

臺灣地區日射與日照關係之初步探討

The Primary Studies for the Relationship between Solar Radiation and Sunshine duration in Taiwan

黃 國 禎 徐 森 雄

Kuo-Cheng Huang Sen-Hsiung Hsu

ABSTRACT

This paper deals with the relationship of global solar radiation and sunshine duration from the data of eight weather stations in Taiwan. The data of global solar radiation at Taichung, Hualien, Chiayi, Tainan, Taitung, Kaohsiung, and Hengchun were available only for two years (1979-1980); except that data at Taipei available for sixteen years (1965-1980). As the results of analysis, The distribution of global solar radiation in Taiwan, a tendency of increasing solar radiation with the lower latitude. The correlation coefficients between solar radiation and sunshine duration were 0.9711, the greatest, at Hualien and 0.7504 the smallest, at Tainan. At Taipei, since different type of pyranometer used for two periods, the correlation coefficients are not similar. From 1965 to 1973, the correlation coefficient is 0.7631 by Robitzsch pyranometer, and in the later period (1974-1980) is 0.9373 by Thermocouple pyranometer. Therefore, at Taipei, the relationship between solar radiation and sunshine duration of the later period, can be expressed as representative by the linear regression equation of the $Q/Q_0 = 0.1974 + 0.5625 n/N$. Consequently the estimated value of solar radiation from the observed sunshine duration of 1981 was very close to the observed solar radiation, and the probable errors were 5.4% for Taipei and 4.3% for Hengchun.

摘 要

本文僅初步探討臺灣地區九個測站之全天日射量與日照時數之相互關係，日射量資料除臺北測站有16年(1965~1980)外，臺中、花蓮、嘉義、臺南、臺東、高雄與恆春等七個測站均僅2年(1979—1980)。經分析結果，全天日射量分佈情形，嘉

義地區偏低較甚，可能係採用魯卑支式日射計，儀器感應較不靈敏所致，其餘各地大致隨緯度之增加而減少。日射與日照之相關係數，以花蓮 0.9711 為最大，而以臺南 0.7504 為最小，臺北地區由於採用日射計種類不同，其相關係數亦異，1965~1973 年間採用魯卑支式日射計為 0.7631，1974~1980 年間採用熱電偶式日射計為 0.9373，因此臺北

市日射與日照之直線迴歸式應以後期之迴歸式： $Q/Q_0 = 0.1974 + 0.5625n/N$ 為代表。據直線迴歸式以實測日照時數估算民國70年之月平均日射量，其估測值與實測值之機率誤差，臺北為 5.4% 而恆春為 4.3%

一、前言

太陽輻射不僅供給地球絕大部份的能源，且影響生物生育與地表水文收支平衡，因此一向為氣象、農業與環境科學等各方面研究者所重視。在各項氣象要素中與太陽輻射量關係最密切者為日照時數；一般測候站多只觀測日照時數，而同時進行日射量觀測者較少；由於太陽輻射的重要性日益受到重視，日射資料的需求亦漸感迫切，因此所有針對日射與日照之間關係的研究，其最終目的即在尋求正確經驗公式，俾以利用日照資料推測日射量的多寡。

有關日射與日照之間關係的研究，早於1924年 Ångström 即已提到 Q/Q_0 與 n/N 間具有直線關係。其式如下 (Chang, 1968)

$$Q/Q_0 = a + b \cdot n/N \dots\dots\dots (1)$$

式中 Q 為全日射量 (Global solar radiation)， Q_0 為可能全短波日射量 (Possible total short wave solar radiation)， n 為實測日照時數 (Bright sunshine duration)， N 為可能最大日照時數 (Maxium possible duration of sunshine)； a 、 b 值則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 值約為 0.2~0.3， b 值約為 0.4~0.6 之間 (關原氏, 1967；Black et al, 1954；Page, 1961；Katsoulis et al, 1981。顏氏 (1974) 曾以(1)式求得臺北、臺南、花蓮與宜蘭等四個地區之 a 、 b 值，由於當時所使用的日射計皆為魯卑支式，而今本省各測站大都改用熱電偶式，因此 a 、 b 值的修正是有其必要；唐氏 (1979) 以臺南糖業研究所氣候站資料，特意選擇晴空時之日射量，除去雲量影

