

甘蔗灌溉之研究

XII. 臺灣中質地秋植蔗園合理灌溉期距之分析與推薦

Studies on Sugarcane Irrigation

XII. Irrigation Interval Control of Autumn-planted Cane in Medium-textured Soils in Taiwan

臺灣糖業研究所農藝系主任

臺灣糖業研究所農藝系副研究員

楊 尙 仁

張 玉 鑽

Yang, Sung-jen

Chang, Yu-tsuan

Summary

Experiments were conducted in medium-textured soil during three crop years period to determine the response of autumn planted sugarcane to different irrigation frequencies. The consumptive use of autumn-planted cane during the period of January to early June, the most critical period for irrigation in Taiwan, was estimated from an assigned coefficient which expresses the ratio between actual evapotranspiration of the crop (E_t) and the evaporation from a Class A Pan (E_p). Five different ratios of E_t/E_p , 0.5, 0.75, 1.0, 1.25, and 1.50 were used to control irrigation frequency in this study. Irrigation for each treatment was scheduled from the available soil moisture content in the root zone and the assumed consumptive rate.

Striking similar pattern of the relations between the accumulated actual evapotranspiration and the pan evaporation was observed despite the fact that the growth and the climatic conditions were quite different for two crop years. The relationship between E_t and E_p was found to be linear with a slope of approximately 0.75. Actual evapotranspiration rate increased with the evaporative demand of the air in an averaged daily rate of 2-3 mm/day. The peak rate which appeared in May was approximately 4.5 mm/day. Cane growth although was closely related to the available water in the root zone, but the difference in final cane yield between treatments was small and was statistically not significant. To use the limited available water resources economically for irrigation, the interval could be scheduled approximately 20 to 40 days in the dry season between January to June in medium-textured soils under Taiwan's climatic condition.

前 言

灌溉為土壤水分管理之主要手段，灌溉之需要與否端視作物需水量及土壤水分之供應能力而定，但此兩者復受微氣象，作物生長期及土壤水理性所控制，因此適時適量的灌溉必須將土壤、作物及氣象三種因素同時考慮在內，始能達成預期之目標^(8,10,11)。甘蔗灌溉期距及施灌水量之計劃及控制，為水分管理工作之主要部份，過去本省大多採用單一因子為依據，諸如土壤水分^(4,12)，甘蔗生育特性⁽²⁾或潛蒸發散量⁽⁶⁾等，而將三種因素同時在內者尚付缺如，為能使蔗園灌溉更趨科學化，以達成增產及經濟用水之目的，特提出本研究，探討甘蔗需水量與氣象及土壤水分間之相互關係，所獲結果加以綜合分析後制定合理之灌溉期距及每次應灌水量，供各農場參照應用。

本省中質地蔗園，大部份集中在嘉南平原輪作

區，係臺灣秋植高產量蔗園之心臟地帶，此一地區之主要特徵為土層深厚，幾乎全屬肥沃之沖積土，兼有灌溉之利，另因常與水稻及什糧作物輪替栽培，生產潛力甚高⁽¹⁾，為提供臺糖公司生產糖量之重要區域，因此在此一地帶提供合理之灌溉管理方法，至為重要。

