

水稻輪作田平地密植作物畦埂灌溉之研究⁽¹⁾

Level Border Irrigation Study for Crops Grown in Rotation with Rice

張 建 勳⁽²⁾

研究旱田作物之灌溉方法，其影響因素遠較水田為複雜。上年長期科委會補助作者之研究專題以行栽作物為主要對象，因平地栽培作物之灌溉資料尚少，無從分析。但時經一年，曾在田間觀測大面積之田埂間灌溉。其觀測資料足以作為平地栽培作物灌溉方法之初步研究分析。

臺灣旱田作物之栽培方式，主要屬下列三種形式：

1. 行栽作物：如甘蔗、甘藷、棉花等。
2. 畦栽作物：如多數蔬菜類作物。
3. 平地栽培作物：平地密植作物如花生、黃蘗、小麥、大豆等。

平地密植作物當然亦可行栽或畦栽，各地有各地之栽培習慣。臺灣習於精耕密植，集約栽培，故平地栽培密植作物甚為普遍。

臺灣之灌溉事業過去以水田為唯一對象，旱田灌溉從未予以考慮。但近年來此項觀念已有所轉變，為增進水源與土地之高度利用，旱田作物栽培面積年有增加。而在雜糧作物增產之要求下，不能長久安於過去比較粗放之經營。在力求改進中，旱田作物之灌溉乃漸顯示其對作物增產之重要性。

臺灣主要作物為水稻，旱作栽培面積甚多為水稻區內之旱季輪作。以往對臺灣各地區各種作物灌溉需水量與適當之灌溉時期等之試驗研究已有不少資料，可供參考。但更具實用性之問題為如何以最有效之方法完成田間施灌，則迄難尋出一便於施行之適當規範。

對灌溉方法之有關研究，國外之文獻甚多。臺灣從事於田間灌溉方法之試驗研究，亦有約三年之資料，但國外之研究多偏於理論性之探討，分析灌溉田面之水流與滲入之物理現象。問題複雜，因素煩多，為簡化其各項影響因素，使理論分析成為可能而必須作各種假定。但假定之條件往往絕難與田間之情形相符

或在田間施灌難以控制，因此逾深入之理論探討，在田間實際應用時逾難施行。即使有理論分析附以實驗證明，然而為研究而準備之實驗田，與農民耕地之田面狀態，難作確實之對照。例如水稻輪作田無坡度之狀態，外國即少實例。

美國研究此項問題之文獻，Parkar & Isrealson 之假定土壤滲入率為常數，Lewis & Milne 假定滲入率為時間之函數而土面水深為一定。Hall 研究田埂間灌溉水流前進情形則假定水流剖面為一簇曲線，相交於田首之正常水深而平均水深則為一定值，可以田首正常水深乘以 0.5 至 1.5 計算。Fok 則用多重積分法計算特定時間之滲入率，除以時間以求平均滲入水深及據此而研究水流之前進曲線。此外 Kiefer, Christiausen, Bishop, Smerdon & Hohn, Loo & Hansen, Su, Tinney & Basset 等氏之研究，均為在旱田灌溉之適當設計上，探討其理論基礎。

但根據過去五、六年間在臺之灌溉試驗研究，與施灌觀測，頗感國外之研究資料，難以為臺灣田間灌溉所遭遇之問題，提供解決之辦法。影響田間灌溉之重要因素，在國外基本研究文獻中，甚多未予考慮。例如：

1. 田面狀態，包括整地情形，作物栽培與生長情形等均無一定之尺度可以衡量水流前進時之田面糙率。
2. 臺灣之水稻輪作田，不能考慮其坡度，末端不排水，退水曲線與浸潤時間無從加以分析。
3. 臺灣耕地表土多經客土改良，輪作田牛踏層，田面龜裂等因素，均難釐定衡量之尺度。
4. 根系分佈情形與地下水位之影響等均使灌溉水量之有效分佈情形難以制定。
5. 臺灣之旱地灌溉為補天然降雨之不足，屬補充灌溉性質。灌溉效益之估計，有頗大之伸縮性。在管理上僅可施行之定時定量灌溉，使嚴密

