

# 山坡地灌溉需水量之研究

## The Consumptive Use for Hilly Land in Nan-Tau Area

蔡 豐 明

山地農牧局第一工作處技士

### 一、引 言

臺灣山坡地分佈在海拔 100 公尺以下者計有一百零八萬公頃，海拔 100~1,000 公尺者佔一百三十六萬六千公頃，海拔 1,000~1,500 公尺者為四十三萬七千公頃，海拔 1,500 公尺以上者，佔七十一萬三千公頃。目前臺灣所面臨之土地利用條件基於(1)人口不斷增加(2)平原水田的增產，其每年之增產率將會逐漸减小(3)海埔新生地開發其面積極其有限(4)海拔 1,000 公尺以上之高山區，雖佔全臺灣總面積之 32%，但實際上因地形、土壤、氣候、交通以及行政因素，農業開發受很大的限制。故今後農業增產之途徑，以海拔 100~1,000 公尺之農林邊際土地(即山坡地)較具開發價值。

山坡地開發事業中，灌溉問題佔重要的一環；目前的規劃及投資對山坡地灌溉的需要缺乏具體調查及判斷，至於灌溉需要之決定因子，必須由水文、土壤及作物等綜合因素，才能求出其灌溉需要程度。在經濟立場上，灌溉需要之調查，如適當時可獲增產之效果，反之必會造成灌溉效益抵不上大量的工程投資，而使規劃失敗，所以正確的灌溉需水量之調查，在工程規劃上係最重要之課題。

山坡地之開發，在工程上最大阻碍即為灌溉給水方式的困難，由於灌溉水源之取得多有賴於動力，且其成本比一般平地重力式灌溉要貴；由於開發較遲，會牽連到水源之水權問題，但如能在現有水權範圍之內，作適當之調配，亦可以解決當地山坡地灌溉問題。

有關山坡地灌溉資料尚付闕如，不似海拔 100 公尺以下之平地水田、旱作灌溉資料之較為齊全可資依

循使用。為今後臺灣山坡地灌溉事業發展計，必需搜集有關山坡地適用之資料並加以試驗整理，以期爾後之設計有所依據。本研究僅就現階段擬解除之國有森林用地北港溪事業區第 43 林班地選一小規模之山坡地，從事最基本之水文、土壤、作物等各項因素，加以探討，對該地區作合理之灌溉需水量之研究，希望將來能進一步擴展至全省各山坡地灌溉事業之全面發展，尚祈各位長輩先進給予多方之批評指教。

### 二、地 形

(一) 國有森林解除林班地位置、面積、人文、交通及地形：

北港溪事業區位於南投縣國姓鄉及臺中縣新社鄉、和平鄉境內，地處烏溪上游長流溪及北港溪二集水區內，全部面積 9,738 公頃，共有 52 個林班解除地。林班未解除前，由林務局埔里林區管理處水長流工作站負責管理。人口約一萬五千四百餘人，土地利用以種植梅、香蕉、水梨、柑桔、枇杷及樹薯等作物為主。該事業區對外交通，主要幹道有中潭公路(省道一級道路)及柑仔林一埔里線及柑仔林一水長流線，另有四十餘公里農路。零星散佈於該區各生產地至幹道之間。

該區山坡地之灌溉系統極少，且其設備亦較簡陋，僅有一些以直徑約 2 m，高約 2 m 之蓄水池貯存天然降雨之雨水，以供乾旱季節灌溉。其區內有能高水利會轄區之北港溪水源有猴洞圳、國姓圳、豐泉圳、北港溪南圳、北港溪北圳及長流溪水源有長春大圳、水長流圳、水流東圳。其各別之水權登記面積及水量如表(-)

第一表 北港溪及長流溪水權登記灌溉面積及水量表

水 源	埤 圳 名 稱	水 權 登 記 面 積 (ha)			水 權 登 記 水 量 C.M.S			
		兩 期 田	單 期 田	計	2 月	3 月	7 月	8 月
烏溪系	猴 洞 圳	12	1	13	0.035	0.035	0.035	0.035
北港溪	國 姓 圳	130	5	135	0.365	0.365	0.365	0.365
"	豐 泉 圳	56	—	56	0.151	0.151	0.151	0.151
"	北 港 溪 南 圳	107	8	115	0.322	0.322	0.322	0.322

烏溪系 北港溪	北港溪 北港溪	263	7	270	0.653	0.653	1.183	1.183
小計	以上五圳	568	21	589	1.526	1.526	2.056	2.056
烏溪系	長春大圳	74	33	107	0.300	0.300	0.300	0.300
長流溪	水長流圳	32	9	41	0.155	0.155	0.155	0.155
"	水流東圳	50	2	52	0.146	0.146	0.146	0.146
小計	以上三圳	156	44	200	0.561	0.561	0.561	0.561

上表觀之，如以續灌而不考慮其滲漏時，水稻日用水量為 6.3 mm/day，則 1 C.M.S 之水量可供灌溉面積 1,370 公頃，而由北港溪五條水圳之水權登記灌溉面積與水量，其日用水量高達 30 mm/day；長流溪三條水圳亦達 24 mm/day。顯示其水權登記之水量已超出甚多，如北港溪水源登記即已超出 1.626 C.M.S，長流溪水源即已超出 0.415 C.M.S，其超出之水量可移供山坡地開發灌溉事業之用。

第 43 林班地位於海拔 400~700 公尺之間，面積為 147.5 公頃，地勢東、北、西三面高而南面較低

，即由北而南傾斜以至溪流，匯集於長流溪。其坡度在 30° 以上者約有 78.5 公頃，約佔 54 % 而被區劃為宜林地，無法從事農業開墾經營。餘 69 公頃為宜農地，坡度較緩，土層深厚、較富有機質，可種植果樹，但需施以水土保持各項處理，以免水土被流失而造成更嚴重之侵蝕。

