

以土壤水分遞減法與熱收支法估算 臺東地區新興地番荔枝果園蒸發散量

To Estimate Evapotranspiration by Soil Moisture Depletion and Heat Budget for a Sugar Apple Orchard at Reclaimed Land of Taitung Area

國立屏東科技大學水土保持系
副教授

唐 琦*

Chi Tang

國立屏東科技大學水土保持系
研究生

張 裕 山

Yuh-Shan Chang

摘 要

本研究自 2007 年 3 月 1 日至 2008 年 2 月 12 日止，於臺東縣臺東市之新興地番荔枝栽植區，擇一面積 1.8 ha (長度及寬度約為 150 及 120 m)之番荔枝果園試區 (121°4'56" E, 22°44'36" N)，針對淨輻射量、地中傳導熱量、氣溫、相對濕度及地面下不同土層深度(0.1、0.3 及 0.6 m)之土壤水分導電阻抗進行觀測，採土壤水分遞減法估算實際蒸發散量(ET_o)，對熱收支法估測蒸發散量(ET_H)與 A 型蒸發皿蒸發量(E_A)進行比較分析，以期建立新興地番荔枝果園之蒸發散量簡單估測方法。經相關係數與 F 值檢驗，可知 ET_H 及 E_A 均與 ET_o 間具有直線遞增關係，前後二者之迴歸係數為 0.55 及 0.54，且已達 1%顯著水準，顯示熱收支法估測新興地番荔枝果園之蒸發散量應具相當可信性，而每日 ET_o 為 0.7~6.6 mm，平均值為 2.5 mm，及每日 ET_H 為 0.6~7.3 mm，平均值為 3.0 mm。新興地番荔枝果園蒸發散比估值(ET_o/E_A)約為 0.68。

關鍵詞：新興地，番荔枝，蒸發散量。

ABSTRACT

This study was performed to obtain the rational evapotranspiration for sugar apple fields at a reclaimed land of Taitung area. The selected sugar apple orchard (22°44'36" N, 121°4'56" E) was enclosed with 1.8 ha (150 m × 120 m), at suburb of Taitung City, Taitung Hsien, Taiwan. The observations included as follow: net radiation, soil heat flux, air temperature, relative humidity and soil moisture sensor resistance within 0.1, 0.3 and

*通訊作者，國立屏東科技大學水土保持系副教授，91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號，tangchi@mail.npust.edu.tw

0.6 m depth under ground. All data of the estimated evapotranspiration (ET_H) by heat budget method and evaporation (E_A) by A-type evaporation tank were compared with the practical evapotranspiration (ET_d) by soil moisture depletion method, from March 1, 2007 to February 12, 2008. The simply estimated measures for sugar apple fields at a reclaimed land could be created. The regression analysis of ET_H and E_A with ET_d had examined by correlation coefficient and F -test. The ET_H and E_A were significantly correlated to ET_d with a linear increasing tendency and 1% significance level, the regression coefficients were 0.55 and 0.54. There was a good confidence for estimating evapotranspiration of sugar apple orchard for a reclaimed land by the heat budget method. The daily range and average of ET_d and ET_H were (0.7-6.6, 2.5) mm and (0.6-7.3, 3.0) mm, respectively. The ratio of practical evapotranspiration and evaporation (ET_d/E_A) for sugar apple orchard was about to 0.68.

Keywords: Reclaimed land, Sugar apple, Evapotranspiration.

一、前言

臺東地區濱臨太平洋，受海岸山脈及中央山脈縱貫，山地多且崎嶇。依臺灣水文年報(水利署, 2007)可知，該區域每年降雨集中於 5~10 月，年平均降雨量逾 1,558 mm。此情形常在暴雨引發山洪後，造成山地因地表逕流沖蝕而有大量泥沙、礫石等物質隨山洪由山谷向下游流出，並會於溪流出口處多沖積成平坦地形，且其間土壤雖具質地粗及肥力差之特性，但是經過農民闢建為新興地後，常可栽植經濟作物或果樹，其中，果樹栽植多以番荔枝為主，而對果樹進行修剪與肥培處理，已使番荔枝一年可有二次收穫，且能達到產期調整以應市場所需，加以產出之番荔枝果實肥碩及風味品質俱佳，使得其成為我國極具市場價值與國際競爭力之優質農產品。又各品種番荔枝均以冬期果較佳，然臺東地區於冬季屬乾旱期間。而乾旱期間農地受少雨及高蒸發率的影響，其近地表土層內土壤水分勢能將處於較低的狀態，會造成作物產量偏低(Garcia *et al.*, 2004)。如農地表土層內土壤水分勢能維持穩定，則作物產量可呈現比例增加(Kato *et al.*, 2004)。由此可知，新興地番荔枝果園於冬季乾旱期間，應需採行灌溉以進行土壤水分管理，及達到土壤水分勢能維持穩定，方可利於其果園經營管理。