註(1) 本研究之完成得國家長期發展科學委員會之補助。

(2) 國立臺灣大學農業工程系教授。

精確之基本研究，在施行上失去其精確之意義。

基於上列各點，更經數年來田間施灌之觀測實況，筆者認為擬求一可以施行之灌溉方法，目前唯有從田間着手。

臺灣之旱田作物，由於目前水源運用情形，在旱作面積最廣而最需要灌溉之嘉南平原，反而灌溉機會不多。擬作大面積灌溉之觀測，必須預作計劃，準備工作人員，徵求農民合作。故前年曾在學甲之東寮地區舉行兩次灌溉，去年在新港作一次花生施灌觀測。本年則在學甲、北港等地區完成數種作物灌溉之觀測與試驗。

第一、二年之觀測工作，資料不甚完整。第一年

東寮地區為三年輪作之雜作區，選地之目標為一般情形之輪作田，故田區完全為自然狀態中之情形，作物栽培非常雜亂。但嘉南平原將來假如發展旱作可以灌溉，則栽培制度必將有所改進，故目前一般之田區不能代表將來有灌溉時之田區情形，故第一年東寮灌溉之結果，僅可供初步參考之用。

第二年之試驗則選定新港地區之花生。農民整地已有若干改進，但田間觀測仍有若干困難。整地不平，坡度甚小，退水曲線僅可勉強觀測，茲將第一次灌溉結果，簡要錄下。

第一年之東寮灌溉在約 20 公頃之田區中坵塊逾百。平地密栽作物予以觀測者列如下表：

田間灌溉記錄 Irrigation obseration

作物 Crop	耕作者 Owner	補給水路 Ditch No.	地 號 Plot No.	灌溉方法 Irriga- tion method	耕作程度 Land Prepa- ration	面積 Area	施灌水深度 Depth	畦長 Length	流量 Flow	備 註 Remark
大蒜 Garlic	王 換	E	2570	Border	優 Good	0.22	62.9	116	0.0124	分9段每小區17m×13m
"	莊樹楨	k	2569之半	"	可 Fair	0.27	62.6	117.5	0.0124	分7段每小區16m×17m
"	"	E	259之半	"	"	0.19	43.9	136.5	0.0124	分7段每小區20.1m×20m 此區另種段故灌溉較小。
"	王文田	G	3044 3042-1	"	優 Good	0.21	54.4	114.0	0.0124	分8次每次15m×14m之小區漫灌。
玉米 Coru	王文田	I	3043	Border	劣 Bad	0.18	129.0	91	0.0077	50m時 62.4mm
"	宋 虎	E	2566	"	優 Good	0.16	82	100	0.0115	50m時 70mm
大麥 Barley	楊來旺	B	2630	Border	劣 Bad	0.25	91.8	111.2	0.0088	Border 4m
"	楊萬力	B	2627-14	"	可 Fair	0.063	11.9	111.9	0.0141	Border 6m
"	"	B	2627-14-2	"	"	0.071	127.5	111.9	0.0146	Border 6.7m
"	"	B	2627-14-3	"	"	0.078	140.5	111.9	0.0104	Border 7m

表上所列之大蒜灌溉，由於農民願將田區分段，而不做田埂，田區短而用水經濟。但已非田埂間灌溉之形態。在實施灌溉之前曾在一大麥田進行預備試驗，以 100 公尺為基準，測得以 2 l/sec 之流量較為理想。故用 2 l/sec 之流量在數塊大麥田中試得田埂距離以 6 公尺最為適當。