本試驗係在臺南糖研所農場進行，前後共進行三年期，供試土壤有砂壤土及粘壤土兩種，以A級蒸發盆為指標，另以水平衡原理尋求不同蔗齡之盆比因素，進而制定合理之灌溉期距。

試驗材料及方法

本試驗自 63 年至 65 年連續三年期，利用中質地秋植蔗園在臺灣糖業研究所臺南農場進行灌溉頻度試驗，試驗區各年期之土壤、作物及氣象條件簡列如表一。

表一 本試驗區各年期田區環境及作業情況

| 年期 | 植 期 | 收穫期 | 品種 | 地 號 | 0-100 cm 土壤水理特性 | | | | 土壤質地 | | 年降雨量及 (日數) mm | 年A級盆 面蒸發量 mm |
|-------|---------|----------|------|------|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------|------|-----|---------------------|--------------------|
| | | | | | 0.1 bar 含水量 mm | 15 bar 含水量 mm | 總有效水 分 mm | 速效性有 效水分 mm | 表土 | 底土 | | |
| 63-64 | 62.9.16 | 64.1.4 | F160 | 北五東一 | 246 | 78 | 168 | 84 | 砂壤土 | 砂壤土 | 1591(105) | 1474 |
| 64-65 | 63.8.8 | 65.1.7 | F160 | 北四西三 | 309 | 170 | 139 | 70 | 砂壤土 | 粘壤土 | 2386(110) | 1490 |
| 65-66 | 64.9.15 | 65.12.15 | F160 | 北六西三 | 383 | 237 | 146 | 73 | 粘壤土 | 粘 土 | 1460(62) | 1643 |

試驗區之灌溉處理分為五種，即設置五種不同盆比值 (Pan Ratio, 通常稱 PR 比)，分別為 0.5, 0.75, 1.00, 1.25 及 1.50，以每一灌溉小期十天之實測 A 級盆面蒸發量 (Class A Pan evaporation, Ep)，計算各處理之假設日耗水量，並以每一試區之土壤水理特性估算 60 及 100 公分土層之 50% 有效含水量，求得各處理之灌溉期距，並採用 80% 灌溉效率計算一次施灌水深，進行各種灌溉處理，灌溉水量以巴歇爾水槽控制，土壤水理性係採取自然土樣以土壤水分抽出裝置測定。試驗期間在每次灌溉後一日及下次灌溉前一日，各調查土壤水分及 A 級盆面蒸發量，再依據水平衡公式，求出各處理間每一期距之實際蒸發散量及盆比值，在以水平衡公式計算時，根域外之滲漏水量及因地下水水位而導致毛管上升之水量均忽略不計。

田間排列採用逢機區集法，重複四次，小區行

長 8 公尺，行距 1.25 公尺，小區行數 8 行，施肥量每公頃 N240, P₂O₅ 80, K₂O 160 公斤。

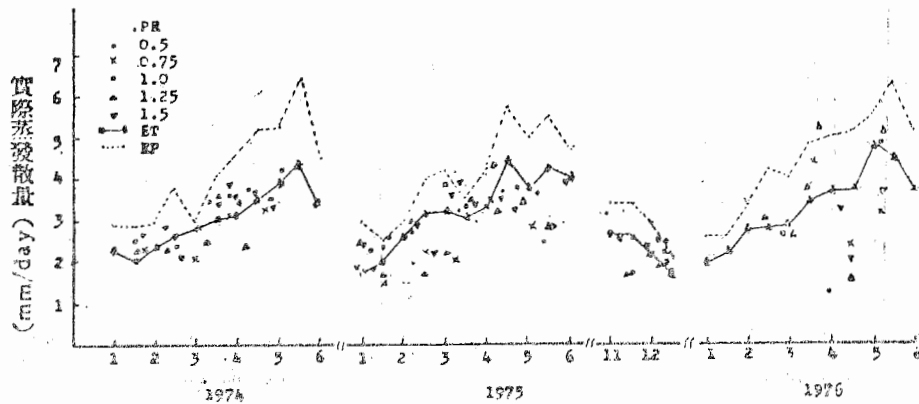
甘蔗灌溉處理期間，僅在甘蔗生長初期及盛期之 1 月至 5 月及成熟期之 11 月至 12 月，蔗齡四個月前之幼蔗期及 6~9 月之雨季均未進行灌溉。甘蔗收穫後，將各年期之實際蒸發散量，A 級盆面蒸發量，灌溉水量及蔗產量分別進行統計分析，並將三年期結果再作綜合分析，求得不同交感之反應，作為實際推薦時，瞭解其可靠性之依據。

