘性土壤之田間容水量 (F.C.)、0.2atm 為坩性土壤之田間容水量、0.1atm 為砂性土壤之田間容水量。而以永久凋萎點 (W.P.) 及田間容水量間之土壤含水量為土壤有效含水量 (A.M.)。結果列如表(二)；

表(二) 各土壤水分特性曲線之水分常數值及灌溉指標水分張力值及水分含量值

農場地號	土層深度	F.C.	P.W.P.	A.M.	I.M.	I.P.
本州 #17	0-27	33.8	14.1	9.7	21.4	3.04
	27-66	35.7	21.2	14.5	26.9	2.28
	66-92	40.8	25.6	15.2	30.9	2.92
	92-115	40.8	29.7	11.1	34.0	2.16
	115-135	35.4	20.9	4.5	26.6	1.88
鳳山厝 #14	0-30	29.9	14.6	15.3	23.8	1.40
	30-70	27.3	16.6	10.7	21.3	1.40
	70-128	28.0	11.7	16.3	17.2	2.24
	128-165	29.4	11.1	18.3	15.2	2.49
北滾水 #10	0-41	29.7	12.9	16.8	18.2	2.28
	41-55	33.7	24.0	9.7	18.0	2.08
	55-105	26.8	10.9	15.9	15.4	2.00
	105-145	33.5	7.0	26.5	12.6	2.04
北滾水 #29	0-42	36.2	22.9	13.3	30.0	1.90
	42-67	38.8	25.2	13.6	32.2	2.20
	67-105	37.2	27.9	9.3	33.8	1.40
	105-145	34.8	19.5	15.3	28.0	2.40
南滾水 #14	0-21	38.9	6.2	31.7	10.8	2.28
	21-58	29.6	13.7	15.9	18.6	2.00
	58-110	23.3	10.8	17.5	16.0	2.48
	110-134	20.5	6.6	13.9	10.0	1.48
	134-150	33.8	12.7	21.1	19.0	2.80
九關 #13	0-31	29.9	16.5	13.4	23.6	1.52
	31-76	40.9	28.1	12.8	33.6	2.70
	76-156	45.0	30.9		36.8	2.79
吊雞林 #10	0-27	31.9	16.0		19.0	2.92
	27-76	32.8	18.0	14.8	21.8	2.52
	76-98	30.8	16.0	14.8	19.6	2.68
	98-120	33.2	17.0	16.2	21.9	2.76
	120-148	33.7	18.0	15.7	22.5	2.80
侯州 #3	0-21		31.4	8.4	35.6	1.84
	21-53	38.8	30.8	8.0	34.2	2.08
	53-81	45.7	34.5	11.2	40.5	2.04
	81-105	42.5	30.2	12.3	34.7	3.00
	105-134	38.0	31.7	6.3	35.6	0.90
新庄 #12	0-29	40.0	25.9	14.1	31.0	2.92
	29-52	38.9	27.9	11.0	34.0	1.68
	52-83	47.3	32.9	14.4	39.6	2.60
	83-115	40.7	29.6	11.1	36.0	1.40
	太康 #14	0-45	36.0	18.6	17.4	22.4
45-65		30.9	24.6	11.4	28.6	2.40
65-120			18.5	12.4	22.4	2.84
太康 #44	0-30	38.1	18.1	20.0	22.6	2.88
	30-47	36.6	22.2	14.3	27.6	2.00
	47-80	37.9	28.7	9.2	33.8	1.64
	80-120	32.9	21.4	11.5	27.0	2.00

本文分別以灌溉指標之水分張力 (I.P.) 及水分含量 (I.M.) 求其與粘粒 (C.L.)、坩粒 (S.T.) 及砂粒 (S.D.) 百分比和容積重 (A.S.) 間之多元性直線迴歸式和相關程度如下：

$$I.P. = 5.2296 - 0.0196(SD) - 0.0037(ST) - 0.0065(CL) - 1.4085(AS)$$

$$r = 0.4522^*$$

$$I.M. = -13.4248 - 0.0955(SD) + 0.0714(ST) + 0.3089(CL) + 17.1715(AS)$$

$$r = 0.6246^{**}$$

為參考比較，亦分析得田間容水量 (F.C.)、凋萎點水分 (W.P.) 和有效土壤含水量 (A.M.) 與質地成分和構造間之多元性迴歸式與相關程度如下：

$$F.C. = 28.9269 - 0.0753(SD) + 0.0580(ST) + 0.2626(LL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.5896^{**}$$

$$W.P. = -16.7693 - 0.1288(SD) + 0.0238(ST) + 0.2626(CL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.6287^{**}$$