通常，農地進行土壤水分管理時，蒸發散量(evapotranspiration)常用以決定灌溉水量。如作物於開花及結果期間之作物需水量即可由蒸發散量代表(Miranda *et al.*, 2006)，又農地因具作物之植被覆蓋，縱使旱季期間蒸散率偏低情形下，其間蒸發散量仍會較裸露地者為多(Radersma and Ridder, 1996)，表示蒸發散量用來決定農地灌溉水量，不致有低估情形，且能利於土壤水分管理及提高作物生長需水之利用效率(Tyage *et al.*, 2000)。而蒸發散量源自地表植被蒸散量及其附近地面與水面蒸發量，自是受近地表土層水分含量與氣層水汽含量影響甚鉅，使得蒸發散量估算時，需就一地之蒸發散作用機制進行了解(徐森雄與宋義達, 1987)，故於新興地果園估算蒸發散量時，在無法進行長期田間試驗觀，且無相關數據可資參考時，採取與蒸發散過程密切相關之氣象因子來建立推估式，並於符合信賴範圍內，將可提供可靠之蒸發散量估算值。

蒸發散量估算方法可區分為二類：一是由水平衡觀點之直接測定法，包括：土壤水分遞減法、滲漏計試驗法；二是應用微氣象原理之間接測定法，包括：能量平衡法、空氣動力學法、氣候相關經驗組合法、蒸發皿蒸發量推求法(甘俊二等, 1996)。先就直接測定法應用於新興地來進行討論，此等方法多以滲漏計施設於田間，能符合

現況且較為精確，但多需長期觀測以獲得數據；而新興地多為農地初設階段，滲漏計無法預置於以進行相關試驗，此時，改採測定土壤水分含量，配合土壤水分遞減法以進行相關試驗觀測將能更具實用性。如早作之田間採用定期測定土層內土壤水分含量增減，可求出作物耗水量，意即實際蒸發散量(施嘉昌等，1984)。又如施嘉昌與黃成達(1994)即採用臺南學甲試驗站於玉米有效根層深度內土壤水分含量變化，配合土壤水分遞減法計算玉米於生長期距內蒸發散量實測值，再分別與蒸發散潛勢(potential evapotranspiration)與蒸發量相比，藉以建立該地區玉米春、秋二作全期蒸發散係數及作物係數(或蒸發散比)。

而於早作之田間土層內土壤水分含量推求方法包括：土壤採樣法、石膏塊法、水分張力計法等，其中多以簡便操縱且可連續測定之水分張力計法為之，此法係先以水分張力計測定土層內土壤水分張力值，再將該張力值代入與土壤水分含量間之率定關係式，據以求得；若考量降雨量或灌溉水量同時計算時，則土壤水分含量多採用體積濕度(volume wetness)替代。此外，逐日或逐時之蒸發散量對於農地土壤水分管理應更具有時效，但此等蒸發散量估算會受氣象條件變動而存有很大的差異(夏禹九與楊之遠，1989)。所以採用較短之觀測期距以測定土壤體積濕度變化，並配合自動紀錄則以減少氣象條件變動之差異，將能符合新興地果園蒸發散量估算需求。

再就應用微氣象原理之間接測定法進行討論，其中：(1)空氣動力學法所需觀測風速、氣溫及濕度等儀器雖為簡便，但於新興地果園具較高植被及地形影響，常無法符合足夠行風距離之條件，易造成蒸發散量估算偏差。(2)能量平衡法所需觀測太陽輻射熱量、氣溫及濕度等儀器相較為少，測定精確度高，能適於新興地果園較高植被冠層上觀測，且可進行短期距測定，以獲得逐日或逐時之蒸發散量，亦可同時配合鄰近氣象測站之相關數據來進行相關估算。(3)氣候相關經驗組合法對於一地區之基本資料不足或蒸發散量測定困難時，有較佳之適用性，但仍需長期氣候資料，始能建立局部區域推估式。(4)蒸發皿蒸發量

推求法所需觀測儀器最為簡便，無法實地觀測蒸發量時，亦可直接利用鄰近氣象測站獲得相關蒸發量數據，進而建立蒸發散量推估式，此法能適於新興地果園採用。

由前述可知，能量平衡法及蒸發皿蒸發量推求法二者應較能適用於新興地果園蒸發散量估算。此外，徐森雄等(1991)研究指出以熱收支法(heat budget method)及蒸發皿係數法，均可適用於推測盤固草牧草地之蒸發散量。Malek and Bingham (1993)以微氣象測定配合熱收支法及鮑溫比法(Bowen ratio method)，對美國猶他州北方的半乾燥山谷地區進行蒸發散量估測，再與經土壤水分含量變化所求得之實際蒸發散量比較，結果得知兩者間具高度相關性。又於農地內觀測淨輻射量及地中傳導熱量，配合鮑溫比進行熱收支演算，可快捷且合理估算短期距之蒸發散量(唐琦等，2006)；又配合穩定的淨輻射量及地中傳導熱量等熱收支觀測數據，與實際蒸發散量進行對照，將能建立更準確的估測結果(Trambouze *et al.*, 1998)。另蒸發皿蒸發量為諸氣象因子之綜合指標，且與作物蒸發散量間相關性最高(施嘉昌與黃振昌，1987)，而 A 型蒸發皿蒸發量適用於臺南學甲地區玉米作物需水量估算(施嘉昌與黃振昌，1989)。

