

蔗田畦間灌溉之通水位置 對於用水效率之研討

Studies on the Influence of place of Flowing water of Furrow Irrigation to the Efficiency of water Application in Upland Sugarcane Field

張 玉 鑽 *

Yu-Tsuan Chang

一、引 言

旱地灌溉之操作方式，大約可分為地表式及地下式兩大類，而地表式中，畦間灌溉是佔為甚重要之一種，美國農部(1956)⁽²⁾為求畦間灌溉之合理技術，曾提倡就畦間土壤之浸入性(Furrow Intake Rate)，來調節灌水口至末端之必要水量者，可減少損失水量，惟該項觀念僅考慮與畦之平行斷面之水分分佈而已，並未考慮到與畦直角斷面之水分分佈情形。因為臺灣蔗田之耕作方式受自然因素之支配，於甘蔗生育期別，行有中耕培土工作，隨之蔗株位置與畦間地點之關係，也隨時期而異，在這種複雜變化之蔗田環境中，於不同生育階段實施畦間灌溉，究竟對於欲灌溉之必要部位一根系地點之水分分佈情形及用水效率如何，必須值得研究之問題。

筆者為探明本項問題起見，特於不同質地，不同生育階段之蔗田，用一種灌水量進行試驗，並互相研討其各種要件，俾供旱地灌溉操作上，節省用水及提高灌溉效率之用，並盼高明指教。

二、試驗材料及方法

本試驗自1960年9月至1963年2月止，分為1961~1962及1962~1963年期，於臺南糖業試驗所沖積土蔗田實地研究試驗之。實施灌溉之次數及時期，每一作甘蔗按其生育分為初期、旺盛期、後期之三階段，並在於每一階段中各灌溉一次，灌溉後就2、24及48小時分別用人工掘取剖面，調查水分浸潤情形外，尚於24小時時，採取不同部位之土樣，以烘乾法求出水分含量比較之，每一次灌水量各生育階段均固定為60mm，其水量之控制係利用2.5Hp抽水機連接2吋口徑帆布管2條(長度36.36公尺)直接送水到畦間

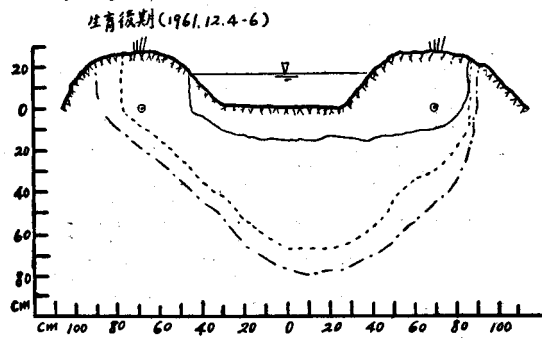
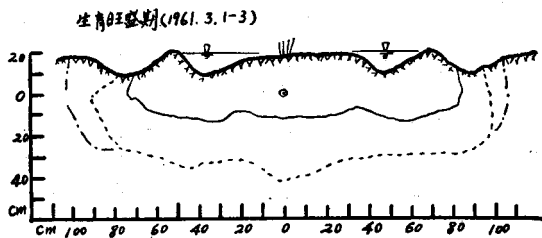
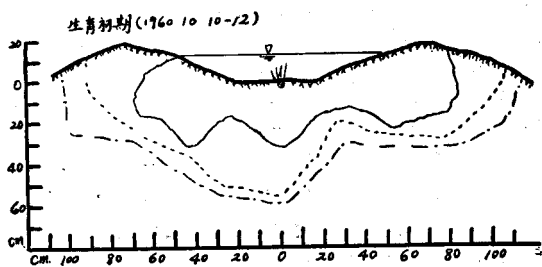
內，是項裝置之一分鐘出水量為125公升，每行面積為19.18平方公尺，故每行給水量為1150.8公升，就其水量推算抽水時間為9分12秒控制之。試驗區測定畦之田間規格為行長14公尺，行距1.37公尺，不設重複，每一次單獨調查一行。田區之一切作業管理均照本所之甘蔗栽培一般規定行之。試驗區1961~1962年期甘蔗為1960年9月10日種植，1962年2月16日收穫，產蔗量每公頃144公噸，品種F148，田間表土之機械組成(國際法)砂粒90.19%，粉粒7.06%，粘粒2.75%，質地為砂土，田間容水量14.01%，水分當量7.58，凋萎係數3.84%，有效水分範圍10.17%，假比重1.27。1962~1963年期之甘蔗為1961年8月28日種植，1963年2月2日收穫，產蔗量每公頃159公噸，品種F147，田間表土之機械組成(國際法)砂粒58.88%，粉粒28.57%，粘粒12.55%，質地為壤土，田間容水量25.28%，水分當量17.34%，凋萎係數4.32%，有效水分範圍20.96%，假比重1.32。各項分析方法，土壤機械(粒徑)組成用浮秤法，田間容水量以灌水一次70mm後覆蓋土面，砂土於24小時，壤土於48小時後採土烘乾求之，水分當量用離心機法，凋萎係數用壓膜裝置法，假比重用圓筒法，有效水分範圍以田間容水量做上限，凋萎係數做下限求之。