響之後， b 值則出現大於 1 的情形。Rosenberg 1964)、Page (1965) 與 (Katsonlis et al (1981) 皆提到 a 、 b 值與輻射強度均和季節變遷有關， b 值與輻射強度則均以夏天為最大，以冬天為最小；但關原氏 (1967) 在其報告中則謂因每年同一地區、同一季節的資料差距太小之故，致使分析結果甚差，甚而出現負相關的情形。

日射須穿透大氣層方始到達地表，因此輻射勢必為空氣分子、水汽與灰塵所反射、散射、漫射及吸收，所以地表所接受的輻射量與大氣層厚度、透射率具有密切關係 (Glover, 1958)；在晴空無雲狀況之下，可由 $t^m = a + b$ 式推算出平均大氣透射率 (t)，而各地區之 t 值將可作為空氣混濁度 (Turbidity) 或空氣污染 (Air pollution) 的指標。

本文係根據中央氣象局氣候資料年報中相當有限的資料，嘗試探討臺灣地區輻射強度之分佈趨勢及日射與日照間的關係；並選擇臺北與恆春兩測站由1981年測得之日照時數，利用(1)式估算平均日射量，以便探討臺灣南北兩地日射與日照關係式之準確性；另由各測站 a 、 b 值推算平均大氣透射率並比較之。

二、資料來源與方法

就中央氣象局氣候資料年報內，摘錄八個測站之全日射量與日照時數資料，其中臺北測站計有 192 個月 (1965 年元月至 1980 年 12 月)，臺中等七個測站各有 24 個月 (1979 年元月至 1980 年 12 月)，以上八個測站基本資料列如表一。用以測定日照時數的儀器均為康培司托克式 (Campbell Stokes)，而測安全日射量的儀器，除了臺北 (1973 年以前) 與嘉義測站使用魯卑支式 (Robitzsch) 之外，均使用熱電偶式 (Thermalcouple)；各測站之 Q_0 與 N 值則參照日本新編農業氣象手冊 (1974) 以內挿法求得。

表一 本省八個測站基本資料

Table 1. The basic information of eight weather stations in Taiwan.

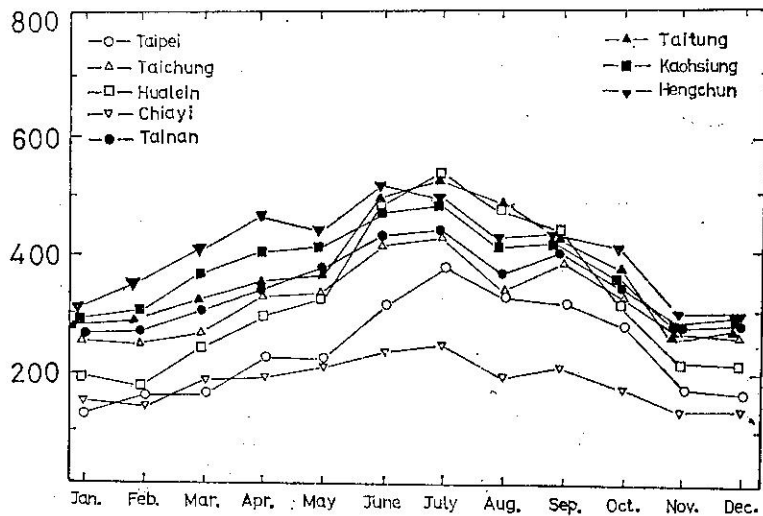
地 點	緯 度	經 度	標 高	期 間	月 數	日照計種類	日 射 計 種 類
臺 北	25°02' N	121°31' E	8.0 (m)	1965-80	192	康培司托克式	魯卑支式 (1965-73) 熱電偶式 (1974-80)
臺 中	24°09'	120°41'	83.8	"	"	"	熱電偶式
花 蓮	23°58'	121°37'	17.6	"	"	"	"
嘉 義	23°30'	120°25'	26.8	"	"	"	魯卑支式
臺 南	23°00'	120°13'	12.7	"	"	"	熱電偶式
臺 東	22°45'	121°09'	8.9	"	"	"	"
高 雄	22°35'	120°18'	2.4	"	"	"	"
恒 春	22°00'	120°45'	22.3	"	"	"	"

三、分析結果與討論

根據本省八個測站之月平均日射量資料，每月

(一)各測站月平均日射量每月變動情形：

變動情形如圖一所示。



圖一 臺灣地區月平均日射量 (1979~1980)

Fig. 1. Monthly mean solar radiation in Taiwan.

