

# 臺灣蔗園灌溉研究之綜合報告

## Review of the Irrigation Methods Experimented for Sugarcane in Taiwan

張 玉 鑽 Chang Yu-tsuan

臺灣糖業試驗所農藝系農藝技術師

### 一、引 言

甘蔗灌溉之目的，在補充土壤中甘蔗生長不足的水分，籍以促進甘蔗正常生長及維護單位面積之最高產糖量。土壤中水分之收支動態，以及甘蔗產量之構成因素，常因品種、土壤與氣象等條件之不同，時有莫大之差別。因此欲求灌溉水之經濟有效使用，以及灌溉效果之提高，須在現場舉行各種灌溉試驗，才能獲得適時適地之灌溉方式與指標，使甘蔗栽培在灌溉作業方面有新的發展。

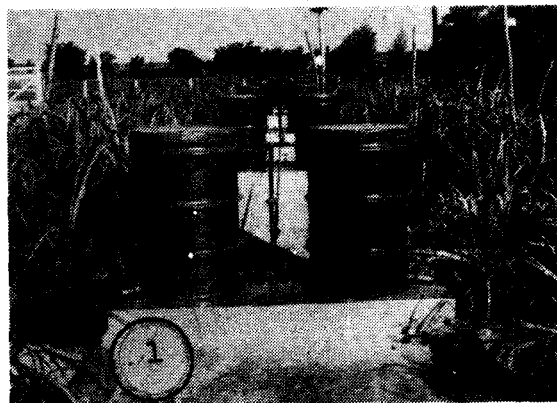
本文係筆者將近年來所舉辦之甘蔗灌溉試驗成果，選擇其比較合理而經濟之有效措施，作有系統之比較與檢討，俾可明瞭問題之癥結所在，尋求實際可行方案，藉供本省企業化甘蔗灌溉栽培作業之參考。

### 二、供試材料及方法

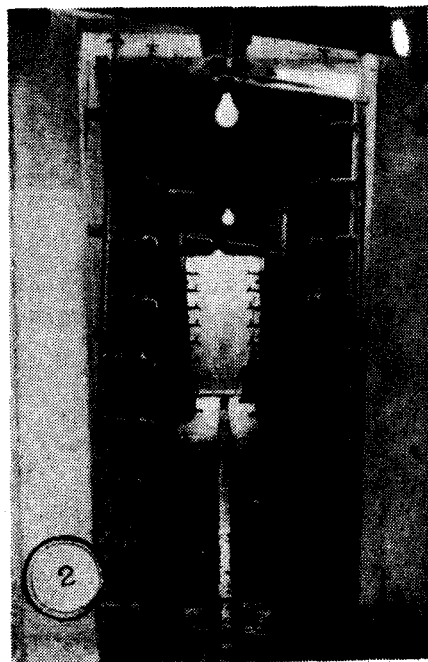
本文包括民國 43 年 8 月至 58 年 12 月連續十六年在臺灣糖業試驗所及其他自營農場進行之試驗結果。除按探究目的，分段分期進行多方面之求證試驗外，並於臺灣主要代表性蔗區，同時舉辦試驗，複證對地區性之甘蔗灌溉反應。有關灌溉與產量關係之試驗場所均屬於中地下水位之砂壤土（照片 1—④）。至甘蔗消耗水量等基本灌溉問題之研究，係用水泥槽（照片 1—①、②）或按裝滲漏計（照片 1—③）進行；供試甘蔗品種，先後採用 N:CO 310, F146, F147, F148, F152, F156 等數種。植期以秋植為主，銜接而為宿根，春植為副。灌溉依據之土壤水分測定，石膏塊電抗法（照片 2—①、②）與 Veihmeyer 式採土烘乾法（照片 2—④）兩種並用。灌溉用水量之控制，係用小型抽水機連接帆布管送水之定時控制法（照片 2—③、⑤）以及移動式巴歇爾量水槽（照片 2—⑥）兩種。田間排列多用逢機區集法，但亦有採用裂區排列者，重複 4 次或 6 次，小區行長 10m 左右，多為 8 行區。各試區之土壤水分常數，用各種方法先予測定後，再於試驗進行中，用現場經常施用方法參

