

臺南地區日射量之分析

The Analysis of Solar Radiation in Tainan Area

唐 榮 澤*

Rogn-Jizer Tang

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the solar radiation and to explore the relation between the solar radiation and sunshine hours in Tainan Area. The annual amount of solar radiation received in Tainan is about 14,000 Langleys with a maximum occurred in May and a minimum in December. However, the amount received in summer months from June to August is less than in May because of the effect of rainy season.

Using actual solar radiation under clear sky condition instead of the theoretical value in the linear equation of solar radiation and sunshine hours, the result becomes practical to great extent that the correlation coefficient between them reaches 0.9041. Additionally Such result should be able to be applied in the Southern Taiwan Area.

一、前 言

太陽輻射受大氣變化所主宰，是農作物生長的主要能源。作物在水分及養分供給下，接受來自太陽輻射熱能進行光合作用，自發芽，生長至成熟之生育過程均需依賴太陽能，故日射之分佈與變化對農業極為重要。近年來科學進步，觀測儀器日趨精確，各國從事輻射能的研究亦愈多，我國在這方面尚鮮研究報導。本文係就近十年來利用較精密日射計在臺南所測日射資料，分析其變化及特性以求認識該地區日射性質。

二、資料及方法

本研究資料係取自1967年9月至1977年8月，臺灣糖業研究所農業氣象研究室（以下簡稱本所）所紀錄之水平日射量、日照，分析日射量異動，並試從無日射量觀測而以日照來估算日射量之可行性。

日射量及日照之測定：

(1)日射量測定儀器為美國 Eppley Laboratory, Inc. 出品之電動日射計 (Eppley pyr-

anometer)，測定波長在 $0.35\sim 2.5\mu$ 之輻射能。太陽輻射能約均在此波長範圍內。

(2)日照係以約旦日照計 (Jordan Sunshine Recorder) 測定，為利用感光紙以紀錄日照時間。

三、測量輻射儀器及其誤差

電動日射計係用二種色澤不同合金線為感應熱能線圈，密封於玻璃球內，水汽不易侵入，波長在 $0.35\sim 2.5\mu$ 間之輻射均可透過玻璃球射入，此型儀器較敏感，精密而耐用，惟經長時期使用，感應黑白線圈雖原係密封而是否有衰退，值得注意。本所自1967年8月起裝用電動日射計，分析近年來日射量紀錄，似逐年下降，其中可能含有儀器衰減誤差或日射量之減少，日射減少若干，因無標準儀器檢定，頗難查證。迄至1975年7月另購裝磅電池日射計 (Solar-A Meter)，此儀係由太陽電池感應日射產生電流，與上述電動日射計之黑白線圈熱電偶感應不同，經比較二者紀錄，設最初三年 (1968-1970 年平均值為 411.8 Ly/day) 電動日射計儀器尚無衰弱而假定其紀錄可信，則以

*臺灣糖業研究所農藝系助理研究員

表一：電動日射計 (1968-1976 年) 與矽電池日射計 (1975-1976 年) 年平均日射量紀錄值比較 (每年 7 月至翌年 6 月)

Table 1. Comparison of annual average daily solar radiation (From July to June of the next year) between Eppley Pyranometer (1968-1976) and Solar-A-Meter (1975-1976) in Tainan area.

	日 射 量 Solar Radiation (Ly/day)									1975 比 平均值	1976 比 平均值
	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976		
電動日射計	399.4	424.2	411.7	389.8	375.2	354.8	348.3	360.3	358.7	-12%	-13%
矽電池日射計								389.6	387.4	-5%	-6%

* 1968-1970 平均值 (Mean value) 為 411.2 Ly/day

1975 年及 1976 年 (每年 7 月至翌年 6 月) 兩年矽電池日射計及電動日射計紀錄值，與五年前平均值比較 (表一)，1975 年矽電池日射計低 5%，電動日射計則低 12%，而 1976 年矽電池日射計低 6%，電動日射計則低 13%。茲設校驗合格的新購矽電池日射計的紀錄可視為準確，則藉此推斷近五年來電動日射計可能已有儀器衰減約 7%，目前全球使用輻射儀最多者為價廉簡易之魯卑支式雙金屬片型，估計約佔 40%⁽⁶⁾，此型係由黑白兩色雙金屬片，利用吸熱不同原理而求得日射量，感應欠靈敏，並有傳動摩擦影響，據日本大田及篠原⁽¹⁾ (1963 年) 檢定此類儀器原已有 10% 之誤差。本所曾將雙金屬片型儀器與電動日射計觀測值比較，因雙金屬片型儀器已經使用多年，其值比後者低 34%，誤差極大，未予採用。故本文所使用電動日射計紀錄，雖估計五年以來儀器性能逐年減退，誤差可能已達 7%，但仍不失為尚可採信之可用紀錄。

