

蔗田灌溉土壤水分對於經濟用水關係之研究*

Studies on Economical Irrigation of Sugarcane Based on

Soil Moisture of Irrigated Field

臺灣糖業試驗所種藝系灌溉排水技術師

張 玉 鑽 (Yu-Tsuan Chang)

一、引 言

農田灌溉土壤水分之經濟有效性是，“土壤—水分”系統間的水分供給力與“作物—水分”系統間的水分吸收力，在很密切地配成爲一體的時候，才能達到最理想⁽¹⁾。這種“土壤—水分—作物—氣象”條件間之一連串的互相關係，在自然環境中必須受作物生育過程，氣象條件之變化，土壤水分熱量之變化等幾種有關於生物和物理條件所左右⁽²⁾。於是在作物灌溉立場言，田間灌溉方式甚至於施灌水量也因為該條件的不同而有懸殊之差別，始能獲得適宜。

臺灣蔗田自然環境複雜，加于甘蔗一世代之耕作方式須要經過幾次培土操作，隨之植株和畦間位置，因時而異。在這種雖爲同一田區而在不同生育過程之下，考慮到土壤—水分—作物—氣象之間的蔗田灌溉土壤水分對於經濟用水關係的研究試驗結果，過去不多見。本研究爲基于上述之理由來探明此問題起見，特就臺南壤土蔗田，於秋植甘蔗不同生育階段別來研討其有關經濟用水問題，以供實際蔗田灌溉操作上參考之用。並盼高明指教。

二、研究方法及步驟

研究場所利用53—54年期本所北六西三號壤土質地秋植蔗田實地進行，甘蔗爲52年8月20日種植，收穫日期爲54年1月21—23日，田區行長10公尺，行距1.37公尺，株距0.3公尺，8行區，4重複，小區與小區之間留2.7—3.0公尺之走道，防止灌溉水的互相滲透之用，甘蔗品種爲F148，田區的一切作業管理除灌溉以外，均照本所的一般規定行之。灌溉處理就甘蔗生育期分爲初期（種植後至翌年2月底）、旺盛期（3月至9月）、後期（10月至收穫前1.5個月）之三種生育階段，初期、旺盛期各灌溉4次，後期灌溉2次，合計一作中灌溉10次。每一階段中每一次灌溉同時實施灌溉2—4種等級水量，即初期分爲特少量（15mm），少量（35mm），中量（60mm），多量（120mm）

四種；旺盛期分爲少、中、多水量三種；後期分爲中、多水量二種。並於每一階段的第一次實施灌溉時，就灌溉後經過2小時、24小時及48小時的時候，以目視法就地掘剖面繪出處理間的灌溉後不同時間水分浸潤範圍及在畦間中移動情形，並於24小時後就剖面的橫向，垂直向以蔗苗爲中心，每隔10公分採取土樣，用烘乾法求其含水量，來判明水分移動量之絕對值。同時就每一階段中的根系分佈情形詳細予以記錄，以供所灌溉的水量是否有達到合理地點之用。另一方面在灌溉後一直到下一次灌溉實施前，以每隔五天就處理別（不同水量等級別），每10公分土層，採土到40公分，仍用烘乾法求其處理別灌溉後逐期的土層水分移動及保留消長，次外尚分析試驗區各種土壤物理性質，並於該性質的常數來推算處理間灌溉後逐期之土層中有效水分量絕對值，以供探明同一灌溉時期之下，因爲水量等級的不同，是否可左右逐期的土層有效水分量問題。灌溉方式一律用畦間灌溉法。由上述從作物、水、土壤及氣象之綜合關係的各角度所獲得的經濟合理一次水量，甚至於一世代的總計經濟水量在實際田間中的甘蔗是否也對產量最理想，因此根據收穫調查蔗產量、糖產量成績的統計分析結果與上述灌溉水分保留消長對照，求出真正的經濟用水方式之要領。