因此，本研究針對新興地番荔枝果園先採用土壤水分遞減法估算實際蒸發散量及熱收支法估測蒸發散量後，再與 A 型蒸發皿蒸發量進行比較分析，並經迴歸分析後之相關係數與 F 值檢驗，以期能建立簡單之蒸發散量推估式，進而能有助於臺東地區新興地番荔枝果園決定灌溉水量之參考。

二、材料與方法

2.1 試區概況

本試區為一長度及寬度約為 150 m 及 120 m 之番荔枝果園(見圖 1)，位於臺東縣臺東市郊康樂地區，試區東北側距臺東機場約 300 m。地理位置鄰近中央山脈，現地受利嘉溪之沖積作用而形成新興地，經測定海拔 10 m，平均坡降 3% 以下。果園內土壤組成為砂粒 30%、粉粒 55% 及粘

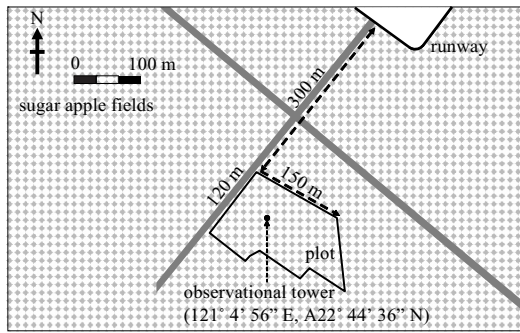


圖 1 試區位置圖

粒 15%，其土壤質地為以粉質壤土為主，間有礫石，pH 值為 5.64，電導度為 $587.5 \mu\text{mhos cm}^{-1}$ ，真比重為 2.7，假比重為 1.36，孔隙率為 49%，有機質為 1.39%。本試區內番荔枝果樹品種為大目種，樹齡 5 年以上，平均樹高 2.3 m。果樹間行株距分別為 5.5 及 2.5 m，共有 1,372 株。冠層投影面積共 $4,473 \text{ m}^2$ ，達全園覆蓋率 22%，又果園地表未於中耕除草時會有草類全園覆蓋。

於距番荔枝果園試區居中區域，設置高度 4 m 之觀測鐵塔(121°4'56" E, 22°44'36" N)，以進行淨輻射量、地中傳導熱量、氣溫及相對濕度等相關微氣象觀測；再於觀測鐵塔下之地面，依 0.1、0.3 及 0.6 m 等不同土層深度埋設土壤水分感測元件(soil moisture sensor)，以測得番荔枝果園試區近地表土層內土壤水分含量變化，相關觀測儀器設置如圖 2 所示。觀測數據採每 30 sec 擷取瞬間值一次，再紀錄 30 min 平均值於資料蒐集器。所有觀測結果分別代入土壤水分遞減及熱收支演算，藉以推算蒸發散量，其過程及方法敘述如後。

當新興地無法進行長期田間試驗觀蒸發散量，而採用直接測定或間接估算，均應配合作物生長期距，如施嘉昌與黃振昌(1987)及施嘉昌與黃成達(1994)針對玉米之春、秋二作生長期距進行作物需水量與蒸發散係數探討；甘俊二等(1996)等針對高粱之春、秋二作生長期距進行作物需水量推估。因此，本研究於新興地番荔枝果園從 2007 年 3 月 1 日至 2008 年 2 月 12 日止之觀測期間，除 6~8 月受番荔枝果樹修剪主支及亞主枝，

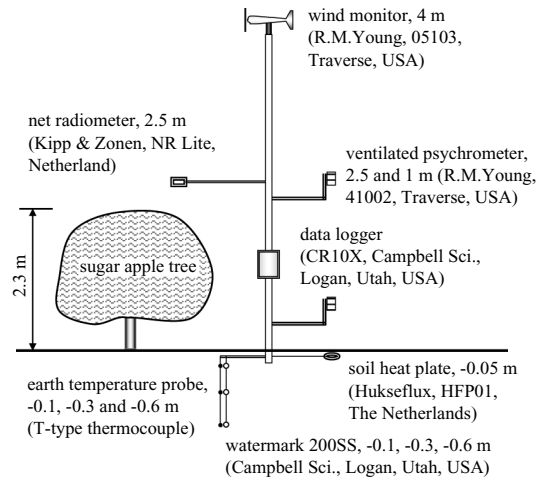


圖 2 微氣象觀測儀器設置

使冠層枝葉去除，而無從測定蒸發散量外，餘者期間番荔枝為調整產期已施行二次修剪側枝，使得觀測期間能包括番荔枝冬果期之 2 至 3 次生長期距。又因降雨會造成果園試區內土壤含水量及其近地表氣層中之水汽含量常接近或已達飽和狀態，或因低溫害、寒害侵襲果園試區，均將致使其間蒸發散作用常是趨近於零，故本研究以觀測期間於番荔枝果樹冠層上 0.5 m 處之日平均氣溫高於 15°C 及無降雨日者為條件來進行區分，共獲致有效數據資料 90 筆，藉以估算新興地番荔枝果園蒸發散量。