$$A.M. = 45.546 + 0.0369(SD) + 0.001(ST) - 0.0808(CL) - 19.3138(AS)$$

$$r = 0.4561^*$$

同時分析各水分常數值與各質地成分百分比和構造因子間之各別簡單直線相關式及相關程度如下：

$$I.P. = 2.5152 - 0.0145(SD) \quad r = -0.3857$$

$$I.P. = 1.6845 + 0.0120(ST) \quad r = +0.2470$$

$$I.P. = 1.9439 + 0.3085(CL) \quad r = 0.1958$$

$$I.P. = 4.4981 - 1.4338(AS) \quad r = -0.2322$$

$$I.M. = 31.3142 - 0.2919(SD) \quad r = -0.5164$$

$$I.M. = 23.1309 + 0.0571(ST) \quad r = 0.0784$$

$$I.M. = 13.3606 - 0.3596(CL) \quad r = -0.5535$$

$$I.M. = 0.6615 + 15.9143(AS) \quad r = 0.1724$$

$$F.C. = 39.1306 - 0.2041(SD) \quad r = -0.5307$$

$$F.C. = 32.4263 + 0.0614(ST) \quad r = 0.1238$$

$$F.C. = 27.2015 + 0.2333(CL) \quad r = 0.5279$$

$$F.C. = 38.0641 - 1.7889(AS) \quad r = 0.0284$$

$$W.P. = 26.0495 - 0.2795(SD) \quad r = -0.5111$$

$$W.P. = 18.6412 + 0.0454(ST) \quad r = 0.0644$$

$$W.P. = 8.7703 + 0.3469(CL) \quad r = 0.5518$$

$$W.P. = -7.2585 + 17.7484(AS) \quad r = 0.1987$$

$$A.M. = 12.5658 + 0.0785(SD) \quad r = 0.2358$$

$$A.M. = 14.1962 - 0.0025(ST) \quad r = -0.0068$$

$$A.M. = 17.6641 - 0.1045(CL) \quad r = -0.2733$$

$$A.M. = 43.9754 - 18.9724(AS) \quad r = -0.3491$$

根據上面分析結果，作如下各點之討論與建議：

(1) 本文用以分析之資料樣品數尚嫌不足，尤其缺乏砂性土壤。但事實上，本文已概括南部地區之看天田大部分土壤，因此所有結果以應用於看天田土壤為宜。日後收集所有類型土壤時，當更進一步綜合分析俾使結果適合於全面性土壤。

(2) 所有迴歸關係式，其相關係數均嫌稍低，然而以 F 值測定其顯著性結果，除 A.M. 與 I.P. 僅在 0.1 顯著水準以下，其他各項均在極顯著水準以上。所以有此原因，筆者推想必然是導致於田間狀況之自然土壤變異性甚大。參考過去學者之研究，除 V.C. Jamison 氏等曾以自然土樣分析外，其他研究着重於擾動土樣的分析。V.C. Jamison 氏以自然土樣分析結果相關程度亦低，但 F 值測定結果亦同本文結果。至於其他以擾動樣品研究分析之結果，相關程度有高的，但也有低的。總之，本文結果在目前情況下尚稱滿意。相信在取得更多樣品後，分析結果將可以更加滿意。

(3) 本文以容積重代表土壤構造，由於臺灣土壤，尤其看天田土壤中，有機物含量均甚少，所以自以容積重表示構造較為合理。

(4) 根據分析之關係式，顯示下列結果：

a. 於多元性直線相關式中，容積重似對灌溉指標及水分常數有極大的影響。事實上由於容積重之範圍介於 1.3 及 1.7g/cm<sup>3</sup> 間，所以並非影響相關式之主要因子。這可由直線簡單相關式之相關程度見及；除 A.M. 項之相關係數達 0.3491\* 外，其他各項之相關程度均顯示無相關情況。

b. 質地成分之粘粒百分比，在多元性直線相關式或相關程度，均呈有極重要的影響程度。換言之，所有影響灌溉指標及水分常數的因子中，粘粒百分比佔有極重要的地位。比較各自變數因子對於各項因

