

農田灌水深度與灌溉間隔之關係

Irrigation Interval in Relation with Depth of Application

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

乾旱地區的農業經營，假如希望達到有效地作物生產和提高耕作收益的最有可能性途徑，當為作物栽培期間中，施予適當灌溉的辦法是最容易見效。

不過所實行的灌溉，若頻度的配合不理想，不但會影響其效果，尚可浪費耕作成本，甚至于能左右整個水利資源的運用。於是灌溉間隔的決定，仍為灌溉技術上最重要的一項。但是在實際農業經營上所希望的間隔是「於作物的生育，收量及品質等在不降低的情形之下，來決定其最大間隔者」。

通常作物灌溉間隔，除作物類別之間有差別之外，同一作物也可受不同生育環境和作物本身的生理需要之間，有極大的差異。茲將其有關問題跟試驗結果，引例簡述其重點，以供旱作灌溉參考之用。

二、灌溉間隔的由來

灌溉農業地區所採用的灌溉間隔由來，大約均根據作物每天消耗水量和一次施灌水量來決定，其公式(1,2,3,4,5,6)如下：

$$\text{灌溉間隔(天)} = \frac{\text{有效根羣域內所施用的純水量(mm)}}{\text{每天消耗水量(mm/day)}}$$

不過每天消耗水量的來源，有很多決定方法，但其數值通常可受其測定方法之不同，也有懸殊的高低差別。茲為參考起見，將各種方法簡介如下：

消耗水量決定上的調查測定方法⁽⁷⁾

1. 作物每天消耗水量的測定法

(a) 滲漏計法

①秤量法：可分為用秤重直接法和浮游式法兩種，前者因為受了容量的限制，僅適用於單體植物及生體重不大的作物；後者因為需要比較大的土壤容積，所以很接近於實際田間的消耗水量。

②地下給水法：此種方法的土壤水分大約在於田間容水量的狀態，如果在那種情形之下，作物能發育很順利的話，其消耗水量，可以說是一種潛能的蒸發散量，但是土層深度，若超過毛管上昇限界高度以上時，就不正確，其數字較實際田間消耗水量有過大的缺點。

③水分收支法：在土壤槽下端，收取超過田間容水量以上時，所自由流出的水分，而由加入的水來減去排出的水獲得消耗水量，但是所栽植的作物，若屬於葉面較大的作物時，對於降雨的收入會發生有誤差之虞。

以上所指出的各種方法，因為作物在土壤槽的關係，其根系伸長，跟田間有差別，會受到限制，因此如何才能獲得和田間相同的作物生育的栽培管理，尤其為重要，另外蒸發散量，可受田間地表面的氣象狀態所影響，因此滲漏計附近能接近於田間旁邊為最佳。

(b) 水分變動追跡法

利用滲漏計法來測定作物的每天消耗水量方法，因為要利用土壤槽的關係，作物生育環境，和實際田間有相當的差別，所以在不同生育環境下，會有影響其消耗水量的作物是很不適用的，此外如果樹類或需要搭架子的作物，也不可能使用。

所謂水分變動追跡法，是指在實際田間中，根據其土壤水分的減少過程來追究事物留下的印象，而由土壤中的水分減少量來計算其消耗水量者。於是假如能把握着正確的土壤水分測定時，無論何種的作物消耗水量都能獲得。此外在一次灌水量決定上，所需要調查的數值，也可同時獲得解決是一種很方便的辦法。土壤水分測定法有：採土烘乾法，利用石膏塊的電抗法，水分張力計法等。

2. 比較長期間的平均消耗水量算定法

作物生育期間別，不同月份別，季節別等，比較長期間的平均消耗水量，可就長期測定的每天消耗水量資料，平均後獲得該項數值。不過每天消耗水量的測定，原則上需要在乾燥期間中所求者，於是其平均量通常都比長期間的平均消耗水量有過高的事實。所謂長期間的平均消耗水量的直接求法有田間水分收支法及計算法兩種：

(a) 田間水分收支法 (田間土壤水分追跡法)

此方法是利用上列 1—(b) 作物每天消耗水量測

定法的水分變動追跡法的設施，例如電抗法，水分張力計法，或採土烘乾法，在長期間觀測下，可就某一期間中，從田間容水量水分跌到正常生育阻害水分為止，在此期間內的整個水分消耗量，跟（降雨量+灌水量）數值，大約為相同。因此可根據該期間的（降雨量+灌水量）數值被該期間天數相除，就可獲得平均一天消耗水量。

均一天消耗水量。

(b) 計算法

可利用氣象因素等來推算或求比率者。

三、一次灌溉水深的各種計算法

過去所發表的有關於每次灌溉水深計算法大約如下：

(1) 灌溉起點以凋萎係數時 (Israelsen) ⁽⁸⁾

$$\text{灌溉水深(mm)} = \frac{(\text{田間容水量} - \text{凋萎係數}) \times \text{土壤假比重} \times \text{根系深度(mm)}}{100}$$

(2) 以飽和容水量的0.8~0.6來做為上限水分量時 (小林) ⁽⁹⁾

$$\text{灌溉水深(mm)} = \frac{(\text{飽和容水量} \times 0.8 \sim 0.6) - \text{灌前土濕} \times \text{土壤假比重} \times \text{根系深度(mm)}}{100}$$

(3) 灌溉起點以1/2有效水分時 (鳥瀉) ⁽⁹⁾

$$\text{灌溉水深(mm)} = \frac{(\text{田間容水量} - \{1/2(\text{田間容水量} - \text{凋萎係數}) + \text{凋萎係數}\}) \times \text{土壤假比重} \times \text{根系深度(mm)}}{100}$$

(4) 灌溉起點以田間容水量的0.6時 (玉井) ⁽¹⁰⁾

$$\text{灌溉水深(mm)} = \frac{(\text{田間容水量} - 0.6 \text{田間容水量}) \times \text{土壤假比重} \times \text{根系深度(mm)}}{100}$$

(5) 灌溉起點以連續水膜形成限界水分點時 (椎名) ⁽¹¹⁾

$$\text{T.G.A.M} = (\text{Wf} - \frac{\text{Wc} + \text{We}}{2}) \times D$$

T.G.A.M*: 總生長有效水分量

D: 根系深度

Wf: PF 2.0之水分量

Wc: PF 3.3之水分量

We: 連續水膜形成限界水分點之水分量

* 一次灌水量，間隔天數的決定，還要加補給量。

(6) 考慮水分消耗型的給水量 (容易利用總有效水分量) 計算法(Shockley) ⁽¹²⁾

在根系層，很多土層尚有留相當數量的有效水分量，而某一層的水分含量已經達到凋萎係數時，已經會影響到作物生育之關係，在根系某一層土壤有效水分要達到凋萎係數直前時，做為灌溉適期的準則，而全土層所消耗的總水分量，叫做容易利用有效水分量 (Total Readily Available moisture, T.R.A.M.) 是很理想的一次灌溉水量，其決定因素如下：

1. 各種作物及各種土壤狀態下之有效根系深度的決定。

2. 各種作物在各種土壤狀態下，其作物水分吸收圖型的決定。

3. 有效根系層之各區分層別的有效水分量的決定。

4. 容易利用總有效水分量，即一次很合理灌水量的決定。

於是 T.R.A.M. 可將上列因素，就各區分土層的有效水分量與水分消耗型 (Shockley 氏指出，標準型為土層分為四等分層而上向下各為40、30、20、10%) 來計算而其數值能得最小數值者，為水分消耗限制層 (即為該層最早達到凋萎點者) 也是容易利用總有效水分量，因此每層要按下列公式計算：

$$\text{根據該區分土層之水分消耗} = \frac{\text{該區分土層之有效水分基準求得之消耗水量(mm)}}{\text{該區分層之作物水分吸收比率(\%)}} \times 100$$