### (二) 水文

雨量及蒸發量：歷年平均之月雨量及月蒸發量如表(二)及圖(一)所示。

第二表 歷年平均之月雨量及月蒸發量表

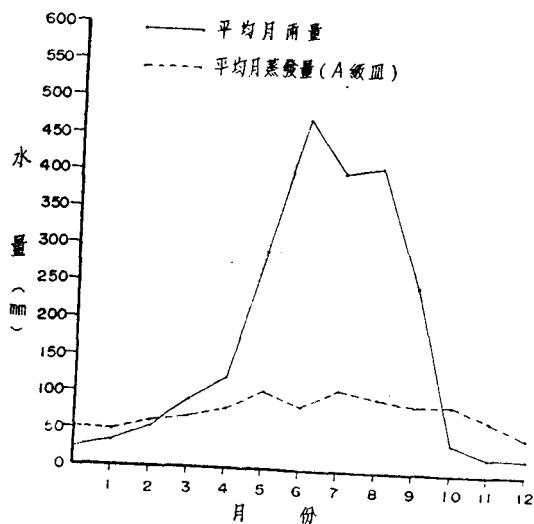
單位：m.m

月	份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
平均月雨量		36.4	54.6	80.9	124.2	294.8	477.1	403.9	410.8	252.7	39.9	22.2	22.1
B 級皿蒸發量		71.1	96.1	99.2	114.7	151.6	125.1	157.6	143.3	133.2	132.2	105.1	73.6
A 級皿蒸發量		49.8	62.3	69.4	80.3	106.1	87.6	110.3	100.3	93.2	92.5	73.6	51.5

註：(1) B 級皿換算 A 級皿蒸發量之校正係數為 0.7 \*

(2) 雨量記錄摘自國姓站，自民國 38 年至 56 年計 19 年

(3) 蒸發量記錄摘自清流站，自民國 47 年至 52 年計 6 年



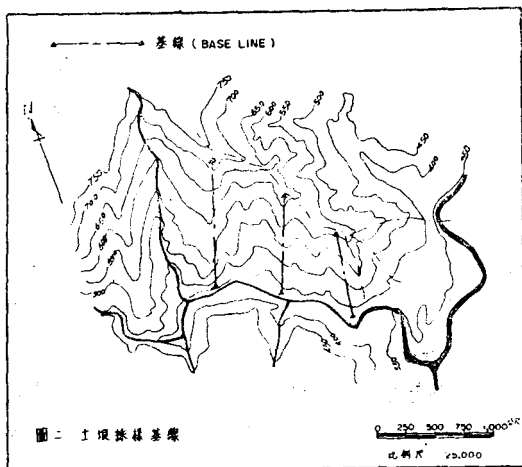
圖一 平均月雨量與月蒸發量

### 三、土壤調查

(一)、灌溉系統規劃，必先從事地形的勘查及土壤分析，如調查確實詳細，則所得之資料也愈接近實地的需要，否則誤差過大，會影響將來工程投資與效益問題。調查的步驟首先需對全區域之地形、土壤作概括之瞭解，然後選擇適當地點採取土樣。如何決定採樣位置，在平地一般均採取在田區中央或對角線上相對稱之位置，而山坡地與平地却相互迥異，概因山坡地之土壤分佈，地形之起伏，與平地不同，所以山坡地之土樣位置應根據以下二點原則進行方可。

(1)、先在地形圖上選定山巔與山谷之相關位置，將兩點連接成直線作為基線 (Base Line)，在全區域裡可作很多距離約略相等之基線如圖(二)，視土壤質地之差異如何而定。差異大時，如由砂 (Sand) 變至

\*：臺大農工系施嘉昌教授授課採自台糖公司現階段使用之數值。



粘土 (clay) 時，需作多條基線；反之差異較小，可少列幾條亦可代表該部份之質地。

(2)、基線決定後、調查人員沿着基線察看附近之土壤分佈情形是否與該地點之質地約略相同而能代表該點附近之土壤，如認可時，即可依土壤剖面分層採取土樣。否則必須在該基線上下移動察看至能代表為止。

(二)、記錄各土樣位置之縱剖面、土壤深度、特徵如表(三)所示。

第三表 土層縱剖面特徵表

編 號		土壤深度 (cm)	特 徵
地 區	剖 面		
A	A <sub>1</sub>	0~15	表土與雜石混合成雜石層，惟不甚明顯，表土層約 15cm 厚，以下為風化層。
	A <sub>2</sub>	15~75	
B	B <sub>1</sub>	0~30	表土層 30cm，在 30cm 以下為風化不完全未成熟之雜石層
	B <sub>2</sub>	30 以下	
C	C <sub>1</sub>	0~25	表土層並不深約 25cm，惟下層已開始風化，土質較為均勻，以土石混雜，厚度在 2m 以上
	C <sub>2</sub>	25~100	
	C <sub>3</sub>	100~140	
D	D <sub>1</sub>	0~15	表土層深 15cm，其下層為風化層約 1m，在 1.15m 以下為不成熟之土層
	D <sub>2</sub>	15~100	
	D <sub>3</sub>	100 以下	
E	E <sub>1</sub>	0~45	左邊（即東邊）土壤深度 45cm，較邊緣地區（即西邊）之土壤較淺薄且多石頭
F	F <sub>1</sub>	0~20	土層約 1 公尺，少部份已開闢為水田，坡度約 25°
	F <sub>2</sub>	20~40	
	F <sub>3</sub>	40~60	
	F <sub>4</sub>	60~80	
	F <sub>5</sub>	80~100	
對照區		100 以下	土層深厚約 1.4m，已開闢成平臺階段，種植枇杷、水梨

(三)、土壤水分常數測定值

土壤土樣經試驗室之測定分析，其各項土壤水分常數如表(四)

第四表 土壤水分常數分析表

編 號 地 區	土 壤 深 度 (cm)	機 械 分 析			土 壤 地 質	水 分 當 量 %	凋 萎 點 %	假 比 重 A <sub>s</sub>	
		砂 粒 %	粘 粒 %	坩 粒 %					
A	A <sub>1</sub>	0~15	47.64	24.76	27.60	砂質粘壤土	23.42	10.05	1.33
	A <sub>2</sub>	15~75	51.64	22.76	25.60	" "	23.32	9.19	1.33
B	B <sub>1</sub>	0~30	34.64	36.36	29.00	" "	27.05	14.19	1.38
	B <sub>2</sub>	30以下	28.64	50.36	21.00	粘 土	30.65	18.92	1.36
C	C <sub>1</sub>	0~25	48.64	20.76	30.60	壤 土	22.41	8.75	1.33
	C <sub>2</sub>	25~100	48.64	20.76	30.60	" "	20.74	8.84	1.37
	C <sub>3</sub>	100~140	51.64	22.36	26.00	砂質粘壤土	19.10	9.38	1.31
D	D <sub>1</sub>	0~15	28.64	34.96	36.40	粘質壤土	26.10	13.32	1.36
	D <sub>2</sub>	15~100	30.64	32.76	36.60	" "	24.24	12.20	1.45
	D <sub>3</sub>	100以下	23.64	32.96	43.40	" "	23.08	12.98	1.46
E	E <sub>1</sub>	0~45	43.64	27.56	28.80	" "	21.73	10.04	1.30
F	F <sub>1</sub>	0~20	29.64	34.36	36.00	" "	27.33	13.13	1.35
	F <sub>2</sub>	20~40	33.64	34.36	32.00	" "	28.28	14.47	1.33
	F <sub>3</sub>	40~60	31.64	34.36	34.00	" "	27.28	13.16	1.33
	F <sub>4</sub>	60~80	29.64	36.76	33.60	" "	28.24	14.50	1.33
	F <sub>5</sub>	80~100	23.64	39.96	36.40	" "	28.75	15.94	1.31
對 照 區	0~100	48.64	33.96	17.40	砂質粘壤土	14.78	7.81	1.40	