三、試驗結果

一、灌溉後不同時間之水分浸潤情形

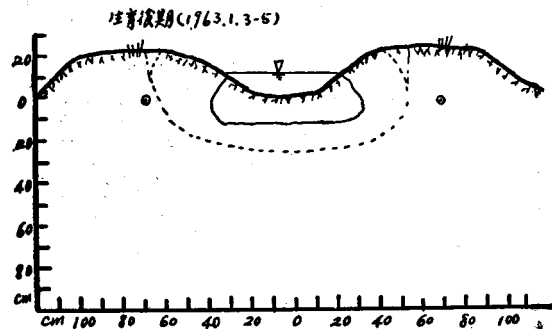
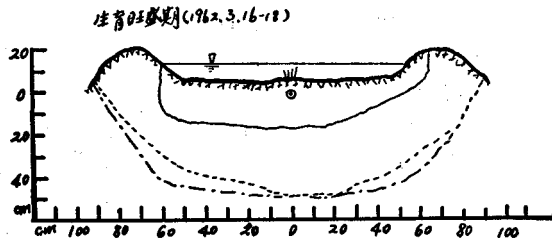
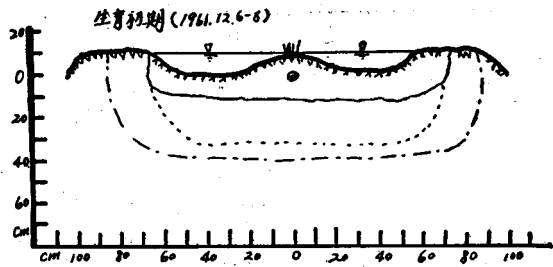
甘蔗生育過程中就不同時期別，實施灌溉60mm後，其灌溉水停留在畦間地表面之時間(指到完全滲透所需要之時間)，除生育階段間略有差異外，土壤質地間相差甚大，以砂土言，初期為2小時，旺盛

* 臺灣糖業試驗所種藝系灌溉排水研究室



圖示說明：——灌溉2小時後水分浸潤地境。○蕉苗位置。
 - - - - - 24 " " " " 此蕉株位置。
 - · - · - 48 " " " " 此蕉株位置。

第1圖：砂土蔗田灌溉水之浸潤情形



圖示說明：——灌溉2小時後水分浸潤地境。○蕉苗位置。
 - - - - - 24 " " " " 此蕉株位置。
 - · - · - 48 " " " " 此蕉株位置。

第2圖：壤土蔗田灌溉水之浸潤情形

期為37分，後期為51分，壤土初期及旺盛期均為15小時以上，後期10小時以上，相差達7~24倍之多。且以灌溉後2小時（壤土灌溉後2小時尚有甚多水分未滲透，故本時間中之調查部位之地面水以人工排除後調查之），24小時及48小時後所調查之各時間別之水分浸潤分佈情形列如第1圖及第2圖。

由上述之第1及第2圖可知，60mm灌水24小時後，於生育初期、旺盛期蔗田，即通水位置在蔗株上面溝位時，其浸潤深度及寬度均超過當時之主要根系範圍(Root Zone)以外，灌後24小時時兩種生育階段之水分浸潤深度（以土表面算起），約為40~60cm，平均言，砂土為60cm，壤土為45cm，較2小時增加為64~105%，平均約為1倍左右。寬度即橫向（以溝中心點算起）為65~105cm，平均砂土為97cm，壤土為80cm，較2小時約增加15~45%，平

均增加20%左右。48小時時有的根本無增加，有的增加20%，平均言，寬度較24小時約增加10cm左右。因此用一次60mm水量，就其水分分佈之實際情形看，無論砂土及壤土地之生育初期，旺盛期蔗田均超過必要量甚多。惟後期蔗田砂土於灌溉後2小時浸潤深度可到15cm，24小時到65cm，48小時到78cm，寬度2小時到65cm，24小時到82cm，48小時到88cm。而壤土之浸潤深度2小時到12cm，24、48小時僅達25cm，寬度2小時到35cm，24、48小時到60cm，設於畦壁算起橫向浸潤，砂土約為40~50cm，壤土約在30cm，可知後期蔗田60mm灌水時，砂土已超過需要量，而壤土尚不足其必要之水量。