又根據該方法說 $\frac{\text{T.R.A.M.}}{\text{T.A.M.}}$ 比，平均值為 60% (45~75%) 即 T.A.M. 的 60% 左右為純用水量之意思。

根據上列(1)至(6)方法的內容所示，除有(1)的灌溉起點是採用有效水分均一學說以外，其他(3)至(6)方法大約都引用有效水分效果不均一學說。不過現在一般趨勢，大部份都贊成採用在初期凋萎點來做為合理的灌溉起點，所以補充水分範圍，大約可得到一致的看法，即灌溉起點不應該放在有效水分最下限點而拉上到有效水分領域的一半左右為佳。

至於每次補充水量最上限點，除(2)法以外，其他均一律採用田間容水量，不過田間容水量的定義：到目前為止仍有很多含糊的地方，其定義據 Veihmeyer 及 Hendrickson (1931) ⁽¹³⁾ 說是「在排水良好的均一構造土壤中，有多量降雨或灌水後2~3天，在水

的下降移動比率變為非常少之情形下的土壤含水量」。

Moore (1943), Richards (1952) 氏再定義，田間含水量為「不飽和透水係數大約接近於0的含水量」。但是其原定義在概念上有很多含糊不清的地方，譬如沒有土層深度的規定，或者「非常少」「接近於0」等語句，均有很多不明確的事實存在。最近岩田 (1963) ^(14,15) 氏有鑒及此，另指出田間含水量的定義是「土壤面蒸發被抑制的裸地條件下，在其相當的根系分佈深度層下，所能排出的水量，比該時期的作物蒸發散量以下時的水分狀態者」。一般說來，要達到田間含水量狀態的時間，Veihmeyer 及 Hendrickson (1931) 是規定在灌溉後2~3天 Colman 氏為1天，Browning氏為1~2天，Olmsted氏為1~5天，吉良氏為1天，森田氏為半天~1天。此外田間含水量的狀態大約等于水分張力的1,000 cm (PF 3.0) 或345 cm (PF 2.5) 的說法，仍為水分當量 (Veihmeyer等1931, Peele等1950⁽¹⁶⁾) 及 $\frac{1}{3}$ 大氣壓水分 (Richards等1944⁽¹⁷⁾) 很接近于田間含水量之事實所引起者，但日本方面最近的結果很多都主張採用 PF 2.0 左右 (富士岡1961⁽¹⁸⁾, 1963⁽¹⁹⁾, 椎名1963⁽¹¹⁾)，且證明田間支配土壤水分張力的原因，和其張力與水分含量之關係問題，還有很多不明之點，所以有效水分最上限的田間含水量之嚴密測定法，必須要在現地田間進行較為合理 (橫井等1963) ⁽²⁰⁾，本省對於此方面也曾有研究結果，陳振鐸 (1953) ⁽²¹⁾ 氏曾利用臺北及屏東兩地五種土壤環境下測定田間含水量 (灌溉後48小時，在表面下6''處採取土壤) 結果，田間含水量均較水分當量數值為高，除六塊厝農場為高到1.6倍以外其他均在40%前後；設與 $\frac{1}{3}$ 大氣壓水量比較，雖然還算接近，但有些高低之差，筆者⁽²²⁾曾於48至52年之間調查臺灣蔗田52筆土壤，於每次灌水70mm後用枯葉覆蓋土面，砂土待1天，壤土待2天，粘土待3天，採取地表以下10~15公分土壤含水量比做為田間含水量，而將該部位土壤採回風乾，經過處理後用多孔板裝置加壓求出 $\frac{1}{3}$ 大氣壓水分，另用離心機法獲得水分當量，計算其關係式為 $\frac{1}{3}$ 大氣壓含水量 (y) 與水分當量 (x) 之相關係數為 $r=0.9115$, $y=6.0023+0.8881x$ 之方程式。而田間含水量 (x) 與 $\frac{1}{3}$ 大氣壓土壤水分 (y) 之關係公式為 $\log y = 0.6323 + 0.0297x$ 兩者之比數為0.82-1.25，換句話說，除了高低含水量的田間含水量較 $\frac{1}{3}$ 大氣壓水分數值為稍低以外，一般土壤的兩者數值很接近。

但是施灌深度無論(1)到(6)法，均一律規定為根系

深度四個大字，覺得非常籠統，雖然其用意為簡單明瞭，但在複雜的自然環境下，究竟其深度有多少，且應該根據那些因素來採用多少公分，方能獲得合理的一次水量，是值得研究的必要。

一般說來，作物之間的根系有深淺的特性。茲將美國華盛頓州普通作物的有效根羣域 Effective Root Zone) ⁽⁶⁾ 摘錄如下：

作物名		有效根羣域
苜	蓿	1.2m
豆	類	0.6
黑	莓	0.9
玉	米	0.9
葡	萄	1.5
HOP		0.9
果	樹	1.5
三	葉	0.6
洋	蔥	0.3-0.45
豌	豆	0.9
馬	鈴	0.6
小	豆	0.9
草	莓	0.3-0.45
甜	菜	1.2
蕃	茄	0.9
蔬	菜	0.45

因為作物間的根系有深淺的關係，美國水土保持局就以作物別來定出其適宜灌溉深度 (Quackenbush, 1957)⁽²³⁾如下：

作物名		適宜灌溉深度
玉	米	61-91cm
棉	花	61-91
高	粱	51-76
大	豆	46-91
麥	類	46-76
菸	草	38-61
馬	鈴	30-61
苜	蓿	91-107
牧	草	41-91
蔬	菜	23-76
葡	萄	61-76
果	樹	91-152

製造Bouyoucos水分計的美國 Industrial 儀器公司也從實用上的立場，將作物分類為四種根型，而由此規定石膏塊的埋置深度，來做為土壤水分測定

後供於灌溉指標之用，其標準如下⁽²⁴⁾

各種作物的石膏塊埋置深度

淺的 10-25cm	中等的 15-30cm	深的 15-30-46cm	很深的 20-36-61cm
花卉 洋蔥 蘿蔔 荷蘭芹	芹菜 花卉 高筍 食用甜菜 草莓 燕麥 小麥 黑麥 大麥	蠶豆 甘藍 胡蘿蔔 花椰菜 黃瓜 茄子 番用玉米 馬鈴薯 牧草	苜蓿 蘆荀 棉花 三葉草 大豆 甜菜 蕃茄 西瓜