加複證（照片 3）。茲將臺南最近三十年之降雨量及氣溫作成圖一統計，以供參考。

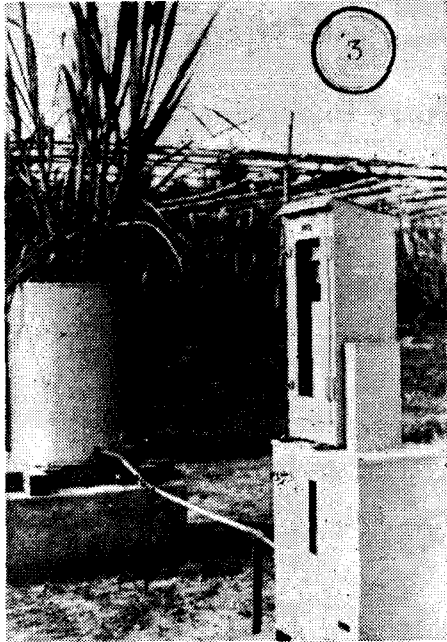
照片 1. 本試驗之各種供試場所：



①、大型水泥槽之外景。



②、大型水泥槽之地下水位控制設備。



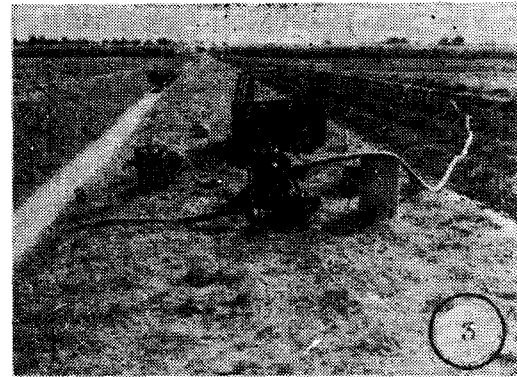
③、自記記錄之滲漏計。



②、石膏塊電抗法之二。

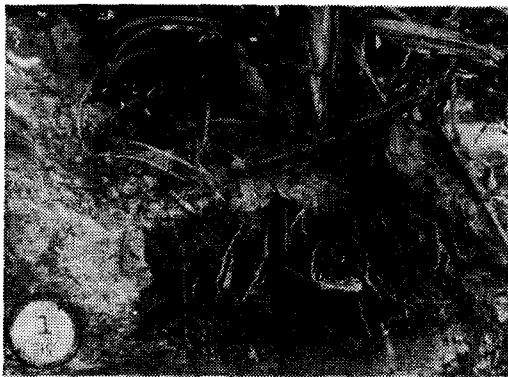


④、現場一般試區。



⑤、抽水機連接帆布管送水之定時控制法之一。

照片 2. 本試驗之水分控制及量測方法：



①、石膏塊電抗法之一。



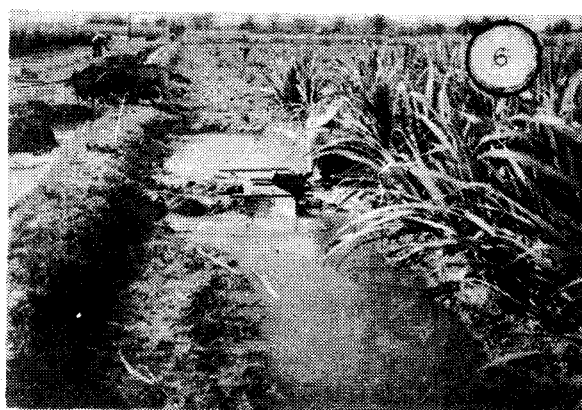
④、Veihmeyer 式探土烘乾法。



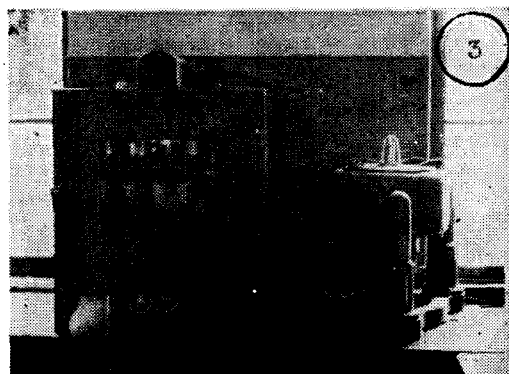
⑤、抽水機連接帆布管送水之定時控制法之二。



②、 $1/3$  大氣壓水分常數之測定。

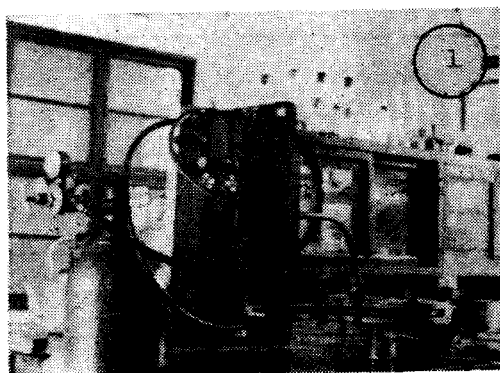


⑥、移動式巴歇爾量水槽。

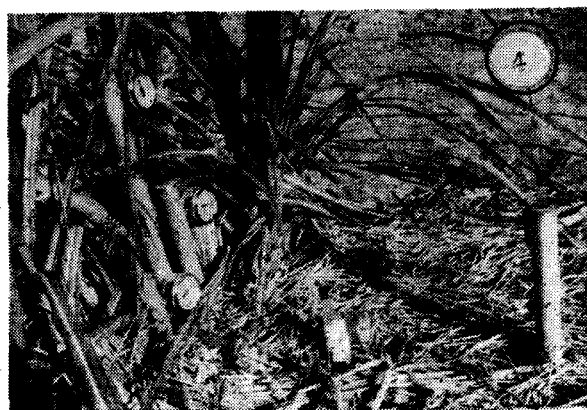


③、水分當量水分常數之測定。

照片 3. 本試驗之灌溉土壤水分常數之測定及現場復證：



①、15大氣壓水分常數之測定。



④、利用水分張力計在現場檢定水分。

### 三、試驗結果與討論

#### (一)、臺灣甘蔗灌溉週期與用水量之探究

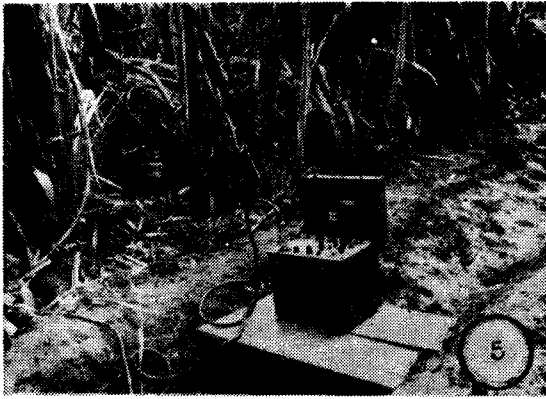
##### 1. 週期灌溉

甘蔗栽培先須明瞭在甘蔗生長期中，以每隔若干日需要灌溉一次為佳。表一乃劉步達與張玉鑽(1970)利用秋植甘蔗之第一旱季、雨季、第二旱季以及降雨量分佈情況，組合成不同灌溉週期標準。經三個年期之試驗結果：

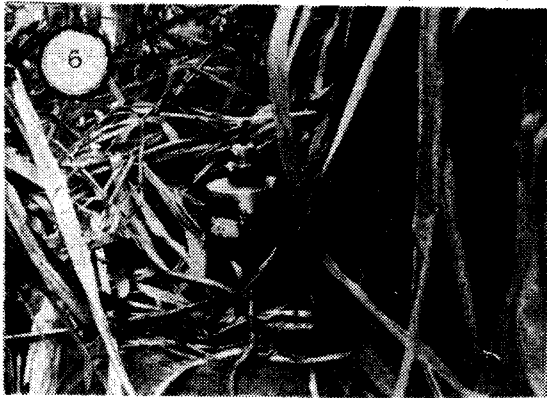
三年期結果顯示，第一旱季，雨季(5—9月連續多日不雨需要灌溉處理)每隔25天，第二旱季每隔35天或50天灌溉一次與機動灌溉(石膏塊深度在蔗苗下方20cm，灌溉起點水分為有效水分35%)方式比較，蔗產量差異不顯著，但以一作甘蔗灌溉次數言，週期灌溉處理却較機動灌溉方式多出2—3次(大部份在小甘蔗之低溫時期)。因此適當之週期灌溉方式，在實際應用上頗為簡單方便，灌溉效果亦佳，但是灌溉次數增加，似乎仍有浪費用水量及勞力之嫌，不能符合省工及經濟用水之要求；與機動灌溉相比尚有懸殊之差別，對現場應用週期灌溉方式尚有加以改進之必要。故在下節設計綜合指標定期灌溉試驗，加以改進之。

##### 2. 各生長期之灌溉次數與水量

作者等在1970年根據上述理由，進一步探討秋植甘蔗不同生長階段之灌溉次數與水量對產量之影響得表二、表三之試驗結果。



⑤、利用中子水分計在現場檢定水分之一。



⑥、利用中子水分計在現場檢定水分之二。

表一 三年期甘蔗不同週期灌溉與蔗產量(M.T/ha)之關係<sup>(5)</sup>

(45-46, 46-47, 47-48 年期, N:CO310 臺南砂壤土)

處理 項目	週期灌溉之組合(第一旱季及雨季, 第二旱季)* (天)				機 動 灌 溉	不 灌 溉	L. S. D.
	25,35	25,50	35,35	35,50			
蔗產量及指數	136(117)	140(120)	132(113)	128(109)	139(119)	117(100)	5%:5, 1%:6
灌溉次數	12(8-1-3)**	11(8-1-2)	9(6-0-3)	8(6-0-2)	9(4-2-3)	0	