三、試驗結果及討論

1. 灌溉土壤物理性質

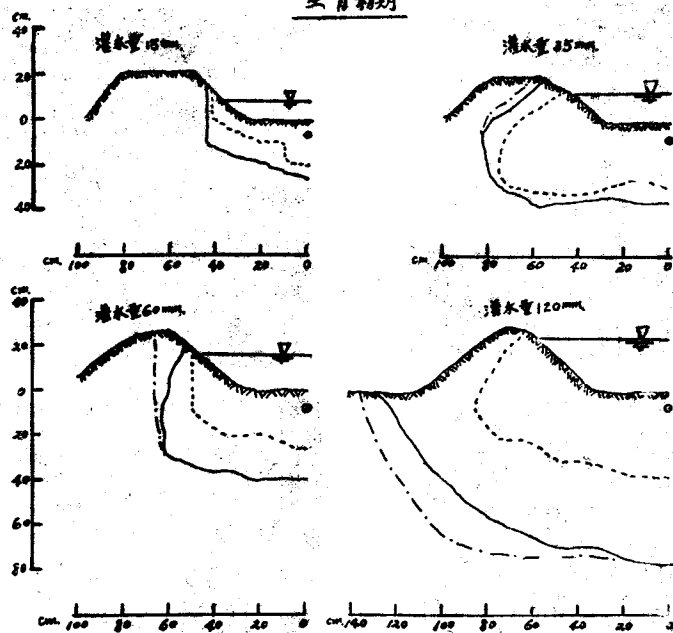
飽和容水量42.20%，田間容水量23.79%，水分當量17.97%，凋萎係數5.82%，假比重1.382，孔隙率48.58%，有效水分範圍17.97%。

2. 灌溉後不同時間之水分浸潤情形

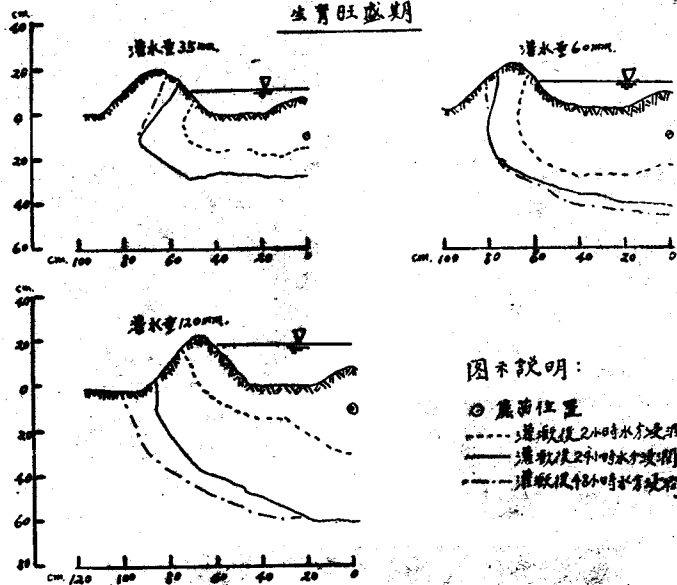
根據各生育階段第一次施灌時，即初期爲52年11月7日；旺盛期爲53年3月9日；後期爲53年11月9日起所調查的灌溉後2小時、24小時、48小時水分浸潤範圍列如第一圖，並於灌溉後24小時水分浸潤剖面實況，後期根系分佈相攝影如照片一至四。

