

作物灌溉需水量之研究

(Consumptive-use Studies of Crops)

臺灣大學農工系教授兼主任

臺灣大學農工系助教

張 建 勛

甘 俊 二

在農業發達之國家，對各項灌溉問題之研究，均頗為重視。但由於各地農業環境之不同，外國之研究資料，未必可以引用於臺灣。甚多灌溉問題須就當地環境之需要而加以研究。

臺灣過去灌溉事業之發展，主要以水稻為對象。研究水稻灌溉之結果，已產生臺灣省之輪流灌溉制度。輪灌已成為近年來灌溉上一大改革。但水稻以外之其他作物灌溉，則除甘蔗外甚少研究。糖試所對甘蔗灌溉之研究，已有數十年之歷史。因此臺灣省作物灌溉之研究，除水稻與甘蔗外，對其他作物之灌溉研究，可謂尚未開始。

過去臺灣對作物灌溉之研究所以未加重視，乃由於本省各種旱田作物不予灌溉雖產量受影響，但亦能成活。但近年來，此一旱作不須灌溉之觀念已不為農業生產部門所接受。近年來農業與水利機構均已開始對旱田作物之灌溉問題加以重視。而作物之需水量乃為灌溉研究最基本而重要之問題之一。亦即是本項研究之目的。

研究作物需水量，可循各種不同之途徑。早期之試驗，不外為使用各種不同之方法實地觀測。但影響作物需水量之因素極多。實驗結果難有廣泛之適用性。加以實際觀測須根據經年累月之實驗，難以短期間內求得較具廣泛適用性之資料，因此作物需水量之研究，乃有採取另一種途徑之趨勢，研究作物需水量與氣候因素之各項相關，以為估計需水量之依據。此種關係可以證明有相當程度之確定性。而此類公式中則以 Blaney & Criddle 公式最為簡易而不需特定之儀器設備。亦可能為目前公式中應用較廣者之一。此公式所需要之氣候資料僅為氣溫與日照時間記錄，為各公式中最便於臺灣使用者。但公式中之作物系數K可能有地區性之差異，須就臺灣之各種作物予以測定。倘若從臺灣之灌溉試驗，可以產生合理之K值，則 Blaney & Criddle 公式可能用以估計臺灣各種旱地作物之需水量，此為本研究之主要目標。

Blaney & Criddle 公式：

用氣候資料為根據以估計地區性之作物需水量已有長久之歷史。1924年 Hedke 已用 Effective heat 方法估計一地區之作物需水量。Lowry & Johnson 於 1937~1940 年用類似之方法以為美國墾務局估計地區性之作物需水量。1947年墾務局之 Hargreaves 氏，根據當地之氣溫、蒸發及濕度記錄以為估計加州中部盆地之作物需水量，1948年 Thornthwaite 氏發表其方法用於美國東部之濕潤地區。同年英國之 Penman 氏發表另一較為基本而理論之公式。1955年 Halkais, Veihmeyer 與 Hendrickson 氏發表另一報告，以一對磁土製之黑白球蒸發量之差以為估計作物需水量。1960年 Munson 氏用「降雨——蒸發」指數法以估計月份或季節之作物需水量。上述公式及其他相類似公式經常見於各種研究報告。美國及美國以外之其他國家從事於是項研究者亦大不乏人。各種方法中有較為廣泛應用者，亦有特別適用於某一地區者。但利用氣候資料以為估計作物需水量之依據，已不失為一世所公認之有效途徑。

Blaney 與 Criddle 氏公式於 1945 年提出而於 1950年加以補充。本公式基於一項假定，即溫度與日照為影響作物用水之兩項最主要因素。而溫度記錄則為氣候記錄中最易獲得者。日照強度雖難有記錄但可易為日照時間。此公式在美國已有相當普遍之使用，而在臺灣則似為更便利於使用者因溫度記錄易於獲得而日照時間可以計算。

Blaney 與 Criddle 公式如下：

$$U = \sum u = K F = \sum k f \quad \text{式中}$$

k 與 K 為作物係數

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

t = 月平均溫度 (F°)

p = 每月日長時間 (小時) 與全年日長時間 (小時) 之百分數

u = 月作物用水量 (吋)

U = 全生長季作物用水量

$$F = \sum f$$

K = 全生長季作物係數

公制單位則：

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

t = 月平均溫 (C°)

上式之 f 值可以各地之氣溫記錄計算，設如各種

作物之 k 可由實驗或估計求出，而 p 值則視其緯度而為一定之數值，則作物用水量 u 或 U 可以計算。因此 Blaney & Criddle 之公式應用於臺灣，所須檢討者為式中之 k 值。假如某種作物在臺灣與美國所求出之 K 或 k 值相近或有一定之相關，則此項相關甚或可能引用於未經實驗之其他作物。在臺灣之灌溉規劃上，作物用水量之估計乃非常重要之資料。

表（一） 每月日長時間與全年日長時間百分數 (p)
Monthly percentage of daytime hours of the year

緯度 (北) Latitude (N.)	一月 Jan.	二月 Feb.	三月 March	四月 April	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 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	6.22	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

註：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。

美國西部乾旱地區，使用上式以估計作物需水量之研究報告甚多。茲擇摘錄其中之一部以與臺灣所求出之數字相比較。但美國之作物種類與臺灣未盡相同

。如苜蓿與馬鈴薯臺灣甚少種植，而花生甘藷則在美國又未有灌溉資料。下表之列出為供參考而已。

表（二） 國西部各州估計作物用水量因數 k 值表
Suggested monthly consumptive-use Coefficients (k)
for Crops in Western United States

作物及地區 Crop and Location	一月 Jan.	二月 Feb.	三月 Mar.	四月 April	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 Dec.
苜蓿 Alfafa												
Mesa, Ariz	0.35	0.55	0.75	0.90	1.05	1.15	1.15	1.10	1.00	0.85	0.65	0.45
Los Angeles, Calif.	0.35	0.45	0.60	0.70	0.85	0.95	1.00	1.00	0.95	0.80	0.55	0.30
Davis, Calif.	—	—	—	0.70	0.80	0.95	1.10	1.00	0.80	0.70	—	—
Logan, Utah	—	—	—	0.55	0.80	0.95	1.00	0.95	0.80	0.50	—	—
玉米 Corn												
Mandan, N. Dak.	—	—	—	—	0.50	0.65	0.75	0.80	0.70	—	—	—
棉花 Cotton												
Phoenix, Ariz	—	—	—	0.20	0.40	0.60	0.90	1.00	0.95	0.75	—	—
Bakersfield, Calif.	—	—	—	—	0.30	0.45	0.90	1.00	1.00	0.75	—	—
Wesleco, Tex.	—	—	0.20	0.45	0.70	0.85	0.85	0.80	0.55	—	—	—
柑桔 Oranges												
Los Angeles, Calif.	0.30	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	0.55	0.55	0.50	0.50	0.45	0.30

馬鈴薯 Potatoes													
Davis, Calif.	-	-	-	0.45	0.80	0.95	0.90	-	-	-	-	-	-
Logan, Utah	-	-	-	-	-	0.40	0.65	0.85	0.80	-	-	-	-
North Dakota	-	-	-	-	0.45	0.75	0.90	1.80	0.40	-	-	-	-
小麥 Wheat													
Phoenix, Ariz	0.20		0.80	1.10	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-
燕麥 Oat													
Scottsbluff, Nebr.	-	-	-	-	0.50	0.90	0.85	-	-	-	-	-	-

由上表可見作物用水量係數 k 不只有地區上之差異，其月份上之差異更大。至於為估計更短期間內之最高用水量當較月平均更大。故估計作物用水量若用於區域性之灌溉規劃，可能只須估計季節用水量，作

為灌溉系統之設計則或根據月用水量。至於為設計一噴灑灌溉系統則甚或可能需要最高之日用水量為根據。Blaney 氏集美國西部各州之灌溉資料參考，估計各種作物用水量係數 K 列如下表。