試驗結果與討論

一、蔗園實際蒸發散量與 A 級盆面蒸發量之關係

63-64, 64-65, 65-66 連續三年期在不同盆比值處理下，中質地秋植蔗園之逐月實際蒸發散量與 A 級盆面蒸發量之變化比較如圖一。

另一方面將上列逐月蒸發散量及盆面蒸發量，



圖一 灌溉處理間之逐月實際蒸發散量分佈與盆面蒸發量之比較圖

經累積統計分析其相關關係及迴歸方程式之結果列如表二及圖二。

中質地秋植蔗園三年期資料，經合併分析結果，列如表三及圖三所示：

由上列分析結果，顯示中質地秋植蔗園之實際蒸發散量，將因蔗齡及微氣象因子而有所不同，處理間並無明顯差異，五種處理所測得之蒸發散量合併可得，約自一月份之 2 公厘/日逐漸增至四、五月份之 4.5 公厘/日，平均約為 2~3 公厘/日，尖峯日耗水量在 4.5 公厘/日，三年期兩種土壤質地（砂壤土及粘壤土）之趨勢至為接近。

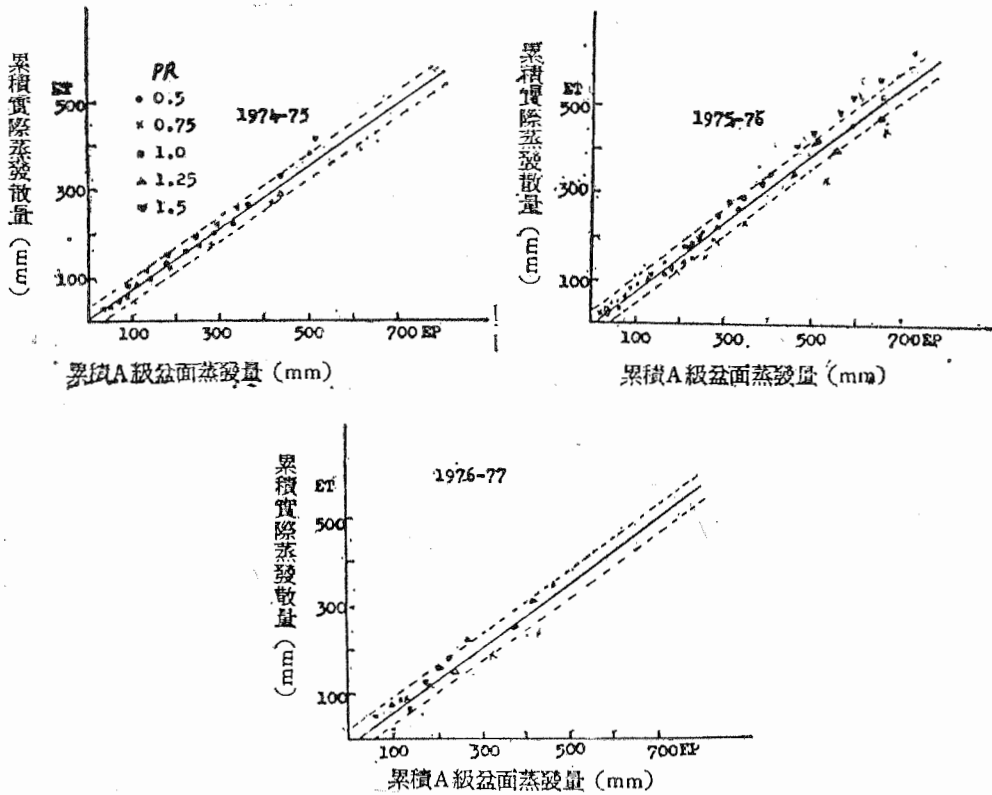
灌溉期間以水平衡法在田間實測所得之實際蒸

發散量與 A 級盆面蒸發量之比值，即盆比值而言，一月至五月份大約在 PR 0.5-0.8 之間，而三年期之直線迴歸斜率間之分析結果差異不顯著，證明利用 A 級盆面蒸發量及盆比值，所推薦的中質地蔗園蒸發散量之準確性，不受年期間之影響，同時確證 A 級盆面蒸發量，可作控制灌溉期距之指標。