四、土壤滲入率 (Intake Rate)

滲入率對坡地之灌溉至為重要。一般粗砂質土壤

或含礫質土壤其滲入能較大；反之細緻粘質土壤則較

小，本區之滲入率及累積滲入水深經實測列如表(五)

第五表 滲 入 率 表

區 別	累 積 滲 入 量 mm	滲 入 率 mm/hr	平 均 滲 入 率 mm/hr
A	$D=52T^{0.53}$	$I=1653T^{-0.47}$	$I_{av}=3120T^{-0.47}$
B	$D=24T^{0.33}$	$I=475T^{-0.67}$	$I_{av}=1440T^{-0.67}$
C	$D=29T^{0.43}$	$I=748T^{-0.57}$	$I_{av}=1740T^{-0.57}$
D	$D=55T^{0.50}$	$I=1650T^{-0.5}$	$I_{av}=3300T^{-0.5}$
E	$D=52T^{0.62}$	$I=1934T^{-0.48}$	$I_{av}=3120T^{-0.48}$
F	$D=4.3T^{0.44}$	$I=113.5T^{-0.56}$	$I_{av}=258T^{-0.56}$
對 照 區	$D=4.65T^{0.58}$	$I=161.8^{-0.42}$	$I_{av}=279T^{-0.42}$

由上項累積滲入式可計算出一次灌溉所需之最短時間如表(六)

第六表 灌溉最短浸水時間表

區別	有效水分別	一次灌溉最大水深 (mm)	累積滲入量公式	灌溉最短浸水時間 (分)	土壤質地	粘粒含量 %
A	3/4AM	34.8	$D=52T^{0.53}$	0.468	砂質粘壤土	23.76
	1/2AM	69.6		1.71		
	1/4AM	114.6		4.5		
B	3/4AM	41.2	$D=24T^{0.53}$	5.10	砂質粘壤土	43.36
	1/2AM	82.4		41.7		
	1/4AM	123.6		148		
C	3/4AM	21.6	$D=29T^{0.43}$	0.43	壤土	21.29
	1/2AM	43.2		3.3		
	1/4AM	64.8		6.5		
D	3/4AM	43.6	$D=55T^{0.50}$	0.63	粘質壤土	33.56
	1/2AM	87.2		2.5		
	1/4AM	130.8		5.65		
E	3/4AM	17.1	$D=52T^{0.68}$	0.17	" "	27.56
	1/2AM	34.2		0.51		
	1/4AM	51.3		0.87		
F	3/4AM	45.7	$D=4.3T^{0.44}$	214	" "	35.96
	1/2AM	91.4		1,000		
	1/4AM	137.1		2,630		
對照區	3/4AM	24.4	$D=4.65T^{0.58}$	17.4	砂質粘壤土	33.96
	1/2AM	48.8		57.5		
	1/4AM	73.2		114.8		

#### 四、作物需水量及灌溉水深之探討

(一)、臺灣過去對作物需水量之研究，僅偏向於水稻、甘蔗等少數作物，近十年來始對旱作物（如花生、大麥、小麥、高粱、甘藷、玉米等）從事地區性較深入的研究。但是對於果樹類需水量之研究目前資料甚少，因此對大量開發山坡地之灌溉事業必須先對坡地作物從事作物需水量之研究，因作物需水量為灌溉規劃上最基本且重要之問題，務必在設計階段能有可靠的估計資料。茲介紹可在臺灣適用的美國估計方法，作為分析之參考與依據。

(i) Blaney 與 Criddle 氏公式：係假定溫度與日照為影響作物用水量之兩項最主要因素。該公式之使用在臺灣似較為便利，因溫度記錄易於獲得；而日照時間可以計算之。Blaney 與 Criddle 公式如下：

$$U = \sum \mu = KF = \sum kf$$

式中 k 與 K 為作物係數

$$f = \frac{t \times P}{100}$$

t = 月平均溫度 (F°)

u = 月作物用水量 (吋)

P = 每月日長時間 (小時) 與全年日長時間 (小時) 之百分數

U = 全生長季作物用水量

$F = \sum f$

K = 全生產季作物係數

如以公制單位, 則公式為:

$$U = k P \left( \frac{45.7t + 813}{100} \right) = \text{月作物用水量 (公厘)}$$

t = 月平均溫度 (°C)

上式中 f 值可以各地之氣溫記錄計算, 設各種作物之 k 值可由實驗或估計求出, 而 P 值則視其緯度而為一定之數值如表(t), 則作物用水量 u 或 U 可以計算矣。臺灣省為在北緯 21~25 度之間, 中南部約在北緯 23 度, 北部約為北緯 25 度。

第七表 每月日長時間與全年日長時間百分數 (p)

緯度 (北) Latitude (N)	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
20	7.73	7.26	8.20	8.52	9.14	9.02	9.25	8.95	8.30	8.19	7.58	7.88
22	7.76	7.22	8.41	8.57	9.22	9.12	9.31	9.00	8.30	8.13	7.50	7.56
23	7.67	7.20	8.80	8.59	9.26	9.15	9.36	9.03	8.30	8.12	7.46	7.51
24	7.58	7.17	8.40	8.60	9.30	9.19	9.41	9.05	8.31	8.10	7.43	7.46
25	7.55	7.15	8.40	8.62	9.34	9.25	9.45	9.08	8.31	8.08	7.40	7.41
26	7.94	7.12	8.40	8.64	9.37	9.30	9.49	9.10	8.32	8.06	7.36	7.35