表（三） 美國西部各州估計作物季節用水係數 K 表

Seasonal Consumptive-use Coefficients (K)
for Crops in Western United States

作物	Crop	生長期間	Growing season	作物用水量係數 (K)▲ Consumptive-use Coeff.
苜蓿	Alfafa	前後降霜期之間	Between Frosts	0.80—0.90
香蕉	Bananas	全年	Full years	0.80—1.00
豆類	Beans	三個月	3 months	0.60—0.70
玉米	Corn	四個月	4 months	0.75—0.85
棉花	Cotton	七個月	7 months	0.60—0.70
五穀類	Small grain	三個月	3 months	0.75—0.85
柑桔	Oranges	全年	Full years	0.45—0.55
牧草	Pasture	前後降霜期之間	Between Frosts	0.75—0.85
馬鈴薯	Potatoes	三至五個月	3-5 months	0.65—0.75
水稻	Rice	三至五個月	3-5 months	1.00—1.10
甘蔗	Sugar cane	全年	Full years	0.80—0.90
烟草	Tobacco	四個月	4 months	0.70—0.80

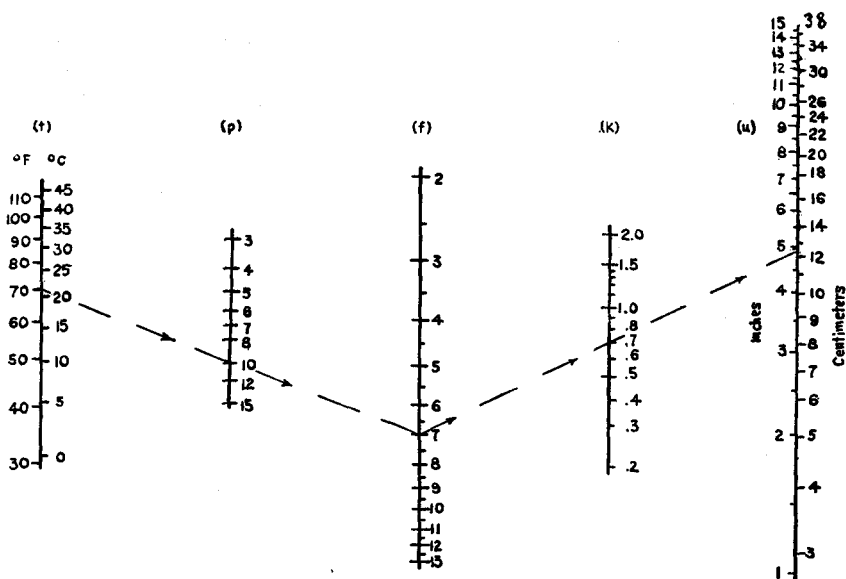
▲ K 值上限用於乾旱地區，下限用於較濕潤地區。

以上資料均為美國各地之試驗結果，均在西部各州。設如 Blaney & Criddle 之公式有廣泛之適用性，顯見亦須有適合當地情形之 K 或 k 值。美國西部地區，氣候乾旱、濕度低，Blaney 氏公式只取氣溫及日長時間兩項因素，是否符合臺灣之情形，均須加以研究。因此臺灣以往所作之灌溉試驗研究，須先加

以彙集、整理及分析。

根據上述 Blaney 氏公式 $u = kf$ ，倘當地之月平均溫度為已知，日長可由當地之緯度查得，則估計作物之正常月用水量假定用水量係數為已知，可以由圖讀出用水量 u 。

圖(1) 作物用水量 u 之估計 (p, t, k) 爲已知
Nomograph for solution of monthly consumptive-use



臺灣之灌溉研究資料：

臺灣以往之灌溉研究，主要為水稻與甘蔗。關於水稻灌溉需水量之研究已有成果。並由此而產生目前臺灣之水稻輪灌制度。再進一步之節水試驗亦在進行中。但水稻輪灌制度已在普遍推廣中。甘蔗灌溉之研究，則糖試所已進行歷有年所，不乏可用之資料。但水稻與甘蔗以外之其他旱地作物灌溉，過去並未進行。近數年方予以重視。此類有關研究報告約有四、五十篇。有經刊印者，亦有未經發表者。但各項灌溉試驗有不同之目的，其中有部份可以供研究作物用水量之參考。若干種作物如花生、大豆、甘藷等灌溉試驗較多，雖有關於作物生長期間灌溉若干次及灌溉水量之記錄，但無土壤水分、雨量與平均氣溫之連續記錄。不能用以分析作物對土壤水分之連續消耗情形，亦即難以據為計算生長期間之月份 k 值。但嘉南學甲地區及臺灣大學兩地所作之實驗則對上述各項有詳細記錄。且其中若干項實驗其目的即為研究作物之用水量，可以用為計算 K 值。

嘉南學甲與臺大之灌溉需水量試驗，過去三年來共有52項試驗，有溫室盆栽與田間小區試驗之各種作物。亦有在滲透計栽培者。嘉南試驗主要以當地作物為對象。臺大試驗則作物範圍較廣，而溫室盆栽及滲透計栽培較多。此項試驗目前尚在進行中，但過去三年已有之資料，已可供初步之分析研究。

筆者過去三年曾與嘉南水利會合作，在臺南縣學甲鄉進行旱作灌溉研究。目的在研究當地旱田作物之灌溉需水量以比較目前三年輪作制與一假設之二年五作栽培之灌溉效益，嘉南平原為本省之主要旱作地區，過去旱作不予灌溉，產量並不理想，常受乾旱之威脅。過去已完成一次二年五作之實驗，第二次二年五作在進行中，第一次二年五作完成之資料。用田間測得之用水量 u 以計算出 K 值。二年五作栽培為：秋作花生——春作玉米——夏作大豆——秋作甘藷——春作黃麻。

上列五作中大豆栽培期在雨季，灌溉效果不顯著，且以颱風影響，產量不佳。黃麻栽培期為52年4月8日~8月16日雖灌溉效果甚為顯著，但亦受時常降雨之影響，未能在一較長而安定狀態之下，連續觀測土壤水分之消耗情形，故此兩項記錄均不採用。其他三種作物，甘藷長期乾旱，有最完整之記錄。花生與玉米則均有降雨，實驗中，土壤水分每週與灌溉前後均加以觀測。土壤之水分當量平均為17.7%，降雨及灌溉後，土壤水分高於水分當量表示土壤水分尚未在安定狀態，其水分降低並非完全由於作物消耗。故降雨或灌溉後一週之土壤水分測定不予採用。

上項試驗，分五水分處理，五重覆。計算 K 值取其產量高而最合於實際灌溉配水管理之灌溉處理。下表之實驗結果。花生灌溉之處理C，玉米灌溉處理B，甘藷灌溉處理C，用為分析 K 值之根據。

