臺灣地區平地日射量之估算分析[1]

陳琦玲[2]　林正錡[3]　劉滄棪[2]

摘要：鑑於全省平地氣象觀測站觀測資料之不足與日射量在氣象資源應用上之需要，而日照時數爲許多測站之觀測氣象要素之一，又爲日射量之重要的相關氣象要素，本文乃以全省平地記錄較完整的測站資料，進行各測站以日照時數爲主要因子之日射量估算經驗式分析，分析結果顯示中央氣象局測站之相關係數皆大於0.8，其他單位之專用觀測站亦達統計上之顯著或極顯著相關。各測站所求得之地域參數可作爲附近地區日射量之估算。以統計 t-test 進行實測與估算日射量旬平均之比較，顯示中央氣象局各測站中，除了高雄測站以外，以五～七年資料作爲估算式分析之統計依據以預測未來日射量已具代表性，而高雄測站日射量逐年減低之原因，值得進一步探討。

關鍵詞：日照時數、日射量。

太陽輻射不僅供給地球絕大部份的能量，且影響生物生育與地表水文收支平衡，一向爲農業氣象與環境科學等各方面研究者所重視。但一般氣象站在光照方面之量測，通常都只觀測日照時數，較少同時觀測日射量。不過，在各項氣象要素中與太陽輻射量關係最密切者爲日照時數[6]，而且日照時數之量測較爲單純，其量測數據通常較日射量數據具有較高的信賴度[1]。因此，在發現日射量量測有疑問時或日射計未再校正或故障時，常利用以往實測日射量與日照時數的關係式來推算日射量。

有關以日照時數推算日射量研究，首推1924年 Ångström 所建議之估算式[9]：

$$Rs=Rc\,[a+(1-a)(n/N)] \quad \cdots\cdots(1)$$

式中，Rs：全天日射量（Global solar radiation）

Rc：完全碧空之入射量（Solar radiation of perfectly clear day）

n：實測日照時數（Bright sunshine duration）

N：可能最大日照時數（Maximum possible duration of sunshine）

a：地域性參數

由於「完全碧空」之輻射量缺乏明確之定義，Ångström（1924）建議之估算式在應用上遭到判斷「完全碧空」之困難與不便，於是 Prescott（1940）修正了（1）式得

$$Rs=Ra\,[a+b(n/N)] \quad \cdots\cdots(2)$$

式中 Ra 爲大氣層外之水平輻射量，a、b 爲地域性參數[21]。a、b 值因觀測站之地理位置、季節變遷及地區氣候特性不同而不一致，大體上，a 值約爲0.15～0.40，b 值約爲0.27～0.68，緯度愈高，a 值愈小，b 值反而愈大[10,17,19]。在此之後，相繼有許多專家從事此方面研究，其目的在尋求正確的經驗式，以估算地區性日射量。在國外研究方面較著名的有 Penmen（1948）於英國東南方 Rothamsted 地方，以月爲計量期距，推薦下式[20]：

1. 臺灣省農業試驗所　研究報告第 1708 號。
2. 本所農化系助理。臺灣省　臺中縣　霧峰鄉。
3. 國立中興大學土壤研究所教授。臺灣省　臺中市。

$$Rs=Ra\,〔0.18+0.55(n/N)〕 \quad \cdots\cdots(3)$$

國際糧農組織 FAO 檢驗自北緯60度至1度，南緯36度至 1 度所有 a、b 兩地域性常數值，以實用觀點，推薦下式[13]：

$$Rs=Ra\,〔0.25+0.50(n/N)〕 \quad \cdots\cdots(4)$$

以上（3）與（4）式，在資料缺乏無法予以校正地區受到普遍之採用。

在國內此研究方面，首推顏（1974）曾以（2）式，求得臺北、花蓮、宜蘭地區之 a、b 值，臺南地區因分析結果顯示無相關，故相關式不成立[8]。當時使用的日射計皆爲魯卑支式，儀器量測之誤差較大。

唐（1979）以月爲計量期距，分析1967～1977年臺灣糖業研究所之晴空日射量與日照時數之關係，求得 b 值大於1之下式，以估算臺南地區晴空時之日射量[3]：

$$Rs=Ra\,〔0.2745+1.066(n/N)〕 \quad \cdots\cdots(5)$$

由於此乃基於無雲晴空之日射量分析，忽略了雲量之影響，在應用上稍受限制。

黃與徐（1982）依據中央氣象局1974～1980年氣候資料年報月平均資料，探討臺灣地區七個測候站日照時數與日射量之關係，首求出各地之 a、b 值[6]。徐與宋（1987）又再以1979～1985年（臺北測站爲1974～1985年）修正七個測站之 a、b 值[5]。

林與蘇（1986）爲配合臺灣地區建築物理環境計畫上需要，乃引用日本吉田氏根據日本硫球附近的日射量數據，求得下列迴歸式[1]：

$$Rs=(0.146+0.534n/N+0.036\sin h)Ra \quad \cdots\cdots(6)$$

h：該月15日南中時太陽高度

估算臺灣各地月平均日射量，並繪製臺灣地區日射量分布圖。但由於直接引用日本之經驗式，故應用在臺灣各地難免呈現不同程度之誤差。各地月平均日射量估算值與實測值之相關係數不如徐與宋（1987）所求得者。

依據 Iqbal（1983）之建議，有關式（2）中 a、b 值之分析，乃以月計或旬計日射量較爲合理亦普遍[16]。爲配合作物需水量之估計，施與黃（1987）乃以1979～1983年臺南學甲地區資料以旬計方式進行式（2）中 a、b 值之檢定，並比較1984年實測日射量與估算值之差異，其 $r=0.957$，而 $a=0.2$，$b=0.43$[2]。其中有關 Ra 與 N 值之計算乃參考 Iqbal 之公式[16]。葉（1990）乃引用同樣公式，計算中部地區每日之 Ra 與 N 值[7]。

本研究爲配合作物生育期與生產之模擬研究中，每日日射量資料之需求，仍引用 Iqbal（1983）之 Ra 與 N 估算公式[16]，以日資料爲計量期距，求出臺灣各氣象站之日射量估算經驗式，並以中央氣象局各測站資料進行日射量估算式之預測準確性分析。

材料與方法

由於山區地形變化複雜，日射量的變化較大，本文暫不討論。目前臺灣全省平地氣象站中有較完整的日照小時與日射量量測者如表 1，其中尤以中央氣象局氣象站的管理與記錄較完整，但因各測站在早期採用舊式儀器量測時，資料之可信度低，如嘉義測候站採用魯卑支氏日射計，儀器感應較不靈敏，故日射量測值偏低[6]，宜蘭測候站某些年間之測值有高於800cal/cm^2/day，甚至高於900cal/cm^2/day者，亦可能是儀器誤差。因此本文乃選用中央氣象局各測站使用熱電偶式日射計量測後之資料，進行日照時數與日射量相關研究及日射量估算式之適用性分析。各測站日照時數之量測都採用康培司托克氏日照計。除了中央氣象局氣象站外，專業氣象觀測站亦有同時觀測日照時數及日射量者，如高雄改良場1978年起即啓用熱電偶式日射計量測日射量，其他各區改良場在1987年後，陸續改爲一級測站，都有日照時數與日射量的量測，又臺糖公司部分測站有些在早年即有日射量量測，有些持續至