(2)、美國哈合河氏 (Hargreaves) 將作物生長時期分為百分之一百, 而研究各種作物用水量與 A 級蒸發皿蒸發量之比值即 a 值在生長過程中之變化, 如表(t)所示。a 值於理論上不受地域性之限制, 故表(t)之 a 值, 在臺灣尚極缺乏完整之資料以前, 似可採用該 a 值, 惟最好應再校核一下, 可得到較準確之資料。如 a 值已定, 則某日作物之用水量可以 a 值乘以該

日之蒸發量即可求得。概該日之各種氣象因素已全部包括在內, 故所得之日用水量每日均不同, 其準確性較高。

本研究即利用 Hargreaves 氏之 a 值加以校正, 以果樹作為探討之對象。其他作物亦可如法使用, 以求得較準確之作物用水量及月有效雨量。

第八表 作物用水量與 A 級蒸發皿蒸發量之比值 (a 值) 之變化

作物 Crop.	生長時期 %										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
苜蓿	0.55	0.60	0.70	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.80	0.65
豆類	0.20	0.30	0.40	0.65	0.85	0.90	0.90	0.80	0.60	0.35	0.20
玉米	0.20	0.30	0.50	0.65	0.80	0.90	0.90	0.85	0.75	0.66	0.50
棉花	0.10	0.20	0.40	0.55	0.75	0.90	0.90	0.85	0.75	0.55	0.35
常綠果樹及酪梨	0.50	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.50	0.55	0.60	0.55	0.50
落葉果樹	0.20	0.30	0.50	0.65	0.70	0.75	0.70	0.60	0.50	0.40	0.20
果樹 (有覆蓋作物)	在覆蓋作物及酪梨 1.00										
高粱	0.20	0.35	0.55	0.75	0.85	0.90	0.85	0.70	0.60	0.35	0.15
穀類 (春作)	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.55	0.75	0.85	0.90	0.90	0.30
" (冬作)	0.15	0.25	0.35	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.90	0.30
葡萄	0.15	0.15	0.20	0.35	0.45	0.55	0.55	0.45	0.35	0.25	0.20
胡桃	0.30	0.35	0.55	0.70	0.75	0.75	0.75	0.65	0.55	0.30	0.15
馬鈴薯	0.20	0.35	0.45	0.65	0.80	0.90	0.95	0.95	0.95	0.90	0.90

花 稻 甜 甘 蔬	生 米 菜 蔗 菜(深根) "(淺根)	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.60	0.65	0.65	0.60	0.45	0.30
		0.80	0.95	1.05	1.10	1.20	1.30	1.30	1.20	1.10	0.90	0.50
		0.25	0.45	0.60	0.70	0.80	1.30	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
從 0.55 至 1.0 視 生 長 率 及 生 長 時 期 而 定												
		0.20	0.20	0.25	0.35	0.50	0.65	0.70	0.60	0.45	0.35	0.20
		0.10	0.20	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.55	0.45	0.35	0.30

常綠果樹之 a 值校正：

(i) 依實地調查，在本區域已有極少部份具有灌溉設備，其主要作物為果樹（枇杷、柑桔、水梨等）就其果園管理、產量及品質而言，均屬良好。現階段之灌溉管理，根據果農之經驗，於最早時期 20 天施灌一次，而一般情形約 30 天施灌一次。又據四月份的現場調查，農民所使用之灌溉下限大約近似  $\frac{1}{2}$  有效水分。

(ii) 依實地的土壤調查分析所得，土層厚度為 1.5 公尺以上，土壤質地為砂質粘壤土，其土壤水分各項常數為：

水分當量 (M.E) = 14.78%

凋萎點 (P.W.P) = 7.81%，

假比重 (As) = 1.40

由上之資料可計算土壤之最大保水能力亦即一次灌溉最大水深  $d_{max} = 48.8\text{mm}$

(iii) 依據清流站之蒸發量資料如表(二)

(iv)、作物用水量與蒸發量之比值 (a 值) 之探

討：在連續不降雨之情況下，其一次灌溉可維持 20 天

故  $\frac{d_{max}}{Cu} = 20(\text{days})$

$$\therefore \frac{0.7E_B \times a_1}{30} \times 20 = 48.8 \quad \therefore a_1 = 0.91$$

式中  $Cu =$  作物日消耗水量 (mm/day)

$E_B =$  B 級蒸發皿之蒸發量 (mm)

又一般情形一次灌溉可維持 30 天

則  $\frac{0.7 \times E_B \times a_2}{30} \times 30 = 48.8$

$$\therefore a_2 = 0.608$$

山坡地開發，其農作物係以果樹為主，但果樹為常年果樹，無法分出各生長階段之 a 值，故常綠果樹由 0.45 至 0.60 之 a 值似不太適用於臺灣山坡地，經實地調查後求得 a 值為 0.608 及 0.91，故 a 值由 0.6 至 1.00 之間係為合理之假設。

今取 a 值為 0.9，則平均作物月用水量如表(九)

第九表 平均作物月用水量表

月 份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
平均月蒸發量	49.8	62.3	69.4	80.3	106.1	87.6	110.3	100.3	93.2	92.5	73.6	51.5
平均作物月用水量	44.8	56.1	62.4	72.2	95.4	78.8	99.2	90.2	83.9	83.2	66.2	46.3

由上表可知其日尖峯用水量為 3.2 mm/day

(二) 一次最大灌溉水深

灌溉用水量其一次最大灌溉水深之決定當否，直接影響工程費用，如馬達、抽水機、管路、蓄水池等無不影響所及。因此審慎計算一次最大灌溉水深乃為灌溉系統設計之一大課題。一次最大灌溉水深受土壤滲漏、土層厚度、作物根深及土壤之各種水分常數之影響而不同，其計算可依下式求之

$$d_{max} = \frac{Pac}{100} \times A_s \times D$$

式中  $d_{max} =$  一次最大灌溉水深 (mm)

$Pac =$  土壤需灌溉之有效水分 (%)

在乾燥地區採用水分當量—永久凋萎點

在濕潤地區採用田間容水量—永久凋萎點

$A_s =$  土壤假比重

$D =$  作物根系有效深度 (mm)