二、灌溉後不同位置之水分含量

灌溉後24小時就剖面以不同部位土壤，採取後烘乾求出水分含量（對乾土重百分率）列如第1表：

第1表 生育階段別蔗田灌溉後24小時之不同地點水分含量

地點	質 地 生育期	砂 土			壤 土			
		初 期	旺 盛 期	後 期	初 期	旺 盛 期	後 期	後 期*
蔗苗位垂直向上 20cm		—	—	13.62	—	—	12.95	25.03
“ 10cm		—	—	15.00	28.56	32.21	—	23.60
“ 0cm		22.03	15.65	14.28	29.83	23.56	—	23.13
蔗苗位垂直向下 10cm		1.915	16.07	13.55	21.99	22.36	8.21	20.38
“ 20cm		18.12	14.61	11.57	21.14	19.02	—	16.72
“ 30cm		15.66	9.91	—	17.11	17.60	—	12.44
“ 40cm		16.05	9.09	—	—	—	—	—
浸潤線附近右		14.27	8.23	—	18.75	20.04	—	—
“ 左		14.69	9.58	—	16.49	18.67	—	—
畦間中心下 0~5cm		—	—	15.77	—	—	—	22.57
“ 10~15cm		—	—	15.33	—	—	—	21.09

* 離開蔗苗位置向外25cm處

由上述第1表可知，無論砂土及壤土地，於蔗苗位置做代表比較同一水量實施灌溉後，於不同生育階段時之水分含量也可明瞭，通水位置於靠近在蔗株部位者，水分愈潮濕，離開蔗株愈遠其趨勢反之，以水分浸潤情形認為一次水量超過必要量以上之各生育期者，就水分含量看其根系範圍內之水分量也均接近或超過田間容水量之數值。惟認為水量不足之壤土後期蔗田之蔗苗下 10cm 之水分含量，在於凋萎係數附近，而離開蔗苗位置向外 25cm 處之各層水分均在田間容水量附近之數值。就以上之水分含量也可知壤土之後期蔗田，在通常之畦間灌溉下，一次水量 60mm，尚不够其需要。

三、生育階段別之水量計算及灌水面係數之重要性

一次灌溉水量之計算通常以Israelsen 1952⁽¹⁾之方法，就田間容水量，凋萎係數等水分恒數來估計平面積之水深，但本試驗為畦間灌溉之情況下，不一定所有之面積都要灌水，設蔗株在植溝中時，其佔有大部份面積之畦部可不必灌水，且其畦間愈保持原來植溝型狀者，愈有利於經濟用水條件等等，均受環境之差異，通水必要寬度之大小，或其通水面佔全面積百分率之灌水面係數（筆者指稱名詞）大小，亦可影響合理之一次灌溉水量計算值，茲將其有關數值列如第2表：

第2表 不同條件之蔗田畦間灌溉數值及其一次水深計算值

項 目	質 地 生育期	砂 土			壤 土		
		初 期	旺 盛 期	後 期	初 期	旺 盛 期	後 期
培土高度 cm		2	18	26	7	7	20
主要根系離苗下 cm		10	10	10	10	20	20
主要根系離苗左右 cm		13	10	20	15	30	20
灌溉深度 cm		12	28	36	17	27	40
通水面寬度 cm		45	60	137	50	90	137
灌水面係數		0.33	0.44	1.00	0.36	0.66	1.00
一次水深 mm		5.12	15.92	46.51	16.93	49.44	110.68
“ 指數		100	311	908	100	292	654

由上表之各項調查數值可知，蔗田之主要根系深度，無論土壤別，生育階段別，都不會太深及不會太寬，均集中在蔗苗附近，因此生育初期及旺盛期，即

尚未大培土以前，蔗株在畦間中時，可用少水量就可達到目的，而大培土後就要用多水量方能抬高水面，隨之水分才能分佈到根系地點內。茲就甘蔗根系之基

本特性言，欲達到畦間灌溉之經濟一次水量及合理水深者，必須應就生育階段別之蔗株位置或通水位置之條件下，就上述一般式求出一之一次水量乘其灌水面係數，所得之水量來灌溉後，方不致會發生有過多或不足，因此畦間灌溉水量計算上，灌水面係數仍為決定合理水量上，最重要之一項數值。