1.各測站月平均日射量之比較：

理論上到達地表的日射量乃隨緯度增加而減少，此乃因日射角變大的關係，而日射角大，輻射經過大氣層的厚度相對增加，且承受面積亦相對增加，因此單位面積日射量相對減少。但因地區氣候特性及空氣混濁程度的差異亦會影響日射量到達地面的多寡；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(Chang, 1961)。由圖一可見嘉義之日射量呈偏低的現象。推其原因既非緯度或

天候差異，想係魯卑支式日射計儀器誤差所致。如不考慮此項紀錄，則以緯度最低的恒春測站日射量最大，而以緯度最高的臺北測站日射量最小。

2.每月平均日射量變化情形：

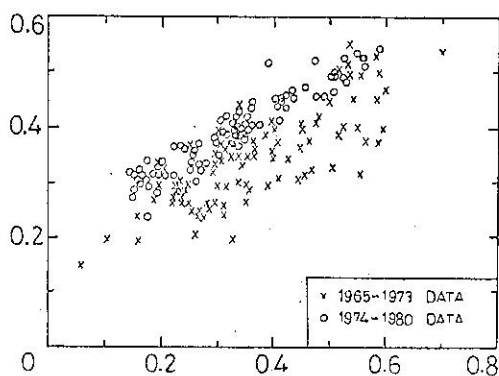
日照時數長短直接影響地面承受日射量的多寡，由於地球繞着太陽運轉及極軸傾斜的緣故，所以日照時數隨着季節變化時長時短，循環不已。就本省地理位置而論，平均日射量在月份上的變動，應以六月份為最大，而呈常態分佈。但由圖一得知除

了恒春測站六月份之平均日射量為全年最大外，其餘測站均以七月份為最大，且部份測站五月份平均日射量低於四月份，八月份低於九月份，此乃受到降雨的影響。正如唐氏(1979)研究結果發現臺南地區五月份平均日射量大於六、七月份的情形一樣。

(二)日射與日照的關係：

1.臺北測站日射與日照之關係：

依據使用日射計的不同，將臺北測站 Q/Q_0 值與日照率 (n/N) 資料分為前期 (1965~1973) 與後期 (1974~1980) 兩部份，分別標於星佈圖上，如圖二所示。發現前期 108 個月的資料中因使用魯卑支式日射計，致使此一時期日射量偏低，且日射與日照的關係顯得比較散亂。1974年改用熱電偶式日射計，後期84個月日射量呈現增大的傾向，且日射與日照的關係更佳。若將所有資料分為全期 (1965~1980) 前期 (1965~1973) 與後期 (1974~1980) 三部份，分別以最小自乘法求得日射與日照直線迴歸關係，結果列如表二；後期相關數達 0.9373，而前期僅為 0.7631，全期為 0.7780。顯示後期相關性最佳，因此若以後期迴歸關係式來估算臺北地區日射量較為適宜。



圖二 臺北測站日射與日照關係星佈圖

Fig. 2. The scatter-diagram of solar radiation and sunshine duration at Taipei weather station.

從後期迴歸關係式得知臺北地區日射量經過大氣層到達地表，在晴空無雲情況下，亦即當 n/N 等於 1 時，日射量仍受大氣中空氣分子、水汽、灰塵等向上反射、吸收、散射與漫射影響而消滅，經由可信賴界限推算結果，其消滅量約為理論日射量的 21~27%，只有 73~79% 的輻射量到達地表；陰天時，經由大氣向下反射，散射與漫射的輻射量約為

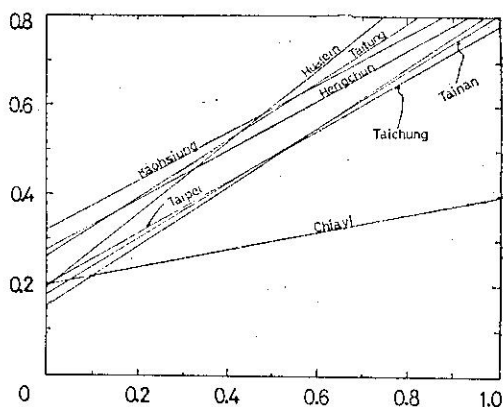
大氣層外理論日射量的 20%。

表二 臺北站日射與日照迴歸分析結果

Tabl 2. The regression analysis result of solar radiation and sunshine duration for Taipei.