果樹之根深約 1m

$d_{max}$  為一次最大灌溉水深，但在一般情形下，作物用水量不應達到永久凋萎點 (P.W.P) 方予灌溉，故土壤水分由田間容水量 (F.C) 至永久凋萎點間之多少百分率時，即給予灌溉，普通均採用  $\frac{1}{4}$ 、 $\frac{1}{2}$ 、 $\frac{3}{4}$  有效水分灌溉，而在平地以  $\frac{1}{2}$  有效水分較為實際，惟山坡地灌溉，因工程之投資、灌溉管理等問題，宜擇用  $\frac{3}{4}$  有效水分較為適當。本研究將三種有效水分處理加以分析如表(十)。

第十表 一次最大灌溉水深表

區別	土壤深度 (cm)	水分當量 M.E %	凋萎點 %	P <sub>ac</sub> %	假比重 As	一次最大灌溉水深 (mm)		
						1/4 A.M	1/2 A.M	3/4 A.M
A	0~15	23.42	10.05	13.37	1.33	19.8	13.2	6.6
	15~75	23.32	9.19	14.13	1.33	84.6	56.4	28.2
	Σ					114.4	69.6	34.8
B	0~30	27.05	14.19	12.86	1.38	39.9	26.6	13.3
	30~100	30.65	18.92	11.73	1.36	83.7	55.8	27.9
	Σ					123.6	82.4	41.2
C	0~25	22.41	8.75	13.66	1.33	33.9	22.6	11.3
	25~100	20.74	8.84	11.90	1.37	30.9	20.6	10.3
	Σ					64.8	43.2	21.6
D	0~15	26.10	13.32	12.78	1.36	19.5	13.0	6.5
	15~100	24.24	12.20	12.04	1.45	111.3	74.2	37.1
	Σ					130.8	87.2	43.6
E	0~45	21.73	10.04	11.69	1.30	51.3	34.2	17.1
F	0~20	27.33	13.13	14.20	1.35	28.8	19.2	9.6
	20~40	28.28	14.47	13.81	1.33	27.6	18.4	9.2
	40~60	27.28	13.16	14.12	1.33	28.2	18.8	9.4
	60~80	28.24	14.50	13.74	1.33	27.3	18.2	9.1
	80~100	28.75	15.94	12.81	1.31	25.2	16.8	8.4
	Σ					137.1	91.4	45.7
對照區	0~100	14.78	7.81	6.97	1.40	73.2	48.8	24.4

### 五、月有效雨量

山坡地之有效雨量，為左右灌溉期距與水深之重要因子，故在灌溉工程之設計上，需先對有效雨量作一較為合理之估計，才能降低工程投資及水源利用合理化。影響山坡地有效雨量之主要因素計有作物 (Crop)、土壤 (Soils)、降雨 (Rainfall)、地形 (Terrain)、栽培制度與耕作方法 (Crop Patterns and Methods of Cultivation) 等。在山坡地種植果樹或旱作，其生長過程中所需之水分在無灌溉設備時皆取之於有效雨量。本區之月有效雨量之試算採用無灌溉時逐日記帳方式求之，作物用水量之最大灌溉水深再加上 A 級皿蒸發量之資料，即可計算有效雨量值。

計算方法：(1) 確定土壤中剩餘可取用之有效水分，由實測、假定或上期結餘得來，一般均假設開始計算時土壤水分為一次灌溉最大水深，最好選定在大雨之後，以減少假設與實際情形之差異來減低誤差。

(2) 根據蒸發量之記錄，將每日之蒸發量乘以 a 值即得作物該日之用水量。

(3) 由前一日之結餘有效水分減去作物該日之用水量可得該日之結餘有效水分。

(4) 如該日曾有降雨，則自前一日之結餘有效水分減去該日作物用水量，加上該日之降雨量，如不超過一次最大灌溉水深時；即為該日之結餘有效水分，而該日之降雨量全部視為有效雨量；如超過一次最大灌溉水深時，該日之結餘有效水分即為一次最大灌溉水



深，其多餘之水分成爲滲漏或逕流而爲無效水分，以超出之值減去一次最大灌溉水深即爲無效雨量，故降雨量減去無效雨量即爲該日之有效雨量。

(5)在計算時，假定土壤水分在無灌溉之情況下可耗用至一  $d_{max}$ ，即至永久凋萎點，過此土壤水分即不再繼續降低，因此在表(ㄅ)中結餘有效水分欄有負值出現，唯負值不能小於一  $d_{max}$  值。

第十一表 無灌溉時有效雨量計算之算例

年	日	蒸發量 (mm)	降雨量 (mm)	作物用水量 (mm)	結餘水分 (mm)	有效雨量 (mm)
49年 5月	1	0.28	0.7	0.25	34.45	0.7
	2	0.77	0.4	0.69	34.16	0.4
	3	1.96	0.3	1.76	32.70	0.3
	4	2.87	14.6	2.58	44.72	14.6
	5	3.22	—	2.80	41.92	—
	6	3.78	—	3.40	38.52	—
	7	4.20	—	3.77	34.75	—
	8	4.27	—	3.84	30.91	—
	9	4.41	—	3.97	26.94	—
	10	4.06	4.1	3.66	27.38	4.1
	11	3.43	—	3.08	24.30	—
	12	3.64	—	3.27	21.03	—
	13	3.99	—	3.60	17.43	—
	14	3.29	14.2	2.96	28.67	14.2
	15	3.01	16.7	2.70	42.67	16.7
	16	2.66	—	2.39	40.26	—

17	2.52	0.3	2.26	38.30	0.3
18	1.96	7.6	1.76	44.14	7.6
19	0.07	38.6	0.06	68.00	23.92
20	0.14	63.3	0.12	68.00	0.12
21	0.07	66.7	0.06	68.00	0.06
22	0.28	0.3	0.25	68.00	0.25
23	1.75	—	1.57	66.43	—
24	3.57	—	3.21	63.22	—
25	4.41	—	3.97	59.25	—
26	2.73	—	2.45	56.80	—
27	2.66	—	2.39	54.41	—
28	0.49	19.6	0.44	68.00	14.03
29	1.75	—	1.57	66.43	—
30	0.21	11.6	0.19	68.00	1.76
31	0.49	8.8	0.44	68.00	0.44
Total			334.50		98.48