變數之簡單相關計算，粘粒百分比與各項之相關程度均在 0.5 以上，且有極顯着相關程度。除對土壤有效含水量呈負性相關外，其他均呈正性相關。

c. 坩粒百分比在所有質地成分中對水分常數及灌溉指標之相關性最小，幾乎可以結論為無相關因子。過去學者研究結果，亦認為坩粒百分比為質地成分中對水分常數值相關性較低之因子。若勉強敘述其與各項因變數值之相關性，除與土壤有效水分值成負性相關外，其餘均成正相關。

d. 砂粒百分比，其對於各項因變數值之相關程度介於粘粒百分比與砂粒百分比之間。其相關係數自 0.2 以迄 0.5。

e. 綜觀上述結果，與過去學者研究結果互為比較，或有相近結果，或有相違結果。其主要原因可以歸納為二點：

(A) 本文分析樣品為田間自然土樣，有別於以往研究所使用擾動土樣。

(B) 本文分析之樣品與其他學者研究所使用之樣品，無論農業氣象及土壤狀況均不相同，自然分析之結果必然有所差異。

(5) 灌溉指標點之定義，筆者爾後將以甘蔗或其他對水分較為敏感之作物，實施試驗以確定其正確性或加以改正。

(6) 筆者希望日後能收集更多之各類型土壤水分特性曲線、質地與構造等資料，使分析結果能更趨正確。以為將來設置自動灌溉設施時之灌溉指標值之參考，俾使作物能達到適時適量灌溉之目的。

## 六、誌 謝

本文承糧研所楊博士尙仁之指導文成之後又承臺大農工系徐教授玉標之斧正，圖表承湯松義先生之幫忙，謹此誌謝。

## Summary

Timely irrigation is one of the important factors in the economic water-use and controlling yield and quality of upland crops. In the past many of us adopted the idea of 1/2 available soil moisture as the irrigation index of the upland crops. The reasonability of this idea is still discussible from the view point of soil moisture characteristics. In this paper the writer adopts the deflection point of the soil moisture characteristic curve as the irrigation index. At the deflection point a small decrease in soil moisture will result a high soil moisture stress.

In this paper the multiple regression equation between the starting irrigation point and the soil characteristics (including soil texture and soil structure) was analyzed.

this equation can be used in setting up the auto-irrigation sets in the field. The natural gley soil samples taken from sugarcane farm were analyzed by the Soil Physics and Irrigation Laboratory of Taiwan Sugar Research Institute in 1972 and 1973. The measuring variables included the retention characteristic curve, bulk density (AS) and the soil texture elements (sand, SD; silt, ST; clay, CL).

With the IBM 1130 computer of Cheng Kong University the relationship between the irrigation index (IP or IM as dependent variable) and texture elements (as independent variables) was studied. The results are listed as follows:

$$IP = 5.2296 - 0.0196(SD) - 0.0037(ST) - 0.0065(CL) - 1.4085(AS)$$

$$R = 0.4522^{**}$$

$$IM = -13.4248 - 0.0955(SD) + 0.0714(ST) + 0.3089(CL) + 17.1715(AS)$$

$$R = 0.6246^{**}$$

Equations between the soil moisture content and all independent variables were also calculated as follows:

$$F.C. = 28.9269 - 0.0753(SD) + 0.0580(ST) + 0.2626(LL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.5896^{**}$$

$$W.P. = -16.7693 - 0.1288(SD) + 0.0238(ST) + 0.2023(CL) + 18.9032(AS)$$

$$r = 0.6287^{**}$$

$$A.M. = 46.546 + 0.0369(SD) + 0.001(ST) - 0.0808(CL) - 19.3138(AS)$$

$$r = 0.4561^*$$

The simple linear regression was also analyzed in this paper. The clay percentage and silt percentage are the major and minor contribution factors respectively to both the irrigation index and soil moisture constant, the contribution of sand percentage is in between.

## 六、參考文獻

- (1) 楊滔慈、謝德上 (1972) 「甘蔗生長指標」土壤肥料通訊 250 期
- (2) 張灝 (1968) 「盆面蒸發量與臺灣蔗田灌溉之研空」糖試研究彙報 47: 37-54
- (3) 張玉鑽 (1970) 「旱地之土壤水分控制與灌溉對於作物生產之影響」臺灣水利灌溉專輯 p. 213-226
- (4) 嘉南水利會，臺大農工系 各期報告
- (5) S.A. Verigo of L.A. Razumora (1963) "Soil Moisture and its Significance in Agriculture" Translated From Russian by U.S. Dept. of Agriculture and the National Science Foundation. p.2
- (6) 金城、張建助 「灌溉排水學」上冊
- (7) Briggs, L.J., and Shatz, H.L. (1912) "The wilting Coefficient for different plants and its indirect determination" U.S. Dept. Agr. Bur. Plant Indus. Bul. 230.
- (8) Alway and Russel (1916) "Use of the moisture equivalent for the indirect determination of the hygroscopic Coefficient" In Jour. Agr. Research, V. 6, No. 22 p. 833-846
- (9) Smith, Alfred (1917) "Relation of the mechanical analysis to the moisture equivalent of Soil" Soil Sci. 4: 471-476
- (10) Gardner (1919) "Capillary moisture holding capacity" Soil Sci. 7: 318-324
- (11) Howard E. Middleton (1920) "The moisture equivalent in relation to the mechanical analysis of soil" Soil Sci. 9: 159-167
- (12) J.B. Bodman & A.J. Mahmud (1932) "The use of the moisture equivalent in the textural classification of the soil" Soil Sci. 33: 363-374
- (13) V.O. Jamison & E.M. Kroth (1958) "Available moisture storage capacity in relation to textural composition and organic matter content of several Missouri soil"