四、用水效率問題

旱地灌溉後，通常指實際供作物所能利用之水量加該部位之土面蒸發量之消費水量，對該灌水量比率謂之灌水效率亦稱用水效率。即用水效率愈大其水之利用愈為經濟實惠之意思，設田區全面都有作物或都有主要根系之分佈，甚至栽培法是密植行距之條播等諸情況下，僅可考慮灌溉深度就可解決用水效率問題。惟甘蔗栽培時，因為其行距很寬，且蔗株與通水位置隨時期而變，故蔗田畦間灌溉，除要考慮灌溉深度外，最重要者尚要參照實際需要之通水面積佔行距面積之比率要素（筆者指稱為灌水面係數）。設於本試驗環境下，就同一灌溉深度而論，砂土初期之水深為1時，旺盛期要1.33，後期要3.03，壤土初期為1時，旺盛期要1.83，後期要2.78，則初期效率大於旺盛期33~83%，較後期大於178~203%之多，換言之若不考慮該灌水面係數問題行灌溉時，砂土一壤土於旺盛期要浪費52~128%之水量，初期要損失174~204%，是項觀念目前行畦間灌溉業務人員均不太注意，而不管任何時仍採取全面灌溉之方式，至於浪費水量流失土壤中養分，且未能獲得隨灌溉水增加之增收效益。如再考慮灌溉深度時，不同生育階段別之必要水深更得為懸殊之差別，通常旺盛期較初期要2倍以上水量，而後期則較初期要6~8倍多之水量，方能達到灌溉目的，若一世代之灌溉水量均考慮一個數字者，可能初期浪費甚多，旺盛期多，後期尚不夠之情形發生，證明欲求得合理之畦間灌溉效果，必須要考慮通水面積之灌水面係數及其他一般式之計算數值為宜。

四、討 論

旱地灌溉之目的在於實施補充灌溉後，能幫助旱作物之增加生產為第一要件，且所用之水量愈少收量愈多，或用最經濟水量得最有效之增產量方能算為灌溉得法，是項途徑不外包括適時適量之灌溉，至于適時方面不受任何灌溉操作方式之影響，僅要考慮作物根系範圍之土壤有效水分來決定灌溉日期者，大約與

理想相差不會太遠，但適量就不然，田村(1960)⁽⁶⁾指出日本群馬縣農試場之試驗結果，生育在畦中之陸稻畦間灌溉與噴晒灌溉方式下，一次灌水量與增產效果，以噴晒灌溉15mm水量時等於畦間灌溉水量之37mm，且噴晒灌溉之一次水量25mm時已達最高增產收量，而畦間灌溉要在45mm方能達到最高收量，證明欲向畦中根系範圍實施灌溉而由其上面行灌溉時之適宜水量為1時，由側面之畦間灌溉時就要用2.5之水量方為適宜，則增加1.5倍之水量方能達到所需要之目的地點，換言之要浪費1.5倍之水量，若不考慮灌溉給水方式而行畦間灌溉時，也用噴晒灌溉時之水量者，可能所獲得之結果為徒勞無功與無灌溉相同。橫井、長谷部(1962)⁽⁹⁾就行距75cm之畦嶺條件中，作物植於畦間、畦壁、畦頂之方式試驗畦間灌溉對於水分分佈及收量之結果指出，設照通常之給水方式下，通水部位在畦間時，其水分向畦內浸潤者甚少，若通水位置靠近於植株邊或在植株內面行灌水時可得改善，而40mm灌水後7天調查灌水量對消費量比率之結果，畦間作為1，畦壁作為0.9，畦頂作為0.5，而糙米收量畦間作為1時，畦壁作為0.89，畦頂作為0.28，均隨通水位置離開植株愈遠愈減少之。Van't Woudt(1957)⁽³⁾，小林(1960)⁽⁴⁾⁽⁵⁾，田村(1961)⁽⁷⁾，田村、白石、三輪(1961)⁽⁸⁾，東海近畿農試場(1959)⁽⁶⁾，筆者⁽¹¹⁾，等均用不同方式測驗畦間灌溉後證明水分不易浸入畦內，須要浪費甚多灌溉水方能達到目的，故一般都指畦間灌溉之用水較噴晒灌溉時為浪費，惟臺灣之甘蔗栽培方式不但用大行距外，於生育初期及旺盛期之前半期時，蔗株都在畦間中，根系範圍又不太大，所佔面積僅有行距之 $\frac{1}{3}$ 至 $\frac{1}{2}$ 左右，所以屆時之用水量，按本試驗之計算還較噴晒灌溉為經濟，為理所當然之事，故不能一概而論畦間灌溉對用水是不經濟之說法，由本文證實之。張(1963)⁽¹⁰⁾在壤土蔗田以適時行灌溉用少、中、多水量灌溉後，對於產量未獲得有顯著差異，證明初期15mm，旺盛期35mm，後期80mm為合理之一次灌水量，且欲得蔗田之畦間灌溉適當水量上，須應注意土壤水分恒數因素外，更要注意通水位置之係數方能提高用水效果，均符合於本試驗結果，並由本試驗證實畦間灌溉上，植株在畦間時之用水甚經濟，但必須要考慮灌水面係數方能達到，反之植株在畦頂，如後期甘蔗之用水量要特多，且尚要浪費甚多水量方能達到灌溉目的及效果。