2.2 土壤水分遞減法(soil moisture depletion method)

將近地表土層區分成數個單一土層深度，經累計每日各觀測期距於土層深度內土壤水分含量差異，即可進行土壤水分遞減法以推算每日實際蒸發散量，其關係如式(1)~(2)所示。

$$\Delta W = (W_i - W_{i-1}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$ET_a = \Sigma \Delta W \quad \dots\dots\dots(2)$$

式(1)~(2)中， ΔW 為每日土壤水分含量變化， $(W_i - W_{i-1})$ 觀測期距於土層內土壤水分含量差異， ET_a 為實際蒸發散量，以上單位為 mm； i 為觀測期距，而本研究觀測期距為 30 min，每日觀測次數為 48 次。

W 值演算係由各土壤水分導電感測元件所實測各不同土層深度處之導電阻抗值，先代入 Thompson and Armstrong (1987)所提之公式，如式(3)，可求得各單一土層深度之土壤水分張力值。

$$SWP = \frac{R}{0.01306[1.062(34.21 - T_s + 0.0106 \times T_s) - R]} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式(3)中，SWP 為土壤水分張力值(kPa)；R 為土壤水分導電阻抗值(k Ω)；Ts 為地溫(°C)。

各土壤水分感測元件埋設於試區現場之前，均先以現場土樣配合各土壤水分導電感測元件來建立 SWP 與體積濕度間之率定關係式，見式(4)~(6)。再將各不同土層深度之 SWP 分別代各式，進而求得各不同土層深度處之體積濕度。

$$\theta_{0.1} = -3.6963 \ln (SWP) + 33.768, r = 0.77^{**} \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$\theta_{0.3} = -3.6319 \ln (SWP) + 33.098, r = 0.76^{**} \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\theta_{0.6} = -4.0964 \ln (SWP) + 33.888, r = 0.76^{**} \quad \dots\dots\dots(6)$$

式(4)~(6)中， θ 為體積濕度(%)，r 為相關係數(correlation coefficient)，**表已達 1%顯著水準。又當近地表土層內之水分移動方向與土壤容重均相同時，則土層內土壤水分含量可藉平均斷面法，將各土層有效深度乘以其間之 θ 平均值，進而累計各土層深度內之單位面積土壤水分深度，據以推算實際蒸發散量，其關係如式(7)。

$$W = (\theta_{0.1} \times d_1) + [\frac{\theta_{0.1} + \theta_{0.3}}{2} \times (d_2 - d_1)] + [\frac{\theta_{0.3} + \theta_{0.6}}{2} \times (d_3 - d_2)] \quad \dots\dots\dots(7)$$

式(7)中， $\theta_{0.1}$ 、 $\theta_{0.3}$ 、 $\theta_{0.6}$ 為 d_1 、 d_2 、 d_3 等土層深度處之體積濕度(%)， d_1 、 d_2 、 d_3 之土層深度依序為：0.1、0.3 及 0.6 m。

2.3 熱收支法(heat budget method)

當地表具植被覆蓋下之熱通量變化，可由下

列熱收支式，如式(8)表示。

$$Rn = B + H + IE + Q \quad \dots\dots\dots(8)$$

式(8)中，Rn 為淨輻射量(net radiation)，B 為地中傳導熱量(soil heat flux)，H 為顯熱通量(sensible heat)，IE 為潛熱通量(latent heat)，Q 為植被儲存熱量(canopy heat storage)包括植株儲存熱量及光合作用量之總和，但受番荔枝果樹冠層不似高大喬木茂密，且就其冠層於晝夜區分短期距儲熱變化視之，其差異甚微，故為簡便計算，可將 Q 忽略不計，以上各熱通量單位為 MJ m⁻²。

式(8)中 Rn 及 B 可由實測獲得，而 IE 則利用鮑溫比(Bowen ratio)法進行推求，其關係式如式(9)-(10)。

$$\beta = \frac{H}{IE} \approx 0.5 \frac{T_2 - T_1}{e_2 - e_1} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$IE = \frac{Rn - B}{1 + \beta} \quad \dots\dots\dots(10)$$

上述二式中， β 為鮑溫比(Bowen ratio)， T_2 、 T_1 為二不同高度處之氣溫(°C)， e_2 、 e_1 為二不同高度處之水蒸氣壓(hPa)，於本研究所採用之高度分別為 1 及 2.5 m。而 e 可採用相對濕度與飽和水蒸氣壓予以求得，其關係如式(11)~(12)。

$$RH = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$e_s = 6.105 + 0.444T + 1.434 \times 10^{-2}T^2 + 2.623 \times 10^{-4}T^3 + 2.953 \times 10^{-6}T^4 + 2.559 \times 10^{-8}T^5 \quad \dots\dots\dots(12)$$