*本研究之完成得國家長期發展科學委員會之補助。

生育初期



生育旺盛期



生育後期



第一圖 灌溉後不同時間之水分浸潤動態圖



(1) 灌水量 15mm



(2) 灌水量 35mm



(3) 灌水量 60mm



(4) 灌水量 120mm

照片1. 甘蔗生育初期灌溉後24小時之水分浸潤圖



(5) 灌水量 35mm

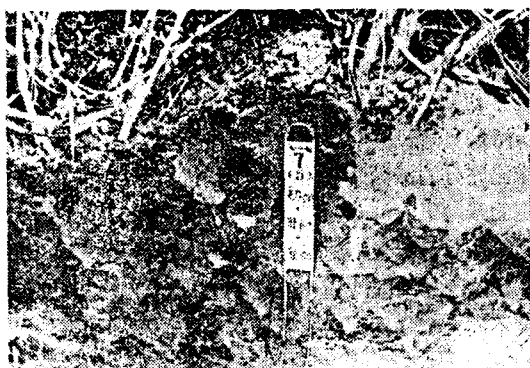


(6) 灌水量 60mm



(7) 灌水量 120mm

照片2. 甘蔗生育旺盛期灌溉後24小時之水分浸潤圖

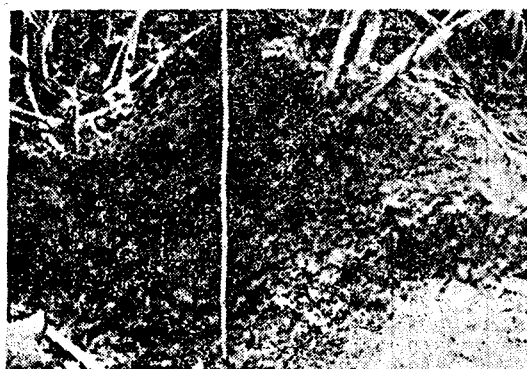


(8) 灌水量 60mm



(9) 灌水量 120mm

照片3. 甘蔗生育後期灌溉後24小時之水分浸潤圖



照片4. 甘蔗生育後期之根系分佈情形

由第一圖可知灌溉後無論以24小時或48小時的水分浸潤範圍言，初期一次15mm給水量也足夠達到當

時甘蔗主要根系的部位，旺盛期亦在35mm就可到達該範圍，但是後期因為蔗苗位置在培土中心點，所以60mm灌溉後水分浸潤線才到達該地點。很符合張（1963）⁽⁵⁾于50—51年期在壤土蔗田所調查之結果。總言之，以灌溉後的水分分佈情形，甘蔗在培土以前，即灌溉通水位置在植株附近時，水量不宜多，太多只有浪費用水量而已，實無利益，惟大培土後就要較多水量才能足夠其利用。以本結果，重複證實筆者等過去之試驗結果的正確性^(4,6)。

3. 灌溉後24小時不同位置之水分含量

根據上述施灌日期，於灌溉以後24小時的土壤剖面不同位置（地點）水分含量，就對乾土重百分率測定結果列如第一表。

第一表 灌溉後24小時不同位置水分含量（對乾土重%）及根系主要分佈範圍

生育階段及調查日期 灌溉水量(mm)	初 期 (52.11.8)				旺 盛 期 (53.3.10)			後 期 (53.11.10)	
	15	35	60	120	35	60	120	60	120
蔗苗位垂直下0公分向外	18.01	21.14	25.60	23.25	18.46	20.54	24.33	15.53	22.43
" " 10 "	17.62	20.39	21.87	22.97	16.28	20.77	20.73	19.30	25.56
" " 20 "	17.38	19.42	23.23	23.75	15.27	20.85	22.26	20.05	24.43
" " 30 "	15.97	19.55	22.72	21.40	15.21	18.29	20.85	20.15	23.72
" " 40 "	14.67	18.55	22.03	20.52	15.52	16.27	20.58	21.82	23.29
" " 50 "	13.72	15.83	21.93	21.67	15.44	17.31	21.14	25.63	22.19
" " 60 "	14.33	13.44	21.73	21.12	15.04	17.86	20.06	24.38	23.09
" " 70 "	13.92	13.51	19.76	20.60	15.49	15.73	15.23	23.59	23.24
蔗苗位垂直向下0—10公分	19.22	20.49	23.05	24.47	23.84	24.01	24.55		
" " 10—20 "	14.95	16.23	18.07	19.92	15.74	16.96	21.59		
" " 20—30 "	14.03	14.28	16.00	20.09	14.93	14.38	20.10		
" " 30—40 "	14.32	14.87	14.81	17.87	14.61	15.51	18.94		
蔗苗位向外25公分垂直向上10—20公分								28.01	27.56
" " 0—10 "								26.13	23.61
蔗苗位向外25公分垂直向下0—10公分								23.65	23.81
" " 10—20 "								21.25	22.92
" " 20—30 "								19.16	16.17
" " 30—40 "								18.57	16.00
根系主要分佈位置	蔗苗下 15公分 — 10—20公分				20公分 8 " 26 "			10公分 15 " 25 "	

由上表各數字可見，生育初期於蔗苗以下15公分，左右各10—20公分的根系主要分佈位置土壤水分含量言，一次水量15mm處理已經接近于水分當量；一次水量35mm處理却均超過水分當量；至于一次水量超過60mm時，該範圍已超過田間容水量數值。生育旺盛期時其主要根系分佈位置內的土壤水分含量在灌溉後，一次水量在60mm以上時，均已超過水分當量，且一次水量35mm時，亦大部份都接近在該範圍。生育後期若于根系主要範圍的最外圍土壤含水量言，60mm水量以上時，就可超過田間容水量，但於蔗苗