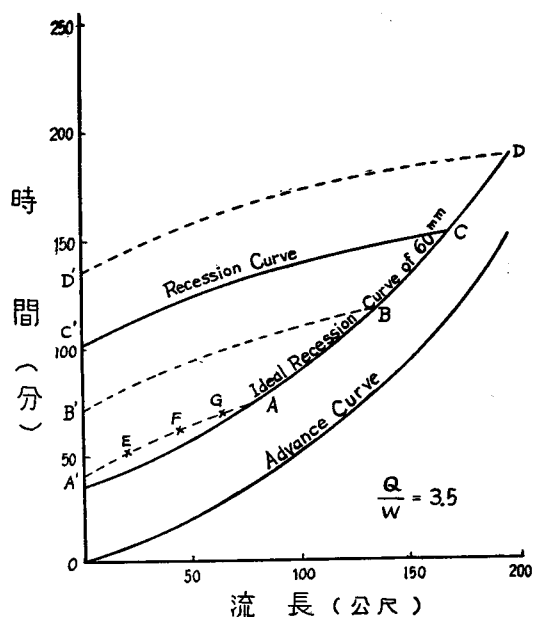
由上表之數值，可見玉米田中整地優劣對施灌水深度之重大影響。在大麥之灌溉試驗可察得田埂寬對施灌水深度之影響。但資料過少難以分析。此次約 20 公頃之灌溉，費時七天，田間完全為自然狀態，作物栽培雜亂，但以裡作甘藷為最多。田埂間灌溉只佔小部份，故第二年乃選定新港數十公頃之花生田，作田埂間

灌溉之實地觀測。

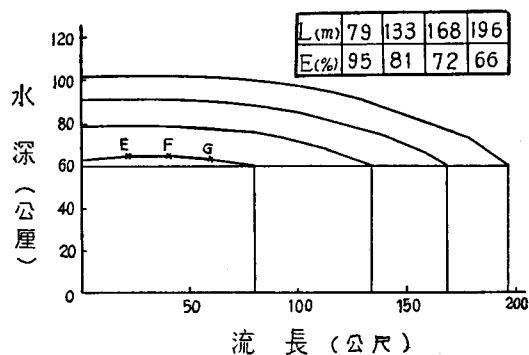
新港之試驗結果，經吳純宏先生之整理刊出於農工學報並合訂於年農工學報叢刊第一號。吳氏參考國外文獻用半圖解法，將試驗結果繪出如下圖。

由於實際田間記錄與繪出之曲線大有出入。不同田塊間縱使畦長與 Q/W 相同，其結果亦相去甚遠。田面狀態難有衡量之標準，退水曲線之觀察困難，故以上曲線可視作一種原則上應有之形態，但難以作為實際應用。

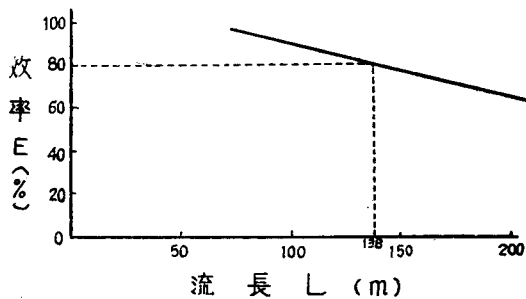
由過去兩年田間觀察之結果，作者認為在目前耕作情形及所能許可之改善程度下，應從另一方面探討此一問題，以求能有更合乎施灌人員需要之灌溉方



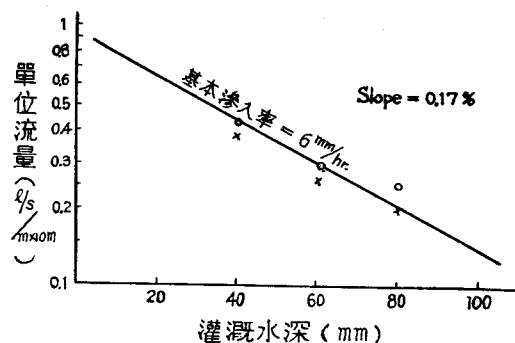
圖(1) 田間灌溉之前進曲線及退水曲線



圖(2) 流長與灌溉水深曲線



圖(3) 流長灌溉效率曲線



圖(4) 田間單位流量與灌溉水深曲線

法。根據過去從理論方面所導出田間灌溉之設計方法，可以歸納為如下之步驟：

- 1 理論分析第一步構想為土壤滲入率之研究。不論取何種方式或假設，田面浸水之時間即為滲入率之時間。
2. 水流前進之分析，假定田埂間灌溉之水流前進為一種寬淺水道之不定及不等速之明渠水流，但田面狀態與作物及其生長形態，無從對糙率作合理之估計。
3. 退水曲線之研究，在無坡度之輪作田中，使退水曲線之分析無從着手。