胡椒 高粱 菠薐 南瓜 甘味玉米 燕薈 甘蔗 菸草 落花生	大芝 胡麻	麻
---	----------	---

但是在同一作物之間，其生育環境之不同，可能會引起根系發展之不相同。

茲將不同生育環境下，甘蔗根系分佈深度調查結果舉三個例子說明如下：

表1. 地下水位高低與甘蔗根系分佈（根之乾物量指數）⁽²⁵⁾

（供試地點：臺南地下水位控制槽，槽深2.1m, N: Co 310）

地下水位 (m)	土層(cm)	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
旱季(10~5月)雨季(6~9月)		20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
1. 特高(0.6-1.2) 高 (0-0.6)		14	59	16	5	3	1	1	0	1	1
2. " 較低(0.4-1.2)		17	48	16	12	5	1	1	0	0	1
3. 較低(1.4-2.0) 高 (0-0.6)		11	31	19	13	14	6	3	3	0	0
4. " 較低(0.4-1.2)		15	33	16	17	11	3	2	3	0	0
5. 特高(0.6-1.2) 高 (0-0.6)		11	57	19	8	2	1	1	0	0	0
6. " 較低(0.4-1.2)		19	46	20	6	7	0	0	0	1	1
7. 較低(1.4-2.0) 高 (0-0.6)		11	35	14	12	15	6	3	2	2	1
8. " 較低(0.4-1.2)		6	22	12	14	17	12	8	7	2	1

註：1-4為充分灌溉區，5-8為少量灌溉區。

表2. 地下水位高低與甘蔗根系分佈（根之乾物量指數，筆者根據原數字改算者）⁽²⁶⁾

（供試地點：虎尾地下水位控制槽，槽深 1.4m, N: Co 310）

處	土層(cm)	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120
田間自然地下水位		50	30	14	5	1	0
地下水位 150 公分		24	19	20	20	14	3
" 100 公分		20	39	28	8	4	0
" 50 公分		64	23	8	5	0	0

表3. 甘蔗品種，深耕與根系最大勻佈深度(cm)

（基準點為蔗苗位置起）⁽²⁷⁾

（供試地點：橋頭糖廠農場）

品 種	處	理	南浪水試區			牛埔試區		
			12月	5月	10月	12月	5月	10月
N:Co 310	對深移土心土犁破	照耕深耕破	44	46	82	37	49	70
			46	68	94	56	75	73
			62	86	93	73	90	112
			56	79	88	—	—	—

F 146	對深移土心土犁破	39	46	77	42	56	65
	照耕深耕	49	61	84	55	64	66
	移土心土犁破	66	81	86	78	86	114
	照耕深耕	69	80	84	—	—	—
F 148	對深移土心土犁破	41	48	71	41	54	98
	照耕深耕	49	62	87	59	71	103
	移土心土犁破	64	78	90	66	85	111
	照耕深耕	65	82	91	—	—	—

由上列結果可知，根系分佈除了隨生育期而伸長深度有異以外顯然地受了生育環境因素，尤其是田間地下水位過高，或土壤最大密度層的有無深淺而可影

響之。

四、不同生育環境之下的施灌技術與產量關係

以甘蔗和甜菜為例，舉臺南、虎尾試驗結果列如下：

表4. 臺南甘蔗田間與鉢植灌溉試驗比較⁽²⁸⁾

處 理	原料產量(M.T/ha)及指數		灌 溉 次 數	
	鉢 植	田 間	鉢植	田間
不灌 普 肥	—	99.3 (100)	—	0

不灌 重 肥	48.2 (100)	109.9 (111)	10	0
灌30* 普 肥	139.9 (290)	— —	32	—
灌50 普 肥	207.9 (431)	116.1 (117)	48	13
灌50 重 肥	202.0 (419)	132.6 (134)	48	13
灌70 普 肥	244.8 (507)	112.0 (113)	54	15
灌70 重 肥	234.1 (486)	126.5 (127)	54	15
5 % 顯著差	41.33	10.22		
1 % 顯著差	59.72	13.82		

* 灌30為土壤有效水分低於30%時，即行灌溉一次以下照推。

表5 甘蔗同一灌溉處理臺南與虎尾三年期試驗結果^(29,30,31,32,33,34)

處 理	原 料 產 量 (M.T/ha) 及 指 數						三年期平均	
	臺 南*			虎 尾**			灌 溉 次 數	
	45-46	46-47	47-48	45-46	46-47	47-48	臺南	虎尾
A. 對照 (不灌溉)	102.5 (103)	108.3 (100)	132.6 (100)	110.8 (100)	151.4 (100)	110.5 (100)	0	0
B. 第1、2旱季每隔25、35天灌1次	118.0 (116)	128.8 (119)	161.4 (122)	113.8 (103)	159.0 (105)	116.4 (105)	12	10
C. 第1、2旱季每隔25、50天灌1次	120.6 (119)	133.0 (123)	163.4 (123)	116.5 (105)	154.6 (102)	114.8 (104)	11	9
D. 第1、2旱季每隔35天灌1次	112.1 (110)	121.8 (113)	157.4 (119)	115.3 (104)	162.3 (107)	115.8 (105)	9	8
E. 第1、2旱季每隔35、50天灌1次	108.5 (106)	116.8 (108)	154.0 (116)	114.6 (103)	155.4 (103)	113.2 (102)	8	7
F. 機動灌溉, 35%有效水分即灌1次	118.7 (117)	135.3 (125)	163.9 (124)	113.6 (103)	151.4 (100)	110.5 (100)	9	0
5 %顯著差	6.0	9.1	11.9	無顯著	9.96	無顯著		
1 %顯著差	8.3	12.6	16.1	"	13.98	"		

* 中地下水水位區 (砂壤土) **高地下水水位區 (砂壤土)

表6 灌溉多寡與地下水位高低對於甘蔗產量⁽²⁵⁾

灌 溉	地 下 水 位 高 低 (m)		原 料 產 量 (M.T/ ha)及指數	砂 糖 產 量 (M.T/ ha)及指數	灌溉 次數	灌溉 水深 (mm)
	旱季 (10~5月)	雨季 (6~9月)				
① 充 分	特 高(0.6-1.2)	高 (0-0.6)	172.1(100)	25.9(100)	21	800
② "	" "	較 低(0.4-1.2)	181.5(106)	26.2(104)	21	800
③ "	較 低(0.6-1.2)	高 (0-0.6)	250.9(146)	36.8(146)	21	800
④ "	" "	較 低(0.4-1.2)	248.5(144)	36.2(143)	21	800
⑤ 少 量	特 高(0.6-1.2)	高 (0-0.6)	175.1(102)	26.0(103)	2	40
⑥ "	" "	較 低(0.4-1.2)	211.1(123)	30.2(119)	2	40
⑦ "	較 低(1.4-2.0)	高 (0-0.6)	235.3(137)	37.9(150)	2	40
⑧ "	" "	較 低(0.4-1.2)	237.0(138)	33.4(132)	2	40

表7 臺南甜菜田間與鉢植灌溉試驗比較⁽³⁵⁾

供試環境	處	理	原料產量 (kg/ha) 及指數	砂糖指數 (kg/ha) 及指數	灌溉次數	灌溉水量
田間	A. 對照(無灌溉)		29,421(100)	4,666(100)	1**	
	B. 定期灌溉* 半月灌溉一次		30,755(105)	5,318(114)	10**	
	C. 定期灌溉* 一月灌溉一次		39,663(125)	6,691(143)	5**	
	D. 機動灌溉, 土壤有效水分30%以下灌溉		34,488(117)	5,866(126)	6**	
	E. 機動灌溉, 土壤有效水分50%以下灌溉		33,830(115)	5,697(122)	8**	
	F. 機動灌溉, 土壤有效水分70%以下灌溉		23,721(81)	3,964(85)	12**	
	5%顯著差		8,610	1,520		
	1%顯著差		11,650	2,060		
鉢 ***	A. 定灌* 一次水深20mm半月灌溉一次		0.846(100)	0.143(100)	8	160 ^{mm}
	B. 定灌* 一次水深20mm一月灌溉一次		0.488(53)	0.114(80)	3	60
	C. 定灌* 一次水深40mm半月灌溉一次		1.088(120)	0.180(126)	8	320
	D. 定灌* 一次水深40mm一月灌溉一次		0.656(78)	0.137(96)	3	120
	E. 機灌, 土壤有效水分30%以下灌溉一次20mm		0.821(97)	0.170(119)	7	140
	F. " " 40mm		1.196(141)	0.215(150)	6	240
	G. 機灌, 土壤有效水分50%以下灌溉一次20mm		0.945(112)	0.171(120)	9	180
	H. " " 40mm		1.153(136)	0.219(153)	7	280
	I. 機灌, 土壤有效水分70%以下灌溉一次20mm		1.125(133)	0.217(152)	12	240
	J. " " 40mm		1.485(175)	0.274(192)	11	440
	5%顯著差		0.145	0.034		
	1%顯著差		0.194	0.046		