表(四) 花生栽培期中田間需水量、生育調查及產量調查記錄表

Irrigation, growth observation and yield of peanut

處理別 Treatment	氣候狀況 Climate			降雨量 Rainfall (mm)	灌溉次數 No. irrigation 數	灌溉水量 Irrigation water (mm)	生育調查 Growth of observation		乾莢果重 Weight of shell kg/ha 公斤/公頃	指 Index 數	乾莖葉重 Weight of top growth kg/ha 公斤/公頃	指 Index 數	種仁重 Weight of seed kg/ha 公斤/公頃	指 Index 數	剝實率 Ratio of seed 率 (%)	指 Index 數	種子數 No. of seed 粒 (100g)
	晴 Clear (日)	陰 Cloudy (日)	雨 Rain (日)				分枝數 Tiller- ing (支)	株高 Height (cm)									
(A) 無灌溉區 No irrigation	92	—	20	326.6	0	0	6.6 7.3 7.2 6.6 7.3	53.7 53.5 52.3 47.3 58.7	2,145 2,250 2,275 2,230 2,105		3,100 3,060 2,995 2,910 3,155		1,590 1,610 1,630 1,640 1,525		74.1 71.6 74.9 73.5 72.4		224 230 220 228 220
平均 Average	92	—	20	326.6	0	0	7.0	53.1	2,181	100	3,044	100	1,599	100	73.3	100	224.4
(B) 一次灌溉區 One irrigation	92	—	20	236.6	0	0	6.3 6.6 6.9 8.3 7.0	50.5 52.9 51.6 54.6 51.8	2,280 2,245 2,125 2,135 2,100		2,929 3,055 2,980 3,150 3,020		1,665 1,665 1,555 1,565 1,540		73.0 73.7 73.2 73.3 73.3		230 224 232 224 226
平均 Average	92	—	20	326.6	0	0	7.0	52.3	2,177	99.8	3,025	99.3	1,598	100	73.3	100	227.2
(C) 三次灌溉區 3 Irrigation	92	—	20	326.6	2	140.0	6.4 6.8 7.1 7.9 7.3	60.4 54.2 49.7 54.9 62.8	2,690 2,570 2,740 2,585 2,540		3,180 3,030 3,152 3,080 3,250		1,940 1,845 1,945 1,830 1,860		2.17 1.87 1.07 0.87 3.87		228 236 238 232 234
平均 Average	92	—	20	326.6	2	140.0	7.1	56.4	2,625	120	3,091	102	1,884	118	1.89	77.8	231.6
(D) 3/4 有效水分區 3/4 Available moisture	92	—	20	326.6	10	187.2	6.4 7.5 6.9 7.4 7.3	54.2 61.6 52.6 52.1 68.3	2,355 2,345 2,340 2,365 2,445		3,120 3,260 3,090 2,955 3,330		1,690 1,640 1,700 1,670 1,715		71.8 69.9 72.6 70.6 70.1		246 264 240 284 266
平均 Average	92	—	20	326.6	10	187.2	7.1	57.8	2,370	109	3,150	103	1,683	105	71.0	95.9	252.8
(E) 1/4 有效水分區 1/4 Available moisture	92	—	20	326.6	2	72.0	6.7 6.6 6.7 7.5 7.4	60.7 56.9 47.1 48.1 58.1	2,290 2,245 2,325 2,215 2,375		3,180 3,055 2,940 3,130 3,105		1,670 1,615 1,705 1,580 1,760		72.9 71.9 73.4 71.3 74.1		228 232 220 230 224
平均 Average	92	—	20	326.6	2	72.0	7.0	56.2	2,290	105	3,080	101	1,666	104	72.8	99.3	226.8

表(五) 玉米栽培田間需水量、生育及產量調查記錄表

Irrigation, growth observation and yield of Corn

處理別 Treatment	氣候狀況 Climate			降雨量 Rainfall (mm)	需水量 Water requirement					第一次調查 1st observation (30 day) (播種後30天)		第二次調查 2nd observation (60 day) (播種後60天)		第三次調查 3rd observation (90 day) (播種後90天)		收穫調查 Crop yield			
	晴 Clear (日)	陰 Cloudy (日)	雨 Rain (日)		有效雨量 Available Rainfall (mm)	地盤用水量 Land preparation (mm)	灌溉水量 Irrigation (mm)	灌溉次數 No. of irrigation	合計 Total	株高 Height (cm)	葉數 Leaf (片)	株高 Height (cm)	葉數 Leaf (片)	株高 Height (cm)	葉數 Leaf (片)	種子重 Seed (kg/ha)	指數 Index (%)	莖葉重 Weight of top growth (kg/ha)	指數 Index (%)
(A) 無灌溉區 No irrigation	78	5	15	171	171	60	0	0	231	55.5 45.9 44.0 44.3 49.8	6.9 6.5 6.4 6.5 6.4	227.3 216.6 227.6 211.9 233.5	11.3 11.8 11.4 11.7 11.2	232.5 228.7 235.1 226.2 238.2	10.0 10.7 10.4 10.5 10.2	4,045 3,990 4,170 4,035 4,110		6,150 6,075 6,175 6,050 6,225	
平均 Average	78	5	15	171	171	60	0	0	231	48.6	6.5	223.8	11.5	232.2	10.4	4,070	100	6,135	100
(B) 一次灌溉區 One irrigation	78	5	15	171	171	60	80	1	311	49.9 53.2 52.7 46.7 49.2	6.7 6.6 6.8 6.3 6.9	226.5 235.9 230.2 222.9 218.5	11.7 11.5 11.0 10.9 11.6	231.1 241.8 235.0 235.7 226.1	10.2 10.3 10.2 9.7 9.6	4,640 4,950 4,710 4,735 4,840		6,250 6,360 6,310 6,340 6,225	
平均 Average	78	5	15	171	171	60	80	1	311	50.3	6.7	226.8	11.3	235.9	10.0	4,775	117.3	6,297	102.6
(C) 二次灌溉區 2 irrigation	78	5	15	171	171	60	50	1	281	58.9 49.9 46.9 48.6 48.6	7.0 6.8 6.7 6.5 6.2	241.6 223.0 219.3 231.9 225.1	11.9 12.0 11.4 11.4 11.2	250.9 228.1 227.9 235.5 230.0	11.1 11.0 11.1 10.0 9.8	4,935 4,550 4,580 4,640 4,870		6,340 6,200 6,225 6,300 6,225	
平均 Average	78	5	15	171	171	60	50	1	281	50.6	6.6	228.2	11.6	234.5	10.6	4,715	115.8	6,258	102.0
(D) 1/2有效水分 1/2 Available moisture	78	5	15	171	171	60	72	3	303	50.5 58.2 56.2 45.9 54.8	6.7 7.1 7.1 6.8 6.9	224.3 236.2 234.1 213.6 230.5	11.7 11.7 10.8 11.8 11.8	230.0 238.2 235.9 228.4 231.8	10.5 10.1 10.3 10.7 9.6	4,615 4,720 4,890 4,650 4,925		6,200 6,225 6,250 6,150 6,200	
平均 Average	78	5	15	171	171	60	72	3	303	53.1	6.9	227.7	11.5	232.9	10.2	4,760	117.0	6,205	101.1
(E) 1/4有效水分 1/4 Available moisture	78	5	15	171	171	60	72	2	303	53.4 53.4 43.7 52.3 48.5	6.7 6.7 6.4 6.6 6.1	228.5 228.7 211.2 228.9 224.2	11.3 11.0 11.5 10.8 11.2	233.6 235.7 229.4 236.5 229.4	10.3 9.9 10.9 6.9 10.5	4,520 4,575 4,570 4,725 4,710		6,200 6,225 6,150 6,225 5,175	
平均 Average	78	5	15	171	171	60	72	2	303	50.4	6.5	224.3	11.2	232.9	10.3	4,620	113.5	6,195	101.0

表(六) 甘藷栽培田間需水量、生育情況及產量調查記錄表
Irrigation, growth observation and yield of sweet potatoes