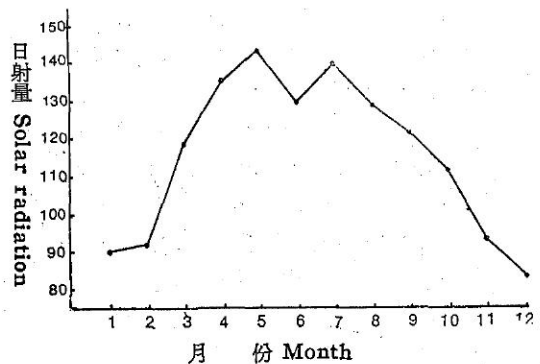
四、日射量之變化

1. 年變化

臺南全年日射量近十年平均為 138721.1 朗勒 (Langley, 簡作 Ly)，各月分佈 (圖一) 以 5 月最高，7 月次之，12 月最低。

因本所觀測站緯度 22°58' 已在北迴歸線以南，5 月已接近太陽正射 (夏至 6 月 21 日太陽正射 23°27')，且為雨季始期以前，5 月平均雨日為 8.9 天，遠較 6、7、8 月每月平均之 16.0 天為少，雲量較少則減少日射透過大氣時被吸收或反射比率，致 5 月日射較 6、7、8 月為豐。12 月因近冬至 (12 月 21 日)，太陽角度最低，陽光斜射穿過

(100 Ly)

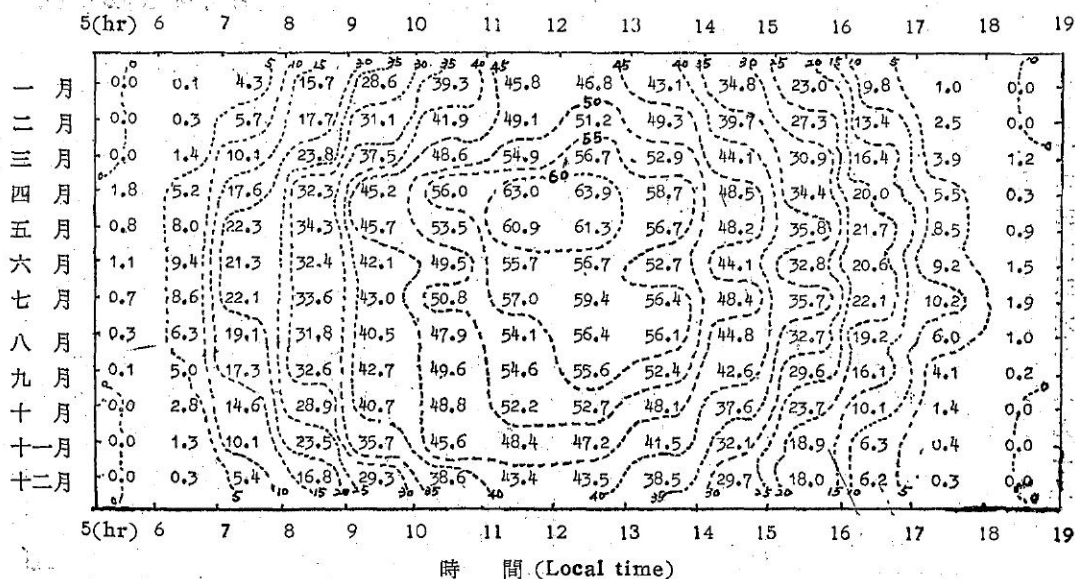


圖一 臺南平均日射量 (1967年9月—1977年8月)
Fig. 1. Monthly mean solar radiation in Tainan area (Sept. 1967—Aug. 1977)

氣層最厚，故日射到達地面之日平均總量亦最小，與 5 月比較兩者相差 191.6 Ly (表二)。12 月僅為 5 月之 59%，如按各月所佔年百分率，亦以 12 月最小，5 月最高。若比較各月中某一日出現日射量最大之極端值，以 7 月最高達 704.5 Ly (1969 年 7 月 1 日)，比同月日平均值高 57%，6 月極端值比平均值高 60%，但 5 月極端值 691.2 Ly，僅比 5 月日平均值高 50%，表示 5 月內日射量高，但變差小其變率為 11.0%，因臺南地區自 6 月進入雨季多雲雨，使到達地面之日射遇有雲雨時被空中水汽吸收及反射，變動較大，6 月內變率達 18.1%，為全年最高，7 月為 11.1%，8 月為 14.6%，故 6 月雖入夏季，亦為太陽正射本區，但其全月日射量反較 5 月為小，如雨季中遇無雲晴天，其日射量仍能比 5 月中一天之最大量為多，故日最大值在 7 月。

表二 臺南日射量紀錄值 (1967年9月-1977年8月)
Table 2. Solar radiation (Sept. 1967-Aug. 1977), in Tainan area.