\*：上月結存

註：a=0.9

$$d_{max} = \frac{\sum d_i}{n} = 68mm$$

$$有效雨量率 = \frac{98.48}{334.50} = 29.44\%$$

(6)有效雨量率之計算：有效雨量與同時期總雨量之比，稱爲該時期之有效雨量率。亦即某時期之有效雨量即爲有效雨量率與該時期總降雨量之乘積。故有效雨量率之計算至爲重要，須有廿年以上之記錄，據以求得歷年之各該月有效雨量率而取其平均值。本研究因限於時間，僅及於建立一模式，故只求一年各月之有效雨量率，誤差很大，惟將來擴展應用時，必須作廿年以上之分析。茲將本區之月有效雨量計算結果如表(ㄅ)及圖(ㄅ)以供參考。

第十二表 月有效雨量率與月有效雨量表

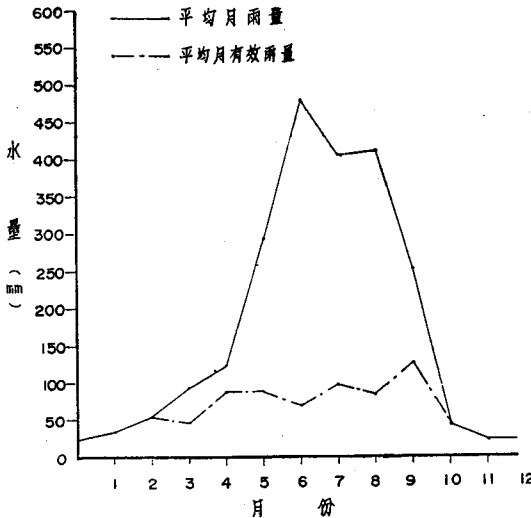
月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月雨量 (mm)	36.4	54.6	80.9	124.2	294.8	477.1	403.9	410.8	252.7	39.9	22.2	22.1
月有效雨量率 %	100	100	56.8	70.3	29.44	14.6	23.9	20.1	50.3	100	100	100
月有效雨量 (mm)	36.4	54.6	45.8	87.8	86.8	68.8	96.5	82.4	127.0	39.9	22.2	22.1

### 六、灌溉期距之決定

種植各類作物，在乾旱期間需供給充分的水量，但需要在幾日內灌溉一次，須視土壤之保水能力與作物之日尖峰用水量而定，如已實驗得有作物 consumptive use 時，可用下式求出灌溉期距。

$$灌溉期距(日) = \frac{一次最大灌溉水深(mm)}{作物日尖峰用水量(mm/day)}$$

一般山坡地大多種植果樹，經濟價值亦高，但目前對 Consumptive-use 很少有確切之實驗數值，故在估算上暫時可利用上述於第四節作物用水量與 A 純蒸發皿蒸發量之比 (a) 值之關係，求得每月之平均



圖三 平均月有效雨量

作物月用水量，進而考慮有效雨量再求出各月之灌溉需水量，即以作物月平均用水量減去月平均有效雨量得到各月之月平均灌溉需水量，如表(四)及圖(四)所示。再由一次最大灌溉水深與月平均灌溉需水量之關係求得各月之灌溉次數，可由下式表之，

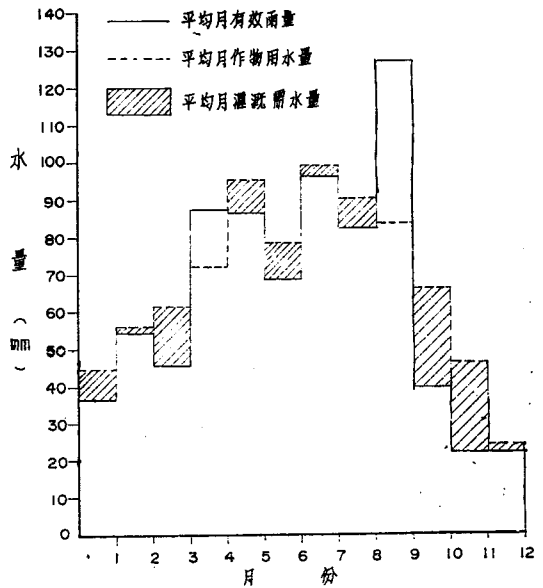
$$\text{月灌溉次數} = \frac{\text{月平均灌溉需水量}}{\text{一次最大灌溉水深}}$$

月灌溉次數即由上式求得，則灌溉期距可由各月之日數除於月灌溉次數，即得灌溉期距 (Interval)，以上為考慮有效雨量之情形而求得之灌溉期距。如不考慮有效雨量亦即完全無降雨情形時，其月平均灌溉需

水量即等於月平均作物需水量，月灌溉次數可由下式求之：

$$\text{月灌溉次數} = \frac{\text{月平均作物需水量}}{\text{一次最大灌溉水深}}$$

灌溉期距 (Interval) 亦由各月之日數除於月灌溉次數即得。月灌溉次數如表(四)。灌溉系統之設計，灌溉期距應採用一至十二月之間其最短之灌溉期距作為設計之基準，則其他各月均能到充分之時間施予灌溉。



圖四 平均月灌溉需水量

第十三表 月 灌 溉 需 水 量 表 值

a 值=0.9 (單位: mm)

月 份	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	十一	十二
平均月蒸發量	49.8	62.3	69.4	80.3	106.1	87.6	110.3	100.3	93.2	92.5	73.6	51.5
作物月用水量	44.8	56.1	62.4	72.2	95.4	78.8	99.2	90.2	83.9	83.2	66.2	46.3
月有效雨量	36.4	54.6	45.8	87.8	86.8	68.8	96.5	82.4	127.0	39.9	22.2	22.1
月灌溉需水量	8.4	1.5	16.6	—	8.6	10.0	2.7	7.8	—	43.3	44.0	24.2

第十四表 月 灌 溉 次 數 { a 欄: 考慮有效雨量  
b 欄: 完全無降雨情形

區 別	有 效 水 分 別	一 次 水 深 灌 溉 (mm)	月 份											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	1/4 A.M	114.4	a 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
			b 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1/2 A.M	69.6	a 0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
			b 1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	3/4 A.M	34.3	a 1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	2	1
			b 2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2