期 間	a	b	r
1965-1973	0.1702	0.4772	0.7631
1974-1980	0.1974	0.5625	0.9373
1965-1980	0.1874	0.4981	0.7780

將資料以季節區分來分析臺北日射與日照的關係時，全期資料因受前期儀器誤差影響，而未達顯著水準；若將前期資料剔除後，每一季節內日射與日照相關性均達極顯著水準。後期資料以季節區分之直線迴歸關係如圖三所示，由此可知臺北地區春季若單位日照約小於 0.4 的時候，日射量則較其他季節來得少，此乃受梅雨的影響，空氣中水汽含量較多，而造成同樣的日照時數，日射量却較其他季節為少。



圖三 臺北站季節區分日射與日照之關係

Fig. 3. Seasonal relationship between solar radiation and sunshine duration at Taipei weather station.

2.各測站日射與日照之關係：

本省八個測站日射與日照的直線迴歸分析結果列如表三，各測站迴歸係數均達極顯著水準。由迴歸係數得知以花蓮 0.8146 為最大，表示該地區輻射強度變化最大，而以嘉義為最小。另由相關係數得知以花蓮為最佳，達 0.9711，而以臺南及嘉義

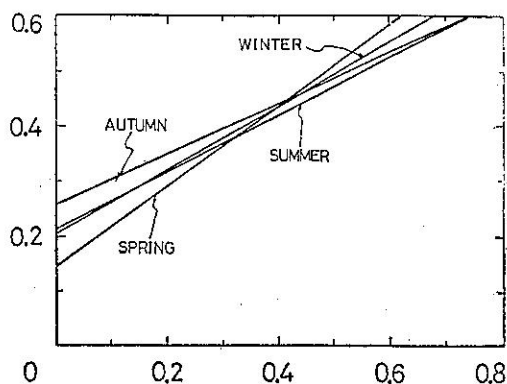
為較差。如前所述，嘉義測站日射資料可能受到魯卑支式日射計之儀器誤差影響，致使迴歸係數以及相關係數偏低；本文之所以將其併入分析，旨在提供參考。

表三 本省八個測站日射與日照迴歸分析結果
Table 3. The regression analysis results of solar radiation and sunshine duration for eight weather stations.

地 點	期 間	a	b	r
臺 北	1974~1980	0.1974	0.5625	0.9373
臺 中	"	0.2028	0.5786	0.8524
花 蓮	"	0.1982	0.8146	0.9711
嘉 義	"	0.2004	0.2018	0.7780
臺 南	"	0.1853	0.6153	0.7504
臺 東	"	0.2686	0.6550	0.9565
高 雄	"	0.3222	0.5535	0.9056
恆 春	"	0.2866	0.5543	0.9420

各測站日射與日照迴歸直線如圖四所示，很明顯可以看出嘉義日射與日照的關係顯得很特殊；單就其餘七個測站迴歸直線比較結果，花蓮地區單位日照率輻射強度變化較其他地區為大。

茲若選擇臺北與恆春兩個測站1981年日照時數，利用表三兩站日射與日照之關係式估算月平均日



圖四 本省八個測站日射與日照之關係

Fig. 4. Relationship between solar radiation and sunshine duration at eight weather stations.

射量，所得估測值與實測值比較結果列如表四與表五，得知兩地月平均日射量估測值與實測值之機率誤差 (Probable error)，臺北為5.4%，恆春為4.3%；足見兩地日射與日照之關係式具有相當可靠的準確性，並表示因地區氣候特性與地理位置的差異，各地日射與日照之關係不盡相同。

臺北若分別以全期(1965~1980)與前期(1965~1973)之日射與日照關係式估算1981年月平均日射量，其機率誤差全期為13.1%與前期為12.1%，皆大於後期(1974~1980)關係式估算之結果。此與前述之迴歸分析結果：後期日射與日照之相關性較全期及前期為佳，相互吻合。

表四 民國70年臺北日射量之估測值與實測值之比較

Table 6. Comparison of solar radiation between the values of estimated and observed in 1981, Taipei.