今仍有量測。雖然這些記錄資料較零散，但本文亦將採用各測站記錄資料進行分析，以提供更多觀測點參考。各測站之基本資料如表 1 。

表 1. 各氣象站基本資料

Table 1. Basic information of the weather stations in Taiwan.

station no.	city/ county	town/ borough	institute	north latitude	east longitude	altitude m.
1. Central Weather Bureau						
46692	Taipei		Taipei weather station	25° 02′	121° 30′	6
46749	Taichung		Wuchi weather station	24° 16′	120° 31′	7
46777	Taichung	Wuchi	Taichung weather station	24° 09′	120° 41′	84
46748	Chiayi		Chiayi weather station	23° 30′	120° 25′	27
46741	Tainan		Tainan weather station	23° 00′	120° 12′	14
46744	Kaohsiung		Kaohsiung weather station	22° 34′	120° 18′	2
46759	Pingtung	Hengchun	Hengchun weather station	22° 00′	120° 44′	22
46766	Taitung		Taitung weather station	22° 45′	121° 09′	9
46699	Hualien		Hualien weather station	23° 59′	121° 36′	16
46708	Ilan		Ilan weather station	24° 46′	121° 45′	7
2. Chiana Irrigation Association						
12057	Tainan	Chiali	Hsuehchia Upland Crop Irrigation Experiment Station	23° 13′	120° 11′	4
3. Taiwan Sugar Company						
52F03	Taichung		Taichung Sugar Factory at Shuichehtou	24° 11′	120° 36′	150
52J20	Yunlin	Huwei	Huwei experiment station, Taiwan Sugar Research Institute	23° 43′	120° 26′	24
52K13	Yunlin	Tungshih	Tungan Farm, Huwei Sugar Factory	23° 43′	120° 16′	10
52L76	Chiayi	Taipo	Tungshihliao Farm, Suantou Sugar Factory	23° 28′	120° 18′	9
51L87	Chiayi	Talin	Tapumei Farm, Talin Sugar Factory	23° 36′	120° 30′	65
52N11	Tainan		Taiwan Sugar Research Institute (T.S.R.I.)	22° 58′	120° 13′	22
52030	Tainan	Liuying	Hsinying Sugarcane Experiment Station, (T.S.R.I.)	23° 18′	120° 19′	14
52P43	Kaohsiung	Chishan	Chiwei weather station, Chishan Sugar Factory	22° 53′	120° 29′	44
51P53	Kaohsiung	Hsiaokang	Hsiaokang Sugar Factory, Pingtung Sugar Factory	22° 33′	120° 20′	4
52Q04	Pingtung		Pingtung Experiment Station, Taiwan Sugar Research Institute	22° 40′	120° 30′	24
52S50	Taitung		Fenglo weather station, Taitung Sugar Factory	22° 47′	121° 03′	52
52T48	Hualien	Kuangfu	Tanung weather station, Hualian Sugar Factory	23° 38′	121° 25′	190
4. Taiwan Salt Works						
60L51	Chiayi	Putai	Putai Salt Work	23° 20′	120° 10′	2
60N08	Tainan		Tainan Salt Work	22° 58′	120° 12′	2
5. District Agricultural Improvement Station(D.A.I.S.)						
72C44	Taoyuan	Hsinwu	Houchuan weather station, Taoyuan D.A.I.S.	24° 57′	121° 02′	34
72G60	Changhua	Tatsun	Taichung D.A.I.S.	24° 01′	120° 30′	19
72Q01	Pingtung		Kaohsiung D.A.I.S.	22° 40′	120° 30′	24
72S20	Taitung	Peinan	Banjiou Experiment Field, Taitung D.A.I.S.	22° 50′	121° 04′	240
72T25	Hualien	Chian	Chian weather station, Hualien D.A.I.S.	23° 58′	121° 35′	36
72U48	Llan	Sanhsing	Lanyang Experiment Field, Hualien D.A.I.S.	24° 42′	121° 42′	27

6. National Pingtung Polytechnic Institute						
	A0R08	Pingtung	Neipu	Department of Natural Resources Conservation Technology	22° 39′	120° 36′	71
7. Taiwan Livestock Research Institute						
	B2N89	Tainan	Hsinhua	Hsinhua weather station	23° 04′	120° 26′	31
8. Taiwan Agricultural Research Institute						
	G2F82	Taichugn	Wufeng	Taiwan Agriculutral Research Institue	24° 02′	120° 40′	85
9. Taiwan Tabacco & Wine Monopoly Bureau						
	T2F42	Taichung	Tali	Taiwan Tabacoo Research Institute (T.T.R.I.)	24° 05′	120° 41′	77
	T2Q39	Pingtung	Chiuju	Pingtung Improvement station, T.T.R.I.	22° 43′	120° 29′	31

本文引用式 (2) 作爲日射量估算式，有關式 (2) 中 Ra 與 N 值之估算乃採用 Iqbal (1983) 之估算式[16]。

一、日長 (day length) N (hr) 理論值

$$N=\frac{2}{15}\cos^{-1}(\tan\Phi\tan\delta) \quad \cdots\cdots(7)$$

Φ：緯度

δ：太陽赤緯 (declination)，Iqbal 建議由下式可得滿意之精確度[16]：

$$\delta=\left(\frac{\pi}{180}\right)\times(0.006918-0.399912\times\cos\theta+0.070257\times\sin\theta-0.006758\times\cos2\theta+0.000907\times\sin2\theta-0.002697\times\cos3\theta+0.00148\times\sin3\theta)$$

θ：日角 (day angel)

$$\theta=2\pi\ (dn-1)\ /365$$

dn：日數 (Julian day)，從1月1日爲1計起

二、外大氣層水平輻射量 Ra (cal/cm²/day) 理論值

$$Ra=\frac{24}{\pi}\times Isc\times Eo\times\sin\delta\sin\Phi\times\left[\left(\frac{\pi}{180}\right)\times Ws-\tan Ws\right] \quad \cdots\cdots(8)$$

Isc：太陽常數，以能量單位表示，Isc=1.98cal/cm²/min

Eo：地球軌道之離心校正因子，在工程及專業性應用於數位計算機上，下式可得很好之精確結果[16]：

$$Eo=1.00011+0.034221\times\cos\theta+0.00128\times\sin\theta+0.000719\times\cos2\theta+0.000077\times\sin2\theta$$

Ws：日出或日落，即天頂角=90度時

$$Ws=\cos\text{-}1(-\tan\Phi\tan\delta)$$

根據上式臺灣地區 (北緯25°～22°) 之月平均理論日長和外大氣層水平輻射量如表 2。本文即以式 (7)、(8) 估算各測站每日之 N 及 Ra 值，並與當地歷年之實測日射量與日照時數進行迴歸分析、以求得式 (2) 中各地區之地區參數 a、b 值，作爲該地區或附近地區日射量估算之參考。又根據 Finkin (1983) 之建議，在實際進行氣象資料分析時，最好能有30年的資料作爲依據較具代表性[14]。Richardson and Wright (1984) 亦建議應用 WGEN (Weather Generator) 模式來估算日射量時，爲使其具有代表性，應至少有10年的記錄資料，作爲估算模式參數之基本資料[22]。限於目前臺灣各測候站之日射量記錄，並爲探討所求得經驗式對未來日射量估計的準確度，乃選用資料較完整之中央氣象局十個測站資料進行分析，先將各站之日記錄資料分爲二段，各測站分段情形如表 4，