*考慮雨量, **包括整地灌溉一次在內, ***產量單位為kg/0.2025m²。

由上列表4~7試驗結果所指出, 作物生育期間中的施灌技術對於產量關係顯然地受了生育環境之不同而有異, 也就是說, 雖然在同一年期, 同一灌溉處理下, 因為其生育環境(包括地點)之不同, 所產生的灌溉效果也有不同, 其主要原因, 可指摘為底土層水分量的影響所致, 寺澤(1963)⁽³⁶⁾也曾利用各方法獲得相同結論。

現在引證表4及表7為例, 如作物栽培於植鉢時, 灌溉次數或一次水量越多產量越佳, 仍為該環境下, 整個植鉢中的土壤水分均要靠人工補充灌溉, 方能足夠供應其需要; 而生育在田間時, 可由地下水上升的毛管水來補充底土層的水分含量, 或者另一部份根系可伸長到該處來消耗該水量, 因此生育上所需要的水分不一定統統要靠人工灌水, 於是施灌次數愈多, 不一定產量為最好。

此外影響底土層水分量的直接來源為地下水高低, 因此雖然利用同樣的作物, 栽培於田間時, 該地區的地下水位高者, 施灌後的灌溉效果就被打消, 例如表5的虎尾試區或表6的(1)(5)處理; 相反地, 該地是中

、低地下水位時, 例如表5的臺南試區或表6的(4)(8)處理時, 灌溉效果就能很顯明, 且連續三年期的增加趨勢也很一致。

由此可知, 田間灌溉技術的確立, 尤其是灌溉間隔的擬定, 必須要視施灌環境的田間底土層的水分量來決定方能符合實際需要, 否則就難能達到理想。

五、同一生育環境之下的施灌技術與產量關係

臺南砂壤土蔗田, 於49—50年期, 利用二種灌溉時期, 和三種灌水量配合之下, 所獲得的甘蔗產量與灌溉情形如表8。

表8 臺南蔗田適宜灌溉水量試驗結果^(37,38)

處	理	原料產量 (M.T/ha) 及指數	砂糖產量 (M.T/ha) 及指數	灌溉 次數	灌溉 水量
定期灌溉少水量		135.4(100)	17.7(100)	14	380 ^{mm}
定期灌溉中水量		145.5(108)	18.6(105)	14	660
定期灌溉多水量		158.4(117)	20.6(116)	14	940
機動灌溉少水量		145.1(107)	18.8(106)	16	440

機動灌溉中水量	150.8(112)	18.6(105)	15	720
機動灌溉多水量	150.8(112)	18.6(105)	13	890
5% 顯著 差	9.74	1.28		
1% 顯著 差	13.47	1.77		

根據上表結果可知：灌溉間隔，以硬性規定（初25天，盛15天，後35天一次）之下，實施灌溉時顯然每次水量愈多愈好。這種趨勢很明顯地表示，該期間中的消耗水量，有超過所供給水量之原因所致。不過施灌間隔每次均根據土壤有效水分來做依據，而蔗苗下10~20cm 處的有效水分低於50%時，即行灌溉者

，其每次水量與產量之間，並無顯著差異。換句話說，消耗水量與供給水量之間，均有保持着良好之關係，而甘蔗始終沒受到欠水情形所致。

六、不同生育季節之下的施灌技術與產量關係

48年10月至49年5月，於臺南本所，利用長寬各45cm，深60cm的有底水泥植鉢中，裝滿壤土，分為春、秋兩植栽培期種植大豆（十石豆），就十二種灌溉間隔和水量處理之下，所獲得的大豆產量與灌溉情形如表9。

表9 臺南春秋植鉢植大豆灌溉試驗⁽³⁹⁾

處	理	秋 植			春 植		
		產量及指數**	灌溉次數	灌溉水量 ^{mm}	產量及指數**	灌溉次數	灌溉水量 ^{mm}
1. 定期灌溉*, 5天灌一次, 一次水量為	20mm	37.68(97)	14	280	47.86(66)	12	240
2. " " "	40mm	35.90(92)	14	560	71.98(100)	12	480
3. 定期灌溉, 10天灌一次, 一次水量為	20mm	32.12(82)	7	140	36.67(51)	5	100
4. " " "	40mm	39.04(100)	7	280	47.56(66)	5	200
5. 定期灌溉, 15天灌一次, 一次水量為	20mm	27.46(70)	5	100	32.22(45)	3	60
6. " " "	40mm	35.66(91)	5	200	36.52(51)	3	120
7. 機動灌溉, 土壤有效水分低於30%灌一次水量	20mm	26.54(68)	3	60	39.62(55)	6	120
8. " " "	40mm	27.96(72)	3	120	51.52(72)	6	240
9. 機動灌溉, 土壤有效水分低於50%灌一次水量	20mm	31.88(82)	5	100	44.88(62)	8	160
10. " " "	40mm	36.44(93)	4	160	53.68(75)	7	280
11. 機動灌溉, 土壤有效水分低於70%灌一次水量	20mm	35.02(90)	7	140	47.84(66)	13	260
12. " " "	40mm	37.46(96)	5	200	62.62(87)	12	480
5 % 顯 著 差		4.63			10.01		
1 % 顯 著 差		6.19			13.37		

* 考慮雨量, **gr/0.205m²

由上列結果可知，在同一地點而不同生育季節下的大豆灌溉頻度與水量對於產量的反應，有懸殊之差別。簡單說，氣溫高時，每次施灌水量要多，且間隔又需要短，才能獲得高產量。相反地，生育期間中，氣溫較低的秋植，其情形就沒有這樣嚴重了。

七、施灌時期與產量關係

灌溉水源不足地區，應設法於田間中，就自然氣候環境下探明，作物本身極需要灌溉時期，然後參考該資料分配於適當水量及間隔，來獲得有效地經濟灌溉方式，茲將臺南秋植甘蔗三年期砂土及壤土灌溉試驗結果簡列如表10。

表10 臺南秋植蔗田經濟灌溉時期及次數試驗結果^(47,48,49,50)

處	理	原 料 產 量 (M.T/ha) 及 指 數				灌溉次數	一次灌溉能增加之原料產量百分率
		50~51年期	51~52年期	52~53年期	三年期平均		
無 灌 溉		133.6 (100)	134.2 (100)	126.4 (100)	131.4 (100)	0	—
初 期	4 次	137.0 (103)	126.6 (94)	132.0 (104)	131.9 (100)	4	0
盛 期	4 次	148.2 (111)	154.4 (115)	149.8 (118)	150.8 (115)	4	3.75
後 期	2 次	144.3 (108)	140.8* (105)	139.5 (110)	141.1 (107)	2	3.50
盛 4 + 後 2		158.5 (119)	157.1* (117)	165.9 (131)	160.5 (122)	6	3.67