項 目	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
估 計 值*	183.1	175.1	202.3	262.0	234.1	283.4	343.2	355.9	253.1	241.0	159.0	137.5
實 測 值	193.0	149.8	200.2	248.9	217.6	299.1	376.8	389.9	288.7	290.3	201.5	168.1
誤 差	- 9.9	+ 25.3	+ 2.1	+ 13.1	+ 16.5	- 15.7	- 33.5	- 34.0	- 35.6	- 49.3	- 42.6	- 30.6
誤差/實測值(%)	- 5	+ 16	+ 1	+ 5	+ 7	- 5	- 9	- 8	- 12	- 16	- 21	- 18

* 利用 (1974~1980) 關係式 $Q/Q^0 = 0.1974 + 0.5625n/N$ 求得。

表五 民國70年恆春日射量之估測值與實測值之比較

Table 5. Comparison of solar radiation between the values of estimated and observed in 1981, Hengchun.

項 目	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
估 計 值	301.9	381.7	414.8	472.2	411.9	396.6	433.7	455.8	376.7	391.0	307.0	263.0
實 測 值	277.0	345.0	388.0	452.5	413.0	381.5	418.0	444.0	347.5	387.0	299.5	263.5
誤 差	+ 24.9	+ 86.7	+ 26.8	+ 19.7	- 1.1	+ 15.1	+ 15.7	+ 11.8	+ 29.2	+ 3.9	+ 7.6	- 0.5
誤差/實測值(%)	+ 9	+ 10	+ 7	+ 4	- 0.3	+ 4	+ 4	+ 3	+ 8	+ 1	+ 2	- 0.1

(三)各測站平均大氣透射率：

在日射與日照直線關係式中， 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氣候特性及環境現象的關係，亦即意味着大氣透射率對日射量影響的程度。

光學上由 Beer's Law 得知當一束光源透射某一均勻介質深度 dx 時，由於輻射強度受到介質散射、漫射與吸收作用的影響而衰減，其所消耗的輻射強度 dI 可以下式表示之：

$$dI = -aI \, dx \dots\dots\dots(2)$$

式中 I 為光束輻射強度， a 為介質消光係數 (Extinction Coefficient)，此一係數又為介質散射、漫射與吸收係數之和 (Sutton, 1953)。將(2)式積分得：

$$I = I_0 e^{-ax} \dots\dots\dots(3)$$

式中 I_0 為光束穿射介質之前的輻射強度， I 為透射介質深度 x 之後的輻射強度， e^{-a} 稱為介質透射率 (Transmissivity)。若以 Q 、 Q_0 代替 I 、 I_0 ，平均大氣透射率(t)代替介質透射率(e^{-a})，平在大氣

層厚度(m)代替介質深度(x)；其中 t 值乃是令 $m = \sec\theta$ 後，經標準化之數值 (θ 為天頂角)，則(3)式可改寫為：

$$Q/Q_0 = t^m \dots\dots\dots(4)$$

在晴空無雲的情況下，理論上 n/N 等於 1，因此由(1)及(4)式得知：

$$t^m = a + b \dots\dots\dots(5)$$

此時雲量等於零；日射量的消滅絕大多數受到大氣混濁度的影響，因此可由 a 、 b 值推算大氣透射率，亦即表示大氣混濁度可由日射量的變化情形予以推測。

理論上，平均大氣層厚度不得小於 1，且 Q/Q_0 值不得大於 1，因此平均大氣透射率應小於 1；前人研究結果 t 值均為 0.8 左右 (關原氏, 1967; Glover et al, 1958; Davies, 1965)。本省各地平均大氣透射率經由表三 a 、 b 值與(5)式計算結果列如表六，其中除了臺北、臺中與恆春之 t 值尚可供參考外，其他地區可能由於資料短暫及儀器誤差致使差異頗鉅，有待日後進一步的探討。

表六 各測站平均大氣透射率

Table 6. The mean atmospheric transmissivity of each weather station.