目前之理論分析，不外為探討上述三種現象，田間任何一點之滲入時間為前進水流到達及退水開始之一段時間水量滲入及其在土壤分佈情形。並在各項假定之下導引出各種理論公式。作為灌溉設計中用以計算水量、流長、時間、效率等之根據。灌溉方式亦有兼由理論與實驗導出，但實驗多為在一選定之實驗田在嚴密控制下進行而非在一般農民田區之觀測資料。

國外文獻對此問題之研究已有數十年之歷史，但研究之重點不出上述範圍。直接引用於臺灣，無從效法。迄今從未試圖將田區灌溉之直接觀測資料，加以歸納而導引出符合當地情形之應用公式。

由於理論公式未能解決田間問題，故本文之構想為利用廣泛之田間實測資料，以歸納方法企圖探求一較易施行之灌溉規範，其步驟如下：

1. 實測各地具有代表性之田區與主要作物在合理

之整地情形及水流至田末斷水之條件下，實測施灌時間，滲入時間，水流前進情形等資料。

2. 分析上項資料以求獲得各種作物在不同之生長期施灌，其流量與流長，對施灌效率之影響。例如輪作田，中質土壤，花生中期之灌溉等。

3. 在有足夠之資料後，可將分析結果製成圖或表以供水利會為灌溉配水之用。

為循此方向而研究，本年田間之觀測資料，共計一百餘次。除部分不能應用外，可供分析者計有：

學甲空地灌溉觀測，田面濕潤狀態18次

學甲玉米示範田7次

元長花生19次

五榔花生11次

新港玉米 Corugation 15次

新港玉米 Border 9次

新港花生22次

學甲高粱示範田3次

以上各次灌溉觀測學甲之空地灌溉，玉米及高粱示範田灌溉，及元長與五榔之花生灌溉，其流距均以10公尺間距至100公尺分十點觀測，其流達時間與施灌水深。其中有用固定之Q，或W，或Q/W。而新港灌溉則為在農民施灌時之實地觀測，流距、流量及田寬均非一定。為將煩雜之觀測記錄作初步整理以便於討論，分別以表列及圖示彙列如下：

表一、學甲空地濕潤狀態之灌溉觀測，施灌水深 d= (公厘)

L	Q/W											
	1		2		3		4		5		6	
	W=6	W=7	W=6	W=7	W=6	W=7	W=6	W=7	W=6	W=7	W=6	W=7
10	d=22	20	19	18	26	24	37	17	27.5	23	36	—
20	27.5	28	26	25.5	32.5	34	42.5	26	36	32	44	—
30	32.5	34	31.5	31	38	40.5	46	34	42.5	41.5	50	—
40	36	38.5	36	36	42	46.5	49.5	40	47.5	49	54	—
50	39	43	40	40.5	45.5	53	52	46	52	56	58	—
60	41.5	46	43.5	44.5	48.5	57	54	52	56	62	61	—
70	44	50	46.5	48	51	60.5	55.5	57	60	68	63.5	—
80	46	54	49	51.5	53.5	64	57	62	63.5	70	66	—
90	48	56.5	52	54.5	56	67.5	58.5	67	66.5	73	68	—
100	50	59	55	58	58.5	70.5	60	72	70	83.5	70	—

註：表上流距L(公尺)，流量Q(公斤/秒)，田埂寬W(公尺)，施灌水深d(公厘)。

由上表可見空白田之灌溉流量較大，施灌水量亦較多，田埂較寬施灌水量較多。試驗田原分6,7,8,9等四種寬度，但8公尺與9公尺寬之觀測結果較為紛亂，田較寬則水流前進不均勻，難以準確觀測流距。如用4,5,6,7公尺之不同田寬，結果將較明顯，似應再作進一步之研究。