而以前一段日記錄資料求得 a、b 值，並按所得估算式代入後段記錄資料中每日之日照時數測值以估算其日射量，由於進行每日估算值與實測值之比較，資料過於龐大，且 Richardson and Wright（1984）進行 WGEN 對日記錄氣象資料估算之準確性評估，乃以月平均進行比較[22]。因此，本文乃先進行各年度同一日期之平均實測與估算日射量之 t-test 測驗，但僅在文中說明測驗結果，在求得日資料之旬平均後，再以 t-test 比較實測日射量與估算日射量之間旬平均的差異，並以圖顯示各地區後段資料之實測日射量旬平均與估算日射量旬平均之差異及 t-test 測驗結果，最後亦在文中說明年平均日射量之 t-test 測試結果，以顯示估算式之代表性及預測準確性。

結果與討論

一、中央氣象局各測站月平均日射量之比較

根據式（7）和（8）計算所得之臺灣地區月平均理論日長和外大氣層水平輻射量（表2），顯示日照時數長短直接影響地面承受日射量之多寡，由於地球繞著太陽運轉及極軸傾斜的緣故，日照時數隨著季節變化時長時短循環不已[6]，地面日射量亦隨之相對變化。就本省地理位置而論，月平均日射量在月份上的變動應以六月份爲最大，十二月爲最小，呈常態分佈，但由中央氣象局10個測站之月平均分布圖（圖1），可見各測站均以七月份日射量爲全年最高，而全年最低者則雖大部分在十二月份，但亦有一月份或二月份爲最低者。而各測站日射量隨季節之變化形態雖相似，但各地區因降雨的形態和多寡不同，其季節性變化範圍仍有差異。另一方面就理論而言，到達地表的日射量隨緯度增加而減少，此乃因日射角度大的關係，日射角大，輻射經過大氣層的厚度相對增加，承受面積亦相對增加，因此單位面積日射量相對減少。表 2 中北緯22°的外大氣層水平輻射量之年平均爲 618 cal/cm²/day，而25°者爲 577 cal/cm²/day 亦得到相同結果，但比較10個測站實測日射量，則大致維持日射量隨緯度增加而減少但略有差異。臺北測站最低，其年平均爲 255 cal/cm²/day，臺東測站最高爲371cal/cm²/day，而緯度最低之恒春測站爲363cal/cm²/day，此原因乃由於臺東測站在 6～10月之日射量較其他測站大很多。另外，臺北與屏東測站月平均差異最大者出現於 3 月份，差異最小者爲九月份，而外大氣層水平輻射量則分別爲八月份和十二月份，且不同緯度各月份地面日射量之相差值亦較外大氣層水平輻射量之相對差值大很多。由以上結果顯示雖然理論上到達地表的日射量隨緯度之增加而減少，但因受地區氣候特性、季節變遷及地理位置的不同亦會影響日射量到達地面的多寡，特別當緯度相差不大時，日射量受地區氣候特性的影響就來得明顯[11]。臺灣地區僅位於北緯22°～25°之間，因此在日射量之估算與應用時，探討地區之特性參數有其必要性。

表 2. 臺灣地區月平均理論日長和外大氣層水平輻射量

Table 2. Monthly mean duration of daylight and sloar radiation at the top of the atmosphere in Taiwan.

N.LAT.		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	mean
25	N(hours)	10.7	11.2	11.9	12.6	13.2	13.5	13.4	12.9	12.2	11.5	10.8	10.5	10.6
	Ra(cal/cm²/day)	592	688	806	903	957	974	963	920	841	730	619	562	577
22	N(hours)	10.8	11.3	11.9	12.5	13.0	13.3	13.2	12.8	12.2	11.5	11.0	10.7	10.8
	Ra(cal/cm²/day)	632	721	827	909	951	962	954	921	856	758	657	604	618

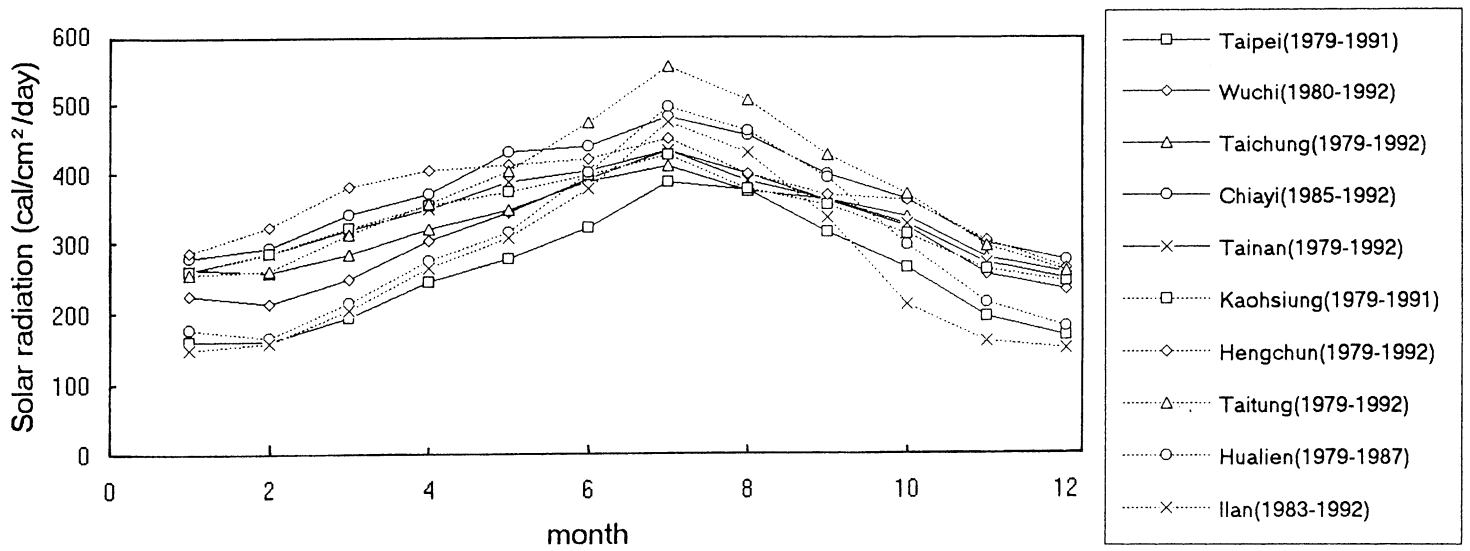


圖 1. 中央氣象局十個測站歷年日射量月平均比較

Fig. 1. Comparison on the mean monthly solar radiations of 10 weather stations belong to Central Weather Bureau.