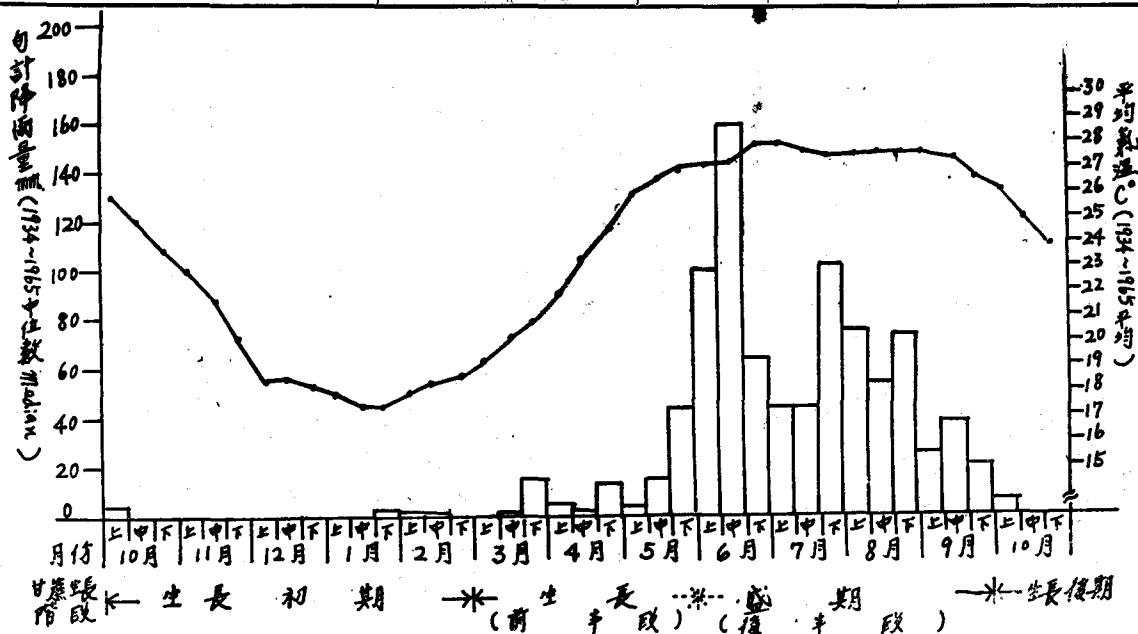
\* 本省秋植蔗第一旱季從9月16日起至翌年5月15日止，第二旱季從9月16日起至甘蔗收穫前一個月止；每年雨季從5月16日起至9月15日止。上開各項週期灌溉處理，每當排定灌溉時，必須參考當時降雨量；凡一日降雨30mm，或連續三日降雨40mm時，下同灌溉須從降雨停止之日算起。在雨季期間，除非連續多日不雨，按照第一旱季規定實施週期灌溉外，不再灌溉。 \*\* (第一旱季—雨季—第二旱季)。

表二 三年期甘蔗不同生長階段之灌溉時期、次數與蔗產量 (M.T/ha) 之關係<sup>(6)</sup>  
(臺南砂壤土)

灌溉時期 灌溉 年數	小甘蔗灌溉 (10月-2月)		中甘蔗灌溉 (3月-9月)			大甘蔗灌溉 (10月至收穫前1個月)		機動灌溉 (全期)	不灌溉
	2次	4次	2次	4次	7次	2次	4次	15次	0次
50-51年 期	143(107)	137(103)	135(101)	148(111)	—	144(108)	—	—	134(100)
51-52年 期	—	127(94)	—	154(115)	161(120)	—	141(105)	181(135)	134(100)
52-53年 期	—	132(104)	—	150(118)	—	140(110)	—	183(145)	126(100)
綜合指數	107	101	101	115	120	109	105	140	100

表三 三年期甘蔗灌溉水量與蔗產量 (M.T/ha) 之關係<sup>(6)</sup>  
(52-53, 53-54, 54-55 年期臺南砂壤土)

處 理 項 目	一次灌溉水量之組合 (初期-盛期-後期) mm.						L. S. D.
	0-0-0	15-35-60	15-35-120	35-60-120	60-60-60	120-120-120	
灌溉用水量 (mm)	0	305	425	585	540	1,080	5%: 9
蔗產量及指數	136(100)	172(126)	171(125)	189(138)	181(133)	184(135)	1%: 11



圖一 臺南之降雨量與氣溫統計圖

表二及表三之不同年期試驗成績顯示，各組連續三年期之結果頗為一致。秋植甘蔗初期灌溉 (10月至2月) 過多，而在中後期不能充分灌溉者，對蔗產量及糖產量無補益，有時反可減低產量；在生長盛期 (3月至9月) 灌溉對增產有顯著效果。甘蔗生長期間，土壤有效水分若能經常維持50%以上，則可獲得較不灌溉平均增產40%之最佳效果。惟欲應用機動灌溉以維持適當土壤有效水分，必須有豐富的灌溉水源，和完善的輸水系統，方能達到盡善盡美。

就甘蔗一個生長期一次經濟施灌水量之配合而言，以生長初期 (小甘蔗) 為少量 (35mm)；生長盛期 (中甘蔗) 為中量 (60mm)；生長後期 (大甘蔗) 為多量者 (120mm) 效果較佳，最佳增產指數高達38%。秋植甘蔗一作灌溉總水量約為 600mm；此項配合一作灌溉之總水量所獲蔗產量與全期灌溉將水量增加一倍之多水量處理所獲者相若。

甘蔗在粗質地土壤需要灌溉的程度，根據劉德霖 (1966) 氏在屏東砂礫地試驗成績列如表四。

表四 砂礫地甘蔗灌溉時期、次數與產量 (M.T/ha) 之關係<sup>(9)</sup>  
(54-55 年期, 屏東砂礫地)

處理 項 目	小甘蔗灌溉 (10月至2月)	中甘蔗灌溉 (3月至9月)	大甘蔗灌溉 (10月至2月)	全 期 灌 溉 (16個月)	不 灌 溉	
灌 溉 次 數	4 次	4 次	2 次	10 次	18 次	0 次
蔗 產 量 及 指 數	45(117)	50(131)	44(115)	79(207)	91(237)	38(100)

上表顯示, 粗質地土壤灌溉效果遠較中質地者為大, 但是在不同生長階段中, 生長盛期 (3月至9月) 的灌溉效果, 顯然仍較生長初期及後期為大, 在全生長期中灌溉次數增加, 似有增產趨勢, 但應考慮有提高生產成本之慮。

綜言之, 由上分析甘蔗在各個不同生長階段中之

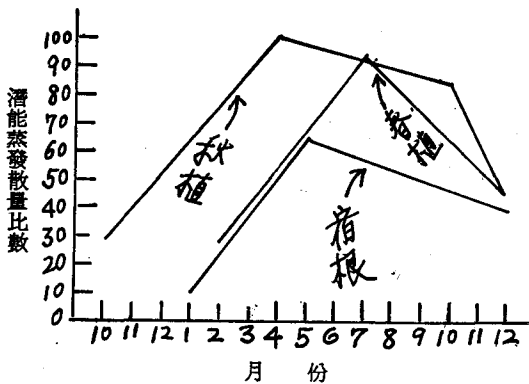
灌溉需要性、灌溉效果及一次灌溉水量, 均有顯著之差別。

### 3. 甘蔗耗水量之特性

作者除已舉辦上述甘蔗各個生長期之灌溉與產量關係試驗以外, 同時進一步作甘蔗消耗水量特性之探討, 其結果列如表五及圖二。

表五 不同植期甘蔗平均潛能蒸發散量 (mm/day)  
(臺南砂壤土, 滲漏計)<sup>(12)</sup>

月 份 植 期	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
秋植 (55-56)	4.84	6.66	8.35	9.87	13.37	14.76	16.51	11.34	14.36	—	11.20	11.82	13.97	8.56	7.86	10.96
春植 (56-57)					4.78	5.02	5.49	7.93	9.37	15.46	12.63	7.59	10.05	8.34	7.64	8.57
宿 根(57-58)			2.80	1.50	1.64	2.92	5.38	10.76	8.76	9.04	6.37	5.71	6.73	6.87	6.63	5.78



圖二 臺南一作甘蔗消耗水量曲線圖<sup>(12)</sup>  
(55-56, 56-57, 57-58年期, 潛能蒸發散量自記裝置)

上表從54年起至57年止, 由甘蔗消耗水量觀察結果, 顯示任何植期之一作甘蔗在其逐月之平均潛能蒸發散量, 均形成拋物線趨勢 (生長初期 < 生長盛期 > 生長後期) 同時以植期別之其平均潛能蒸發散量之數