地 點	臺 北	臺 中	花 蓮	嘉 義	臺 南	臺 東	高 雄	恆 春
t^m	0.7599	0.7814	1.0128	0.4022	0.8006	0.9236	0.8757	0.8409
m	1.1034	1.0959	1.0944	1.0904	1.0864	1.0844	1.0830	1.0785
t	0.7797	0.7984	1.0117	0.4337	0.7369	0.9293	0.8846	0.8516

四、結 論

地表承受日射量的多寡，受到地理位置、季節變遷、大氣混濁度，以及地區氣候特性等因素的影響，因此若由理論上來預測日射量變化的趨勢常未能與實際情形完全相符，這原本無可厚非，然若由於儀器上的誤差過大的話，將使問題更趨複雜。臺北測站在1973年以前，全天日射量係採用較粗放之魯卑支式日射計觀測的，因而資料分析結果，輻

射強度偏低，且日射與日照之相關性亦欠佳。1974年更換熱電偶日射計之後，則呈現輻射強度增大，且日射與日照之相關性亦趨良好。因此建議臺北日射與日照的關係應以後期資料求得之 $Q/Q_0 = 0.1974 + 0.5625 n/N$ 為合理關係式。其中a、b值與世界各地研究結果（唐氏，1979；關原氏，1967）相比較列如表七；其值均甚為接近，惟唐氏因將 Q_0 值修正為晴天最大可能全短波日射量，以致於b值大於1。

表七 世界各地日射與日照關係之研究結果

Table 7. Relationship between solar radiation and sunshine duration around the world.

研 究 者	年 份	a	b	r	月 數	地 點	日 照 計 種 類
Black Bonython Prescott	1954	0.23	0.48	—	384	世界 各地	康培司托克式
Glover McCulloch	1958	0.23	0.62	0.85	60	肯 亞	〃
Page	1961	0.23	0.52	—	742	世界 各地	〃
Davies	1965	0.19	0.60	0.86	210	西 非	〃
Sekihara Suzuki	1967	0.22	0.52	0.91	300	日 本	約 旦 式
唐 榮 澤	1979	0.27	1.07	0.90	120	臺灣 臺南	〃
黃國禎 徐森雄	1982	0.20	0.56	0.94	84	臺灣 臺北	康培司托克式

* Q_0 值經過修正。

本省全天日射量觀測資料除了臺北站較完整外，其餘測站稍嫌短暫，但以目前的資料作初步探討，一方面可以臺北資料作基準而與其他各地資料相互比較，另一方面可及早察覺有關觀測上的問題，以便適時作儀器之校正或更換。

雖然除了臺北之外，其餘各測站資料尚為短暫，致使無法討論各測站經由計算所得之平均大氣透射率；但理論上，大氣混濁度可由日射量變化情形來加以推測，若以此作為空氣污染的指標，在環境科學上仍具有參考價值。

謝 誌

感謝中央氣象局方冠英組長與劉明揚先生熱心協助提供寶貴資料，以及該局所屬各測站默默耕耘的觀測者，由於他們的辛勞，本文始克誕生，在此一併致以衷心謝忱。

參 考 文 獻

- 1) 日本養賢堂(1974)：新編農業氣象手冊，第一版，837-838.
- 2) 唐榮澤(1979)：臺南地區日射量之分析，氣象學報第25卷第2期，15-20.
- 3) 顏俊士(1974)：臺灣各地之日射量估計問題，大氣科學第一期，72-80.
- 4) 關原彊，鈴木正(1967)：日射と日照の相關關係およびロビッチ日射計の觀測値について，研究時報19卷11號，608.
- 5) Black, J. N., C. W. Bonython and J. A. Prescott (1954): Solar radiation and the duration of sunshine. Quart. J. Roy. Mes. Soc., 80, 231-235.

- 6) Chang, J. H. (1961): Micro-Climate of Sugar Cane. Hawaiian Planter,s Records, 56(3), 3-5.
- 7) Ghang, J. H. (1968): Climate and Agriculture. Aldine, Chicago.
- 8) Davies, J. A. (1965): Estimation of Insolation for West Africa. Quart. J. Roy. Met. Soc., 91, 359-363.
- 9) 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.
- 10) Katsoulis, B,D, and S. N. Leontaris (1981): The Distribution over Greece of Global Solar Radiation on a Horizontal Surface. Agri. Met., 23, 217-229.
- 11) Page, J. K. (1961): The Estimate 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.
- 12) Rosenberg, N. J. (1964): Solar Energy anr Sunshine in Nebsaska. Neb. Agr. Exp. Station Res, Bull., 213, 29.
- 13) Sutton, O. G. (1953): Micrometeorology, McGraw Hill, New York. 333 pp.

保密防諜 ·

人人有責 ·

匪諜自首 ·

既往不究 ·