二、各氣象站日射量估算經驗式

根據材料與方法中所述方法，以各測站歷年之實測日照時數與日射量求得式 (2) 之 a、b值與 r 值列於表 3。根據中央氣象局各氣象站分析結果，可看出 a、b 之範圍大致如前人研究結果[10,17,19]，a 值約爲0.15～0.40，b 值約爲0.27～0.68，唯臺北和宜蘭測站之 a 值稍低於一般範圍0.15～0.40。而臺東、花蓮之 b 值偏高，係東部地區受山脈影響，日照率減少，以致日射與日照關係式中之斜率較大[4]。臺南氣象站之 a、b 值與施與黃 (1979) 以1979～1983年資料求得嘉南學甲地區之 a=0.2，b=0.43[2]相近。其他各單位設立的部分專用觀測站所求得的估算式之相關係數偏低，如嘉南農田水利會之學甲旱作灌溉研究試驗站、臺糖公司之虎尾試驗場、東勢鄉同安農場、臺南糖研所、新營蔗作實驗場、屏東試驗場、臺東豐樂糖廠、臺南鹽場、臺東改良場班鳩分場、屏東技術學院等，雖然由於其分析數大，以致相關係數仍呈極顯著相關，若比對前人研究結果之 a、b 值範圍，則臺糖東勢鄉同安農場、新營蔗作實驗場、臺東改良場班鳩分場等測站之 b 值均偏低，除記錄資料需再確認外，引用其地區參數 a、b 值作爲測站附近地區日射量估算時，應再參考其他測站分析結果。若以中央氣象局10個測站分析結果作爲參考，則顯示估算式之 r 值大於0.8之測站，對日射量之估算應較具代表性，建議應用時應酌情採用。

表 3. 各氣象站日射量估算式地區參數與相關係數

Table 3. Local parameters and correlation coefficients of solar radiation estimating formula of the weather stations.

station no.	city/ county	town/ borough	years	days	a	b	r
1. Central Weather Bureau							
46692	Taipei		1979～1991	4748	0.14	0.56	0.92**
46777	Taichung	Wuchi	1980～1992	4749	0.20	0.42	0.85**
46749	Taichung		1979～1992	5114	0.18	0.48	0.93**
46748	Chiayi		1985～1992	2922	0.22	0.53	0.93**
46741	Tainan		1979～1992	5114	0.21	0.41	0.87**
46744	Kaohsiung		1979～1991	4748	0.19	0.44	0.84**
46759	Pingtung	Hengchun	1979～1992	5114	0.22	0.44	0.90**
46766	Taitung		1979～1992	5114	0.23	0.59	0.92**
46699	Hualien		1979～1987	3287	0.17	0.58	0.94**
46708	Ilan		1983～1992	3653	0.14	0.62	0.94**
2. Chiana Irrigation Association							
12O57	Tainan	Chiali	1986～1990	1743	0.23	0.38	0.77**
3. Taiwan Sugar Company							
52F03	Taichung		1978～1990	4746	0.15	0.42	0.87**
52J20	Yunlin	Huwei	1971～1990	6972	0.22	0.31	0.73**
52K13	Yunlin	Tungshih	1963～1985	7611	0.17	0.26	0.70**
52L76	Chiayi	Taipo	1985～1990	2191	0.19	0.50	0.99**
51L87	Chiayi	Talin	1963～1975	4442	0.19	0.50	0.99**
52N11	Tainan		1965～1990	9328	0.23	0.37	0.76**
52O30	Tainan	Liuying	1965～1990	8890	0.25	0.27	0.63**
52P43	Kaohsiung	Chishan	1985～1990	2191	0.23	0.56	0.99**
51P53	Kaohsiung	Hsiaokang	1961～1978	6444	0.19	0.49	0.99**
52Q04	Pingtung		1979～1990	4176	0.30	0.40	0.75**
52S50	Taitung		1985～1990	2141	0.14	0.32	0.70**
52T48	Hualien	Kuangfu	1971～1990	7230	0.16	0.46	0.90**

4. Taiwan Salt Works							
60L51	Chiayi	Putai	1983～1986	1388	0.26	0.46	0.83**
60N08	Tainan		1985～1990	1997	0.17	0.44	0.71**
5. District Agricultural Improvement Station							
72C44	Taoyuan	Hsinwu	1989～1992	1459	0.17	0.49	0.90**
72G60	Changhua	Tatsun	1990～1992	1096	0.16	0.35	0.91**
72Q01	Pingtung		1988～1922	1827	0.18	0.40	0.88**
72S20	Taitung	Peinan	1989～1992	1095	0.23	0.24	0.60**
72T25	Hualien	Chian	1988～1992	1827	0.15	0.53	0.91**
72U48	Ilan	Sanhsing	1991～1992	638	0.13	0.58	0.91**
6. National Pingtung Polytechnic Institute							
AOR	Pingtung	Neipu	1988～1992	1819	0.20	0.41	0.74**
7. Taiwan Livestock Research Institute							
B2N89	Tainan	Hsinhua	1990～1992	946	0.25	0.45	0.84**
8. Taiwan Agricultural Research Institute							
G2F82	Taichung	Wufeng	1990～1992	1095	0.19	0.43	0.85**
9. Taiwan Tabacco & Wine Monopoly Bureau							
T2F42	Taichung	Tali	1987～1990	1430	0.16	0.44	0.87**
T2Q39	Pingtung	Chiuju	1986～1990	1763	0.11	0.44	0.85**

** Significant at 1%

三、中央氣象局測站估算日射量與實測日射量之比較

如前所述爲探究所求得之經驗式應用於未來日射量估計之準確度與適用性，本文將中央氣象局十個測站之資料分爲兩段（表 4），先以前段日記錄資料求得式 (2) 之 a、b 值，再以各測站之 a、b 值及每日日照時數求得每日日射量估算值。根據每日平均日射量實測值與估算值之 t-test 測驗結果，則臺北、臺中、嘉義、花蓮測站全年中均有一日之估算值與實測值達統計上之顯著差異水準，宜蘭測站則有兩日達顯著差異水準。若以 t-test 進行此段時間實測值與估算值旬平均之差異比較，測驗結果顯示各測站實測與估算值之差異均不顯著。圖 2～圖11之 (a) 圖亦顯示這段時間實測日射量與估算日射量旬平均相當接近，此顯示以五年～七年之日記錄資料進行估算式分析，對於其原來年份日射量之估算已具有相當代表性；由表 4 之迴歸式均呈極顯著相關亦可得相同之結論。

表 4. 中央氣象局各測站日射量分析年份與結果

Table 4. Comparison on the estimated solar radiation from different weather data of the weather stations.

station	years	a	b	r	years	a	b	r
Taipei	1979～1985	0.14	0.55	0.92**	1986～1991	0.15	0.57	0.92**
Wuchi	1980～1986	0.21	0.41	0.84**	1987～1992	0.20	0.42	0.87**
Taichung	1979～1985	0.17	0.47	0.93**	1986～1992	0.19	0.49	0.93**
Chiayi	1985～1988	0.22	0.53	0.99**	1989～1992	0.22	0.53	0.93**
Tainan	1979～1985	0.21	0.42	0.88**	1986～1992	0.20	0.40	0.85**
Kaohsiung	1979～1985	0.22	0.45	0.87**	1986～1991	0.17	0.42	0.88**
Hengchun	1979～1985	0.23	0.43	0.91**	1986～1992	0.21	0.44	0.89**
Taitung	1979～1985	0.23	0.56	0.91**	1986～1992	0.24	0.62	0.94**
Hualien	1979～1983	0.17	0.57	0.95**	1984～1987	0.18	0.59	0.93**
Ilan	1983～1987	0.16	0.64	0.93**	1988～1992	0.13	0.61	0.95**