位置的土壤水分含量言，60mm水量尚不够其需要。總之，以灌溉後一天的土層水分含量作為經濟用水依據時，初期一次水量約為15—35mm，旺盛期為35—60mm就可達到其必要部位，但後期須要在60mm以上才能充分的浸潤到其目的點，均接近于過去筆者所測定的諸結果。

4. 灌溉後不同日期之水分含量變化

根據上述施灌時期，就灌溉前及灌溉後每隔五天，就不同土層逐期測定土壤含水量的結果列如第二表。

第二表 灌溉後不同日期之土壤水分含量變化（對乾土重%）

生育階段	一次水量(mm)	調查日期 土層 (cm)	灌溉	灌溉後	灌溉後	灌溉後	灌溉後	灌溉後	灌溉後	
			前	1天	5天	10天	15天	20天	25天	
生育初期	15	0-10	6.29	31.07	21.67	15.46	12.16	8.51	7.51	
		10-20	10.08	27.21	20.22	15.31	11.76	12.68	10.38	
		20-30	12.22	28.76	17.20	13.98	15.88	14.44	13.58	
	35	0-10	6.78	33.21	27.44	20.87	15.66	12.40	12.78	
		10-20	10.60	28.41	29.93	17.71	16.03	14.46	13.23	
		20-30	13.15	27.72	17.97	15.71	16.35	14.71	14.33	
	60	0-10	7.29	36.18	27.43	23.42	20.33	14.78	13.55	
		10-20	13.24	32.08	20.93	19.79	17.80	15.99	15.18	
		20-30	14.32	21.37	23.50	17.77	17.28	16.40	15.25	
	120	0-10	6.63	35.77	30.79	26.83	22.86	22.78	14.29	
		10-20	10.97	27.56	25.70	20.70	19.34	23.52	16.37	
		20-30	13.55	28.97	20.33	17.93	18.16	17.61	15.21	
生育旺盛期	35	0-10	7.88	32.18	22.38	16.77	10.21	6.28	5.09	
		10-20	8.35	33.91	20.99	17.16	12.97	8.62	6.99	
		20-30	11.71	26.57	16.71	17.84	14.61	12.24	9.45	
	60	0-10	8.10	28.67*	25.72	20.42	13.75	9.69	7.95	
		10-20	11.58	22.55*	24.89	22.12	15.31	11.61	10.94	
		20-30	13.19	22.88*	19.03	18.86	14.96	13.04	13.91	
	120	0-10	14.04	19.14*	18.95	15.98	15.30	13.74	13.63	
		0-10	7.05	25.65*	25.72	21.52	16.08	12.77	9.81	
		10-20	8.14	25.34*	21.83	21.70	17.34	14.60	11.58	
	生育後期	60	20-30	12.42	20.56*	17.79	18.31	15.91	15.03	14.29
			30-40	13.86	17.14*	16.24	17.16	15.73	14.60	14.85
			0-10	5.88	27.19	27.80	21.15	19.30	16.53	12.23
120		10-20	6.88	27.99	25.29	20.09	22.05	15.87	12.81	
		20-30	8.70	26.83	22.83	19.85	19.25	15.73	12.79	
		30-40	13.17	23.16	20.00	18.48	19.67	18.15	16.56	
120		0-10	7.08	26.96	26.84	26.60	21.65	22.09	17.49	
		10-20	8.47	27.93	25.31	25.00	20.99	20.68	19.47	
		20-30	10.15	23.72	27.97	23.15	21.74	21.76	19.30	
30-40		11.82	21.31	27.75	19.23	17.38	20.83	17.97		