值為秋植 > 春植 > 宿根。

一作甘蔗中潛能蒸發散量最低與最高值之差在春秋植均成 1:3, 宿根則為 1:7 之比; 在尖峯月份無論任何植期, 均在每年的四月至七月, 最低月份均在植後初期及宿根處理後之三個月期間。由此證明不同甘蔗生長階段之消耗水量, 也有很大之差別。故各期灌溉水量之多寡影響產量結果頗能與甘蔗各生育期之潛能蒸發散量相吻合。

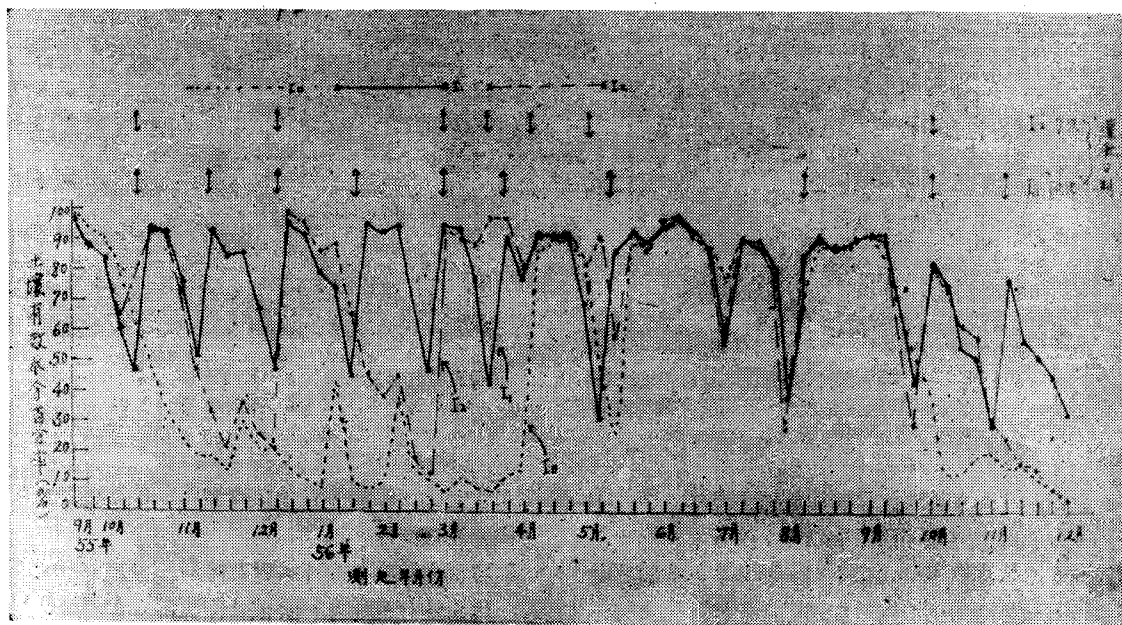
### 4. 綜合指標決定之定期灌溉

根據上述一連串之試驗研究結果, 繼利用綜合指標 (包括: ①甘蔗本身耗水特性、②當地氣候特性、③土壤質地、④栽培條件、⑤配水方式等) 之原則, 在省工、經濟、有效之條件下, 對於本省中質地秋植一作甘蔗, 定出一定期灌溉方式, 並與機動灌溉方式之比較試驗結果列如表六及圖三。

表六 甘蔗灌溉方式與蔗產量 (M.T/ha) 之關係 (臺南砂壤土 56-57 年期)<sup>(7)</sup>

處 理 項 目	處 理			L. S. D.
	不 灌 溉	機 動 灌 溉**	綜合指標決定* 之 定 期 灌 溉	
蔗 產 量 及 指 數	153(100)	172(113)	166(109)	5% 8, 1% : 11
灌 溉 次 數	0	10	7	
灌 溉 水 量 (mm)	0	800	566	

\* 10月中旬, 12月中旬各灌溉一次, 2月下旬至5月中旬灌溉4次, 收穫前10月中旬灌溉一次, 一次灌水量除第2次及最後一次為90mm, 其餘各為60mm, 6月至9月視降雨情形臨時追加。  
\*\* 石膏塊埋置在蔗苗下方20cm, 灌溉起點為有效水分50%。



圖三 56-57 年期甘蔗灌溉試驗土壤有效水分變化曲線及灌溉日期之分佈 (四品種平均)  
I<sub>0</sub>: 不灌溉, I<sub>1</sub>: 機動灌溉, I<sub>2</sub>: 綜合指標定期灌溉

上表顯示, 利用綜合指標決定之一作甘蔗定期灌溉與機動灌溉方式之間比較, 蔗產量差異不顯著, 但一作甘蔗之灌溉次數, 前者可節省3次, 減少用水量234mm。換言之, 現場若能善加利用綜合指標舉行甘蔗灌溉者, 可達到省工經濟而有效之目的。

### 5. 合理、省工而經濟有效之機動灌溉

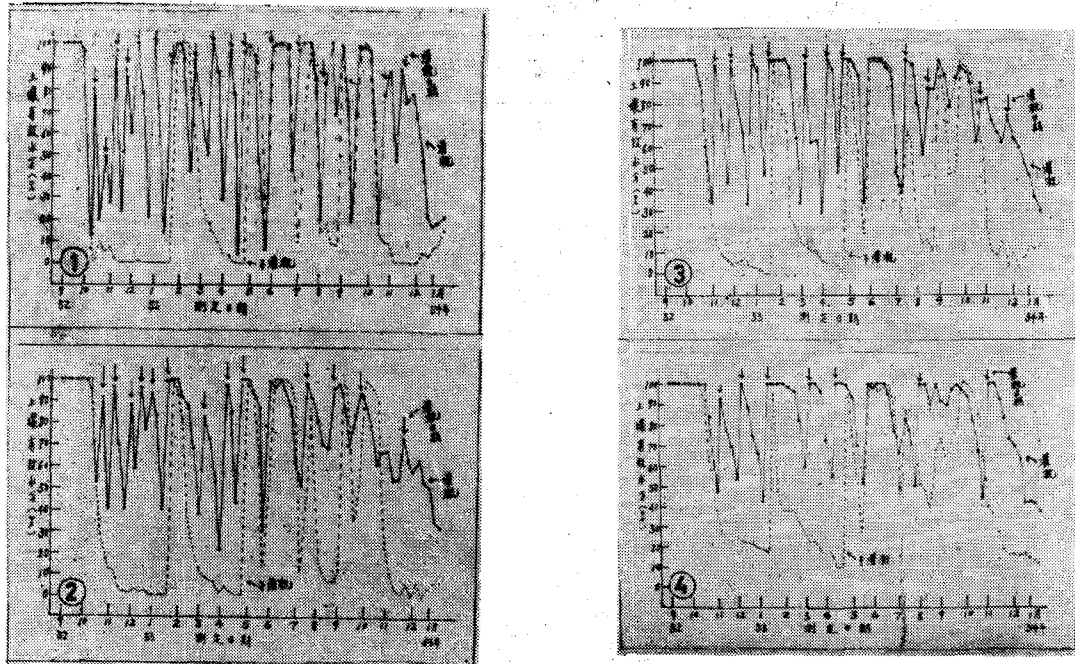
根據上述綜合指標, 所推薦的不同生長期間之灌溉次數(週期)與水量, 到底是否合理, 乃再用機動灌溉埋放不同深度之石膏塊方式, 以與互相比較探討一作甘蔗合理灌溉次數之多寡。試驗成績列如表七及圖四。