處理別 Treatment	氣候狀況 Climate			降雨量 Rainfall (mm)	需水量 Water requirement					第一次生育調查 1st growth observation (30 day) (播種後30天)		第二次生育調查 2nd growth observation (60 day) (播種後60天)		第三次生育調查 3rd growth observation (90 day) (播種後90天)		第四次生育調查 4th growth observation (120 day) (播種後120天)		第五次生育調查 5th growth observation (150 day) (播種後150天)		收穫調查 Crop yield			
	晴 Clear (日)	陰 Cloudy (日)	雨 Rain (日)		有效雨量 Available Rainfall (mm)	整地用水量 Land preparation (mm)	灌溉水量 Irrigation (mm)	灌溉次數 No. of irrigation	合計 Total	蔓長 Length (cm)	分枝數 Tillering (枝)	蔓長 Length (cm)	分枝數 Tillering (枝)	蔓長 Length (cm)	分枝數 Tillering (枝)	蔓長 Length (cm)	分枝數 Tillering (枝)	蔓長 Length (cm)	分枝數 Tillering (枝)	甘藷葉重 Weight of top growth (kg/ha)	指數 Index (%)	甘藷鮮果重 Weight of sweet potato (kg/ha)	指數 Index (%)
(A) 無灌溉區 No irrigation 平均	142	17	11	52.5	52.5	60	0	0	112.5	28.1 26.3 27.2 26.0 28.7	16.7 16.4 14.5 14.8 15.9	48.6 44.9 46.3 44.1 48.7	26.9 26.6 26.7 26.9 26.5	57.9 56.5 57.2 55.2 57.4	27.1 27.2 28.1 27.1 27.3	52.9 49.3 52.9 48.3 52.4	16.3 17.2 17.7 17.9 17.1	51.9 49.5 52.5 48.8 51.5	16.1 16.7 17.7 17.4 16.9	6,240 5,860 6,095 5,385 5,970		11,100 9,860 10,750 9,320 9,470	
(B) 一次灌溉區 One irrigation 平均	142	17	11	52.5	52.5	60	60	1	172.5	26.9 26.2 26.0 26.7 25.0	13.8 15.4 14.1 14.3 15.0	46.6 45.9 45.7 46.2 44.3	24.8 25.9 25.1 24.2 26.4	59.2 58.6 58.2 58.6 56.3	27.1 28.2 29.7 27.2 29.0	56.9 56.7 55.9 57.1 55.2	23.3 22.4 23.8 22.0 22.6	64.1 63.4 61.9 64.0 61.7	23.5 23.6 22.9 22.6 23.5	10,335 10,290 10,160 10,205 9,630		14,900 16,150 15,420 14,530 14,310	
(C) 二次灌溉區 2 Irrigation 平均	142	17	11	52.5	52.5	60	120	2	232.5	27.1 26.3 24.4 25.2 27.4	15.4 14.9 15.5 14.9 15.9	50.1 48.4 46.8 47.5 49.8	27.7 27.6 27.7 27.1 26.6	60.0 58.7 57.4 57.5 59.0	29.9 29.5 28.6 28.7 27.7	59.4 57.9 57.4 57.2 59.2	23.8 24.6 23.9 22.8 23.4	66.3 64.5 63.8 63.5 64.4	24.5 24.7 23.1 23.5 24.8	11,040 10,865 10,540 10,330 10,770		17,100 15,620 16,170 16,720 16,450	
(D) 1/4有效水分區 1/4 Available moisture 平均	142	17	11	52.5	52.5	60	144	6	256.5	24.6 26.2 26.7 25.7 25.0	13.9 13.1 14.9 13.8 14.9	47.6 48.1 49.4 47.2 48.9	26.7 26.1 28.8 27.8 28.2	58.4 59.8 60.6 58.1 59.5	28.7 28.4 29.4 28.2 30.0	56.7 58.7 60.4 57.2 58.9	23.8 23.1 23.2 23.2 24.3	62.4 65.8 67.7 63.5 66.5	23.5 23.7 23.2 23.8 24.5	10,835 11,070 11,475 10,980 11,220		15,830 16,120 17,010 16,030 16,280	
(E) 1/4有效水分區 1/4 Available moisture 平均	142	17	11	52.5	52.5	60	144	4	256.5	26.8 25.7 26.7 26.3 26.4	14.9 13.4 16.5 15.0 13.9	47.9 46.1 48.3 46.8 47.1	25.7 25.8 27.3 26.3 26.3	59.3 57.4 59.7 58.6 58.2	28.4 27.0 29.6 28.4 28.6	59.6 55.7 59.1 58.1 57.8	23.8 22.9 22.5 22.8 23.4	66.8 65.4 57.1 63.9 65.2	23.7 23.4 23.5 23.2 24.2	11,060 11,145 11,425 10,740 10,945		17,250 16,970 15,580 16,550 16,540	

根據上表及觀測實驗田中土壤水分變化曲線，可耗受降雨及灌溉後短暫影響之觀測值均不列入。下表以分別摘出可以用於估計用水量之資料。土壤水分消耗為花生、玉米、甘藷三項試驗之用水量計算。

表（七） 學甲花生灌溉試驗之作物消耗水量計算
Computed consumptive-use of Peanut

栽 培 日 期 8月21日~12月11日 Crop period Aug. 21-Dec.11	8月21日 8月 Aug.	9月 Sept.					10月 Oct.					11月 Nov.			12月 Dec. 12月11日					
種 後 週 數 Week after planting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
雨 量 (mm) Rainfall	169.9	11.8	50.7	43.2	9.5	15.5							26.0							
土 壤 水 分 (%) Soil moisture							23.7	18.6	14.6	11.7	9.2	17.5	18.6	15.4	13.5					
一週間水分消耗 (%) Weekly moisture consumed									4.0	2.9	2.5			3.2	1.9					
水分消耗 (mm/day) Moisture consumed									5.3	3.85	3.32			4.25	2.52					

備註：花生灌溉取 C 處理。下種前，播種後 40 天及 80 天各灌 70mm 品種為臺南 6 號。但種前及種後 7 週均因雨量豐足，未予灌溉，7 週以後方觀測土壤水分。7 週以前土壤水分均在保水當量以上。灌溉土深 60cm As=1.55 (假比重)

表（八） 學甲玉米灌溉試驗之作物消耗水量計算
Computed consumptive-use of Corn

栽 培 日 期 2月27日~6月5日 Crop period Feb. 27-June 5	2月27日 2月 Feb.	3月 Mar.				4月 April.					5月 May.			6月 June. June 5	
種 後 週 數 Week after planting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
土 壤 水 分 (%) Soil moisture	16.7	15.2	14.2	21.0	17.8	14.2	12.8	17.1	20.5	14.3	11.1	8.7	12.2	8.8	
雨 量 (mm) Rainfall				53.5	18.0		50.5						20.3		
一週間水分消耗 (%) Weekly moisture consumed		1.5	1.0			3.6					3.2	2.4		3.4	
水分消耗 (mm/day) Moisture consumed		1.99	1.33			4.78					4.25	3.18		4.52	

備註：玉米灌溉取 B 處理，播種後 58 天開花期灌一次 80mm。51 年 2 月 27 日種 6 月 5 日收，共 98 天。品種為臺南 5 號雜交玉米。灌溉土深 60cm。

表(九) 學甲甘藷灌溉試驗之作物消耗水量計算
Computed consumptive-use of Sweet potatoes

栽 培 日 期 10月13日~4月1日 Crop period Oct. 13-April 1	10月13日	10月 Oct.	11月 Nov.					12月 Dec.				
種 後 週 數 Week after planting	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
土 壤 水 分 (%) Soil moisture	20.4	19.1	18.0	16.9	15.6	14.1	12.7	20.5	17.9	15.2	13.2	12.0
雨 量 (mm) Rainfall												
一 週 間 水 分 消 耗 (%) Weekly moisture consumed		1.3	1.1	1.1	1.3	1.5	1.4		2.6	2.7	2.0	1.2
水 分 消 耗 (mm/day) Moisture consumed		1.73	1.46	1.46	1.73	1.99	1.86		3.45	3.58	2.65	1.59

栽 培 日 期 10月13日~4月1日 Crop period Oct. 13-April 1	1 月 Jan.			2 月 Feb.				3 月 Mar.				4月1日
種 後 週 數 Week after planting	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
土 壤 水 分 (%) Soil moisture	11.4	10.8	18.3	15.8	15.5	14.1	13.2	11.7	10.8	9.9	9.4	16.9
雨 量 (mm) Rainfall												36.7
一 週 間 水 分 消 耗 (%) Weekly moisture consumed	0.6	0.6			0.3	1.4	0.9	1.5	0.9	0.9	0.5	
水 分 消 耗 (mm/day) Moisture consumed	0.80	0.80			0.40	1.86	1.19	1.99	1.19	1.19	0.66	

備註：甘藷灌溉取 C 處理，播種後50天及100天各灌一次 60mm。51年10月13日播種，52年4月1日收共 170天。
灌溉增產莖葉 81.2%，甘藷 62.5%。