* 灌溉後二天所測的土壤水分（一天時溝底尚有水）。

** 採土部位在畦溝底即蔗苗位置附近。

*** 採土部位在畦中央（即蔗苗位置）向畦溝25公分處。

由上表各階段各水量等級下所得不同日期的水分含量分佈趨勢可見，各生育階段灌溉後雖然各土層的

含水量均略與灌水量多寡有相同趨勢增加，但其增加數字並未隨施灌水量所增加比例增加之，且灌溉後25

天所保留的水分消長言，生育初期除特少量15mm區之0-20公分土層含水量降低到有效水分10-30%以外，其他均在有效水分40-60%之間。生育旺盛期的情形與初期略有相同的趨勢，惟含水量一般都較初期為低些。生育後期因為採土位置在畦壁中（蔗苗位置向外25公分處），故其土壤含水量與生育初期及旺盛期（溝底中）的分佈情形有所不同，即灌溉後10天以前無論中、多水量區均為顯然地，土層愈淺水分愈為潮濕，且到了灌溉後25天時，中水量60mm區的含水量

為有效水分30-60%之間，多水量120mm區却在70-80%有效水分範圍內。各生育階段下，所施灌的幾種水量等級中，其最低等級水量處理在灌溉後25天時，表土以下30-40公分處的土層有效水分含量尚在40-60%之間。

5. 甘蔗產量與經濟用水之關係

甘蔗生育期間中，以不同水量組合施灌10次，然後根據甘蔗收穫結果及分析數值列如第三表。

第三表 甘蔗產量與經濟用水關係

處理 (一次灌水量之組合)	蔗產量		糖產量		總灌溉 水量 mm	每10mm灌後 所增加百分率	
	kg/ha.	指數	kg/hn.	指數		蔗產量	糖產量
無 灌 溉	130,948	(100)	19,799	(100)	0	0	0
初期 15mm+盛期 35mm+後期 60mm	158,981	(121)	23,529	(119)	320	0.66	0.59
初期 15mm+盛期 35mm+後期 120mm	163,517	(125)	24,152	(122)	440	0.57	0.50
初期 35mm+盛期 60mm+後期 120mm	182,336	(139)	26,749	(135)	620	0.63	0.56
初期 60mm+盛期 60mm+後期 60mm	172,281	(132)	26,015	(131)	600	0.53	0.51
初期 120mm+盛期 120mm+後期 120mm	151,422	(116)	22,017	(111)	1200	0.13	0.09
差異顯著差 5%	15,300		2,260				
	21,160		3,120				

由上述結果可知，生育在田間的甘蔗各生育階段每一次灌溉給水量，很顯然地有其適宜之界限量，每一次假使超過其範圍太多，不但會浪費給水量，同時反于產量有損。以其經濟灌溉用水言，最有利可圖的水量組合為，初期15，35+盛期35，60+後期60，120mm之兩組處理，則每用去10mm水，可獲得增加蔗產量百分率為0.63—0.66；糖產量百分率為0.56—0.59%。

總之，53—54年期臺南壤土蔗田的灌溉土壤水分狀態之下，考慮到土壤—水分—作物—氣象系統之關係所組成的溝灌法一次給水量，初期為15—35mm，盛期35—60mm，後期為60—120mm左右，也就是說配合通常的自然降雨情形下，一作[的施灌總水量大約為600mm前後（未包括輸水消失水量在內），而視其灌溉間隔的長短來調整水量數值，才能對於灌溉土壤水分發揮到最佳的經濟有效程度。

這些問題我們可引證同一年期，同一環境的另一組蔗作畦間灌溉法合理化試驗中，每一次施灌時間均在土壤有效水分低於50%時，而由四種灌溉土層深淺來尋求一作中的合理灌溉次數，一次水量，總水量及甘蔗產量的互相影響關係之結果，次數和一次水量在處理間有極大的差異，但甘蔗產量均未達顯著差異

平準，且最後總水量在處理間相差不太多，約在600mm左右⁽⁷⁾。由此事實可證明上述結論的正確性。又再看51—52年期臺南壤土蔗田甘蔗適度灌溉水量試驗中，於兩種施灌時期下，配合三種不等水量來探討灌溉水量與產量關係之結果，設以機動灌溉（即根據土壤有效水分來施灌）時每一次給水量多寡對於產量影響不顯著，且其合理水量之分配，就土壤水分動態和根系分佈相來看，每一次初期15mm+盛期35mm+後期80mm左右之組合，總水量彙計亦在555mm。反之施灌時期若用定期灌溉時，則每一次給水量越多越對產量有益^(3,5)。此外嘉南農田水利會於民國12—16年，在該灌區烏山頭、崙背、番子寮三地區，連續做五個年期的蔗田灌溉試驗，灌溉期間由每年11月上旬至翌年4月下旬的期間，結果獲得每年期平均施灌次數6次，水深178mm，蔗莖增產較無灌溉區為多達25%，一次給水量則在30mm左右^(8,9)。均證明本研究由土壤—作物—水分—氣象條件(So:1-Crop-moisture-Weather Conditions)互相有關的壤土蔗田灌溉土壤水分對經濟合理用水之諸問題，很符合臺灣過去的實驗調查結果。