** Significant at 1%

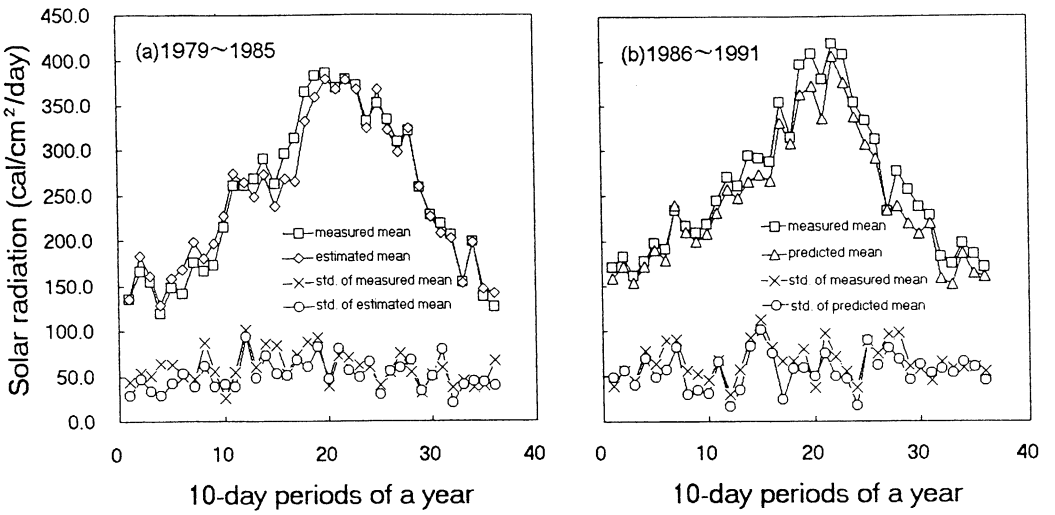


圖 2. 臺北氣象站(a)1979~1985(b)1986~1991年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 2. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1991 at Taipei weather station.

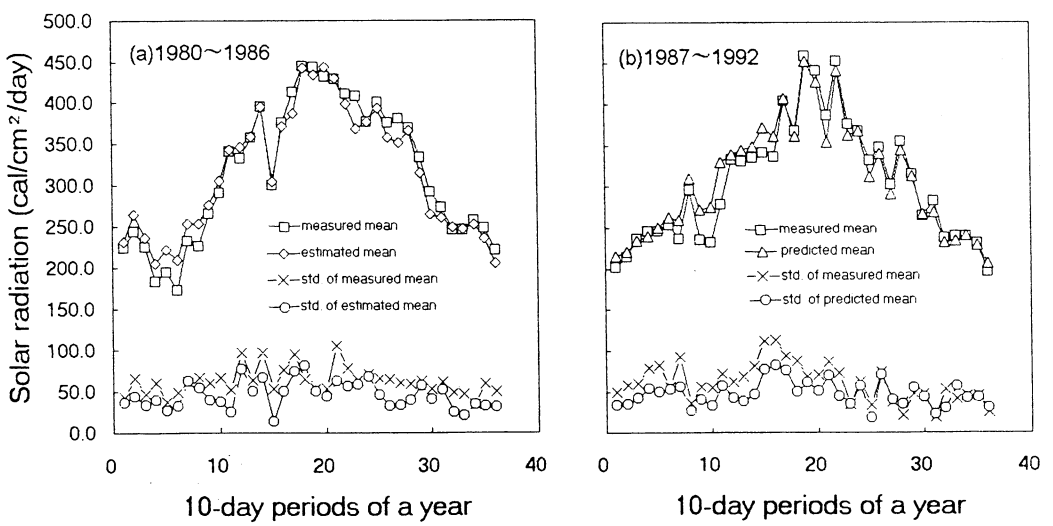


圖 3. 梧棲氣象站(a)1980~1986(b)1987~1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 3. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1980 to 1986 and (b) from 1987 to 1992 at Wuchi weather station.

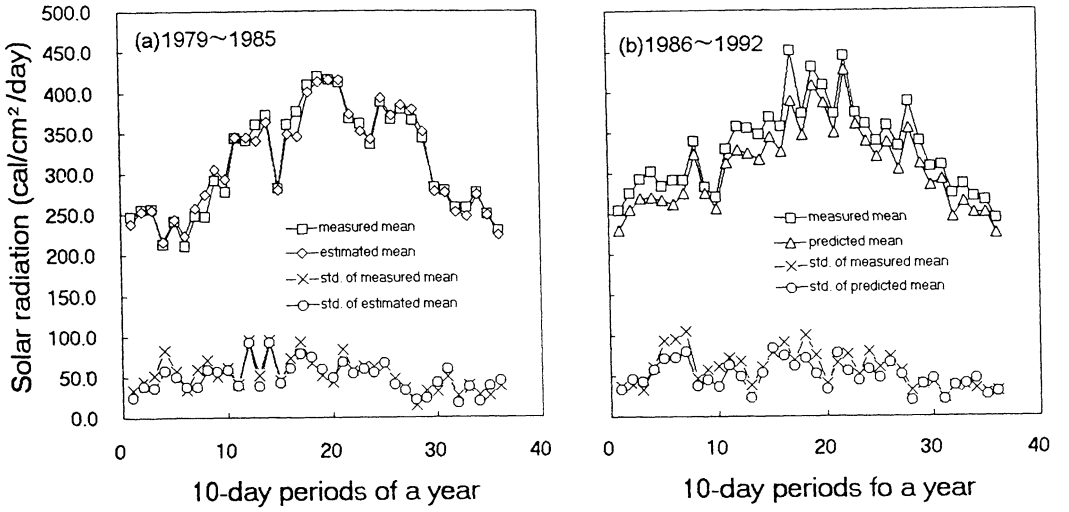


圖 4. 臺中氣象站(a)1979~1985(b)1986~1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 4. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1992 at Taichung weather station.

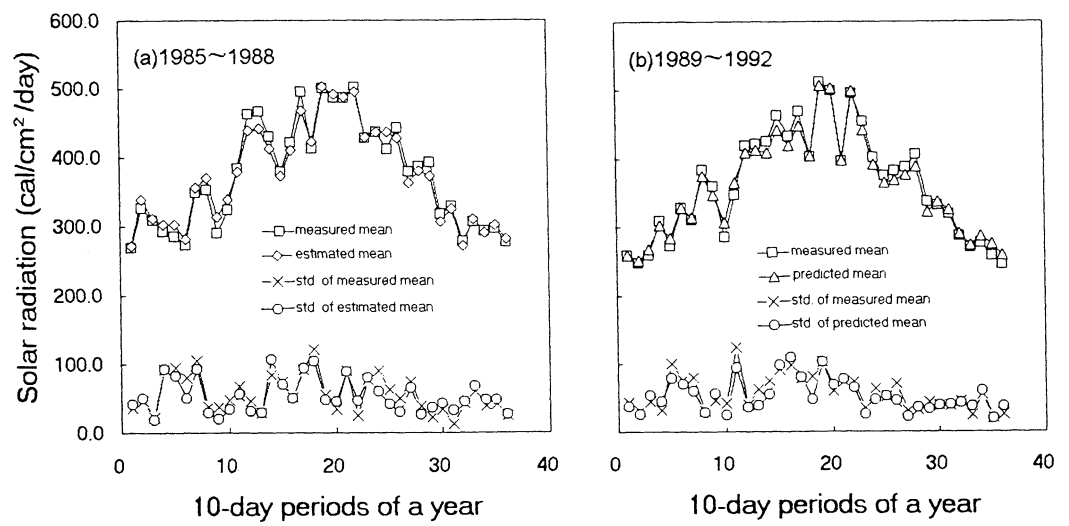


圖 5. 嘉義氣象站(a)1985~1988(b)1989~1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 5. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1985 to 1988 and (b) from 1989 to 1992 at Chiayi weather station.