表七 三年期甘蔗機動灌溉之石膏塊埋置深度與蔗產量 (M.T/ha) 之關係<sup>(8)</sup>  
(53-54, 54-55, 55-56 年期, 臺南砂壤土)

處 理 項 目	不 灌 溉	機動灌溉之石膏塊埋置深度 (蔗苗下方 cm)				L. S. D.
		10	30	50	70	
蔗 產 量 及 指 數	133(100)	177(133)	173(130)	175(131)	170(128)	5%:8, 1%:11
灌 溉 次 數	0	14	10	7	6	
灌 溉 水 量	0	536	503	445	471	

備註: 灌溉起點水分, 以各不同深度石膏塊之有效水分低於50%以下時舉行灌溉。每一次灌水量之決定, 係根據田間含水量減去所規定之總深度土層(培土高度+石膏塊深度)灌前實測水分, 並考慮假比重, 灌水面係數, 用畦溝灌溉法供水。





圖四 53-54 年期四種灌溉處理試驗指標之土壤有效水分曲線與灌溉日期分佈情形 (圖①、②、③、④各代表為機動灌溉，石膏塊埋置於蔗苗下方，① 10cm 深度，② 30cm 深度，③ 50cm 深度，④ 70cm 深度)。

上表顯示石膏塊埋置深度在蔗苗下方10、30、50、70公分之各處理間，蔗產量差異不顯著。表示一作甘蔗灌溉用水量在 500mm 左右，而其灌溉次數分配不太多（根據中層土壤水分作為灌溉依據），與每一次少水量而分配次數較多（根據淺層土壤水分作為灌溉依據）兩者間之差異不大。換言之，假如灌溉時期與一次灌水量之分配適宜時，一作灌溉次數僅 7 次左右，實與 14 次灌溉之產量無大差異，可達到合理、省工而又經濟有效之灌溉目的。由此顯示利用綜合指標對一作甘蔗在各生長期間所推薦之灌溉次數與水量，

除可收省工、經濟、有效之效果外，對甘蔗之生育尚可供給合理條件。

#### 6. 宿根與秋植甘蔗耗水量之差別

與新植甘蔗比較，宿根甘蔗消耗水量顯然有偏低的傾向（表五），但宿根甘蔗一作之耗水量特徵，接近於新植甘蔗。以逐月消耗水量言，第一次宿根和第二次宿根甘蔗都很近似，但其能量利用效率，則前者較後者為高。今將臺南本所砂壤土 46-47 年期宿根甘蔗 (N:CO 310) 週期灌溉試驗成績列如表八。

表八 宿根甘蔗不同週期灌溉與蔗產量 (M.T/ha) 之關係<sup>(5)</sup>

處理 項目	週期灌溉之組合 (第一旱季及雨季, 第二旱季) (天)				機動灌溉	不灌溉	L. S. D.
	25, 35	25, 50	35, 35	35, 50			
蔗產量及指數	93(124)	90(119)	85(113)	93(123)	94(125)	75(100)	5%:12
灌溉次數	7(3-1-2)	6(3-1-2)	5(2-0-3)	4(2-0-2)	5(1-1-3)	0	1%:17

備註：灌溉細則照秋植甘蔗表一

觀察上表可見，宿根甘蔗生育期中不同灌溉週期與不同灌溉方式，對於蔗產量之影響並無差異。若再與秋植蔗成績（表一）比較，顯然宿根甘蔗之需水量

稍低於秋植蔗，亦即田間試驗之產量趨勢符合於滲漏計消耗水量之結果。



(二)、臺灣甘蔗灌溉增產與栽培條件之關係

1. 水、肥料與品種之關係

今就臺南本所(中地下水水位)砂壤土 56-57 年期秋植甘蔗，以不灌溉、機動灌溉、綜合指標決定

之定期灌溉三種方式，配合四個品種 (N: CO 310、F146、F152、F156) 之試驗成績(如表九)加以觀察，可得結論如下：

表九 灌溉對品種間增產之關係<sup>(7)</sup>

灌溉	品 種	蔗產量 (M.T/ha), L. S. D. 品種 5%:12, 1%:13 灌溉 5%:8, 1%:11				
		N:CO310	F 146	F 152	F 156	平 均
不 灌 溉		131(100)	158(100)	165(100)	156(100)	153(100)
機動灌溉 (10次 800mm)*		128(98)	180(114)	203(123)	176(112)	172(113)
綜合指標之定期灌溉 (7次 566mm)		134(102)	172(109)	192(116)	167(107)	166(109)
平 均		131(100)	170(129)	187(141)	167(127)	

\* 石膏塊埋置在蔗苗下方 20cm，灌溉起點為土壤有效水分50%。

①灌溉對品種間之增產效果，其順序為 F152>F146>F156>N:CO310。②兩種灌溉處理，較不灌溉之對照區均有增產表現，但在機動灌溉與綜合指標定期灌溉兩處理間差異不明顯，表示機動灌溉方式(一作10次 800mm)與利用綜合指標決定之定期灌

溉方式(一作7次 566mm)間，對甘蔗增產影響不大，而以後者省工且用水經濟。

又伍文耀(1968)氏在屏東(萬丹)壤土地 53-54, 54-55 兩年期試驗中探求肥料與品種間之關係結果列如表十。

表十 肥料與品種間蔗產量 (M.T/ha) 之關係 (萬丹壤土)<sup>(4)</sup>

品 種	年期及施氮量	53-54 年 期				54-55 年 期				備 註
		N kg/ha				N kg/ha				
		100	200	300	400	100	200	300	400	
F 152		195 (100)	201 (103)	234 (120)	223 (114)	204 (100)	203 (99)	215 (105)	214 (105)	一作甘蔗 六次灌溉

由表十結果顯示，品種 F152 獲得適度灌溉情況下，增施肥料有增產效果。

2. 肥料與水之關係

茲將莊作權等(1968)用 F146 在 56-57 年期，秋植之盆栽及田間試驗成績列如表十一、十二。

表十一 肥料與水對 F146 蔗產量 (M.T/ha) 之關係 (盆栽臺南砂壤土)<sup>(2)</sup>

項 目	灌 溉 氮素 (kg/ha)	352 mm		70 3mm	
		200	400	200	400
蔗 產 量 及 指 數		74(100)	119(161)	90(121)	150(202)

表十二 肥料與水對 F146 蔗產量 (M.T/ha) 之關係 (田間)<sup>(1)</sup>

土 壤 別	處 理	供 試 地 點				
		灌 溉	施 肥 量 (N:P:Kkg/ha)	臺 南	高 雄	善 化
砂 壤 土	6-10 次		200: 45: 90	116(100)	123(100)	104(100)
	10-14 次		300:100:180	147(126)	134(109)	152(146)
粘 壤 土	5-6 次		200: 45: 90	152(100)	135(100)	164(100)
	8-9 次		300:100:180	164(108)	152(112)	168(102)

上表顯示 F146 增施肥料同時配合增加灌溉水量有增產效果，尤以砂壤土盆栽試驗及砂壤土田間試驗為最明顯。

再就陳遲、劉步達、張玉鑽( )等氏 N:CO310 49-50 年期秋植甘蔗試驗成績(列如表十三)加以觀察。

表十三 不同地區甘蔗灌溉與施肥量對於蔗產量之關係 (N:CO310,49-50 年期)<sup>(11)</sup>

地 點 項 目 處 理	臺 南 (中、低地下水 壤 土)		南 州 (中地下水含 石礫砂壤土)		虎 尾 (高地下水 砂 壤 土)	
	蔗產量 (M.T/ha)	灌溉次數	蔗產量 (M.T/ha)	灌溉次數	蔗產量 (M.T/ha)	灌溉次數
不灌溉普肥	90.3(100)	0	42.3(100)	0	99.5(100)	0
不灌溉重肥	93.6(104)	0	54.2(128)	0	112.3(113)	0
灌溉普肥	102.4(113)	10	82.9(196)	13	114.8(115)	20
灌溉重肥	112.2(124)	10	83.7(198)	13	118.7(119)	20
L. S. D. {	9.5		24.0		8.1	
5 %						
1 %	12.8		34.5		11.2	