四、結論與摘要

本文報告蔗田灌溉土壤水分對於經濟用水關係，

其目的在於蔗田探討甘蔗不同生育階段中，每一次灌溉水量的不同，對於實施畦間灌溉以後的蔗田土壤水分保留，消長以及其對於甘蔗收量關係互相比較，以決定不同生育階段的蔗田經濟有效灌溉一次給水量暨一合理總灌溉水量之用。試驗就53-54年期秋植壤土蔗田，自52年8月至54年1月之間，在臺灣糖業試驗所臺南農場調查研究之，其結論與摘要如下：

1. 灌溉後水分浸潤情形言，每一次田間灌溉水量，甘蔗生育初期約為15mm，旺盛期為35mm，後期為60mm就能於灌溉後一天，分佈到根系主要範圍，係可稱為最經濟的一次給水量，假使超過是項灌水量時，均可滲透到該範圍以外。

2. 灌溉後一天的不同位置土壤剖面水分含量，在甘蔗生育初期每一次灌溉給水量為15-35mm，旺盛期為35-60mm就可達到其必要部位，但後期須要60mm以上方為宜。

3. 灌溉後不同日期的土壤水分含量看，各土層的含水量均略與施灌水量多寡有相同趨勢增加，但却並未隨所施灌水量的增加比例增加之。各生育階段下，所施灌的幾種水量等級中，其最低級水量處理，在灌溉後25日時，表土以下30-40公分處的土層有效水分含量尚在40-60%之間。

4. 以甘蔗產量與經濟用水關係來看一次給水量時，甘蔗生育初期為15-35mm，旺盛期為35-60mm，後期為60-120mm的組合為最佳，而能配合通常降雨情形下，選擇適宜灌溉間隔時，臺南中等土壤秋植甘蔗一作田間總灌溉用水量約為600mm左右（未包括輸水損失水量在內）。

Summary

This paper presents the studies of relationship between soil moisture of irrigated sugarcane field and its economical irrigation. Retention and fluctuation of soil moisture after giving varied amounts of furrow irrigation during the different periods of sugarcane growth were studied and the ultimate yields of cane were compared, in order to determine an economical and effective supply of water for each irrigation and the net water requirement of plant cane.

Field experiments were carried out in August 1963 to January 1965 with plant

cane growing on the loam soil of Taiwan Sugar Experiment Station Farm. Conclusions reached are as follows:

1. When the infiltration of water was concerned, 15, 35 and 60 mm. were found to be the most economical amount of water for each irrigation in early, vigorous and late stages of cane development, respectively. At these rates, distribution of water to the main part of root system was observed 1 day after irrigation. penetration of water to other parts were found if the amounts exceeded these rates.

2. From the readings of moisture contents in different parts of soil profile, it was found that irrigation water was able to reach the main parts 1 day after irrigation applied at the rates of 15-35mm. in early, and 35-60 mm. in vigorous stage of cane development. However, 60 mm. was required during the late stage to allow the penetration to main parts.

3. Generally, moisture contents of different layers following irrigation varied correspondingly to the amounts of water applied. However, it was not always in proportion to the amount of water. Available moisture in the soil layer of 30-40 cm. deep from subsoil, for example, still remained at 40% to 60% measured 25 days after the application of least amount of water.

4. When cane yields were compared, it was found that the most economical irrigation could be obtained by applying 15-35 mm. each time in early stage, 35-60 mm. in vigorous stage and 60-120 mm. in late stage of cane growth. The net water required by one crop of plant cane in moderate soil of Tainan Area was also determined to be 600 mm. (not including the loss during water deliviration), if provided with an adequate interval control considering the rain fall. (下接第49頁)