根據本試驗三年期結果，臺南中質地秋植蔗園之切需灌溉期之灌溉期距以利用 0.75 盆比值計算為原則，而視田區地下水位高低及降雨量之不同，盆比值可在 0.5 至 0.8 之間作彈性運用，與 Hargreaves (1968)⁽⁹⁾ 氏所指出，甘蔗蒸發散量之估算，可視生育階段而異，其盆比值應有彈性採用 PR

表二 秋植甘蔗累積實際蒸發散量 (y) 與累積 A 級盆面蒸發量 (x) 間迴歸直線方程式及顯著性測定

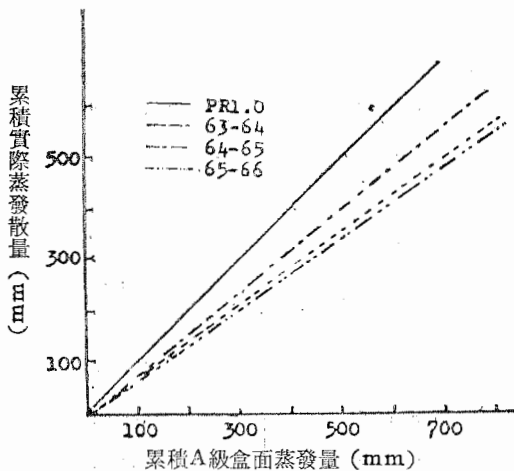
| 項 目 | 63-64 年 期 | 64-65 年 期 | 65-66 年 期 |
|-------------|--------------------|---------------------|----------------------|
| 樣 本 數 | 28 | 52 | 17 |
| 迴歸直線方程式 | $y=3.4328+0.6911x$ | $y=-5.4134+0.7893x$ | $y=-13.5430+0.7131x$ |
| 相 關 係 數 r | 0.9645** | 0.9686** | 0.9446** |
| F 值 | 341.76** | 971.75** | 111.63** |
| 理 論 F 值 | | | |
| 5 % | 4.22 | 4.03 | 4.54 |
| 1 % | 7.72 | 7.17 | 8.68 |
| Fisher 顯著水準 | | | |
| P=0.05 | 0.3809 | 0.2732 | 0.4821 |
| P=0.01 | 0.4869 | 0.3541 | 0.6055 |
| S y. X | 26.99 | 33.69 | 32.73 |
| 有效樣本數(%) | 89 | 79 | 83 |



圖二 各年期累積實際蒸發散量與A級盆面蒸發量關係圖

表三 秋植甘蔗三年期蒸發散量與蒸發量直線迴歸斜率間之變方分析表

| 變因 | 自由度 | 平方和 | 均方 | 實測 F 值 | 理論 F 值 1% |
|------|-----|---------|---------|----------|-----------|
| 共同斜率 | 1 | 1704741 | 1704741 | 127.24** | 6.92 |
| 斜率間 | 2 | 3181 | 1591 | 1.19 | 4.85 |
| 線間機誤 | 91 | 122059 | 1341 | | |



圖三 三個年期累積實際蒸發散量與累積A級盆面蒸發量直線迴歸斜率間比較圖

0.55-1.00 之結果甚接近。

二、灌溉水量與蔗產量之關係

臺南中質地秋植蔗園 63-64, 64-65, 65-66 連續三年期在切需灌溉期間，按不同盆比值標準實施灌溉後，調查各年期各處理之一作灌溉紀錄平均值及蔗產量統計結果列如表四、表五及圖四。

由上列資料，顯示灌溉處理間之蔗產量雖然有 10% 左右之差別，但統計上未達顯著差異平準，三年期經綜合分析結果亦證明，“處理×年期”不顯著，亦即中質地秋植蔗園在旱季時，分別以五種不同盆比值實施灌溉後對蔗產量並無顯著差別，而不同年期間亦有相同之趨勢。