由上表在不同地區之甘蔗以灌溉與施肥量配合對蔗產量之影響結果，可見在保水保肥較弱地區，限制甘蔗生育之因子，顯然以「水」較「肥」更為重要；相反，在地下水水位較高地區，灌溉水却不是限制甘蔗生育之重要因素，乃隨增施肥料而提高產量；但若土

地條件在兩者之間者，則灌溉和施肥必需同時配合，方能提高產量。

### 3. 地下水水位高低，土壤類別與灌溉增產之關係

今將 44-45 年期 N:CO310 秋植，在本省五個地點之灌溉試驗成績列如表十四。

表十四 秋植甘蔗各地區灌溉試驗蔗產量分析表<sup>(5)</sup> (44-45 年期 N:CO310)

供試地點	蔗 產 量 及 指 數 (M.T/ha)			L. S. D.	
	對 照	週 期 灌 溉	機 動 灌 溉	5 %	1 %
臺南糖試所	117.7(100)	125.4(107)	128.9(110)	6.16	8.54
屏東四林	68.8(100)	89.8(131)	90.7(132)	18.25	25.33
屏東崇蘭	105.9(100)	106.9(101)	103.4(98)	不顯著	
斗六大潭	121.6(100)	127.4(105)	127.8(105)	不顯著	
虎尾改良場	126.8(100)	140.1(110)	129.7(102)	7.40	10.27

上列成績顯示，在田間地下水水位較高地區(屏東崇蘭、斗六大潭)之甘蔗灌溉效果不大，充分灌溉反不能生效；地下水水位較低之粗質地土壤地區(屏東四林)甘蔗灌溉效果則甚顯著，但灌溉方式處理間(週期灌溉與機動灌溉)對產量無顯著影響。

再就陳遲、劉步達、張玉鑽( )等設置大型地下水水位控制槽用 N:CO310 秋甘蔗進行灌溉與地下水水位高低影響蔗產量試驗經 47-48, 49-50 及 51-52 三年期之結果如表十五。

表十五 三年期灌溉處理、地下水水位高低與蔗產量之關係<sup>(10)</sup>  
(47-48, 49-50, 51-52 年期，臺南砂壤土)

處 理 項 目	充分灌溉高地下水 水位 (0.6-1.2m)	充分灌溉低地下水 水位 (1.4-2.0m)	少量或無灌溉 高地下水水位	少量或無灌溉 低地下水水位
蔗產量 (M.T/ha) 及指數	191.6(100)	230.5(120)	190.8(100)	203.6(106)
一作灌溉用水量 (mm)	660~860	660~860	0~60	0~60

結果顯示本試驗在砂壤土 N:CO310 秋植情形下，在高地下水水位區 (0.6~1.2m) 時，雖經充分灌溉，對甘蔗生長、產量、土壤水分等，都無促進效益。惟在低地下水水位區 (1.4~2.0m) 時，充分灌溉對甘蔗

之生長、產量及土壤水分，始有明顯之改良效果。

#### 4. 灌溉方式與用水量對甘蔗增產之關係

今將 49-50 年期秋植甘蔗 (品種 F147) 之灌溉方式與用水量對蔗產量關係試驗成績列如表十六。

表十六 灌溉方式、水量與蔗產量之關係<sup>(5)</sup>  
(49-50 年期，臺南砂壤土)

處 理 項 目	週 期 灌 溉			機 動 灌 溉			L. S. D.	
	*少水量	中水量	多水量	少水量	中水量	多水量	5 %	1 %
蔗產量 (M. T/ha) 及指數	135(100)	145(108)	158(117)	145(107)	151(111)	151(112)	10	13
灌 溉 次 數	14(6-5-2)	14(6-6-2)	14(6-6-2)	16(7-6-3)	15(6-6-3)	13(5-5-3)		
灌 溉 水 量 (mm)	380	660	940	440	720	890		

\* 每一次灌水量

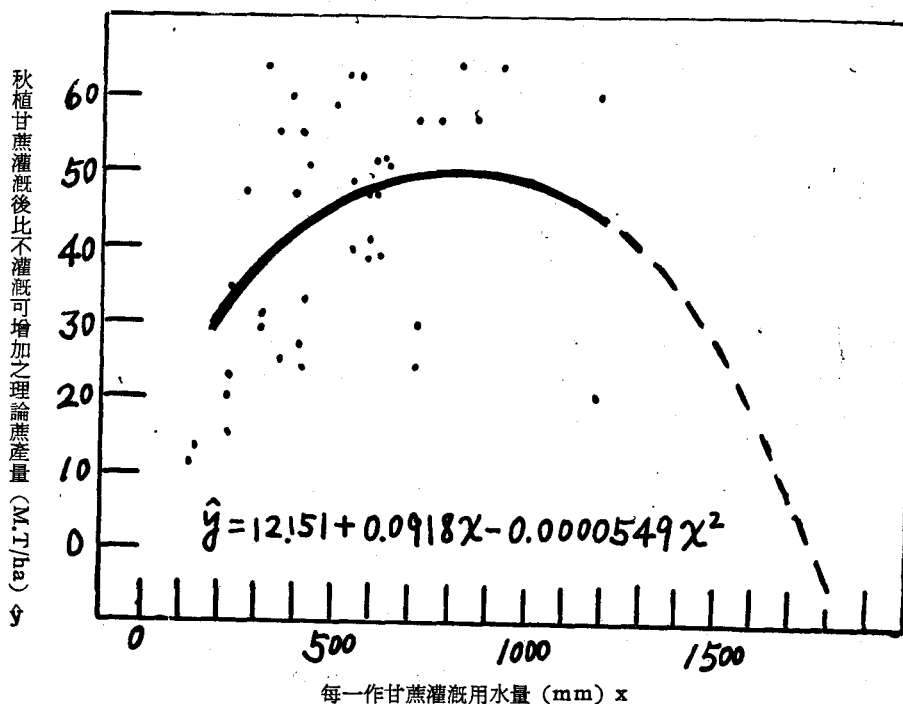
表中成績顯示，採用週期灌溉者，一次灌水量，用多水量時，顯然較中、少水量為佳。但當採用機動灌溉時，一次灌溉用水量間對甘蔗產量影響無明顯差異。

由上列各項資料，可見如謀蔗園灌溉有增產效果，必須栽培耐水耐肥品種，配合水肥之充分供應，造

成對該品種之優良栽培條件，方可達到目的。

#### (三)、臺灣甘蔗灌溉用水量與蔗產量之推算

如將上列臺南中質地土壤、中地下水水位區，秋植 F147、F148、F152 之各試驗資料 (N:CO310 品種除外) 綜合統計分析，則可獲得在不同灌溉用水量時，影響蔗產量之預估曲線如圖五。



圖五 臺南秋植甘蔗一作施灌水深與原料蔗莖增產量預估曲線圖(9)

觀察上曲線圖，一作甘蔗之灌溉用水量與產量增加之關係，顯然可以二次曲線方程式加以表示如下：

$$\hat{Y} = 12.151 + 0.0918X - 0.0000549X^2$$

式中： $\hat{Y}$  = 秋植甘蔗灌溉後比不灌溉可增加之理論蔗產量 (M.T/ha)