五、摘要

本文報告蔗田畦間灌溉之通水位置對於其用水效率，其目的在於探討不同生育階段之蔗田，實施畦間灌溉後，因其通水面離開蔗株位置之不同，所造成之根系範圍地點之水分分佈情形及其用水效率之後果，俾利灌溉操作上，節省用水及提高灌溉用水效率之用。試驗就1961~1962及1962~1963年期秋植蔗田，自1960年9月至1963年2月，在臺灣糖業試驗所臺南農場進行之，土壤分為砂土（1961~1962）及壤土（1962~1963），行距為1.37公尺，一次水量均為60mm，甘蔗一世代中分為初期、旺盛期及後期，在各期中各灌溉一次，所調查研討結果摘要如下：

(1)灌溉後之水分浸潤情形及土壤水分實測結果言，一次水量60mm之畦間灌溉，在砂土、壤土質地之甘蔗生育初期、旺盛期田間下，均超過必要量甚多，後期蔗田砂土仍超過，但壤土則尚不够其需用量。

(2)一次60mm之畦間灌溉後一天時，初期、旺盛期之砂土田間水分垂直浸潤，平均到60cm，壤土為45cm，橫向（以畦間中心算起）砂土為97cm，壤土為80cm，後期蔗田砂土垂直為65cm，橫向82cm，壤土垂直為25cm，橫向為60cm，以畦壁算起橫向移動，砂土約為40~50cm，壤土約在30cm。

(3)蔗田畦間灌溉之需要通水位置面積，對於行距面積之係數，初期在0.33~0.36，旺盛期在0.44~0.66，後期為1.00，因此欲提高用水效率，一次水深初期為少水量，旺盛期為中水量，後期要特大水量為佳。

(4)蔗田畦間灌溉之有效灌溉目的下，合理水量初期為1時，旺盛期應在3左右，後期要6以上為宜。

(6)欲達真正之合理灌溉條件，應具備田間土壤水

分恒數，主要根系深度外，尚包括蔗株位置離開通水地點，及通水部位面積佔行距面積之灌水係數。

誌謝：本試驗進行期間，承本室黃基雄、陳狄青兩位先生協助，謹誌謝忱。

參考文獻

- (1) Israelson, O. W. 1952. Irrigation Principles and Practices. Second Edition. PP. 187-221.
- (2) U.S.D.A. Soil Conservation Service. 1956. Methods for Evaluating Irrigation System. Agricultural Handbook No. 82. PP. 4-10.
- (3) Van't Woudt, B. D. 1957. Infiltration Behavior under Furrow and Sprinkler Irrigation. Agricultural Engineering 38:5:310-311. 319-320.
- (4) 小林一：1960，土壤水分的測定法，大枝益賢教授定年退官記念論文集。pp. 252-281，畑地灌溉研究會東京。
- (5) 小林一：1960，畑地土壤水の動態とその測定法に関する研究，單行本。
- (6) 田村猛：1960，なぜ畦間灌溉の水の效率はひくいのか，農業及園藝 35:10:1570。
- (7) 田村猛：1961，灌溉水の滲透機構から見た散水灌溉と畦間灌溉の比較検討，畑地灌溉38:25-34。
- (8) 田村猛、白石英次，三輪計一：1961，畑地灌溉水の地下滲透測定装置の考案。農業及園藝36:1:111-112。
- (9) 橫井肇、長谷部次郎：1962，畦間灌溉の通水位置に関する試験，東海近畿農業試驗場研究報告栽培第二部3:1-7。
- (10) 張玉鑽：1963，甘蔗畑の立地條件に於ける土壤水の動態に伴ふその適正灌溉水量に関する研究，熱帶農業6:3。
- (11) 張玉鑽：甘蔗旱地灌溉土壤之水分收支動態之研究，未發表。

啓事

本學報經理監事會聯席會議議決，自九卷二期起，每篇文章皆附英文摘要，文內圖表同時註明中英文，以便向國外有關機關交換資料，懇請投稿諸先生協助。

本會學術組謹啓