上表計算花生、玉米及甘藷三種作物之用水量，以甘藷包括全部生長期間，資料最完整。田區試驗受降雨之影響，花生、玉米均有部份資料不能用為依據。月份之 u 值，只可由該月內之週平均乘以當月日數。然後根據月平均溫度 t 及 p 值算出 f。最後乃由

$u = kf$ 而算出各種作物之 k 值。下表為嘉南學甲試驗之月平均溫度。tp 值計算取北緯 23°，

$$f = p \left(\frac{45.7t + 813}{100} \right)。$$

表(十) 學甲旱作灌溉實驗之月平均溫度及 p 與計算之 f 值
Mean monthly temperature & p and computed f

作 物 Crop	日 期 Date	天 數	平 均 溫 (°C)	p	f	附 註
秋 作 花 生 Peanut	9月18日—30日 Sept. 18 30	13	28.5	8.30	175.5	50年8月21日種，12月11日收。灌溉處理在第八週開始。
	10月1日—31日 Oct. 1 31	31	25.8	8.11	161.6	
	11月1日—30日 Nov. 1 30	30	22.8	7.47	138.4	
	12月1日—11日 Dec. 1 11	31	18.5	7.51	124.6	

春作玉米 Corn	2月27日—28日 Feb. 27 28	1	16.8	7.20	123.5	51年2月27日種6月5日收。
	3月1日—31日 Mar. 1 31	31	19.5	8.41	143.2	
	4月1日—30日 April 1 30	30	22.9	8.59	159.6	
	5月1日—31日 May 1 31	31	29.7	9.26	200.9	
	6月1日—5日 June 1 5	5	32.1	9.15	208.5	
秋作甘藷 Sweet potatoes	10月13日—31日 Oct. 13 31	18	24.4	8.11	156.3	51年10月13日種，52年4月1日收。
	11月1日—30日 Nov. 1 30	30	22.1	7.47	136.2	
	12月1日—31日 Dec. 1 31	31	19.0	7.51	126.2	
	1月1日—31日 Jan 1 31	31	13.5	7.68	109.8	
	2月1日—28日 Feb. 1 28	28	16.4	7.20	112.5	
	3月1日—31日 Mar. 1 31	31	20.9	8.41	148.6	
	4月1日 April 1	1	27.5	8.59	177.7	

由以上各表之數值可以算出三月份 u 及表(十) 及秋作甘藷之月份 K 。如表(十一)：
算出之 f 值可以計算嘉南地區之秋作花生，春作玉米

表(十一) 嘉南學甲作物用水量計算 k 值 Computed k value

作物 crop	計算數值 Crop Computed value	月 month 份											
		一月 Jan.	二月 Feb.	三月 Mar.	四月 April	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 Dec.
花生 Peanut	u										128.8	118.6	78.1
	f										161.6	138.4	124.6
	k										0.79	0.82	0.63
玉米 Corn	u			51.5	143.4	123.4							
	f			143.2	159.6	200.9							
				0.359	0.90	0.614							
甘藷 Sweet potatoes	u	32.9	58.0	39.0							49.4	51.0	87.4
	f	109.8	112.5	148.6							156.3	136.2	126.2
	k	0.300	0.337	0.262							0.317	0.375	0.693

臺灣之秋作花生八月播種十二月收。八、九兩月雨期末過，而十二月接近收穫期，故灌溉期為十、十一月兩月。在該兩月中之平均 K 值為 0.81，似為合理之估計。但美國西部灌溉區，無花生之資料，無從比較。

春作玉米則二月播種六月初收。此時正當旱季。三、四、五 3 個月中， k 最小 0.359，最大 0.90，平均為 0.634。玉米之 k 值較高。四月間之玉米已成長，日照漸長，氣溫漸高。用水之最高峯，乃表示其抽穗開花期均在四月。

甘藷栽培期全在旱季，而外國無灌溉資料足供比較。月份 k 值最低 0.262，最高 0.693，平均 K 為 0.377。用水最高月份顯為塊根形成期，而諸蔓亦生長最盛。一月以後氣溫較低，三月接近收穫，莖葉較少，用水最低。但有一可供參考之事實，即臺灣裡作甘藷，乾早期長而用水不多。故學甲灌溉實驗所給予二次灌溉已可達最高產量。初期生長應可利用雨期所保留土壤中之水分。實施灌溉期乃在一、二月之間與一月各一次。證之土壤水分消耗情形，及灌溉實驗之結果，可見相當吻合。

四年來作物需水量試驗結果：

以上三項作物需水量之田區試驗結果已依照 Blaney & Criddle 氏方法算出其 k 與 K 值。此種試驗四年來共在臺大與學甲進行 52 項之多。其中包括多種作物。分別在溫室、滲透計及田間試區進行。溫室試驗均為盆栽。作物生育情形與田區有不同程度之差異。土壤水分之測定方法溫室用秤重法，每天秤其消耗之水分。而在田區及滲透計則用烘乾法。因此溫室之試驗結果與田區及滲透計只可互為參考。但對作物生育期間消耗水分不同之一般趨勢，仍可有明顯之表示。溫室栽培不受降雨之影響，而作物根系分佈在田間雖有確實之範圍，測定土壤水分於 25cm 深度不能確定為絕對之代表性。但歷時四年之灌溉試驗，耗費不少之時間、金錢與人力。各項詳細記載，歸納整理，工作艱鉅。為使此得來非易之試驗結果有應用上之價值。故將其全部整理分析，用 Blaney & Criddle 公式，算出其 k 與 K 值，列如下之各表。表中之數值，其計算方法，全照以上三種作物之計算。為節省篇幅只將計算之結果彙列於表（十一～十五）。

討 論

本報告包括 52 項作物之田間灌溉實驗結果。

Blaney & Criddle 公式，在求各種作物之 K 與 k 值以便從當地氣候記錄估算作物需水量，用為灌溉規劃之依據。在美國一般作物之 K 或 k 值，已由實驗求出。而 Blaney 氏公式已在普遍應用。全季節之 K 值可用為區域性之用水規劃，而月份之 k 值則可供配水及系統設計之參考。但上述三種作物之分析，已可顯見臺灣之農業環境與美國大不相同。Blaney 氏報告所引用美國西部各州所估計之 k 值，與臺灣頗有出入。因此更增加在臺灣進行此項研究之必要。

臺灣旱地作物之栽培環境與美國不同，因而影響其 k 值亦有差異。其原因可有如下較顯著之點：

1. 臺灣旱田作物多在旱季栽培，而臺灣雨期為夏季。即使栽培旱作，但灌溉之需要不大，灌溉季節大體上為秋作之後期，冬作之全期與春作之前期。

2. 秋、冬兩作，包括大面積之冬季裏作，生長期氣溫漸低，日照較短。冬作收穫期氣溫開始回升但接近收穫期用水較少。春作收穫期已近雨季，種植初期溫度低植株較小。用水以中期為最高。

3. 臺灣之作物之集約栽培，一年多作。因栽培期之不同，對用水量之影響頗大。

根據以上之實驗結果，可以歸納如下：

1. 秋作因雨期末過及土壤保留水分，灌溉期較短，種後氣溫漸低，日照漸短但作物漸成長，需水量之增減有互相抵消之趨勢，故 k 值變化幅度較小。秋作花生可稍示此種情形。

2. 冬作全期均屬旱季。但種後作物成長而氣溫及日照漸短。而初春氣溫回升又接近收穫期，故冬作 k 值變化亦應較小，甘藷試驗可為明證。但甘藷用水量頗低，此或為作物之特性。

3. 春作種植後氣溫及日照漸增，作物亦成長， k 值之變化大理所當然，可以玉米為證。但臺灣雜交玉米生長期只 3 個多月，美國則 4 至 5 個月。故不易表示用水量之連續消長趨勢。且各種作物有用水較多之特殊生長時期。可能為本項試驗四月間 k 值特高之原因之一。