初4 + 盛4 + 後2	163.6* (123)	157.7* (117)	165.1 (131)	162.1 (123)	10	2.30
機 動 灌 溉	—	180.9 (135)	183.0 (145)	182.0 (140)	15.5	2.58
5 % 顯 著 差	16.3	12.6	17.7			
1 % 顯 著 差	21.9	17.1	24.3			

* 後期灌溉4次 **每一次灌溉水量為60mm

根據上列表10結果所示，於砂土及壤土的臺南秋植甘蔗在不同生育期間的灌溉需要，可獲得有極明顯的反應，換句話說，灌溉時期的分配適當與否對於灌溉後的產量有極大影響。在於秋植蔗田，僅限於甘蔗生育初期的過多灌溉，而中，後期不能繼續者，對於產量並無利益。相反地，生長盛期的灌溉對於產量增加甚有顯著效果，即該時期的灌溉操作在蔗作灌溉增產上為一種很重要的工作。Spoonier 及 Caviness (1956)⁽⁵¹⁾ 兩氏曾在美國也利用棉花來證實此項問題。

照作物水分生理的立場說，整個生長期均能配合土壤有效水分施行合理灌溉者，其產量跟其他處理比較，當然可獲得最高，不過以每一次灌溉後能增加產量之百分率來說，往往不及於根據作物極需要灌溉時期來實施經濟灌溉者。因此灌溉間隔的決定也應參考上述問題，才能獲得實用上的灌溉技術。

八、施灌深度與灌溉間隔的試驗

1. 供試方法

本試驗在臺南本所大型地下水位控制槽（槽深2.1m）及北七西三號壤土田間中進行。處理分為，灌溉起點土層為蔗苗下10、30、50及70公分處，而水槽者再分為有地下水（生育期間中一律控制在1.6~2.0m）及無地下水2組，合計8處理，無重複，三行區。田間者除一組有自然變遷的地下水位4種灌溉起點處理以外，另加一項不灌溉處理，合計為5處理，4重複，8行區，用隨機排列。每一種處理的灌溉起點均用電抗式土壤水分測定計，就石膏吸濕體之電阻值的土壤有效水分百分率低於50%時即行灌溉一次，而每一次水

量控制均根據實際測定的土壤容積比重，田間含水量，灌前土壤含水量，所規定的潮濕深度及灌水面係數⁽⁴⁰⁾（通水面積佔行距面積之比率，例如行距1.37m通水面積為0.5m時，灌水面積係數為0.37）算出後，以畦間灌溉法引入畦溝中。消耗水量的計算，根據上列所得的每次不同的施灌水量，被灌後到下次需要灌溉的天數一除，就可獲得，假如該期間內有降雨時，雨量十灌水量被該期間天數相除之。換句話說，採取上述⁽⁷⁾二1-(b)水分變動追跡法，和二2-(a)田間水分收支法來計算。品種均為F148，行長行距：水槽為2.5×1.37公尺，田間為10×1.37公尺，甘蔗種植日期為52年8月22—23日，收穫日期為54年1月14—20日，灌溉停止日期均在收穫前1個月。

2. 試驗調查結果與討論

(a)土壤水分恆數

①田間組：水分當量17.17%，田間含水量20.70%， $\frac{1}{2}$ 大氣壓含水量22.97%，凋萎係數5.52%，假比重1.388。

②水槽組：水分當量8.43%，田間含水量16.90%， $\frac{1}{2}$ 大氣壓含水量15.79%，凋萎係數4.10%，假比重1.40。

(b)降雨量

52年8月至53年12月總雨量為1,251.9mm（該期間中最大日雨量為87.8mm），估計全期合計有效雨量在90%左右⁽⁴¹⁾

(c)蒸發量

52年8月至53年12月總蒸發量為2,741.9mm。20cm徑小盆盆面蒸發量，比120cm徑A型盆盆面蒸發量，平均增多40%左右⁽⁴¹⁾

表11 收穫成績⁽⁴²⁾

處 理 (石膏塊埋置位置)	項 目	原 料			枝死莖數 支/ha	可製糖率 %	原料產量 及指數 kg/ha	砂糖產量 及指數 kg/ha	實際施灌情形	
		莖長 cm	莖徑 mm	莖支/ha					合計 次數	合計水量 mm
水	無地下水蔗苗下 10cm	374	23	124,544		14.38	183,158 (100)	26,338 (100)	17	496
	" 30cm	373	23	108,976		15.07	169,681 (93)	25,571 (97)	11	626
	" 50cm	381	24	125,517		16.20	197,870 (108)	32,055 (122)	9	752
	" 70cm	381	24	133,301		15.97	225,717 (123)	36,047 (137)	9	927
	有地下水蔗苗下 10cm	394	25	133,301		16.03	248,592 (136)	39,849 (151)	15	519

槽	有地下水蔗苗下	30cm	412	26	127,463		15.67	251,905 (138)	39,474 (150)	9	603
	"	50cm	391	24	144,977		16.39	257,466 (141)	42,199 (160)	7	599
	"	70cm	436	25	144,004		15.96	277,266 (151)	44,252 (168)	5	590
田	無 灌 溉		333	24	81,249	3,376	15.20	119,804 (100)	18,210 (100)	—	—
	蔗 苗 下	10cm	360	23	99,680	5,657	14.24	160,508 (134)	22,857 (126)	16	547
	"	30cm	346	24	106,340	7,710	13.82	159,621 (133)	22,060 (121)	13	561
	"	50cm	346	24	108,576	5,748	14.42	171,156 (143)	24,681 (136)	11	628
	"	70cm	375	23	99,132	5,155	14.85	159,104 (133)	3,627 (130)	7	629
	5 % 顯著差							19,940	2,840		
間	1 % 顯著差							27,950	3,980		

表12. 平均每天消耗水量mm (括弧內數字為包括雨量)