$X$  = 每一作甘蔗灌溉用水量 (mm)。

由該一方程式估算，一作甘蔗每公頃蔗產量在 9~15 萬公斤時，其適宜灌溉用水量通常在 600mm 前後，經灌溉後應可增加蔗產量每公頃 4~5 萬公斤之間。但一作灌溉用水量超過 900mm 以上時，就不合經濟要求，如繼續增加到 1,800mm 時，土壤水分過

多，蔗產量反將低落，可能如無灌溉之相反影響。

#### 四、在特殊地區提高甘蔗灌溉效果之應有途徑

上述各試驗進行之地點，大部份為中地下水區，即相當於輪作田區，至於山地旱田及平地旱田（底層無地下水及根域層較淺田區）等特殊地區之甘蔗，如何謀求提高灌溉效果，曾于 52-53, 53-54, 55-56 年期，以人工控制方法①將有地下水及無地下水之土層（深度相同）分隔各成獨立處理，②土層中更以鋪設膠布與否區別土層之深淺來測驗灌溉效果與土壤水分對蔗產量之影響，其成績列如表十七及十八。

表十七 地下水位有無對蔗產量及灌溉用水量之影響<sup>(9)</sup>  
(53-54, 55-56 年期, 臺南砂壤土大型水槽)

處 理 項 目	有地下水位區	無地下水位區	差 數	差數/有地下水位區
蔗 產 量 (M.T/ha)	216	164	+ 52	+ 0.24
灌 溉 用 水 量 (mm)	414	528	- 114	- 0.22

表十八 土層中地下水位有無及土層深淺對蔗產量 (M.T/ha) 之影響 (52-53年期)<sup>(9)</sup>

處 理 供 試 地 點	有地下水位深 土層(無膠布)	無地下水位淺 土層(有膠布)	相 差 值 (無膠布-有膠布)	相差值/有地下 水位(差值比)	年期降雨量mm (降雨日數)
灌 溉 (臺 南 砂 壤 土)	259.8 (676mm)*	76.9 (642mm)*	182.9	0.70	1288(76)
不灌溉 (臺 南 砂 壤 土)	180.7	23.3	157.4	0.87	1288(76)
不灌溉 南州(構內)砂壤土	157.0	86.5	70.5	0.45	1401(103)
不灌溉 南州(後廊)粘土	163.4	37.4	126.0	0.77	1375(73)

\* 一作甘蔗灌溉用水量

綜合分析上表結果，可歸納成下列各點結論：  
①在灌溉管理上砂壤土秋植甘蔗，應在 0~80cm 深度土層中，給予適度水分，若其地下水位在 1.6~2.0m 之間時，更應以灌溉使較深層土壤獲得適當水分之供給，則一作甘蔗除可較無地下水處理區（水位隔離區），減少 1/4 灌溉用水量以外，因其根系分佈深廣，收量可增約 25%。  
②甘蔗生長在用塑膠布隔離地下水之淺土層中，與無隔離地下水之深土層處理比較，兩者之生存莖數顯然有差別，差距最大者可達二倍以上；因而二者之蔗產量亦相差約在 45~87%；但在隔離地下水區之有灌溉者，與無灌溉者比較，產量差

距較小，至於隔離地下水區與無隔離者相較，每單位“水”之灌溉對蔗產量可減低 40% 之效果。  
③在有地下水表土層 (0-35cm) 中之含水量，約有 1/3 左右，係來自地下水之毛細管水上升供給，而隔離地下水區則缺如。

#### 四、根據試驗成果推薦實際應用之灌溉方案與實施方針

根據以上現場之試驗結果，茲推薦可行之綜合實用灌溉方案列如表十九。

表十九 秋植甘蔗經濟有效之灌溉方案(中質地土壤爲例)(9, 10)

灌溉時期別		灌溉方案				自然條件		栽培條件		灌溉增產之幅度
		次數	一次水量(mm)	一作水量(mm)	佔總水量之比率%	地下水位	降雨量	品種	施肥量	
小甘蔗	生長初期 (10月至2月)	2-3	30-60	120-150	20-25	中低地下 水位型田 區	接近最 少降雨 量年 (950 mm附 近)	耐水、 耐肥 品種如 F152, F146.	施用重 肥標準	30-40%
中甘蔗	生長盛期 (3月至9月)	4-6	60	300-360	50-60					40-50 M.T/ha. (蔗產量)
大甘蔗	生長後期 (10月至收穫 前1個月)	1-2	60-120	120-150	20-25					
合計		7-11		600	100					

上項推薦之綜合灌溉方案之實施方針，可歸納爲如下各點：

- (一)、在甘蔗不同生長期間中，灌溉次數與水量之配合應參照品種具有耐水耐肥特性者，給以充分灌溉，方有大幅增產之功效。
- (二)、灌溉方式亦得配合栽培條件進行，通常在中低地下水位田區如栽培耐水耐肥品種，適逢年降雨量特少時，應在各生長期中給與適當灌溉次數與用水量並作合理施肥(根據肥力測定)則灌溉效果可增加 30~40% (每公頃蔗產量可增產 4~5 萬公斤)。
- (三)、灌溉方式可依下列兩種途徑進行：

1. 水量供應不充分地區：

就中質地土壤，一作甘蔗生長初期(10月至2月)灌溉爲 2~3 次，每一次水量爲 30-60mm；盛期灌溉爲 4~6 次(3月至5月4次，6月至9月0~2次)，每次水量爲 60mm；後期灌溉爲 1~2 次，每次水量爲 60~120mm；一作適宜水量約在 600mm 前後，就此總水量在各生長期內分配之比率，盛期 50~60%；初期與後期各佔 20~25% 左右爲宜。粗質地土壤灌溉次數與水量宜較中質地者稍增加，細質地者則反之；又在水量供應充分地區但無機動灌溉設備者，亦可應用本方式舉行灌溉。

2. 供應水量充分或輸水系統完善地區：

此區可利用機動灌溉方式進行灌溉，採用石膏塊電抗式土壤水分測定或用盆面蒸發量方法均可。石膏塊埋置深度在蔗苗下方 10 至 50 公分之間，據試驗結果對蔗產量差異不顯著，但每一次灌溉水深度不宜低於或高於石膏塊之位置，否則不能發揮灌溉之效果與經濟用水之功能。

四、特殊地區提高甘蔗灌溉效果方法：

1. 底土層水分奇缺地區(如山地旱田)

類似此種土層深但底層缺乏水分地區之甘蔗，每一次灌溉用水量，必須較中地下水位區(如輪作田)增加爲宜，以補充底層之含水量，以利根系分佈較深，養分吸收範圍亦較廣大，可促進甘蔗地上部之潛能生長量，終而提高蔗產發揮灌溉效果。

2. 根域層淺薄地區(如河川地之沖積土)

淺根域層地區欲提高灌溉效果須先改良土層，使能增加保水力及總保水量，否則仍無法提高灌溉效果。

五、結 論

作者經十六年(43-58)來連續從事甘蔗灌溉之理論與實際試驗，發見在臺灣之氣候環境下，秋植甘蔗一作期間之灌溉，如採用週期灌溉方式時，可使現場人員容易執行而有利於增產，但對灌溉需要性較少的小甘蔗(低溫期)不宜加多灌溉次數，否則有浪費灌溉水量及勞力之嫌。至於另一測定土壤水分之機動灌溉方式，雖然可獲得最高增產效果，但常受當前各種環境因素之限制(如輸水系統不完備)，離開實用階段尚遠。因此作者推薦利用綜合指標(包括：①甘蔗本身耗水特性、②當地氣候特性、③土壤質地、④栽培條件、⑤配水方式等)來決定一作甘蔗之定期灌溉方式較爲經濟有效。通常在乾早年期，中地下水型田區情形下，如栽培耐水耐肥品種，配合於中蔗期以多次中水量(一次水量)，幼蔗期之少次小水量及大蔗期之少次大水量灌溉方式，再配合增加肥料用量，可充分發揮灌溉效果。在臺南普通土壤秋植甘蔗一作灌溉次數約七次，總水量在 600mm 左右，可使每公頃甘蔗增產 4~5 萬公斤，增產率達 30~40%。在本