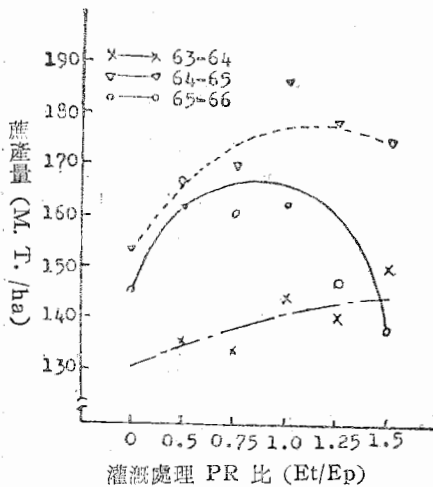
又根據圖四之灌溉處理對蔗產量之反應而言，

表四 三年期臺南中質地秋植甘蔗灌溉試驗實際灌溉紀錄平均值

| 灌溉處理 PR 比 | 灌溉次數 (次) | 灌溉期距 (天) | 灌溉水量 (mm) |
|-----------|----------|----------|-----------|
| 0.5 | 5 | 34 | 376 |
| 0.75 | 7 | 25 | 607 |
| 1.0 | 9 | 19 | 743 |
| 1.25 | 11 | 15 | 883 |
| 1.5 | 14 | 12 | 1156 |

表五 秋植甘蔗三年期不同盆比值與蔗產量關係變方分析表

| 變因 | 自由度 | 平方和 | 均方 | 實測 F 值 | 理論 F 值 | |
|---------|-----|---------|---------|---------|--------|------|
| | | | | | 5 % | 1 % |
| 處理 | 4 | 1218 | 304.50 | 0.95 | 2.64 | 3.91 |
| 年期 | 2 | 12455 | 6227.50 | 19.36** | 3.26 | 5.27 |
| 處理 × 年期 | 8 | 4192 | 524.00 | 1.63 | 2.22 | 3.07 |
| 年期內區組間 | 9 | 5637 | 626.30 | 1.95 | 2.22 | 3.07 |
| 機誤 | 36 | 11580 | 321.66 | | | |
| 總和 | 59 | 4434173 | | | | |



圖四 三年期甘蔗灌溉處理與蔗產量之關係曲線圖

最適水量(可獲最高收量之水量)為 PR 1.0 左右,若超過其上限點之施灌標準時,蔗產量似乎有直線下降之趨勢,即有因灌溉過多,而發生排水不良之情況,粘壤土蔗園發生減產之傾向較砂壤土為嚴重,又以表四所列各處理之一作甘蔗實際灌溉紀錄平均值可知,PR 0.5 與 1.5 處理間之灌溉次數及

總水量差異幾達三倍,但收穫時所獲得之蔗產量差異並不大,由此可知在中質地蔗園之環境下,縮短灌溉期距,增加一作灌溉總水量,並不能獲致同等之增產效果。就臺南中質地秋植蔗園之適宜界限之用水量(經濟用水量)而言,採用 PR 0.5-0.75 標準施灌似十分恰當。此項結果與三年期實際蒸發散量與 A 級盆面蒸發量之比值完全符合。依據表四之本試驗三年期實際灌溉紀錄,在採用 PR 0.5-0.75 施灌時,一作甘蔗合計灌溉水量為 400-600 公厘,亦與過去本所歷年來試驗結果符合⁽⁵⁾。

三、嘉南中質地秋植蔗園合理灌溉期距之推薦

綜合 63-64, 64-65, 65-66 三年期之試驗結果及分析資料,顯示利用土壤水理性,甘蔗實際蒸發散量, A 級盆面蒸發量,實際盆比值及灌水量對蔗產量關係等之土壤、作物及氣象資料,推薦嘉南地區中質地秋植蔗園之切需灌溉期之合理灌溉期距如表六。

由上列資料,顯示嘉南中質地秋植蔗園,切需灌溉期間之合理盆比值為 PR 0.5-0.75,實際蒸發散量為 2~3 公厘/日,總速效性有效水分量(土

表六 嘉南中質地秋植蔗園逐月灌溉期距推薦表

| 月 份 | 一 | 二 | 三 | 四 | 五 |
|------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 盆面蒸發量平均值 (mm/day) | 2.8 | 3.6 | 4.2 | 5.2 | 5.2 |
| PR 0.5 及 0.75 之蒸發散量 (mm/day) | 1.4-2.1 | 1.8-2.7 | 2.1-3.2 | 2.6-3.9 | 2.6-3.9 |
| 灌溉期距推薦值 (天) | 50-33 | 39-26 | 33-22 | 27-18 | 27-18 |