地 點	石膏塊埋置深度 月 份	10cm				平 均		平均消耗水量
								蒸 發 量
水 (無地下水槽)	10~12月	0.82 (1.54)	— (1.22)	— (1.19)	— (3.25)	0.82 (1.80)		0.13 (0.35)
	1~2月	0.64 (3.05)	— (2.50)	2.27 (2.73)	2.31 (3.48)	1.74 (2.94)		0.43 (0.73)
	3~5月	2.54 (4.85)	4.98 (3.21)	4.48 —	6.91 (7.57)	4.73 (5.21)		0.71 (0.79)
	6~9月	— (5.16)	— (6.48)	— (6.66)	— (5.17)	— (5.87)		— (1.12)
	10~12月	3.51 —	3.72 (4.35)	5.31 —	— —	4.18 (4.35)		0.6 (1.00)
	平 均	1.83 (3.65)	4.35 (3.55)	4.02 (3.53)	4.61 (4.87)	2.87 (4.03)		
水 (有地下水槽)	10~12月	0.71 (0.92)	— (0.70)	— (1.24)	— —	0.71 (0.95)		0.14 (0.19)
	1~2月	0.77 (2.60)	— (0.82)	— (1.74)	— —	0.77 (1.72)		0.19 (0.43)
	3~5月	2.99 (4.26)	3.47 —	2.19 (6.20)	3.81 —	3.12 (5.33)		0.47 (0.79)
	6~9月	— (4.89)	— (5.82)	— (5.36)	— (6.07)	— (5.54)		— (1.06)
	10~12月	3.36 (4.79)	4.08 —	4.90 —	4.02 —	4.09 (4.79)		0.94 (1.10)
	平 均	1.96 (3.49)	3.78 (2.45)	3.55 (3.64)	3.92 (6.07)	2.17 (3.65)		
田 間	10~12月	0.88 (1.31)	1.31 (2.11)	1.33 (1.47)	1.80 (1.29)	1.33 (1.55)		0.26 (0.31)
	1~2月	0.94 (2.89)	1.06 (2.66)	— (2.41)	— (2.32)	1.00 (2.57)		0.25 (0.64)
	3~5月	2.30 (4.29)	1.81 (5.03)	3.33 (5.55)	3.86 (4.83)	2.83 (4.93)		0.43 (0.74)
	6~9月	— (5.41)	— (4.88)	— (5.20)	— —	— (5.16)		— (0.99)
	10~12月	1.97 —	2.87 (4.47)	3.87 —	3.70 (5.11)	3.13 (4.79)		0.72 (1.10)
	平 均	1.52 (3.97)	1.76 (3.83)	2.84 (3.66)	3.12 (3.39)	2.07 (3.80)		

表13. 平均灌溉間隔(天) (括弧內數字為包括降雨)

地 點	石膏塊埋置深度 月 份	10cm				平 均	
水 (無地下水槽)	10~12月	11 (12)	— (23)	— (36)	— (14)	11 (21)	
	1~2月	11 (22)	— (40)	11 (47)	19 (38)	14 (37)	
	3~5月	12 (34)	13 (21)	21 —	17 (23)	16 (26)	
	6~9月	— (66)	— (87)	— (79)	— (89)	— (80)	
	10~12月	19 —	25 —	25 —	39 —	24 —	
	平 均	13 (34)	19 (43)	23 (54)	25 (41)	16 (41)	

水 (有 地 下 水 槽)	10 ~ 12月	16 (19)	— (30)	— (30)	— —	16 (26)
	1 ~ 2月	14 (32)	— (44)	— (68)	— —	14 (48)
	3 ~ 5月	12 (23)	19 —	26 —	26 —	21 (23)
	6 ~ 9月	— (48)	— (55)	— (94)	— (63)	— (65)
	10 ~ 12月	20 —	25 —	29 —	41 —	29 —
	平 均	16 (31)	22 (43)	28 (64)	34 (63)	20 (41)
田 間	10 ~ 12月	13 (18)	15 (14)	18 (26)	25 (34)	18 (23)
	1 ~ 2月	17 (30)	17 (45)	17 (45)	— (54)	17 (44)
	3 ~ 5月	15 (20)	19 (29)	19 (29)	29 (36)	21 (29)
	6 ~ 9月	— (34)	— (30)	— (47)	— (83)	— (49)
	10 ~ 12月	22 —	32 —	23 —	47 —	31 —
	平 均	17 (26)	21 (30)	19 (37)	34 (52)	22 (36)

表14. 實際需要補充水量mm/每10cm土層

月 份		10~12月	1~ 2月	3~ 5月	6~ 9月	10~12月	平 均	理論水量*
水 (無 地 下 水 槽)	石膏塊埋置深度	10cm	10.47	10.05	14.59	14.31	12.14	8.96
	30cm	12.31	12.55	15.01	8.64	14.60	12.62	
	50cm	12.47	10.99	14.09	15.82	14.81	13.64	
	70cm	10.99	11.88	14.48	16.21	15.89	13.89	
	平 均	11.76	11.47	13.41	13.82	14.90	13.07	
水 (有 地 下 水 槽)	10cm	11.96	13.63	14.09	13.98	14.39	13.61	8.96
	30cm	12.34	14.17	15.89	14.55	14.55	14.23	
	50cm	11.13	—	12.91	17.14	13.75	13.37	
	70cm	—	—	13.30	10.13	15.68	13.04	
	平 均	11.81	13.90	14.05	13.86	14.59	13.65	
田 間	10cm	16.88	13.22	14.83	16.90	13.30	15.03	10.16
	30cm	11.11	9.02	11.78	12.68	11.50	11.22	
	50cm	9.49	7.82	9.49	10.06	10.80	9.55	
	70cm	8.62	9.01	10.84	15.00	16.57	12.01	
	平 均	11.53	9.77	11.74	13.66	13.04	11.95	

*照水分恒數計算的 $\frac{1}{2}$ 有效水分範圍。

表15. 一次施灌水深度及灌溉次數

月 份		一 次 水 深 (mm)					次 數				
地 點	石膏塊埋置深度	10—12月	1— 2月	3— 5月	6— 9月	10—12月	10—12月	1— 2月	3— 5月	6— 9月	10—12月
水 (無 地 下 水 槽)	10cm	9	18	32	66	64	6	3	4	1	3
	30cm	22	42	63	56	95	2	2	4	1	2
	50cm	31	35	89	134	126	1	2	3	1	2
	70cm	42	80	116	170	167	2	2	3	1	1
水 (有 地 下 水 槽)	10cm	11	28	35	63	65	4	3	4	2	2
	30cm	20	58	66	93	95	2	1	2	2	2
	50cm	31	0	79	146	117	2	0	2	1	2
	70cm	0	0	106	107	165	0	0	2	2	1

田 間	10cm	13	20	39	76	60	6	2	4	2	2
	30cm	19	19	47	80	73	3	1	3	2	2
	50cm	26	26	59	84	89	5	1	3	2	2
	70cm	34	43	94	158	174	2	1	2	1	1

表16. 實際施灌深度及灌水係數

地 點	石膏塊埋置深度 月 份	施 灌 深 度 (cm)					灌 水 面 係 數				
		101-2月	1-2月	3-5月	6-9月	10-12月	10-12月	1-2月	3-5月	6-9月	10-12月
水 槽 (無地下水)	10cm	21	28	35	45	45	0.33	0.57	0.70	1.0	1.0
	30cm	42	50	55	65	65	0.42	0.66	0.77	1.0	1.0
	50cm	62	64	75	85	85	0.40	0.60	0.84	1.0	1.0
	70cm	83	89	95	105	1.5	0.46	0.75	0.84	1.0	1.0
水 槽 (有地下水)	10cm	22	31	35	45	45	0.40	0.63	0.70	1.0	0.1
	30cm	42	55	55	65	65	0.40	0.75	0.75	1.0	1.0
	50cm	63	—	75	85	85	0.44	—	0.84	1.0	1.0
	70cm	—	—	95	105	105	—	—	0.84	1.0	1.0
田 間	10cm	18	26	34	45	45	0.41	0.59	0.81	1.0	1.0
	30cm	39	42	50	63	63	0.44	0.49	0.79	1.0	1.0
	50cm	61	62	70	80	83	0.46	0.53	0.89	1.0	1.0
	70cm	80	82	90	105	105	0.45	0.57	0.96	1.0	1.0