4. 由上之試驗，可見臺灣之旱作灌溉在秋冬旱季，同樣作物可能較美國之 k 值為低。但臺灣氣候與美國西部灌溉區比較，濕度較大、雲量多，亦可能影響 k 值。在未能將各項可能有關係隔離控制之前。只能視作田間之綜合因素。

5. 由於有上述之影響因素，臺灣之作物估計 K 或 k 值，似須指明為春作或秋作，因多種作物可以在不同季節栽培，其 k 值可能不同。

表(十二) 田區作物需水量試驗
Crop consumptive-use studies and monthly k in field plots

種類 Crop	作物 Crop		水分狀況 Soil moisture	計算數值 Computed Value	月 份 Month											
	期作 Season	地點 Location			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
甘 薯 Swe- et po- tato	51年 秋作 1962 Aut- umn	學 甲 試驗田 Shirt chia	1/2有效 水分	u	32.9	38.0	39.0	—	—	—	—	—	—	49.4	51.0	87.4
			1/2	f	109.8	112.5	148.6	—	—	—	—	—	—	156.3	136.2	126.2
			A.M.	k	0.30	0.34	0.26	—	—	—	—	—	—	0.32	0.38	0.69
	53年 秋作 1964 Aut- umn	學 甲 試驗田 Shirt chia	1/2有效 水分	u	30.2	13.6	—	—	—	—	—	—	82.7	84.0	56.3	49.0
			1/2	f	112.5	118.8	—	—	—	—	—	—	177.9	165.8	130.8	119.4
			A.M.	k	0.27	0.11	—	—	—	—	—	—	0.46	0.51	0.43	0.41
	52年 秋作 1963 Aut- umn	學 甲 示範田 (一) Shirt chia	二次灌 溉處理	u	46.7	22.1	41.66	31.2	—	—	—	—	—	—	26.1	58.1
				f	123.9	112.2	146.5	161.0	—	—	—	—	—	—	6.28	142.5
				k	0.38	0.20	0.28	0.19	—	—	—	—	—	—	0.18	0.46
米 Corn	52年 秋作 1963 Aut- umn	學 甲 示範田 (二) Shirt chia	一次灌 溉處理	u	23.5	55.5	—	52.5	—	—	—	—	—	—	31.1	30.9
				f	123.9	112.2	146.5	177.8	—	—	—	—	—	—	62.8	142.5
				k	0.19	0.50	—	0.30	—	—	—	—	—	—	0.22	0.24
	52年 秋作 1963 Aut- umn	學 甲 示範田 (三) Shirt chia	一次灌 溉處理	u	14.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31.5	45.1
				f	123.7	112.8	—	—	—	—	—	—	—	—	153.0	142.5
				k	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.21	0.32
	51年 春作 1962 Spring	學 甲 試驗田 Shirt chia	一次灌 溉處理	u	—	—	51.5	143.4	123.4	—	—	—	—	—	—	—
				f	—	—	143.2	159.6	200.9	—	—	—	—	—	—	—
				k	—	—	0.36	0.90	0.61	—	—	—	—	—	—	—
生 豆 Bean	52年 秋作 1963 Aut- umn	學 甲 示範田 Shirt chia	一次灌 溉處理	u	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				f	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
				k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	52年 秋作 1963 Aut- umn	學 甲 示範田 Shirt chia	一次灌 溉處理	u	69.0	57.3	—	—	—	—	—	—	—	—	102.9	60.9
				f	123.9	108.2	—	—	—	—	—	—	—	—	46.9	142.5
				k	0.56	0.53	—	—	—	—	—	—	—	—	0.72	0.48
	50年 秋作 1961 Aut- umn	學 甲 試驗田 Shirt chia	二次灌 溉處理	u	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	128.8	113.6
				f	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	161.6	138.4
				k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.79	0.82
大 豆 Bean	53年 春作 1964 Spring	學 甲 試驗田 Shirt chia	1/2有效 水分	u	—	—	64.6	104.1	101.3	—	—	—	—	—	—	—
			1/2	f	—	—	104.0	177.8	191.5	167.5	—	—	—	—	—	—
			A.M.	k	—	—	0.62	0.59	0.53	—	—	—	—	—	—	—
	53年 秋作 1964 Aut- umn	肥灌 試驗田 Shirt chia	1/2有效 水分	u	—	—	—	—	—	—	—	—	82.1	142.2	16.0	—
			1/2	f	—	—	—	—	—	—	—	—	118.0	169.0	130.5	11.8
			A.M.	k	—	—	—	—	—	—	—	—	0.70	0.84	0.13	—

註：田區試驗。

Experiment in field plots.

表(十三) 滲透計作物需水量試驗

Crop consumptive-use studies and monthly k in Lysimeter

種類 Crop	作物 Crop			計算 數值 Computed value	月 Month												份	
	期作 Season	地點 Location	水分狀況 Soil moisture		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
大豆 Bean	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	不灌溉 處理 Non irrigation	u f k	—	—	—	—	—	—	—	21.0	109.0	70.7	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (粘土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	24.0	121.9	80.6	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32.2	115.3	150.2		
花生 Peanut	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/4有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
小麥 Wheat	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	32.1	113.9	132.7	170.5	—	—	—	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	128.3	191.5	197.5	216.0	—	—	—	—	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	0.25	0.59	0.67	0.79	—	—	—	—	—		
大麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	19.1	81.3	82.3	90.9	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	100.1	184.8	164.5	154.0	55.1		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	0.19	0.44	0.50	0.59	—		
小麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	22.0	94.2	95.4	54.2	—		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	100.1	184.8	164.5	154.0	55.1		
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 (砂壤土) Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	—	—	—	—	—	—	—	0.22	0.51	0.58	0.69	—		
大麥 Wheat	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	128.2	46.4	38.9	—	—	—	—	—	—	—	—	79.6	84.6	
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	120.0	105.8	121.5	—	—	—	—	—	—	—	—	102.1	121.0	
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	1/2有效 水分 A.M.	u f k	1.07	0.44	0.32	—	—	—	—	—	—	—	—	0.77	0.68	
大麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	109.9	45.4	—	—	—	—	—	—	—	—	31.2	99.5	120.4	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	112.5	118.2	—	—	—	—	—	—	—	—	91.0	130.9	119.2	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	0.98	0.38	—	—	—	—	—	—	—	—	0.34	0.76	1.01	
大麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/4有效 水分 A.M.	u f k	81.5	39.8	—	—	—	—	—	—	—	—	42.6	67.0	118.7	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/4有效 水分 A.M.	u f k	112.5	118.2	—	—	—	—	—	—	—	—	91.0	130.9	119.2	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/4有效 水分 A.M.	u f k	0.72	0.34	—	—	—	—	—	—	—	—	0.47	0.51	1.00	
大麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	166.7	140.6	—	—	—	—	—	—	—	—	46.0	89.4	182.2	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	112.5	118.2	—	—	—	—	—	—	—	—	91.0	130.9	119.2	
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirtchia	1/2有效 水分 A.M.	u f k	1.48	1.19	—	—	—	—	—	—	—	—	0.51	0.68	1.53	

麥 Barley	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{4}$ 有效 水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	u f k	157.0 112.5 1.40	135.4 118.2 1.15	—	—	—	—	—	—	—	—	34.6 91.0 0.38	86.0 130.9 0.65	150.2 119.2 1.26
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	52.6 112.5 0.47	94.3 118.2 0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50.1 130.9 0.38	73.4 119.2 0.62
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{4}$ 有效 水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	u f k	56.8 117.5 0.50	93.0 118.2 0.79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	44.6 130.9 0.34	76.5 119.2 0.59

註：滲透計之試驗。 Experiment in Lysimeter.