式(11)~(12)中，RH 為相對濕度(%)，e、 e_s 為空氣中實際及飽和水蒸氣壓(mm Hg)，T 為氣溫(°C)，其中 e_s 再乘 13.332 以轉換單位為 hPa。若再將潛熱通量除以單位蒸發潛熱，則可估算蒸發散量，如式(13)所示。

$$ET_H = \frac{IE}{l} \quad \dots\dots\dots(13)$$

式(13)中， ET_H 為蒸發散量估算值(mm)；

l 為單位蒸發潛熱($J\ g^{-1}$)，可以下式予以求得。

$$l = 2500.78 - 2.36T \dots\dots\dots(14)$$

三、結果與討論

本研究針對番荔枝果園試區採用水分遞減法推算實際蒸發散量(ET_a)，及熱收支法估算蒸發散量(ET_H)，再分別與鄰近試區之蒸發量(E_A)進行比較比較分析，藉以評估二法所推算蒸發散量測值間之差異，進而建立簡單之番荔枝果園蒸發散量估測方法。先將試驗期間於番荔枝果園試區內每日 E_A 、 ET_a 及 ET_H 推算結果列如表 1 以進行比較。

由表 1 可知，每日 E_A 、 ET_a 及 ET_H 分布範圍各為 1.0~7.9 mm、0.7~6.6 mm 及 0.6~7.3 mm，三者平均值與標準偏差值各為 3.9 ± 1.64 mm、 2.5 ± 1.28 mm 及 3.0 ± 1.69 mm，其中 ET_a 之標準偏差值低於 ET_H 者約 0.4 mm，此係 ET_a 感測元件對於土壤水分變化之反應時間，會較 ET_H 可即時測定輻射熱通量變化之反應時間為長所致。而觀測期間 ET_a 及 ET_H 推算結果均小於 E_A ，且 ET_H 平均較 ET_a 略大於 0.5 mm。若再將 ET_a 與 E_A 相除可求得本研究番荔枝果園蒸發散比估值約為 0.68，此估值相較：以田間淨耗水量與日蒸發量相比所推算各種作物之蒸發散比如：玉米(0.5~0.63)、甘藷(0.34~0.35)、花生(0.4)、大豆(0.4~0.6)、陸稻(0.65)及甘蔗(0.5~0.6)等之旱作者(中國農業工程學會，1990)，則番荔枝果樹者與各作物間相近。

將番荔枝果園試區內各不同土層深度之土壤水分深度(W)變化所推算之每日實際蒸發散量(ET_a)，同時與鄰近試區之臺東氣象站所測得之每日蒸發量(E_A)進行比較，藉以檢驗其關聯性，結果如圖 3 及式(15)所示。

$$ET_a = 0.55E_A + 0.44, r = 0.64^{**} \dots\dots\dots(15)$$

圖 3 中，因觀測期間屬於番荔枝冬期果生長期，會有低溫害或寒害侵襲番荔枝果園試區，造成蒸發散作用偏低之情形，但觀測期間每日 ET_a 數值分布範圍約介於 0.7~6.6 mm，平均值為 2.6 mm，若將其相較高大喬木者：如香楠蒸發

散量約為 0.5~3.3 mm 及平均值為 1.4 mm (唐琦等，2003)，則顯略高，又相較徐森雄等(1991)所提蒸發皿係數法估算盤固草蒸發散量範圍約為 1.6~4.3 mm，對其平均可得知為 3.4 mm，則番荔枝果樹蒸發散量較草地者略低。

式(15)中， ET_a 與 E_A 二者間具有正相關之遞增關係，樣本數為 90，相關係數(r)為 0.64，標準偏差達 1.29 mm。但經單分類變方分析(one-way analysis of variance)之 F 值測驗，可知 ET_a 與 E_A 間之 $F = 61.21$ ，仍大於臨界區 $F_{0.05(1,89)} = 8.35$ ，表該式已達 1%顯著水準(簡記為**)，此意即 ET_a 與 E_A 二者間具有密切相關性。而本研究觀測期間係配合番荔枝生長期距以進行 ET_a 估算，若能將 ET_a 視為作物需水量估值，則式(15)中之迴歸係數為 0.55。將該迴歸係數相較嘉南地區作物需水量與日蒸發量所推算各種作物之迴歸係數如：甘藷(0.356~0.409)、玉米(0.47)、高粱(0.32)、大豆(0.481)等旱作(中國農業工程學會，1990)，則番荔枝果樹略高於各作物間。又再相較於水土保持推廣草類如奧古斯汀草、百喜草及盤固拉草等三者之迴歸係數分為 0.47~0.87、0.45~0.66 及 0.57~0.94 (唐琦等，2000)，可知番荔枝果樹者會較草地者偏低，及與旱作者相近之情形。