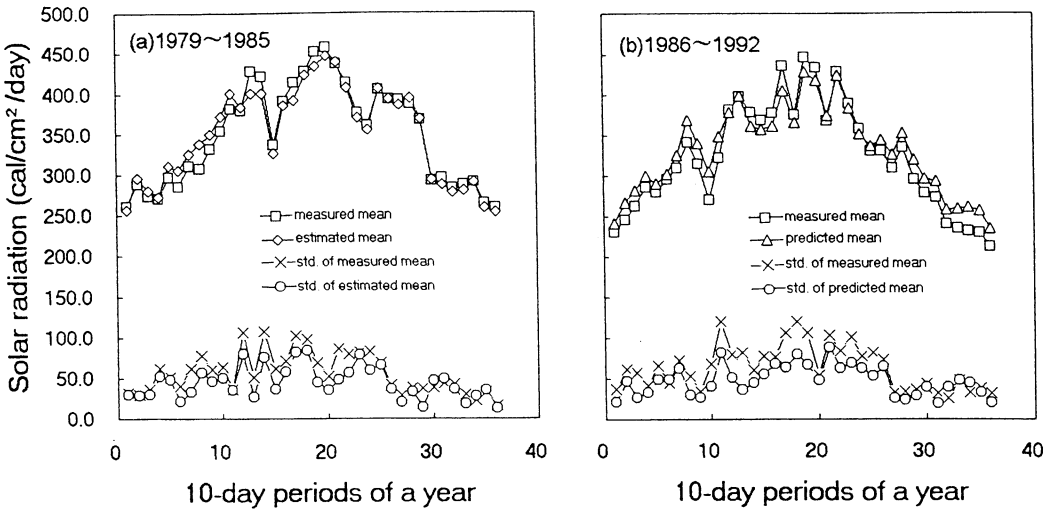


圖 6. 臺南氣象站(a)1979～1985(b)1986～1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 6. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1992 at Tainan weather station.

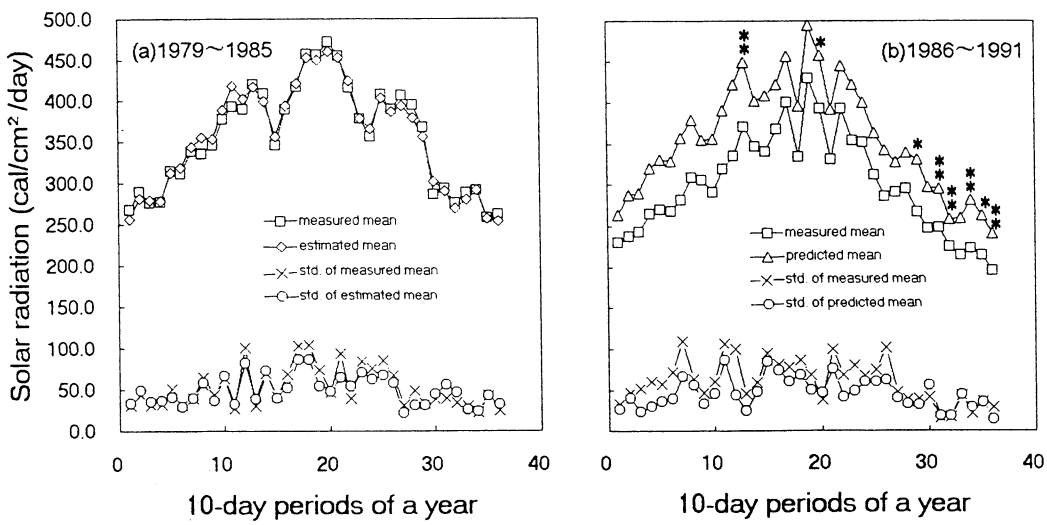


圖 7. 高雄氣象站(a)1979～1985(b)1986～1991年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 7. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1991 at Kaohsiung weather station.

* Predicted values significantly differed from observed values at 5% level by t-test

* Predicted values significantly differed from observed values at 1% level by t-test

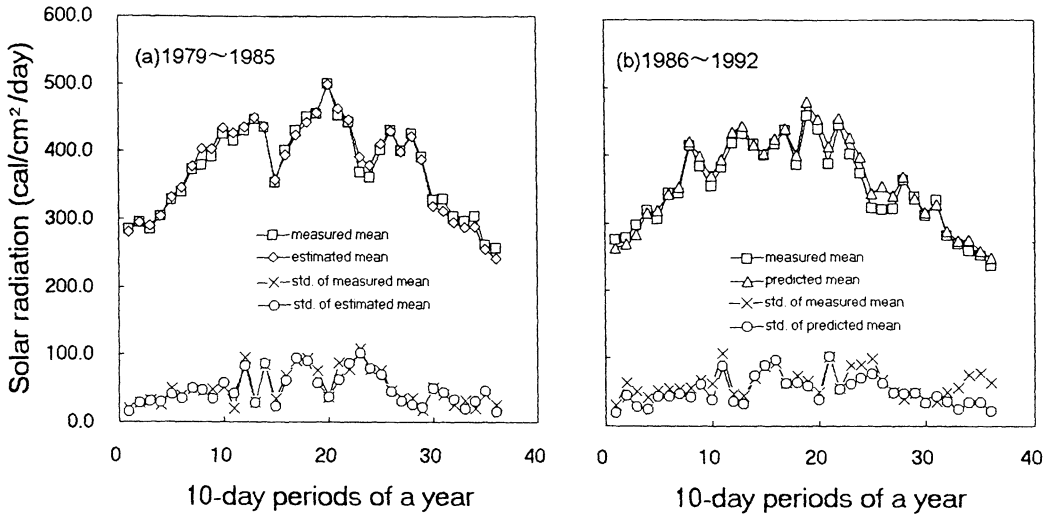


圖 8. 恆春氣象站(a)1979～1985(b)1986～1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 8. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1992 at Hengchun weather station.