* 土層保水量為 70mm，盆面蒸發量為 63. 64 及 65 年平均值。

層保水量) 為70公厘，合理灌溉期距為 20-40 天，一作灌溉次數為 6 次左右，一作甘蔗淨總灌水量為 400-600 公厘。

另一方面利用臺南本所 52-62 年十年間之平均 A 級盆面蒸發量，以甘蔗生長盛期採用盆比值 0.75，其他月份採用盆比值 0.5 之原則下，可計算各月甘蔗蒸發散量，並以張灝 (1971)⁽⁷⁾ 氏之有效雨量估算式求取臺南本所 23-65 年之平均有效雨量，兩者之差即為灌溉水量，若根域層之速效性有效

水分量為 70 公厘，再運用水平衡公式計算後，即能求得合理灌溉期距如表七。

由上列資料，顯示臺南中質地秋植蔗園一作甘蔗在完全無雨情況下，所應灌溉之次數為 17.44 次，而在降雨之情況下，實際需要灌溉之次數僅為 6.53 次，有效雨量可代替灌溉之次數為 10.91 次，亦即有效雨量可減少灌溉次數 (完全無雨之下) 可達 62%，與張灝 (1968)⁽⁶⁾ 氏所指出每期甘蔗蒸發散量之 50-60%，來自有效雨量之結果甚接近。

表七 臺南中質地秋植甘蔗逐月灌溉次數及有效雨量利用情形計算值

| 月 份 | mm/day Eat | 完全無雨 灌溉期距 | 完全無雨之 應灌次數 | 有效雨量 應扣除天數 | 扣除降雨外需 灌溉天數 | 有雨情況下實 際灌溉次數 | 因下雨減少灌 溉次數 |
|-----|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|---------------|
| 10 | 1.9 | 37天 | 0.81 | 12天 | 18 | 0.49 | 0.52 |
| 11 | 1.6 | 44 | 0.68 | 9 | 21 | 0.48 | 0.20 |
| 12 | 1.4 | 50 | 0.60 | 9 | 21 | 0.42 | 0.18 |
| 1 | 1.4 | 50 | 0.60 | 10 | 20 | 0.40 | 0.20 |
| 2 | 2.4 | 29 | 1.03 | 8 | 22 | 0.75 | 0.28 |
| 3 | 3.2 | 21 | 1.42 | 11 | 19 | 0.90 | 0.52 |
| 4 | 3.9 | 20 | 1.50 | 12 | 18 | 0.90 | 0.60 |
| 5 | 4.2 | 17 | 1.76 | 23 | 7 | 0.41 | 1.35 |
| 6 | 3.6 | 19 | 1.57 | 51 | 0 | 0 | 1.57 |
| 7 | 3.9 | 18 | 1.66 | 62 | 0 | 0 | 1.66 |
| 8 | 3.7 | 19 | 1.57 | 54 | 0 | 0 | 1.57 |
| 9 | 3.4 | 20 | 1.50 | 27 | 3 | 0.15 | 1.35 |
| 10 | 2.0 | 35 | 0.86 | 11 | 19 | 0.54 | 0.32 |
| 11 | 1.6 | 44 | 0.68 | 8 | 12 | 0.27 | 0.41 |
| 12 | 1.4 | 50 | 0.60 | 9 | 21 | 0.42 | 0.18 |
| 1 | 1.4 | 50 | 0.60 | 10 | 20 | 0.40 | 0.20 |
| 計 | | | 17.44 | | | 6.53 | 10.91 |