其次，再將本研究將觀測期間於果園試區內所實測之相關數據，依熱收支法來推求新興地番荔枝果園蒸發散量估算值(ET_H)，與本試區推算之每日實際蒸發散量(ET_a)比較，結果繪如圖 4 及式(16)所示。

$$ET_a = 0.54ET_H + 0.96, r = 0.64^{**} \dots\dots\dots(16)$$

由圖 4 可知，以熱收支法所估算新興地番荔枝果園每日 ET_H 分布範圍約為 0.6~7.3 mm，平均值為 3.0 mm，相較於前述 ET_a 分布範圍約為 0.7~6.6 mm，平均值為 2.6 mm，則 ET_H 略高於 ET_a 之趨勢。又當 ET_H 小於 3 mm 時，部份 ET_a 於相同 ET_H 情形下，會有 0.5~5 mm 的分布範圍，此係受低溫害或寒害侵襲番荔枝果園試區，及果園試區進行中耕除草，會造成 ET_a 不易增加而偏低；另為調整番荔枝產期所修剪果樹側枝，會造成冠層覆蓋稀疏，此將會使 ET_a 維持常態，但 ET_H

表 1 試驗期間於臺東新興地番荔枝果園內實際蒸發散量(ET_a)、熱收支法估測蒸發散量(ET_H)與蒸發量(E_A)之比較

Year	Date	E_A (mm)	ET_a (mm)	ET_H (mm)	ET_a/E_A	Year	Date	E_A (mm)	ET_o (mm)	ET_H (mm)	ET_o/E_A
2007	3/1	2.9	1.6	1.9	0.55	2007	10/26	4.3	1.1	2.1	0.27
	3/3	3.9	3.0	2.3	0.77		10/30	1.6	0.8	1.8	0.49
	3/7	2.7	2.0	1.9	0.73		10/31	3.0	1.7	5.0	0.56
	3/9	3.7	3.0	1.9	0.82		11/1	3.7	1.6	2.3	0.44
	3/12	3.2	2.1	0.6	0.66		11/2	4.3	1.7	1.6	0.38
	3/13	3.0	2.3	2.2	0.76		11/4	2.8	1.8	2.1	0.66
	3/19	2.9	1.3	3.1	0.46		11/9	3.8	3.6	3.2	0.95
	3/21	2.9	1.9	3.6	0.65		11/10	3.9	2.5	2.5	0.63
	3/22	7.5	5.1	4.4	0.68		11/13	3.3	2.4	2.8	0.72
	3/26	3.3	3.1	1.9	0.93		11/15	4.1	2.0	3.5	0.49
	4/10	6.3	4.4	3.1	0.70		11/17	4.0	1.6	1.7	0.40
	4/14	1.4	1.4	2.6	0.99		11/18	4.2	1.1	3.4	0.27
	4/24	6.7	4.9	6.3	0.73		11/19	3.8	0.8	3.1	0.22
	4/25	7.6	4.6	3.7	0.61		11/20	4.9	3.2	3.8	0.64
	4/26	4.9	3.0	4.0	0.61		11/21	2.2	2.0	2.3	0.90
	4/31	4.8	3.7	4.8	0.76		11/23	4.2	1.6	2.4	0.39
	5/1	5.1	4.7	2.1	0.92		11/24	3.9	3.2	1.8	0.83
	5/11	4.8	4.5	4.8	0.94		11/29	3.5	2.6	1.1	0.75
	5/20	4.9	2.5	4.7	0.52		11/30	5.3	4.8	2.4	0.91
	5/23	3.2	2.9	6.1	0.92		12/2	1.8	1.4	3.1	0.75
	7/1	6.4	4.8	6.7	0.75		12/3	3.6	1.9	2.1	0.52
	7/3	7.6	3.9	5.0	0.51		12/4	1.6	1.1	1.0	0.70
	7/4	6.3	4.2	6.1	0.67		12/5	2.9	1.3	1.3	0.46
	7/10	6.8	4.3	5.4	0.63		12/6	1.3	1.5	3.1	0.65
	9/2	7.0	6.6	7.3	0.94		12/11	4.1	3.5	2.5	0.86
	9/3	6.4	5.8	6.4	0.91		12/12	2.2	1.9	2.0	0.88
	9/4	4.8	3.0	3.8	0.63		12/21	3.0	2.0	2.2	0.67
	9/5	2.9	2.7	2.8	0.93		12/22	3.2	1.7	1.6	0.54
	9/10	4.4	2.9	2.8	0.66		12/27	3.5	1.3	2.3	0.38
	9/11	5.1	3.3	3.3	0.64	1/2	3.2	1.7	1.2	0.53	
	9/12	2.5	2.0	2.3	0.80	1/3	1.7	0.7	1.1	0.47	
	9/16	4.2	2.0	2.2	0.48	1/5	3.0	2.3	1.4	0.75	
	9/18	1.3	0.8	1.2	0.61	1/10	2.0	1.6	1.4	0.81	
	9/21	4.5	3.2	6.1	0.71	1/11	2.2	1.8	2.0	0.81	
	9/27	5.6	4.5	6.7	0.81	1/17	2.3	2.1	1.0	0.91	
	9/28	6.5	3.6	5.6	0.55	1/18	2.7	2.0	1.5	0.74	
	9/29	4.6	3.4	5.7	0.75	1/19	1.4	1.1	1.5	0.77	
	10/1	3.3	1.4	2.5	0.43	1/20	3.7	1.6	1.4	0.42	
	10/4	7.9	4.3	7.1	0.54	1/21	3.2	1.4	1.5	0.43	
	10/14	5.5	3.2	6.3	0.59	1/22	2.8	1.8	1.5	0.65	
	10/15	4.0	2.9	3.0	0.73	1/26	1.2	1.1	1.8	0.89	
	10/17	6.1	2.1	4.8	0.35	2/1	2.1	2.0	2.0	0.93	
	10/19	3.6	1.1	2.0	0.32	2/4	1.0	0.9	2.4	0.87	
	10/21	6.0	2.3	2.9	0.39	2/7	2.3	0.8	1.1	0.34	
	10/23	4.8	2.8	4.2	0.57	2/10	2.7	1.5	1.3	0.57	
Average :								3.9	2.5	3.0	0.68