其次空地灌溉田間無作物，其流距與灌深之關係不能直接引用於有作物栽培之田間狀態。田面濕潤狀態乃由於在同一田區作多次觀測，此種情形與實際田

間需要灌溉時之乾燥狀態不符。乾燥施灌時之初期滲入率較大，對流距與流量較有關係，尤以小流量時為然。故濕田灌溉之結果亦不宜直接引用於乾田狀態。但上述灌溉觀測，可以指出田間灌溉一項重要原則。即田埂寬必有其最適宜之限度，在輪作田無坡度之情形下，相同之Q/W在寬田區流達相同之距離所耗水量較狹田區為大，此種情形即與理論不盡相符。

再將有作物之田區灌溉結果整理彙列：

表二、元長花生灌溉 (Border) 55年秋作花生生育盛期

流 距 L(公尺)	Q=21, W=5 Q/W=4.2				Q=21, W=6 Q/W=3.5					Q=21, W=7 Q/W=3					Q=21, W=8, Q/W=2.625				
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅
10	60	59	60	58.5	54.5	58	59	59	54.5	43.5	56.5	48	42	52	59	57.5	62	45	47.5
20	68	67	70	76	64	70	70	72	66	56	67.5	61	54	64	69.5	65.5	71	57	59
30	73	72	76	80	70	78	78	81	74	65	75	71	63	72	76	72	77	68	66
40	77	76	80	90	75	84	83	88	80	72	81	79	17	78	81	77	82	74	73
50	81	80	84	96	79	89	88	94	84	79	85	85	76.5	83	85	82	85	86	78
60	84	83	87	101	82	94	92	99	88	84	89	91	82	88	88	86	88	86	83
70	86	85	90	106	85	98	96	103	92	89	93	97	87	92	92	90	90	91	87
80	88	87	93	111	88	102	98	107	96	94	97	102	92	95	95	94	93	96	90
90	90	89	95	116	91	106	103	111	100	98	99	106	96	98	98	97	96	100	94
100	92	91	97	120	94	109	106	115	103	102	101	110	99	100	100	100	98	104	97.5
	平均d= L=100				平均d= L=100					平均d= L=100					平均d= L=100				

表三、五 榔 花 生 灌 溉 (Border) 55年4月22~28日花生生育盛期

流 距 L(公尺)	Q/W=2 W=7		Q/W=3 W=7		Q/W=4 W=7		Q/W=5			Q/=6.5	
	d ₁	d ₂	d ₁	d ₂	d ₁	d ₂	d ₁ W=4	d ₂ W=5	d ₃ W=6	d ₁ W=4	d ₂ W=5
10	71.5	36	52	48.5	38	55.5	58.5	35	45	47	47.5
20	86	46	62	60	54	64	78	50.5	64	60.5	62
30	97	54	70	68	66	70	92	63	79	70.5	74
40	105	60	75	75	76	74.5	103	74	72	79	83
50	111	65	80	80	85	78	112	84	104	86	92
60	117	69	84	84	94	81.5	120	92	114	92	98
70	122	73	87.5	88.5	101	84	127	101	124	97	105
80	126	77	90.5	90	108	86.5	134	108	133	102	111
90	131	80.5	93	96.5	115	89	140	115	142	107	117
100	135	83.5	96	100	121	92	146	121	150	111	122

表四、學甲玉米示範田 Q/W=1.16 Q=5.8 W=5 (54年11月4~5)