備註：砂壤土 100 cm 土層 0.1-15 bar 之 $\frac{1}{2}$ 含水量為 70-80 mm，本例係用 70 mm

摘 要

本研究係利用 63-64, 64-65, 65-66 三年期秋植 F160 甘蔗在糖研所臺南農場中質地蔗園，進行不同灌溉頻度對實際蒸發散量及產量之影響，灌溉頻度依據土壤、作物及氣象資料控制，以假設 0.5, 0.75, 1.0, 1.25 及 1.5 之五種盆比值作為灌溉期距之計算標準，除在幼蔗期及雨季外，甘蔗切需灌溉期間，在每次灌溉時依據灌溉前後之實測土壤水分求得甘蔗實際耗水量及盆比值，並統計分析各年期或三年期之蒸發散量與盆面蒸發量之相關及灌溉處理對產量之反應，俾能提供合理灌溉期距之推薦依據，其重要結果簡述如下：

1. 實際蒸發散量將因蔗齡及微氣象而有不同，平均為 2~3 公厘/日，尖峯日耗水量為 4.5 公厘，灌溉期距為 20-40 天，一作灌溉次數為 6 次左右，一作淨總灌溉水量在 400-600 公厘為適宜範圍。

2. 中質地秋植蔗園之實際蒸發散量與 A 級盆面蒸發量間呈極顯著之直線相關，其盆比值在 0.5-0.75 之間，而三年期之斜率間差異不顯著，確證依據 A 級盆面蒸發量及盆比值，控制灌溉期距，不受年期間之影響。

3. 中質地秋植蔗園五種灌溉處理間之蔗產量並無顯著差別，而三個年期間均有相同之趨勢，灌溉水量與蔗產量間之適宜限界在 PR 0.5-0.75 附近，施灌標準愈高，粘壤土田間之蔗產量愈呈減產趨勢。

4. 嘉南中質地秋植蔗園在切需灌溉期之灌溉期距以採用 0.75 盆比值計算為原則，視田間地下水位高低及降雨量之不同，盆比值可在 0.5 至 0.8 間作彈性運用。

誌 謝

本研究工作進行期間，現場調查工作，承彭貴添及姚財寶等先生之協助，迴歸斜率變分析方法，承臺大生統研究室沈明來教授之指導，王百祿先生協助繪製圖表等工作，氣象資料承農業氣象研究室提供，特此誌謝。

參 考 文 獻

1. 徐玉標, 1974. 輪作田旱作栽培土層中水分動態之研究, 臺大農工一灌溉報告 18:1-179.
2. 楊滔慈、謝德上, 1973. 甘蔗生長指標之研究, 臺灣糖業研究所研究彙報 61:21-30.
3. 楊尚仁、張玉鑽、李源泉, 1979. 甘蔗灌溉之研究 XI. 秋植甘蔗灌溉頻度對蒸發散量、甘蔗生育及蔗產量之影響, 臺灣糖業研究所研究彙報 83:1-14.
4. 張玉鑽, 1970. 甘蔗灌溉之研究 IV. 甘蔗灌溉指標與石膏塊埋置深度之關係, 臺灣糖業試驗所研究彙報 50:103:114.
5. 張玉鑽, 1972. 臺灣蔗園灌溉研究之綜合報告, 農工學報 18(1):21-35.
6. 張 灝, 1968. 臺灣甘蔗之蒸發散量與需水量, 臺灣糖業試驗所研究彙報 45:37-51.
7. 張 灝 1971. 臺灣之有效雨量與水分平衡, 臺灣糖業試驗所研究彙報 54:77-92.
8. 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.
9. Hargreaves, G. H. 1968. Consumptive Use Derived from Evaporation pan Data. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE 94:97-105.
10. Hu, W. J. and L. D. Miller. 1976. Methods of Irrigation Scheduling with Potential Inputs from Remote Sensing. Incidental Report 7:1-129. Colorado State University.
11. Jensen, M. E., B. J. Pratt, and J. L. Wright. 1971. Estimating Soil and Moisture Depletion from Climate, Crop, and Soil data. Trans. Am. Soc. Agr. Eng., 14(5):954-959.
12. Robinson, F. E., R. B. Campbell and J. H. Chang. 1963. Assessing the Utility of pan Evaporation for Controlling Irrigation of Sugarcane in Hawaii. Agron. J. 55(5):444-446.