由上列臺南壤土蔗田及大型地下水位槽，53~54年蒔秋植甘蔗試驗結果可知：

(1)以各處理原料產量的多寡來判斷灌溉處理間的良好與否時，在水槽中無論有無地下水者，均略呈灌溉起點土層採用越深對於產量越有良好之趨勢，且其四種深度處理中，根據蔗苗下70cm土層水分來做為灌溉起點的標準為佳。田間組四種灌溉處理雖然原料產量有高低之差別，但經變量分析結果未達顯著差異平準，換言之，就蔗苗下10~70cm之間土層水分來做為灌溉起點標準時，均對於產量無顯著差別，亦就是說，每一次施灌期的土壤水分含量很適合時，其灌溉水量的多寡對於產量的影響不明顯，符合劉、張(1961)⁽⁷⁾氏另一組試驗結果。但以平均數字比較，於蔗苗下50cm土層水分做為灌溉起點為最佳。

2. 以灌溉後所增加的原料產量百分率來看灌溉操作的合理經濟程度時，每一次灌溉後所能增加產量百分率仍由灌溉起點土層採用越深越佳，但每用去10mm水所得的原料產量百分率，以蔗苗下50cm土層做為灌溉標準時所增加比數為最高，其次為10、30及70cm。因此，設以施灌次數為單位來謀求增加產量時，計算水量用的根系深度，應比原來規定⁽²⁴⁾拉深一點為佳。

3. 在同樣的灌溉標準實施情形下，土層中有無地下水可直接影響原料產量，灌溉水深及灌溉次數，土層中有地下水(深度1.6~2.0m)較無地下水者，平均可增加原料產量33%，並且尚可節省17%的灌溉水量及22%灌溉次數，即本試驗無地下水處理蔗莖產量為194,107kg/ha，灌水量為700mm，灌溉次數11.5次，而有地下水者其原料產量，灌溉水量，灌溉次數各為258,807kg/ha，578mm，9次。顯示田間底土層中，有適當水分時，可節省用水量及有利於作物生產等，均符合過去惟名(1963)⁽¹¹⁾，寺澤(1963)^(36,43)(1962)⁽⁴⁴⁾張等(1964)⁽⁴⁵⁾，的試驗結果。

4. 以本期試驗結果言，在合理的土壤水分環境下實施灌溉時，無論就原料產量，灌溉次數或灌溉水量來看，以蔗苗下70cm土層的水分來做為灌溉起點為最佳，在這種情形下，通常一作灌溉次數約為6次左右，灌溉水量為600mm前後(未包括損失水量)就能達很合理的灌溉。這種方式比已往所採用的標準，可節省一半左右的施灌次數。若根據臺糖公司農工組統計數字，51~52年度甘蔗園每公頃一次灌溉費用平均為253元時，改用此辦法，於不會影響灌溉增產及總消耗水量以外，無形中還可節省很可觀的耕作成本，於是拉深灌溉起點標準，在灌溉農業的增加生產和

減低成本的大前提之下，是值得提倡的。

5. 以田間水分收支法及水分變動追跡法，來計算處理間每天消耗水量時，各處理間一律都表示培土以前為較小，這因為本給水量計算時，有考慮灌水面係數因子在內的理由所致，由此可知溝灌法的一次水量計算時，使用灌水面係數，顯然有助於節省用水的效果。但包括雨量在內的消耗水量比未包括雨量者為大的原因，可能是一部份無效雨量包括在內之關係所致。於是我們也可將此數字來做為在田間中的最大消耗水量數值之用。此外施灌深度越深時，好想在同一期間中的每天消耗水量，有越多的趨勢，因此也可想到規定潮濕深度太深時，降雨量的有效率可能會減低，最近椎名，小菅(1965)^(5,46)兩氏曾提倡一種表層灌溉方式 (Surface layer irrigation System)，來增加雨量有效率和節省用水的說法，但該氏又說，有效水分量較少的砂質土壤或者限制層在下層時就不適用本方法。因此適合該地區灌溉農業環境的全十美施灌深度應該好多？須有在當地就作物間，生育環境別來實際探討的必要。

6. 灌溉間隔，顯然表示施灌深度越深為越大，這種趨勢，以一次給水深跟每天消耗水量的收支關係來對照也可知道其理由，隨之，在同一期間中施灌深度愈深者，次數也減少很多。因此在農業企業化的立場來說，以不影響最佳灌溉增產的作物收量範圍內，覓出其最長灌溉天數是很重要的。

7. 每10公分土層需要補充的水深言，在無地下水環境時，施灌深度愈深者，需要水量愈要多，顯然表示石膏塊部份達到有效水分50%時，越靠近上面土壤水分含量，越為低得多了，但在田間中時，除有極少數例子以外，其餘情形大約很一致，相當於理論水量的55%有效水分範圍。

九、提 要

旱地作物的施灌間隔，因作物別，栽培季節別，土壤別，甚至于生育環境之不同而有懸殊之差異。考其主要因素，不外為耕地土層的蓄水情形和根系的伸長能力所致。假使根羣領域內能保存有較多的速效性有效水分量時，施灌間隔就能拉得比較長，否則就談不到。

一般說來，其不影響灌溉增產的根羣深度，應規定好多，必須根據供試作物，按不同地點探討，方能知道正確資料。據53~54年期本所曾于臺南壤土蔗田及大型地下水位控制槽，試驗每次灌溉所規定的土層

深度，即石膏塊放置部位和灌溉潮濕領域的結果，證明將其規定標準拉低到蔗苗下70公分者，秋植甘蔗一作中施灌次數約為6次左右，灌溉水量在600mm前後。跟其他10~50公分標準比較一作期間中灌溉次數，可節省最多達10次亦即灌溉之間隔可以延長以外，還不會影響灌溉後的甘蔗增產效果。又甘蔗生育在土層中經常有1.6~2.0公尺地下水位時，較完全無地下水位者，可增加原料產量外，尚可節省灌溉水量及灌溉次數。

參 考 文 獻

1. McCulloch, A.W., and J.F. Schunk (1959); Sprinkler Irrigation pp. 121-122, Sprinkler Irrigation Association.
2. 愛知用水課 (1961); 畑地灌溉の計劃と設計 pp. 38-40日本愛知縣。
3. 愛知用水公團 (1959); 愛知用水受益地畑地灌溉實施檢討について 畑かん 報告 11:1-55.
4. 愛知用水公團工務部開發課 (1958); 畑地灌溉について 畑かん 資料 13:1-17.
5. 椎名乾治、小菅孝利 (1965); 合理的畑地灌水方式に關する研究(1)農業土木試驗場報告 3:61-98.
6. 大島一志 (1963); 畑地灌溉の計劃と設計 pp. 87-89, p63. 東京畑地農業研究會。
7. 椎名乾治 (1965); 畑地灌溉調查計劃法 (その2) 農業土木學會誌 33(2):61-67.
8. Israelsen, O.W. (1950); Irrigation Principles and Practices pp. 193-194.
9. 畑地農業研究會 (1965); 樹園地の灌溉について 畑地農業 9:11-13.
10. 玉井虎太郎 (1959); 土壤有效水分の性格と畑地灌溉畑地灌溉 15:6-11.
11. 椎名乾治 (1963); 蒸發散による畑地水分の減少機構に關する研究 農業土木試驗場報告 1:83-156.
12. Shockley, D.R. (1955); Capacity of soil to Hold Moisture Agr. Eng. 36(2): 109-112.
13. Veihmeyer, F.J. and A.H. Hendrickson, (1931); The moisture equivalent as a measure of field Capacity of Soil, Soil Soci, 32: 181-193.
14. 岩田進午 (1963); 圃場容水量について 農業土木研究 30(7):385-394.
15. 岩田進午 (1963); 作物栽培上における圃場容水量の意義 農業及園藝 38(9):1361-1364, 33(10):1504-1508.
16. Peele, T.C. and O.W. Beale (1950); Relation