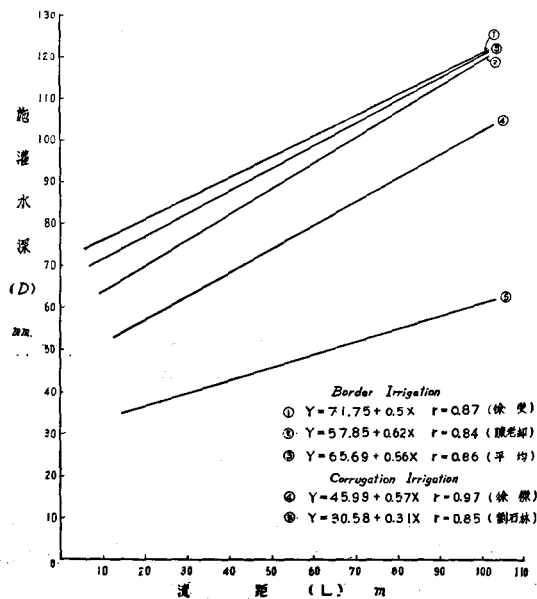
流 距 L(公尺)	Corruation					Border			
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	平 均 d	d ₁	d ₂	d ₃	平 均 d
10	21	28	28	28	26.3	58	42	56	52
20	31.5	35	42	35	35.9	68	52	48.5	55.7
30	39.5	39.5	48.5	39.5	41.8	76.5	60	62	66.2
40	47	47	59	49	50.5	88	68	66	74
50	53	56	57	53	54.8	90	71	74	78.3
60	59	58	65	57	59.8	96	75	79	83.3
70	61	63	68	57	62.3	100	79	82	87
80	63	63	69	60	63.8	101	80	86	86
90	65	66	73	65	67.3	104	84.5	93	93.8
100	68	67	76	68	69.8	107	92	95	98

表五、學甲玉米示範田

流 距 L(公尺)	第一次 Q/W=1 W=5				第二次 Q/W=1.6 W=16
	Corrugation		Border		
	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	Corrugation d
10	12.5	21	47	42	36
20	19	26.5	56	55.5	48
30	24	30.5	62	66	56.5
40	29	32	68	74	64
50	34	36.5	72	81	70
60	38	39	75	87	76
70	42	41	78	93	81
80	45	43	81	98	86
90	48	45	84	102	91
100	52	46.5	86.5	106	95

由表二、之元長花生灌溉可見其資料整齊，用相同之 Q 所灌水深度甚為接近。因 Q 為一定，則 W 較大時，Q/W 即較小，此種情形與表一、濕潤田空地灌溉所得結果相似。表三、之五榔灌溉，同為花生中期之灌溉，但水深差異較大，則因農民整地較差，部分田埂過低發生漫越，此項觀測均為在農民耕地實測，而五榔與元長之比較，可充分證明灌溉用水差異，整地情形不同為最重要之影響因素。而理論公式對此項因素不予考慮。

表四、及表五、之玉米灌溉為在示範田觀測。表



圖(5) 新港玉米灌溉試驗

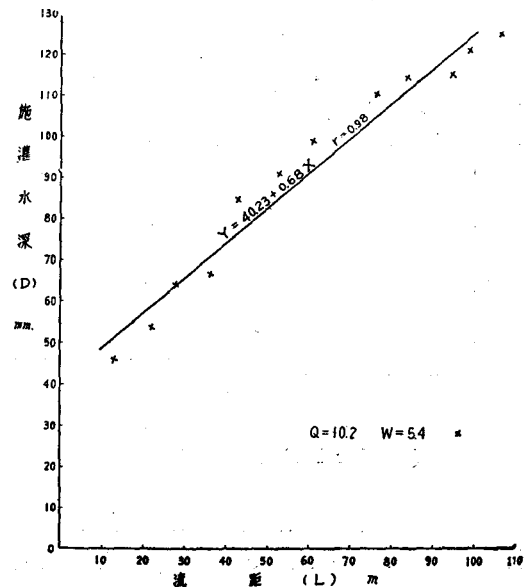
表六、學甲高粱示範田灌溉 (Border)

54年9月下旬

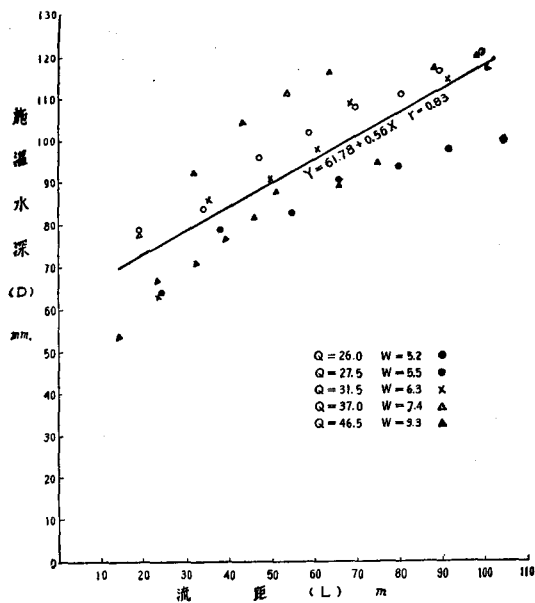
流 距 L(公尺)	Q/W=3.82 W=4		Q/W=4.5 W=4
	d ₁	d ₂	d
10	57	57	54
20	59	63	61
30	73	88	76.5
40	86	100	88
50	99	118	104
60	100	124	112
70	103	141	118
80	112	163	123
90	112	169	130
100	127	171	135