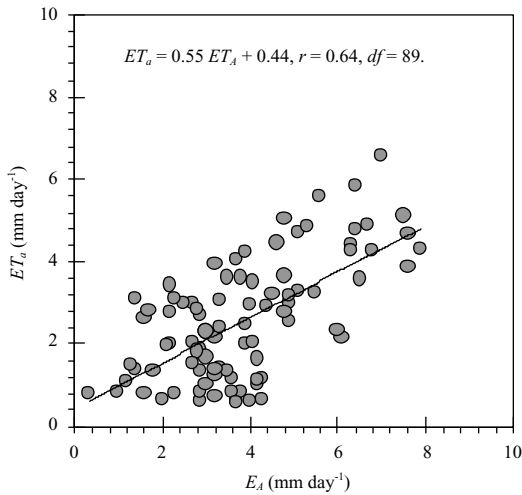


圖 3 臺東新興地番荔枝果園內實際蒸發散量(ET_a)與蒸發量(E_A)之關係

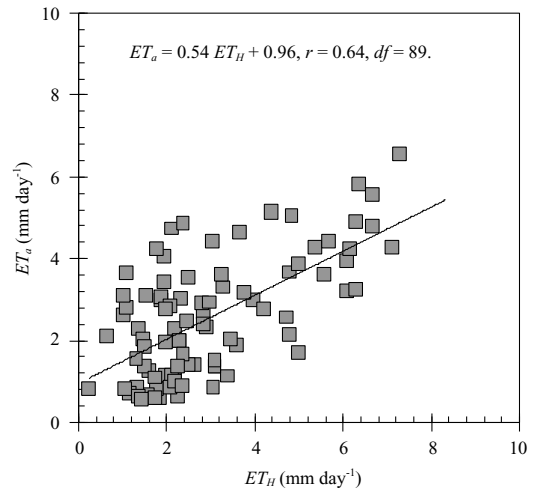


圖 4 臺東新興地番荔枝果園內實際蒸發散量(ET_a)與熱收支法估測蒸發散量(ET_H)之關係

則有明顯降低情形。由此可知，新興地番荔枝果園之維護管理工作及天氣變化等會影響蒸發散量估算。

式(16)中， ET_a 與 ET_H 二者間呈現正相關之遞增趨勢，樣本數為 90，相關係數(r)為 0.64，標準偏差為 1.12 mm，此相較 ET_a 與 E_A 間之標準偏差約低 0.2 mm，此係前述部份 ET_a 會受天氣變化差異影響，然 ET_H 卻較能反應番荔枝果園內植被覆蓋改變所造成之差異影響。再經單分類變方分析之 F 值測驗，可知 ET_a 與 ET_H 間之 $F = 59.19$ ，大於臨界區 $F_{0.05(1,89)} = 8.35$ ，表該式已達 1% 顯著水準，意即 ET_a 與 ET_H 二者間具有密切相關性。

再比較式(15)及式(16)可知， E_A 與 ET_H 二者與 ET_a 間之迴歸係數分別為 0.55 及 0.54，顯示 ET_H 與 E_A 對 ET_a 之遞增趨勢相近。然就該二推估式之常數分別為 0.44 及 0.96 mm，此係估算 ET_H 時之相關測值反應時間會較自由液面之 E_A 者為短所致。再以觀測期間 ET_H 與 E_A 曾出現約 8 mm 之情形，分別將該值代入二推估式，得知前、後二者 ET_a 分別為 4.84 mm 及 5.28 mm，差值為 0.44 mm，約佔二者估算 ET_a 結果之 8~9%，表示 ET_H 與 E_A 所估算之 ET_a 相近。最後，綜合前述可知：土壤水分遞減法推算實際蒸發散量，經與熱收支法估測蒸發散量及蒸發皿蒸發量間進行相關係