表(十四) 溫室盆栽作物需水量試驗
Crop consumptive-use studies and monthly k in green house

作物 種類 Crop	Crop			計算 數值 Com- puted Value	月 Month 份											
	期作 Season	地點 Loca- tion	水分狀況 Soil moist- ure		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
花 生 Peanut	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f f	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	13.5 25.8 0.52	148.0 180.0 0.82	149.0 161.6 0.92	103.5 130.7 0.79	23.5 54.0 0.43
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	81.8 136.0 0.60	161.5 188.0 0.86	141.1 193.0 0.73	141.1 164.0 0.77	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	k f k	60.0 112.5 0.53	68.3 118.2 0.58	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	52.7 130.9 0.40	85.0 119.2 0.91
大 豆 Bean	52年 夏作 1963 Summer	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	38.5 82.3 0.47	188.5 170.0 1.11	107.0 142.5 0.75	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	60.0 131.0 0.46	96.1 187.0 0.51	62.8 146.0 0.43	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 秋作 1964 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	42.2 85.2 0.50	163.0 180.0 1.02	167.5 142.0 1.18	— — —	— — —
小 豆 Bean	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	10.0 23.2 0.43	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	47.0 79.0 0.60	111.0 136.5 0.82	120.0 124.2 0.97
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	61.8 120.0 0.51	106.0 105.8 1.00	89.1 123.1 0.72	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	17.9 104.1 0.17	47.5 121.0 0.39

麥 Wheat	53年 秋作 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	161.0 123.5 1.30	43.1 128.2 0.34	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	56.5 79.0 0.72	95.7 136.5 0.70	153.4 124.2 1.23
	53年 作秋 1964 Autumn	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	232.0 123.5 1.98	103.2 128.2 0.80	12.8 36.0 0.35	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	55.2 79.0 0.70	119.0 136.5 0.87	227.0 124.2 1.83
	53年 一期作 1964 1st crop	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	66.7 115.0 0.58	138.4 187.0 0.74	125.6 193.0 1.22	297.5 212.0 1.40	152.5 178.0 0.86	— — —	— — —	— — —	— — —
水	53年 一期作 1964 1st crop	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	67.2 115.0 0.58	97.7 187.0 0.52	119.7 193.0 0.62	232.5 212.0 1.10	136.1 178.0 0.76	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 一期作 1964 1st crop	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	64.7 115.0 0.56	113.0 187.0 0.60	159.4 193.0 0.82	250.5 212.0 1.18	183.7 178.0 1.03	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 二期作 1964 2nd crop	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	67.2 115.0 0.58	123.8 187.0 0.66	196.2 193.0 1.02	311.0 212.0 1.47	195.7 178.0 1.10	— — —	— — —	— — —	— — —
稻 (旱作) Upland planting of Rice	53年 二期作 1964 2nd crop	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	39.5 82.6 0.48	145.0 180.0 0.81	157.2 161.8 0.97	145.5 130.7 1.11	83.1 92.8 0.90
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	24.5 60.0 0.41	130.2 156.0 0.83	176.2 92.0 1.92	— — —	— — —
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	69.4 110.0 0.63	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	24.5 60.0 0.41	116.7 156.0 0.75	214.4 138.0 1.56	206.7 123.0 1.63	— — —
蘿蔔 Turnip	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	138.8 110.0 1.26	46.3 36.0 1.29	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	24.5 60.0 0.41	119.1 156.0 0.76	121.1 138.0 0.89	148.7 123.0 1.21	— — —
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	34.5 76.0 0.45	129.5 187.0 0.69	145.4 186.0 0.78	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	52年 秋作 1963 Autumn	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
敏 豆	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
辣 椒	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
茄子 Egg plant	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效 水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u f k	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —

清江白菜	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taip-ei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u	—	—	—	35.9	140.9	42.5	—	—	—	—	—	—
				f	—	—	—	76.0	187.0	47.6	—	—	—	—	—	—
				k	—	—	—	0.48	0.75	0.88	—	—	—	—	—	—
高粱 Milo	53年 春作 1964 Spring	臺北 Taip-ei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	u	—	—	—	40.0	107.3	104.1	83.4	—	—	—	—	—
				f	—	—	—	57.1	189.0	193.0	123.0	—	—	—	—	—
				k	—	—	—	0.70	0.57	0.54	0.68	—	—	—	—	—

表(十五) 作物全季節需水量及計算 K 值
Crop consumptive-use and seasonal K

作物別 Crop	試驗方式 Experiment	地點 Location	土壤水分處理 Soil moisture	生長期間 Growth period	作物用水量 Consumptive-use of crops		備註
					U	K	
花生 Peanut	田區試驗 Field	學甲試驗田 Shirt chia	二次灌溉處理 2 irrigation	1962. 8.21~1962.12.11	320.5	0.76	淡水河砂壤土 臺北粘土
		"	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A. M.	1964. 3.10~1964. 6.27	270.0	0.56	
	滲漏計 Lysimeter	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 4. 8~1964. 7.31	449.2	0.61	
		"	"	1964. 8.17~1964.12.14	303.1	0.46	
		"	"	1964. 8.17~1964.12.14	350.4	0.53	
	溫室栽盆 Green house	臺北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分	1964. 8.28~1964.12.14	439.5	0.80	
		"	"	1964. 4. 6~1964. 4.27	525.5	0.77	
甘藷 Sweet potato	田區試驗 Field	學甲試驗田 Shirt chia	二次灌溉處理 2 irrigation	1962.10.13~1963. 4. 1	297.7	0.38	
		"	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 8.19~1965. 2.12	315.8	0.34	
		學甲示範田⊖	一次灌溉處理 One irrigation	1963.10.20~1964. 4.27	225.8	0.28	
		" ⊖	"	1963.10.20~1964. 4.30	193.5	0.28	
		" ⊕	"	1963.10. 3~1964.2. 29	155.6	0.29	
	滲漏計 Lysimeter	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 9.12~1965. 3.27	270.4	0.56	
		"	$\frac{1}{4}$ 有效水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	1964. 9.12~1965. 3.27	260.9	0.54	
	溫室 Greenhouse	學甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 9.12~1965. 3.27	265.0	0.55	
大	田區試驗 Field	學甲肥試田 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 9.11~1964.12. 3	240.3	0.58	
	滲漏計 Lysimeter	臺北 Taipei	$\frac{1}{4}$ 有效水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	1962. 6.19~1962. 9.15	441.7	0.76	
		"	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 8.17~1964.12. 6	205.8	0.43	
		"	"	1964. 8.17~1964.12. 6	235.0	0.49	
		學甲 Shirt chia	$\frac{1}{4}$ 有效水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	1964.10.14~1965. 1. 7	297.5	0.87	
		"	"	1964.10.14~1965. 1. 7	242.4	0.71	