四可證明 Corrugation 與 Border 灌溉間之顯著差別。本省玉米栽培，培土前為 Border 灌溉，培土後即可用 Corrugation，秋作玉米可能不需前期灌溉而後期可用 Corrugation 可用較少水量。表五、則可指出 W 過大時用水增加。理論公式多以 Q/W 為比較而不考慮 W 之不同，亦與田間觀測結果不符。

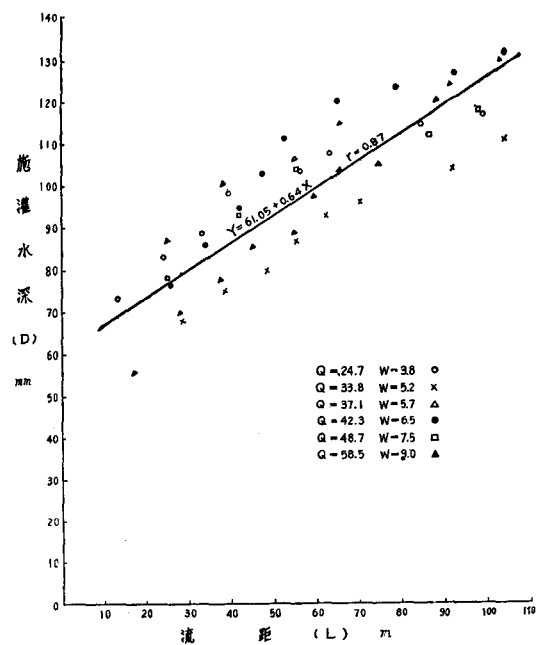
表六、為高粱之灌溉，資料過少，田區之一整地不良，難以為例。但與玉米相比，可見高粱灌溉用水較多。高粱之行株距均較玉米為小，分蘗較多，對水流前進阻力較大。



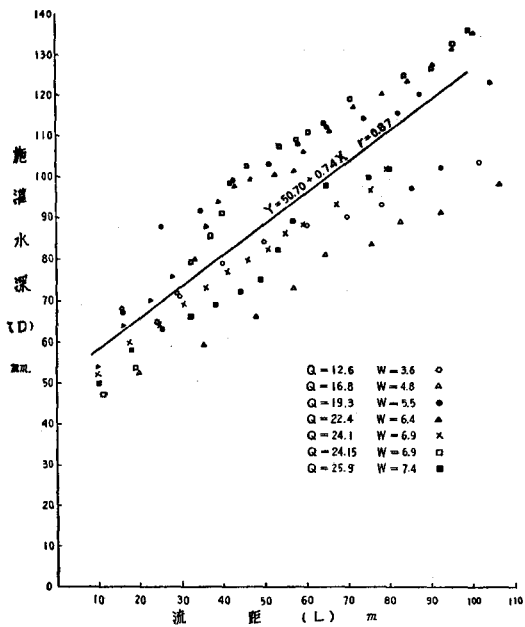
圖(6) 新港花生灌溉試驗
(Border Irrigation) Q/W=2.0



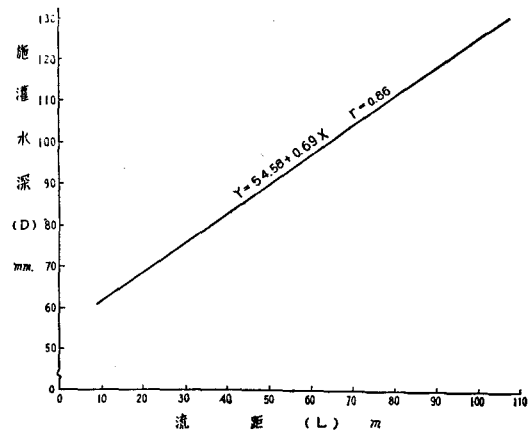
圖(7) 新港花生灌溉試驗
(Border Irrigation) Q/W=3.5