- of moisture equivalent to field capacity and moisture retained at 15 atmospheres pressure to the wilting Percentage Agron. Jour. 42:604-607.
17. Richards, L.A. and L.R. Weaver (1944): Moisture retention by some irrigated soil as related to soil moisture tension. J. Agr. Reseach 69:215-235.
 18. 富士岡義一(1961);土壤と水 畑地灌溉講座 3:8-9.
 19. 富士岡義一、西出勲(1963);畑地用水量決定の合理化に関する研究(I) 農業土木研究別冊5:10-16.
 20. 横井肇、中島田誠(1963);灌溉畑における土壤水分の研究(II)畑地灌溉に関する研究集録 VII:290-292.
 21. 陳振鐸(1953);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 2(5):1-24.
 23. 張玉鑽;未發表
 22. Quackenbush, T.H., G.M. Renfro, K.H. Beauchamp, L.F. Lawhow, and G.W. Eley, (1957); Conservation Irrigation in Humid Areas Agriculture Hand Book No. 107, Soil conservation service U.S.D. A. pp 1-51.
 24. Industrial Instruments (1962); Operating manual for soil moisture Testing p 6.
 25. 陳遲、劉步達、張玉鑽(1959);地下水位高低對於甘蔗生長關係之研究 糖試所研究試驗報告 47~48年期 pp. 49-50.
 26. 包敦樸、洪瑞麟(1961);地下水位高低對於甘蔗(N: Co 310)生育產量及根系之影響 糖試所研究集報 24:19-53.
 27. 陳遲、楊尙仁、徐謙讓等(1964);蔗田整地方法之研究 糖試所研究試驗報告 52~53年期 pp. 55-63.
 28. 張玉鑽(1964);不同生育環境下甘蔗灌溉施肥效果與需水量之研究 糖試所研究集報 35:65-90.
 29. 劉步達、張玉鑽(1957);蔗田灌溉方法之研究 糖試所研究試驗報告 45~46年期 pp. 43-45.
 30. 劉步達、張玉鑽(1958);蔗田灌溉方法之研究 糖試所研究試驗報告46~47年期 pp. 41-43.
 31. 劉步達、張玉鑽(1959);蔗田灌溉方法之研究 糖試所研究試驗報告47~48年期 pp. 45-47.
 32. 陳爲績等(1957);蔗田灌溉方法之研究 虎改場研究試驗簡報 pp. 18-21.
 33. 陳爲績等(1958);蔗田灌溉方法之研究 虎改場研究試驗簡報 pp. 47-50.
 34. 陳爲績(1959);蔗田灌溉週期試驗 虎改場研究試驗簡報 pp. 70-71.
 35. 劉步達、張玉鑽(1959);甜菜灌溉試驗 糖試所研究試驗報告47~48年期 pp. 68-70.
 36. 寺澤四郎(1963);畑土壤の水分の運動に関する研究農業技術研究所報告 B 13:1-115.
 37. 劉步達、張玉鑽(1961);適度灌溉水量試驗 糖試所研究試驗報告49~50年期 pp. 46-47.
 38. 張玉鑽(1963);甘蔗畑の適正灌溉水量に関する研究熱帶農業 6(3):142-150.
 39. 張玉鑽(1962);灌溉頻度與水量對於大豆收量之影響農業工程學報 8(4):5-8. 農業及園藝 39(3): 533-534.
 40. 張玉鑽(1963);蔗田畦間灌溉之通水位置對於用水效率之研討 農業工程學報 9(1):2-6.
 41. 張源、林再興、王俊信(1965);盆面蒸發量與蔗田灌溉關係之研究 糖試所研究試驗報告 53~54年期 pp. 39-62.
 42. 張玉鑽(1965);蔗作畦間灌溉法合理化之研究 糖試所研究試驗報告53~54年期 pp. 36-38.
 43. 寺澤四郎(1963);畑土壤の水分の運動に関する研究(8)表層土の水分狀態に影響する下層土の役割、日本土壤肥料學雜誌 34(3):75-78.
 44. 寺澤四郎(1962);畑土壤の水分の運動に関する研究(5)地下水供給の有無による土壤水分の變化 日本土壤肥料學雜誌 33(10):456-460.
 45. 張玉鑽、蘇添飛、李聰雄(1964);蔗作畦間灌溉法合理化之研究 糖試所研究試驗報告 52~53年期 pp. 67-69.
 46. 椎名乾治(1965);表層灌溉の設計理論とその應用例農業土木研究 32(6):309-315.
 47. 張玉鑽、劉步達(1962);蔗作經濟灌溉方式之研究 糖試所研究試驗報告50~51年期 pp. 52-58.
 48. 張玉鑽、劉步達(1963);蔗作經濟灌溉方式之研究 糖試所研究試驗報告51~52年期 pp. 48-52.
 49. 張玉鑽(1964);蔗作經濟灌溉方式之研究 糖試所研究試驗報告52~53年期 pp. 64-67.
 50. 張玉鑽(1965);臺南蔗田灌溉試驗綜合報告 臺糖公司推廣會印刷中。
 51. Spooner, A.E. and C.E. Caviness (1956): Research Indicates the Critical Stages for Irrigation Cotton, Arkansas Farm Research 5 (I).

Abstract

Irrigation intervals for arid region crops are known to depend on conditions as effected by different kind of crops, growing seasons, as well as types of soils. The main factors which require different irrigation intervals for such crops under different conditions are based on water storage capacity of crop land and the extending ability of the crop's root system into depth of soils. If quantities of easily available water held in soils around root-zone are sufficient, irrigation intervals may thus be lengthened to relatively a longer period without affecting balance of water requirements of a crop.

In general, to determine the depth of root system of a crop for which certain quantity of irrigation water is planed should be based on conditions of different localities at which the crop is tested. According to results of 1964-1965 experiments of this station, in which moisture-absorbing gypsum blocks for testing water holding capacity of soils were placed 70 cm. below sites sugar cane seed pieces, in both field experiment of loamy soil (Tainan) and concrete containers in which level of ground water was controlled, after an amount of 600 mm. irrigation water was finally reached such depth, it was found that for such amount of water irrigated to such depths, 6 times of such irrigation are enough for an autumn-planting crop of cane to get the maximum increasing of yield. Compared with the general method of irrigation in which 16 times of irrigation to reach a depth of 10-50 cm. below cane seedpieces for the same goal of increasing productivity, the former method would save at least 10 times of irrigation during one crop year. Under the former condition of irrigation, it is obvious that the intervals of irrigation may be preferably lengthened for economic use of water and expenditures. If ground water level of 1.6-2.0 meters is always kept in soil layer on which cane is growing, cane yield would be increased much more than that in which there is no ground water in soil layers. Under such conditions, quantity of irrigating water and times of irrigation could be also economically reduced.

(上接 9 頁)

relationship between soil depth and soil moisture. It is some what different from the previous study showing the parabolic variation between them.

3. Evaporation losses from loam soil are less than that from clay soil if the air temperature is low.

4. If the negative water head plus the depth of the soil column are equal,

soil moisture at the same depth for the same soil seems to be equal.

5. The maximum rate of evaporation per day from the soils was only up to 1.762 mm. It was less than that from the natural soil. The reason for this may be due to high relative humidity and still air.