豆 Bean	溫 室 Greenhouse	臺 北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1963. 7.23~1963.10. 4	334.0	0.85	
		"	"	1964. 4. 8~1964. 6.24	218.9	0.47	
		"	"	1964. 8.19~1964.10.27	392.7	0.96	
		學 甲 Shirt chia	"	1964.10.18~1965. 1. 6	288.0	0.79	
玉 米 Corn	田 區 試 驗 Field	學 甲 試 驗 田 Shirt chia	一次灌溉80mm Oneirrigation	1962. 2.27~1962. 6. 5	318.3	0.63	
		"	一次灌溉處理	1963. 8.28~1963.12. 2	271.2	0.55	
		學 甲 示 範 田 Shirt chia	"	1963.10.23~1964. 2.28	290.2	0.58	
小 麥 Wheat	滲 漏 計 Lysimeter	臺 北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1963.11. 8~1964. 3. 4	877.7	0.66	
		學 甲 Shirt chia	"	1964.10.18~1964. 3. 4	406.4	0.71	
		"	$\frac{1}{4}$ 有效水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	1964.10.18~1964. 3. 4	349.6	0.61	
	溫 室 Greenhouse	臺 北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1963.11. 8~1964. 3.27	322.3	0.56	
		學 甲 Shirt chia	"	1964.10.18~1965. 2.28	509.7	0.86	
		"	"				
大 麥 Barley	滲 漏 計 Lysimeter	學 甲 Shirt chia	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964.10. 8~1965. 3. 8	624.9	1.08	
		"	$\frac{1}{4}$ 有效水分 $\frac{1}{4}$ A.M.	1964.10. 8~1965. 3. 8	563.2	0.98	
	溫 室 Greenhouse	"	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964.10. 8~1965. 3. 8	749.2	1.19	
		"	"				
水稻 旱作 Upland planting Rice	溫 室 Greenhouse	臺 北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1964. 4.11~1964. 8.27	780.7	0.88	臺中在來一號
		"	"	1964. 4.11~1964. 8.27	653.7	0.74	嘉農 242 號
		"	"	1964. 4.11~1964. 8.27	771.3	0.87	臺中 178 號
		"	"	1964. 4.11~1964. 8.27	893.9	1.01	臺中65號
		"	"	1964. 8.19~1964.12.24	657.9	0.88	臺中65號
陸 稻 Upland Rice	滲 漏 計 Lysimeter	臺 北 Taipei	"	1961. 7.15~1961.11.22	607.0	0.81	
蘿 蔔 Turnip	溫 室 Greenhouse	臺 北 Taipei	$\frac{1}{2}$ 有效水分 $\frac{1}{2}$ A.M.	1963. 9.20~1963.11.21	330.9	1.08	
甘 藍 Cabbage		"	"	1963. 9.20~1964. 1.31	562.3	1.18	
蕃 茄 Tomato		"	"	1963. 9.20~1964. 2.10	413.4	0.88	
敏 豆		"	"	1964. 4.18~1964. 6.29	309.4	0.69	
青 椒 Bell peper		"	"	1964. 5. 2~1964. 6.29	190.8	0.52	
茄 子 Egg plant		"	"	1964. 5. 2~1964. 7. 7	300.1	0.73	
高 粱 Milo		"	"	1964. 4.21~1964. 7.18	334.8	0.59	
清 江 白 菜		"	"	1964. 4.18~1964. 6. 8	219.3	0.70	

6. 本報告之52項試驗，其中較多為溫室栽培，生育情形與田間有不同程度之差異，故田區與滲透計之結果可用為參考，而溫室之結果僅可作為比較。

7. 作物之需水量顯然視作物種類、生育情形及氣候條件而不同。Blaney & Criddle 公式應為表示正常生長狀態中之需水量。而“k”值在應用上，似有地區性之限制。

摘 要

作物需水量曾於過去數年中進行多次試驗。在嘉南之學甲地區及臺灣大學農工系均在不斷進行。試驗包括田區、滲透計及溫室盆栽。土壤水分之消耗情形均經詳細觀測。每日之氣候如溫度、濕度、蒸發及降雨等均詳細記錄。田區及滲透計之土壤水分乃用取樣烘乾法測定。溫室盆栽則用秤重法。

田區與滲透計之作物生育情形無大差異，但盆栽作物則生育情形頗有不同。因水分測定方法之不同，故計算之需水量亦有所差異。

嘉南地區之旱季在每年十月至五月間，作物須有補充灌溉方可有正常之生長。此早期影響秋作之後期、春作之前期及冬作之全期。

秋作栽種後，氣溫及日長均漸低減，春作則相反。但如冬季之裡作甘藷，其生長期經過冬季之全期，

氣溫最低，日長最短之時正當甘藷生育旺盛期。故秋作與裡作均受此氣溫日長之影響，減低作物用水量之高峯。但臺灣作物栽培，常有同樣作物可在不同季節栽培者。其需水量亦可能有所差異。然而在雨季中，旱地作物似無灌溉之需要。

觀測各種作物需水量，可以算出 Blaney & Criddle 公式中之 k 值。因臺灣各地均可有氣溫記錄，故 Blaney & Criddle 公式亦為最適用於臺灣之公式。

本報告所載各項試驗結果已表列可供參考。在正常生長狀態下可見同一作物之“k”值均頗為接近。但臺灣之旱地作物有若干特殊之點，茲列舉於下：

1. 臺灣旱地作物多數為旱季栽培，時在晚秋至早春之季節。如秋作栽種後，氣溫漸降，日長漸短。故月份之用水高峯，較不明顯。

2. 臺灣作物生長期，雖在同樣作物亦較美國為短。較難表示用水量升降之連續趨勢。

3. 試驗指出作物需水量有因保持土壤水分含量高而稍有差別，此點須再作研究。

4. 溫室栽培之作物顯示用水量較高。

5. 其他氣候因素對作物需水量之影響，似須作進一步之研究。

Summary

The consumptive-use of crops have been extensively studied during the past years. Experiments in many crops have been carried out both in Shirt-Chia and in Agricultural Engineering Department of National Taiwan University. Crops have been grown in field, in Lysimeter, and in green house. The depletion of soil moisture were closely observed during crop growth. Daily record of temperature, humidity, evaporation, and precipitation was kept. Soil moisture determination in field plots and Lysimeters was by sampling. For crops grown in green house is plots, soil moisture was determined by weighing.

The condition of crop growth in field plots and in Lysimeter are comparable. But in green house plant growth in small plots are somewhat different. Since the methods for soil moisture determination and the condition of crop growth are not the same, the crop consumptive use may be affected to some degree.

Dry season in the Chia-Nan area is from late October to May. Supplemental irrigation is needed for normal crop growth. This dry period affects the late growth of Autumn crops and the early growth of Spring crops. Winter crops are entirely grown in dry season.

In the growing season of Autumn crops, both temperature and length of daytime hours are decreasing during the growth period. For Spring crops, it is vice versa. But for Winter crop such as sweet potato, (crop acreage only second to rice) its growth

period cover the whole winter months. The lowest temperature and the shortest daytime hours is about at the time the plant reach its full growth. This fact may tended to minimize the peak monthly consumptive-use for both Autumn and Winter crops. But sweet potato may be grown in Taiwan all round the year. Also many others crops may be grown in different season. The consumptive use may be different even for the same crop. In the Summer months, it is the rainy season, irrigation is relatively unimportant.

With the observed consumptive-use of crops, the crop coefficient for the Blaney and Criddle equation is computed. Since temperature record is the only thing available elsewhere, the Blaney and Criddle equation seem more practical in Taiwan.

Tables in this report may be for references. It seem that for same crop of normal growth condition, the consumptive-use coefficient are reasonably comparable. However, for dry land crops grown in Taiwan, there are a few things needed to point out as follows:

1. Upland crops in Taiwan mostly grown in dry season which is in the late fall to early Spring. The temperature and day time hour is decrease following the planting of Autumn and Winter crop. The peak monthly consumptive-use tended to be lower.
2. Crops in Taiwan seem to have a shorter growing period compare to same crop in the U.S. and is more difficult to show the trend of monthly consumptive-use variation.
3. There are some tendency of indicating consumptive-use is higher in higher soil moisture level for same crop. It needs further investigation.
4. Crop grown in green house seem to show higher consumptive-use.
5. Further studies of other climatic factors affecting consumptive-use should be made.

徵 稿 簡 則

1. 本刊歡迎有關農業工程之論著，譯述，專題研究，學術講座，資料統計等稿件，如屬譯稿，請附寄原文，或註明原作者姓名、書刊名稱及出版時間地點。
2. 來稿請用稿紙繕寫清楚，註明標點，並請附英文標題及英文摘要，以便與國外學術刊物交換。文內如有插圖，請用透明紙繪製並加墨，以便製版。來稿文責作者自負。
3. 本刊對來稿有增刪權，其不願刪改者，請預先註明。
4. 具有學術性之文稿，經刊載後，致送該文抽印本五十本，不另致稿酬，但可參與該年度論文獎之競選。不用之稿件，當即退還。
5. 稿末請作者註明真實姓名，簡歷及通訊處，如用筆名發表，亦請註明。
6. 來稿請寄：臺北市羅斯福路臺灣大學農業工程學系內農業工程師學會學術組編輯部收。