圖(9) 新港花生灌溉試驗
(Border Irrigation) Q/W=6.5



圖(8) 新港花生灌溉試驗
(Border Irrigation) Q/W=5.0



圖(10) 新港花生灌溉試驗
(Border Irrigation) Q/W=2, 3.5, 5, 6.5

以上數表即使未能作為灌溉配水之依據，但已充分說明理論公式難以引用於田間灌溉。施灌水深可因整地而不同，可因作物而不同，甚至可因生育期而不同。而此數項因素均未為目前理論公式所考慮。

為此依作者之構想，擬將田間之灌溉觀測，依流距與水深之關係繪出，並以最小二乘方繪出曲線，以代表某一地區某種作物灌溉時田間之水深與流距關係。此一曲線將可用為當地灌溉配水之用。以下各圖為

在新港地區玉米及花生施灌結果所繪出之曲線：

圖(5)之玉米灌溉共觀測田區二十餘塊，爲使整地情形較爲劃一，只有一、二片田區之農戶不予採用。僅將劉石林與徐傑之 **Corrugation** 及陳老却之 **Border** 灌溉繪出。由上圖可見屬於同一農戶田區之灌溉結果均相當接近。但不同農戶之田塊有顯著差別。如徐傑與劉石林之田區，同爲玉米 **Corrugation**，而徐傑之曲線明顯在劉石林曲線之上，亦即徐傑之田用水較多。更可說明田間灌溉用水，難以從理論推演公式計算。**Border** 灌溉用水量在 **Corrugation** 之上，固屬理所當然。

花生灌溉亦有二十餘田區。農戶較多，整地情形不一致。花生之灌溉全爲 **Border**。二十餘田區之田間觀測，其流距與水深頗爲整齊接近。用最小二乘方所繪之曲線，足以表示新港地區花生之生育中期灌溉之田間情形。田塊 W 最小 3.5 最大 12.8。 Q 最小 7 l/sec ，最大 48.7 l/sec 。

圖(5)至圖(10)均爲根據田間實測數值繪出，水深隨流距而變。各圖上顯示各變值之散佈趨勢，大致接近於直線相關，以最小二乘方方法，可求得各圖上直線相關之方程式，其結果繪出如圖。

討 論

根據百餘塊田區之田間灌溉觀測結果，足以證明作者之構想無誤。即由理論之演算，難以獲致一公式

足以符合田間之灌溉情形。例如圖(6)–(10)之曲線，可以用爲估計新港地區花生之灌溉需水量，但此曲線不能由理論導出。迄今理論公式似尚未導至實際田間施灌之階段。而臺灣之輪作田狀態與導算公式之若干假定不相符。但以田間觀測之歸納方法，可以繪出如圖(5)–(10)之曲線，分別爲各不同地區與作物釐定一灌溉配水之標準。

本研究未深入至包括水壤水分分佈之分析，但田間灌溉之流距與水量之關係，應爲分析灌溉效率之第一步工作。研究水分之分佈與灌溉效率應與灌溉斷水點合併作進一步之探討。

摘 要

臺灣之旱作栽培甚多爲與水稻輪作。在輪作田無坡度，及土層較淺，下有牛蹄層等條件，多與外國之田間狀態不同。國外文獻所提出之灌溉公式多爲理論公式，難以引用。

導引之公式對田間甚多重要影響因素加以忽略，或作與實際不符之假定。故難以作爲依據解決田間問題。

由百餘片田區之觀測結果，可見流距與水深之關係，因作物、整地、畦寬、土壤等均有顯明之影響，已有公式均未予考慮。

但直接由田間灌溉之觀測結果，可以歸納方法求得一合理之根據，用爲估計田間之灌溉配水量。