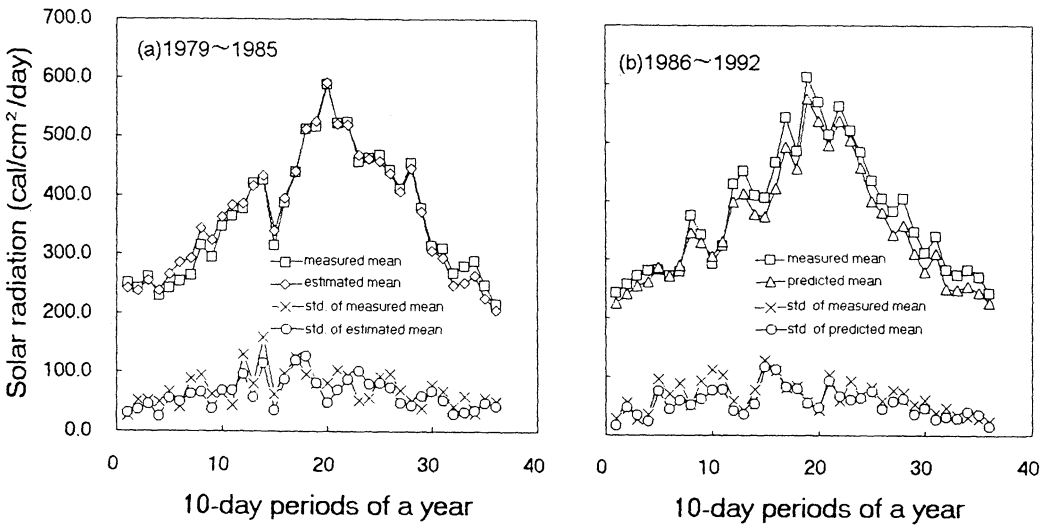


圖 9. 臺東氣象站(a)1979～1985(b)1986～1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 9. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1985 and (b) from 1986 to 1992 at Taitung weather station.

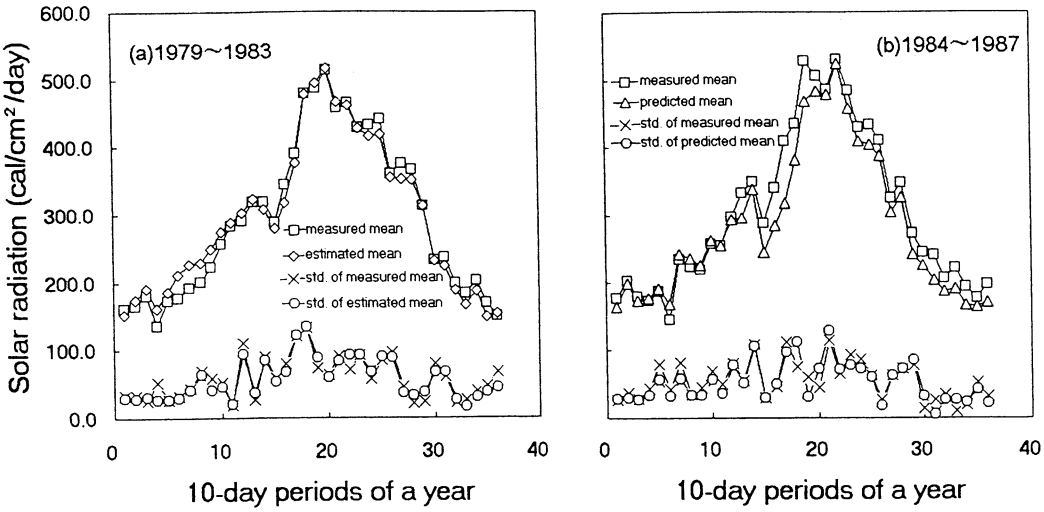


圖 10. 花蓮氣象站(a)1979~1983(b)1984~1987年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 10. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1979 to 1983 and (b) from 1984 to 1987 at Hualien weather station.

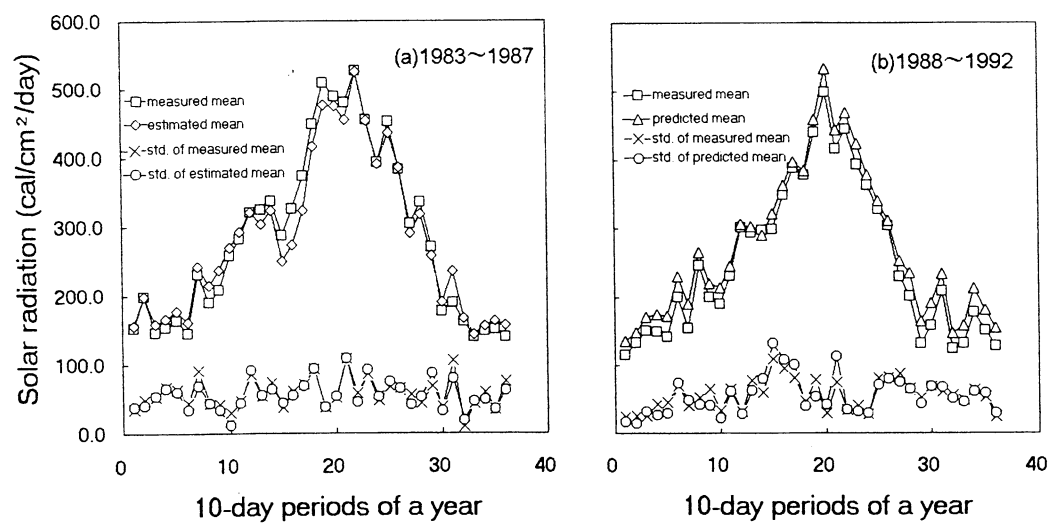


圖 11. 宜蘭氣象站(a)1983~1987(b)1988~1992年各旬平均實測日射量與估算量之比較

Fig. 11. Comparison on the estimated solar radiation and observed data between (a) from 1983 to 1987 and (b) from 1988 to 1992 at Ilan weather station.

若以前段資料所求得之 a、b 值作爲各測站之地區參數，並代入後段資料每日實測之日照時數以估算日射量，根據每日平均日射量實測值與估算值之 t-test 測驗結果，則臺中、嘉義、臺東測站全年中均有一日之估算值與實測值達統計上之顯著差異水準，花蓮測站有一日達極顯著差異水準，臺南測站則分別各有一日達統計上之極顯著差異水準，宜蘭測站則有兩日達極顯著差異水準，有一日達顯著差異水準，在全年365天中，僅有三日以下之天數達統計上之差異水準，顯示估算式具有相當代表性。唯高雄測站則一、二、三、五、七、十、十一、十二月份分別有1，2，2，3，2，3，3，6天達統計上之極顯著或顯著差異水準，佔全年天數之 6 %，較其他測站之預測準確度低很多。而各測站實測值與估計值旬平均之比較如圖 2 ～圖11之（b）圖。藉 t-test 分析顯示除了高雄測站外，其餘地區之實測日射量與估算日射量之旬平均均呈不顯著差異水準，顯示除高雄測站外，各測站以 5 ～ 7 年資料預測未來日射量，已具有代表性，高雄地區則相距甚遠，尤其是10月下旬至12月之間（圖 7（b）圖）。根據1979～1985與1986～1991年實測日照時數與日射量之旬平均資料分析與表 4 之估算結果，顯示 a 值減小很多，此表示單位時間之太陽輻射量明顯下降，此爲以1979～1985年之資料作爲依據來預測1986～1991年日射量則出現誤差之原因。1986～1991年預測與實測旬平均日射量的平均差異爲 56.8 cal/cm²/day ，已佔年平均日射量之21%，平均值之標準偏差爲 12.1 cal/cm²/day。若以 56.8 cal/cm²/day 作爲校正值，即預測旬平均日射量減去校正值作爲最後估計值，再進行 t-test，則旬平均估計日射量與實測日射量均呈不顯著差異水準，足見高雄測站全年各旬平均日射量的下降程度相當一致，此種現象顯示很有可能是系統誤差。但在目前不能證實是否儀器測定系統誤差之際，則表示僅以七年的資料作爲統計依據，尚不能掌握高雄地區之日射量變化。而以上以一固定值進行校正的方式，雖然在本次分析資料中可以得到滿意的校正結果，但應用於未來日射量的預測可能不適用，所以本文估算高雄地區之地區參數仍以目前已有的全部資料（1979～1991年）進行分析（表 3 ）以求代表性。以上校正方法僅提供資料分析上之參考。