B	1/4 A.M	123.6	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	1 1	0 1	1 1
	1/2 A.M	82.4	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 2	0 1	0 2	0 2	0 2	1 2	1 1	1 1
	3/4 A.M	41.2	a 0 b 2	0 2	0 2	0 2	0 3	0 2	0 3	0 3	0 3	1 3	1 2	1 2
	1/4 A.M	64.8	a 0 b 1	0 1	0 1	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	1 2	1 2	1 1
C	1/2 A.M	43.2	a 0 b 2	0 2	0 2	0 2	0 3	0 2	0 3	0 3	0 2	1 2	1 2	1 2
	3/4 A.M	21.6	a 1 b 2	0 3	0 3	0 4	0 5	0 4	0 5	0 5	1 4	1 4	1 4	1 3
	1/4 A.M	130.8	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	1 1	0 1	1 1
	1/2 A.M	87.2	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 2	0 1	0 2	0 2	0 1	1 1	1 1	1 1
D	3/4 A.M	43.6	a 0 b 2	0 2	0 2	0 2	0 3	0 2	0 3	0 3	0 2	1 2	1 2	1 2
	1/4 A.M	51.3	a 0 b 1	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	1 2	1 2	1 1
	1/2 A.M	34.2	a 0 b 2	0 2	0 2	0 3	0 3	0 3	0 3	0 3	0 3	2 3	1 2	1 2
	3/4 A.M	17.1	a 1 b 3	0 4	0 4	0 5	0 6	0 5	0 6	0 6	0 5	3 5	3 4	2 3
E	1/4 A.M	137.1	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	0 1	1 1	0 1	1 1
	1/2 A.M	91.4	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 2	0 1	0 2	0 1	0 1	1 1	1 1	1 1
	3/4 A.M	45.7	a 0 b 1	0 2	0 2	0 2	0 3	0 2	0 3	0 2	0 3	1 3	1 2	1 2
	1/4 A.M	73.2	a 0 b 1	0 1	0 1	0 1	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	1 2	1 1	1 1
對照區	1/2 A.M	48.8	a 0 b 1	0 2	0 2	0 2	0 2	0 2	0 3	0 2	0 2	1 2	1 2	1 1
	3/4 A.M	24.4	a 1 b 2	0 3	0 3	0 3	0 4	0 4	0 5	0 4	0 4	2 4	2 3	1 2

### 七、大區域灌溉水量之設計

山坡地實施灌溉，在經費較為拮据時，可予扣除有效雨量來設計，可節省甚多之經費。假若經費無問題，最好採用完全無降雨情形之需要量給予灌溉，以保非

常乾旱時期之安全。灌溉區域之劃訂，可在地形圖或平面圖上，依據土壤採樣位置，利用 Thiessen Method，區劃各灌區而求得灌溉面積，如圖，總用水量及灌溉水量可由下列式子求得。本區之計算結果列如表(四)。

第十五表 灌溉總用水量與灌溉流量表

區別	有效水分別	一次最大灌溉水深 mm	灌溉面積 ha	灌溉用水量 m <sup>3</sup>	完全無降雨情形		考慮有效雨量	
					Interval (days)	Q (c.m.s)	Interval (day)	Q (c.m.s)
A	3/4 A.M	34.8	11.1	3,860	10	0.00447	15	0.00298
	1/2 A.M	67.6		7,720	15	0.00597	30	0.00298
	1/4 A.M	114.4		11,580	30	0.00447	30	0.00596
B	3/4 A.M	41.2	4.4	1,830	10	0.0021	15	0.00141
	1/2 A.M	82.4		3,660	15	0.0028	30	0.00141
	1/4 A.M	123.6		5,490	30	0.0021	30	0.00282

C	3/4 A.M	21.6	10.7	2,310	6	0.00447	15	0.00178
	1/2 A.M	43.2		4,620	10	0.00535	30	0.00178
	1/4 A.M	64.8		6,930	15	0.00535	30	0.00356
D	3/4 A.M	43.6	15.6	6,800	10	0.00787	30	0.00262
	1/2 A.M	87.2		13,600	15	0.0153	30	0.00524
	1/4 A.M	130.8		20,400	30	0.00787	30	0.00786
E	3/4 A.M	17.10	10.4	1,780	5	0.00412	10	0.00206
	1/2 A.M	34.2		3,560	10	0.00412	15	0.00275
	1/4 A.M	51.3		5,340	15	0.00412	30	0.00206
F	3/4 A.M	45.7	16.8	7,690	10	0.0089	30	0.00296
	1/2 A.M	91.4		15,380	15	0.0182	30	0.00592
	1/4 A.M	137.1		23,070	30	0.0089	30	0.00888
Σ	3/4 A.M		69	24,270		0.0319		0.0138
	1/2 A.M			48,540		0.0517		0.020
	1/4 A.M			72,810		0.0328		0.0311

$$V = \Sigma V_i = \Sigma A_i d_i$$

式中  $V_i$  = 各灌區之灌溉用水量 ( $m^3$ )

$V$  = 全灌區之總灌溉用水量 ( $m^3$ )

$A_i$  = 各灌區之面積

$d_i$  = 各灌區之一次最大灌溉水深

$$Q = \Sigma q_i = \Sigma \frac{V_i}{T_i \times 86,400}$$

式中  $Q$  = 全灌區之灌溉流量 (C.M.S)

$q_i$  = 各灌區之灌溉流量 (C.M.S)

$T_i$  = 各灌區之灌溉期距 (days)

## 八、結 論

臺灣山坡地之開發，以往均止於私有地且零星散佈。近年來之政策始轉向集中大面積或以集水區為單元之綜合開發，且政府為配合治山防洪及山地農牧資源開發政策，擬將國有森林用地解除放（領）租給農民墾殖，其先驅計劃劃已由南投事業區 6,957 公頃開始試辦，61 年度再擴大至東勢事業區 6,420 公頃及北港溪事業區 9,738 公頃，並自六十一年元月開始作業，而今後將陸續解除之面積達到 68,000 公頃，故大面積山坡地之開發事業遠景似錦。惟目前開發工作，對灌溉系統之規劃，有關土壤、水分、作物需水量、有效雨量及其工程投資均乏於研究分析，實為不太合理之現象，如有些灌溉系統設計僅大略估計某種作物

日消耗水量，就驟而進行系統設計工作，完全忽略各種氣候、土壤、作物等因素，往往造成與實際情形有相當大之差誤。為今後開發工作能作通盤之研究探討，而擇一林班解除地 69 公頃之宜農地，作各項之分析，期對作物、產量、投資方面能有適用於山坡地灌溉需要之方法。本研究或有考慮不週全之處尚多，有待以後再深入研究。茲建議下列各點：