Soil Sci. Soci. of America. Proc. 22: 189-192

- (14) D.J. Salter, G. Berry and J.B. William (1966) "The influence of texture on the moisture characteristic of soil: III. Quantitative relationships between particle size, Composition and Available-water Capacity J. of Soil. Sci. 17: 93-98.
- (15) D.A. Rennie (1967). "Soil plant nutrient research report" Saskatchewan Institute of Pedology Report No. M6 pp51-73
- (16) Adrium H. Maclean and Thomas U. Yager (1970) "Available water Capacity of Zumbiar soil in relation to pressure plate measurements and particle size analysis. Soil Sci. 113: pp23-29
- (17) G.W. Petersen, R.L. Cunningham, and R.P. Matelski. (1968) "Moisture Characteristic of Pennsylvania soil: I. Moisture relation and related to texture" Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 33: 271-275
- (18) D.R. Nielsen and R.H. Shaw (1958) "Estimation of the 1.5-atm moisture percentage from Hydrometes Data" Soil Sci. 86: 103-106
- (19) Zane F. Lund (1959) "Available Water-

Holding Capacity of Alluvial Soils in Louisiana" Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 23: 1-3

- (20) L.J. Bartelle and D.B. Peters (1951) "Integrating soil moisture Characteristic with classification unit of some illinois soils" Soil. Sci, Amer. Proc. 23: 149-151
- (21) 張玉鑽 (1965) 「臺灣蔗田灌溉土壤凋萎係數之研究」臺灣水利第 13 卷 4 期 20-28 頁
- (22) 徐玉標 (1967) 「土壤物理性質對水分常數之相關性研究」農工學報 13 卷 4 期
- (23) 林漢民 (1968) "Research on the available moisture of Upland Crop soil in Taiwan" 臺大農工研究所畢業論文
- (24) 蔡明華 (1969) 「土壤相對表面積值與假比重對土壤水分常數之相關性研究」農工學報 15 週年論文專輯 pp 94-123.
- (25) Richards. L.A. (1949) "Methods of measuring Soil moisture Content" Soil Sci. 68: 95-112
- (26) Bouyoucos. G.J. (1951) "A recalibration of the hydrometer method-for making mechanical analysis of soil" J. Amer. Soc. Agron. 43: 434-433
- (27) C.A. Black etc. (1965) "Methods of Soil Analysis pp. 92

——上接第 68 頁——

一方面由根吸收水分，另一方面由葉部蒸散。若吸水與蒸散保持均衡關係，植物不發生凋萎。若兩者不均衡，吸水量降低，不及供應蒸散，則植物體內水分減少而產生凋萎，生理發生阻害，減少收量，降低品質。一般夏季氣溫高，蒸散作用旺盛，根吸水速度較蒸散作用慢，常有發生暫時凋萎現象，此種情形即使土壤水分在田間容水量或以上之含水狀態下亦不能滿足吸水之要求，故以灌溉方法對植物蒸散作用速度以及生理上所產生之反應亦為研究上之一課題。

## 六、後 記

茶園灌溉問題是近年開始研究之項目，各種資料零亂欠缺不全。筆者僅根據現有之資料，綜合整理成

篇，供本省茶園灌溉參考，並祈拋磚引玉，希望能引起對多年生作物灌溉問題之重視，促進本省灌溉事業之發展。本文蒙茶改場吳場長及徐玉標教授之指正，在此一併誌謝。

## 七、參 考 文 獻

1. 吳振鐸 茶葉 農業要覽第七輯第三篇
2. 農林廳編印 臺灣省茶園調查報告 民國 51 年
3. 玉井虎太郎 從水分生理研討旱地的合理灌溉法
4. 陳正祥 臺灣地誌 (上冊)
5. 農復會特刊 臺灣旱地灌溉立地區分調查報告 第 5 號 1971
6. 日本靜岡縣茶葉會議所 茶 第 22 卷第 1 號 1969
7. 常昭鳴、吳振鐸 茶樹灌溉與施肥反應試驗研究 1972.

## Summary

Irrigation will be a method to increase tea production and raise tea quality in Taiwan afterward. According to past experiment data, irrigation in tea plantation must pay attention to following problems:

1. In order to decrease production cost, irrigation facilities must be multi-used.
2. The effect of irrigation in this year will influence the production in next year.