在日射量與日照時數直線關係式中，a、b 值的涵意除了表示日射量與地理位置、季節變遷的關係外，尚表示日射量與地區特性及環境現象的關係，亦即意味著大氣透射率對日射量影響的程度[6]，前人[12,15]亦曾以日射量變化情形探討大氣混濁度，以此作爲空氣污染的指標。由目前高雄測站之日射量逐漸下降趨勢，除了確認是否發生了系統測定上之錯誤外，藉此探討高雄地區大氣混濁度之變化乃爲另一探討方向。

另外，由統計 t-test 分析結果顯示臺東測站估算之日射量年平均與實測日射量年平均已達統計上極顯著差異水準，由圖 9（a）、（b）圖可看出各旬預測之平均日射量均低於實測日射量，在累積其誤差情形下，年平均則出現極顯著差異水準，另一原因爲預測日射量年平均之準標偏差小，易導致 t-test 達顯著差異水準。宜蘭測站之年平均日射量亦出現統計上顯著差異水準，唯其預測日射量高於實測日射量。由以上結果顯示以五～七年資料作爲預測未來日射量之統計依據，則臺北、梧棲、臺中、嘉義、臺南、恒春、花蓮測站已具有相當代表性，但臺東和宜蘭測站則略有誤差，高雄測站則不能充分掌握未來的日射量變化。

若以各測站已有的記錄資料進行估算式分析（表 3 ），根據每日平均日射量實測值與預測值之 t-test 測試結果，顯示只有花蓮 2 月24日達統計上之顯著差異水準外，此與該日多年平均之標準偏差較低有關，其餘均呈不顯著差異水準。而各測站估算之旬平均日射量與實測旬平均日射量，及估算之年平均日射量與實測年平均日射量，以統計 t-test 進行差異性比較，都未達統計上之差異水準。

誌 謝

本研究承蒙農業委員會補助經費［計畫編號82科技—2.9—林—09（2）］謹此致謝。感謝全省各測站觀測人員，由於他們平日的辛勞，使本文得以完成。亦感謝中央氣象局賀介圭及梁仁有小組協助

取得各測站之記錄資料及相關資料。

引用文獻

1. 林憲德、蘇瑞泉。1986。臺灣地區月平均日射量分布之研究。氣象學報 32(3)：11—19。
2. 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 33(2)：1—27。
3. 唐榮澤。1979。臺南地區日射量之分析。氣象學報 25(2)：15—20。
4. 徐森雄。1979。農業氣候資源之研究。臺灣地區農業氣象資源應用研討會。291～304頁。
5. 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 18(2)：83—89。
6. 黃國禎、徐森雄。1982。臺灣地區日射與日照關係之初步探討。氣象學報 28(1)：22—29。
7. 葉明智。1990。臺中地區葡萄園水文變化分析研究。國立中興大學土壤研究所碩士論文。
8. 顏俊士。1974。臺灣地區之日射量估計問題。大氣科學 1：72—80。
9. Ångström, A.1924. Solar and terrestrial radiation. Q.J.R.Meterol. Soc. 50：121—126。
10. Black,J.K.,C.N.Bonython and J.A.Prescott. 1954. Solar radiation and the duration of sunshine. Q.J.R. Meterol.Soc. 80：231—235.
11. Chang,J.H. 1961. Micro-climate of sugar cane Hawaiian planters records.56 (3)：3—5.
12. Davies,J,A. 1965. Estimation of insolation for West Africa. Quart. J. Roy. Met. Sqc. 91：359—363.
13. Doorenbos,J. and Pruitt,W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrig. and Drain. Paper No. 24 FAO, Rome.
14. Finklin.A.I. 1983. Summarizing weather and climatic data-a guide for wildland managers. USDA. Forest. Serv. INT-148,p.43.
15. Glover,J. and J.S.G. McCulloch. 1958. The empirical relation between solar radiation and hours of bright sunshine in the high latitude tropics. Quart. J Roy. Met. Soc. 84：56—60.
16. Iqbal,M. 1983. A introduction to solar radiation. Academic Press.
17. Katsoulis,B.D. and S.N.Leontaris. 1981. The distribution over Greece of grobal solar radiation on a horizontal surface. Agri. Met. 23：217—229.
18. Linacre,E.T. 1967. Climate and the evaporate from crops. J. Irr. Drain. Div. Amer. Soc. Civ. Eng. 93：61—79.
19. Page,J.K. 1961. The estimation of monthly mean values of daily total short wave radiation on vertical and inclined surface from sunshine records for latitude 40 north-40 south. United Nations Conference on New Sources of Energy.
20. Penman, H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London A193：120—145.
21. Prescott,J.A. 1940. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. Trans. R. Soc. Aust. 64：114—118.
22. Richardson,C.W. and D.A.Wright. 1984. WGEN：A model for generating daily weather variables. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Res. Service, ARS-8,83p.

Estimate and Analysis of Solar Radiations in Taiwan[1]

Chi-Ling Chen[2], Chen-Fang Lin[3] and Tsang-Shen Liu[2]

Summary

This study estimated the daily solar radiation by using sunshine hours of data obtained from major the weather stations in Taiwan, due to the following reasons : (1) the shortage of the solar radiation measurements of many weather stations in Taiwan ; (2) the requirment of the daily solar radiation data for the applications of weather resource ; (3) the reliability of sunshine hours in relation with the estimate of the solar radiation ; (4) the possibility of the estimate of solar radiation by sunshine hours measurement being easier and more accurate to obtain. The correlation coefficients of the regression between the solar radiation and the sunshine hours of 10 weather stations belong to Central Weather Bureau were greater than 0.8 and statistically highly significant. Correlation coefficients for the other weather stations were also significant or highly significant. These results showed that the estimating formulars could be used to estimate the solar radiations of the weather stations around Taiwan. The study also tested the formulars, established with five to seven years daily data, to predict daily data of next five to seven years. The statistical t-tests revealed that applying those estimated formulars to predict solar radiations of the major area in Taiwan, were mostly acceptable.

Key words : Sunshine hours, Solar radiation.

1. Contribution No. 1708 from Taiwan Agricutural Research Institute.
2. Respectively, Assistant, Department of Agricutural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Professor, Department of Soil Science, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.