數與單分類變方分析結果，呈現密切關聯，則熱收支法用於新興地番荔枝果園蒸發散量估算應具有可信度。

四、結 論

綜合前述，獲致以下結論：

1. 番荔枝果樹於新興地種植時蒸發散比估值約為 0.68，與玉米、大豆、陸稻及甘蔗等旱作之蒸發散比相近。
2. 新興地番荔枝果園內分別以 A 型蒸發皿蒸發量(E_A)及熱收支法所估算之蒸發散量(ET_H)，均能與土壤水分遞減法所估算實際蒸發散量(ET_a)間具有密切正相關之關係，其推估式為： $ET_a = 0.55 E_A + 0.44$ ； $ET_a = 0.54 ET_H + 0.96$ 。
3. 以土壤水分遞減法估算新興地番荔枝果園每日蒸發散量，其值分布範圍約介於 0.7~6.6 mm，平均值為 2.5 mm。
4. 以熱收支法估測新興地番荔枝果園每日蒸發散量，其值分布範圍約介於 0.6~7.3 mm，平均值為 3.0 mm。

五、誌 謝

本研究承行政院農業委員會農糧署之 96 農科-10.2.1-糧-Z1(3)及 97 農科-10.2.1-糧-Z1(2)部分

計畫經費支持，使現場觀測工作得以順利進行，特致謝忱。

六、參考文獻

1. 中國農業工程學會，1990，中國農業工程手冊農業水利之部－灌溉、墾殖、管理。
2. 行政院經濟部水利署，2007，中華民國九十六年臺灣水文年報。
3. 甘俊二、陳清田、陳焜耀，1996，台灣地區作物需水量推估模式之合適性研究，農業工程學報，第 42 卷，第 2 期，p. 8-19。
4. 施嘉昌、徐玉標、曹以松、甘俊二，1984，灌溉排水原理，中央圖書出版社。
5. 施嘉昌、黃振昌，1987，作物需水量與氣象因子相關理論分析之研究，農業工程學報，第 33 卷，第 2 期，p. 1-27。
6. 施嘉昌、黃振昌，1989，從氣象因子估算玉米需水量之研究，台灣地區農業氣象資源應用研討會專輯，中央氣象局，p. 127-140。
7. 施嘉昌、黃成達，1994，玉米蒸發散係數之研究，農業工程學報，第 40 卷，第 1 期，p. 1-15。
8. 徐森雄、宋義達，1987，從氣象資料估算蒸發量，中華水土保持學報，第 18 卷，第 2 期，p. 83-89。
9. 徐森雄、黃國禎、王少峰，1991，從微氣象資料推測盤固草牧草地之蒸發散量，中華農學會報，新 154 期，p. 82-93。
10. 唐琦、陳俐伶、徐森雄，2006，以熱收支法估測台灣南部地區奧古斯汀草地蒸發散量之探討，2006 農業工程研討會論文集，p. 151-158。
11. 唐琦、游繁結、徐森雄，2000，以作物係數法推估三種不同草地之蒸發散量，水土保持學報，第 32 卷，第 4 期，p. 197-206。
12. 唐琦、游繁結、徐森雄，2003，天然香楠林之熱環境特性，中華水土保持學報，第 34 卷，第 2 期，p. 113-127。
13. 夏禹九、楊之遠，1989，由氣象因素估測蒸發散量的限制條件，臺灣地區農業氣象資源應用研討會專輯，p. 127-140。
14. Garcia M., R. Dirk, A. Rick, and H. Carlos, 2004, Dynamics of reference evapotranspiration in the Bolivian highlands (Altiplano), *Agric. For. Meteorol.* Vol. 125, p. 67-82.
15. Kato, T., R. Kimura, and M. Kamichika, 2004, Estimation of evapotranspiration, transpiration ratio and water-use efficiency from a sparse canopy using a compartment model, *Agric. Water Manag.* Vol. 65, p. 173-191.
16. Malek, E., and G. E. Bingham, 1993, Comparison of the Bowen ratio energy balance and the water balance methods for the measurement of evapotranspiration, *J. Hydrology*, Vol. 146, p. 209-220.
17. Miranda F. R., Gondim R. S., and Costa C. A. G., 2006, Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (*Capsicum frutescens* L.), *Agric. Water Manage.*, Vol. 82, p. 237-246.
18. Radersma S., and N. de Ridder, 1996, Computed evapotranspiration of annual and perennial crops at different temporal and spatial scales using published parameter values, *Agric. Water Manag.* Vol. 31, p. 17-34.
19. Thompson S. J., and C. F. Armstrong, 1987, Calibration of the Watermark Model 200 Soil Moisture Sensor. *Appl. Eng. Agric.* Vol. 2, p. 186-189.
20. Trambouze W., P. Bertuzzi, and M. Voltz., 1998, Comparison of methods for estimating actual evapotranspiration in a row-cropped vineyard, *Agric. For. Meteorol.* Vol. 91, p. 193-208.
21. Tyage, N. K., D. K. Shama, and S. K. Luthra, 2000, Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter, *Agric. Water Manag.* Vol. 45, p. 41-54.

收稿日期：民國 98 年 5 月 12 日

修正日期：民國 98 年 12 月 1 日

接受日期：民國 98 年 12 月 3 日