文中所推薦之根據綜合指標實用灌溉方案與根據淺層土壤水分之機動灌溉(以每次少水量行多次灌溉)方式比較結果,蔗產量兩者間無差別,但前者可減少灌溉次數與節省用水量,又能符合根據中層土壤水分實施機動灌溉方式(灌溉次數不過多,一次水量較大)所獲優良結果。換言之,由本文所推薦之實用方案在現場使用時,可獲得合理、省工、經濟、有效之甘蔗灌溉四大原則。

## 六、摘 要

臺灣甘蔗灌溉,欲求合乎經濟、有效、省工及合理之四大原則時,必須採用綜合指標所決定之甘蔗定期灌溉方式為宜(相當於依據中層土壤水分作為機動灌溉之方式)。即計劃一作甘蔗所需之總用水量,應將一半加強分配在中甘蔗時期(2月下旬至5月)之灌溉,其餘各時期間,盡量減少灌溉為佳。應栽培耐水耐肥品種,且如在中低地下水田區,以達最少降雨量年期為例,除配合增施肥料外,在臺南普通土壤之秋植甘蔗一作灌溉次數約為7次,用水量在600mm左右時,可較不灌溉增產30~40%,即蔗產量每公頃增產4~5萬公斤。

誌謝:本研究分段進行時期,承本所種藝(農藝)系歷屆系主任孫逢吉、陳運、夏雨人、包敦樸諸位先生暨前任技師劉步達先生之贊助與指導。編寫本文承現任農藝系包敦樸主任及研究員彭聲揚先生悉心斧正。又各年期試驗期間,曾獲得國家科學委員會之補助,作者謹此深表謝忱。

## 七、參考文獻

1. 莊作權、許恭成(1968)•甘蔗和諧營養之研究。臺灣糖業試驗所研試報告56-57年期, pp. 52-53。
2. 莊作權、張晉華、譚忠輔(1968)•土壤水分對甘蔗養分吸收之影響。臺灣糖業試驗所研試報告56-57年期

pp. 58-59。

3. 劉德霖(1966)•蔗田灌溉週期與需水量之研究。屏東蔗作改良場研試報告54-55年期 pp. 61-63。
4. 伍文耀(1968)•甘蔗新品系耐肥性之研究。臺灣糖業試驗所研究彙報 45:21-36。
5. 劉步達、張玉鑽(1970)•甘蔗灌溉之研究:第I報 灌溉週期對於蔗產量之影響。臺灣糖業試驗所研究彙報49:87-94。
6. 張玉鑽、劉步達(1970)•甘蔗灌溉之研究:第II報秋植甘蔗不同生長階段之灌溉次數與水量對於產量之反應。臺灣糖業試驗所研究彙報 49:95-105。
7. 張玉鑽(1970)•甘蔗灌溉之研究:第III報 甘蔗不同品種對灌溉效果之影響。臺灣糖業試驗所研究彙報 50:87-101。
8. 張玉鑽(1970)•甘蔗灌溉之研究:第IV報 甘蔗灌溉指標與石膏塊埋置深度之關係。臺灣糖業試驗所研究彙報 50:103-114。
9. 張玉鑽(1970)•甘蔗灌溉之研究:第V報 控制地下水與土層深度對甘蔗灌溉之效果。臺灣糖業試驗所研究彙報 51:77-91。
10. 陳運、劉步達、張玉鑽( )•甘蔗灌溉之研究:第VI報 灌溉與地下水水位高低對於甘蔗生長產量及土壤水分之影響。臺灣糖業試驗所研究彙報。
11. 陳運、劉步達、張玉鑽( )•甘蔗灌溉之研究:第VII報 不同地區甘蔗灌溉施肥效果之相互影響。臺灣糖業試驗所研究彙報。
12. 張玉鑽(1969)•甘蔗消耗水量特性之研究。臺灣糖業試驗所研究彙報 48:59-70。
13. 張玉鑽(1970)•甘蔗消耗水量特性之研究(續)一甘蔗宿根次數對於消耗水量之影響一。臺灣糖業試驗所研究彙報 52:137-144。
14. 張玉鑽(1969)•甘蔗灌溉成果之利用。臺灣糖業試驗所五十八年度蔗作新知。
15. 張玉鑽(1968)•臺南蔗田灌溉用水量對於蔗產量之影響。臺糖通訊 43(7):7-9。

## Summary

From the past 16 years' results of experiments on irrigation of sugarcane in Taiwan, it is found that for the autumn-planting crop the irrigation at periodic intervals is much easier to follow under the local climatic conditions. Though this type of irrigation is reliably effective in bringing about increase of cane yield, unnecessary water and labor is wasted during the periods of young cane when soil moisture is enough for its growth and irrigation is not needed. An ideal method of irrigation for gaining the highest yield increase of cane so far is the one that can adjust its versatility based upon the soil water content measured previously. Yet due to so many limiting

factors, this type of irrigation has not been practiced on a general scale. For efficiency and ease in operation, the author developed another method of irrigation which could be carried out at fixed intervals with the same ease as the periodic type while saving waste of unnecessary water and labor. It is in fact a combined index counting in at the same time such factors as water requirement of the cane varieties, the local climatic conditions, texture of soils, cultivating conditions as well as transporting conditions of water in fields, for the basis of irrigation.

When a near-drought crop year is anticipated during planting time, a cane variety tolerant to fertility and wet should be grown. In the case of such variety being grown in fields with medium-low underground water table, it should be scheduled so that 2-3 irrigations each with 30-60mm, 4-6 irrigations each with 60mm and 1-2 irrigations each with 60-120mm of water are conducted for the small, middle, and maturing cane respectively. For the autumn-planted crop in ordinary soils, such budget of water for irrigation (7 irrigation with a total of 600mm of water) should be capable of increasing the cane yield by 40,000-50,000kg/ha or 30-40%. If compared with the versatil irrigation according to moisture content measured for shallow soils, such combined index of irrigation not only could result in almost equal yield of cane but save a few numbers of irrigation needed for the former method. It is comparable to the versatil method according to moisture content of the middle soil layer. In other words the recommended method, if practiced in plantations, will be more adaptable and efficient while the cost and labor will be lower.

---

上接 39 頁

#### SUBMERSIBLE PUMPS

In mid 1930's attempt was made to adapt oil filled submersible motor to water well. These first units involved imported ones from Europe. In general these were not accepted. It was not until late in the 1940's that submersible pumps were accepted as practical for home, farm and community water systems in this country.

#### References

1. W. H. Holcomb, "The Development of the Deep Well Turbine Pump." Mechanical Engineering, Nov. 1929
2. Everett Lundy, "Deep Well Turbine History" Unpublished, 1968
3. B. K. Campbell, Customer Service Manager of Franklin Electric Correspondence with author, Oct. 30, 1969
4. Carle and Worthington, "Development and Application of Submersible Pumps" Water Well Journal, March-April 1953