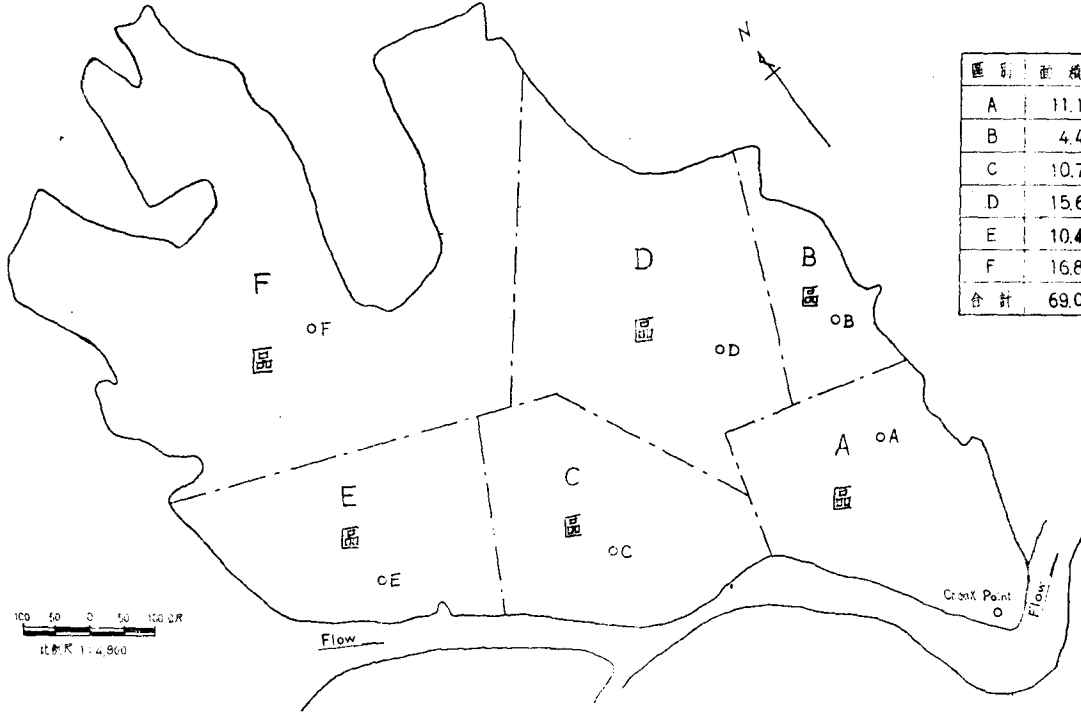
(一) 土壤調查須詳細，土壤採樣方法要適當，以減少試驗分析之誤差。

(二) 土壤滲入率大者且山坡地之坡度 (Slope) 較緩者，可採用地表灌溉或坑灌法，但亦需視覆蓋情形而定，最好配合各種水土保持處理，如等高耕作、等高栽培，尤在平台階段更佳，以減少逕流而發生冲刷現象。如滲入能大者，可採用噴洒灌溉，惟其施灌率 (Water Application Rate) 應小於基本滲入率 (Basic Intake Rate)。

(三) 作物需水量之求法，最好能以實驗方式求得而建立各種作物之需水量資料。在未建立之前，Blaney & Criddle 公式及美國哈合河氏法，尚可適用於臺灣，惟需訂出各種作物之  $k$ 、 $K$  作物係數 (Crop factor) 或  $a$  值須加以校正，則其資料亦相當可靠。

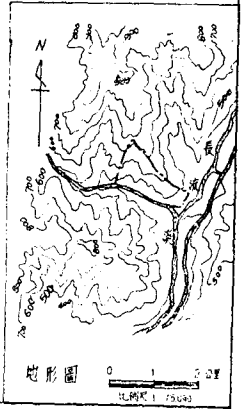
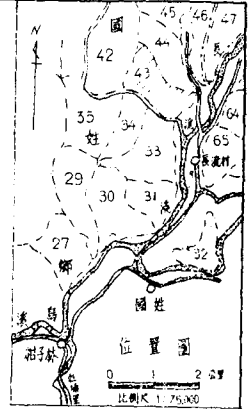
(四) 有效雨量之多寡，在山坡地灌溉極為重要，故應考慮各項相關因子，予以合理之估計，減低設計上

# 北港溪事業區第43林班地灌溉區域圖



100 50 0 50 100 公尺  
比例尺 1:4,800

區別	面積 (ha.)
A	11.1
B	4.4
C	10.7
D	15.6
E	10.4
F	16.8
合計	69.0



之誤差。

(五)山坡地灌溉之水源，大多由河流或由地下水利用抽水機輸送至山頂或高地再施用於灌溉，其動力消耗可觀，應擇較佳之方法，以減少動力消耗，宜擇有效水分灌溉較為適當。

### 九、參考資料

- (1)張建勛：灌溉與排水學
- (2)張建勛、甘俊二：作物灌溉需水量之研究
- (3)甘俊二：灌溉管理講義
- (4)甘俊二：輪作田灌溉方法之研究
- (5)農復會水利組、臺大農工系：臺灣之水稻灌溉
- (6)曹以松：電子計算機分析估算旱作及水田有效雨量之研究。
- (7)張建勛、甘俊二：烏溪中游地區灌溉需水量及水資源重分配研究報告
- (8)張建勛、甘俊二、陳益榮：嘉南地區旱作灌溉綜合試

驗研究。

- (9)張建勛、徐玉標、吳銘塘：旱地作物灌溉方法之研究
- (10)莊精銳：灌溉管理。
- (11)臺灣省農林廳山地農牧局：國有森林用地解除區分規劃調查報告。
- (12)臺灣省農林廳山地農牧局：統計年報（民國55年）。
- (13)水之江政輝、長谷部次郎、河野廣：畑地かんがいに関する研究 日本農工資料6。
- (14)大佃昇一：豊川用水畑地かんがい、1964
- (15)松林實：耕作道型斜面畑造成の實證的研究 1967
- (16)荏原製造所：ポンプの合理的な使用方法。

### 十、誌謝

本研究承蒙臺灣大學農工系張主任建勛及甘俊二副教授之鼓勵與指導，農工系施嘉昌教授之指正，及研究期間承農工系灌溉排水研究室湯松義、游俊基先生之實驗指導與插圖繪製，謹此專致衷心之謝意。

承包土木、水利工程

許連興營造廠

許連興

臺南縣佳里鎮義民街44巷3號  
電話：佳里四一二號

承包土木、水利工程

光民營造廠

王萬生

臺南縣新營鎮中華路六號  
電話：新營一二〇五號