月 Month	月平均 Monthly mean (Ly)	百分率 Percentage (%)	日平均 Daily mean (Ly)	全月日最大 Max. per day of month (Ly)	標準偏差 Standard deviation (Ly/month)	月變率 Variability of month (%)
一月	9071.1	6.5	292.6	481.5	718.4	7.9
二月	9281.1	6.7	331.5	498.9	209.1	13.0
三月	11835.9	8.5	381.5	577.5	1233.1	10.4
四月	13530.0	9.8	450.1	642.0	1089.3	8.1
五月	14320.1	10.3	461.9	691.9	1575.7	11.0
六月	12903.1	9.3	430.1	687.0	2339.4	18.1
七月	13951.3	10.1	450.0	704.5	1547.0	11.1
八月	12829.3	9.3	413.8	638.8	1870.0	14.6
九月	12115.5	8.7	403.9	592.0	945.3	7.8
十月	11206.0	8.1	361.5	516.9	1040.6	9.3
十一月	9299.1	6.7	310.0	440.4	743.8	8.0
十二月	8378.6	6.0	270.3	379.2	901.2	10.8
全年	138721.1	100.0	379.9	704.5	9391.0	6.7



圖二 臺南逐時平均日射量等值線圖 (1967年9月-1977年8月)

Fig. 2. Isopleths (Ly/hr) of hourly mean solar radiation in Tainan area. (Sep. 1967-Aug. 1977)

2. 日變化

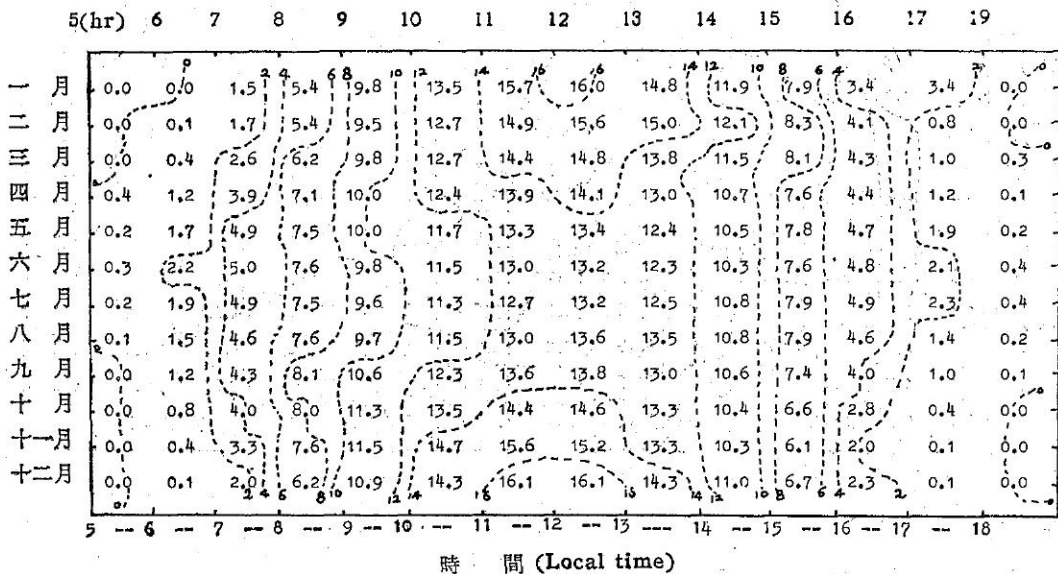
一日內日射量之變化，日出至日沒每日 6—18 時全年各月均測得有日射量，晨 5—6 間時，黃昏 18—19 時則僅在夏季有相當日射量，十年平均各月逐時日射量均以 12—13 時最強，全年中又以 4、5 月之 12—13 時為最強（圖二）。6 月正午為夏至太陽直射期，但平均值並非最高，係雨季雲量影響所致。每日逐時日射量增減變化亦不平均，冬季以 8—9 時遞增最盛，夏季提早至 7—9 時，冬季下午 15—17 時遞減最盛，夏季則延至 16—18 時，此為太陽輻射經過空氣層受空氣層厚薄差異影響。

蓋日射經過空氣層射至地面，因太陽天頂角（日射角）大小變化與所經過氣層厚薄有密切關係⁽⁵⁾。假定全日 24 小時晝夜平分，12 時為正午太陽正當天頂，此時日射角為 0°，氣層厚度（Air Mass）為 1，日出為 6 時太陽正在地平線，日射角為 90°，日射經過氣層厚度極大（表三），則日出後至 6 時 30 分日射角為 82.5°，氣層厚度為 7.7。8 時日射角 60°，氣層厚度已減為 2.0，此不到二小時內日射角度變化不過 22.5°，而日射所經過氣層厚度變化已相差約四倍，8 時至 12 時日射角由 60°轉變為 0°（360°），而氣層厚度只減少一半。7、8 時

表三 日射角與所經氣層厚度之關係

Table 3. The relation between zenith angle and air mass.

日射角 Zenith angle	氣層厚度 Air mass	餘弦 Cosine	日射量 Solar radiation (Ly/min)	時間 Local time
0°	1.0	1.0	1.24	12:00 (noon)
48°11'	1.5	0.667	1.08	
60°	2.0	0.5	0.917	08:00 a. m. 16:00 p. m.
75°31'	4.0	0.25	0.533	
80°31'	6.0	0.167	0.334	06:30 a. m. 17:30 p. m.
83°12'	8.0	0.120	0.218	
90°	∞	0	0	06:00 a. m. 18:00 p. m.



圖三 臺南全日逐時平均日射量百分率等值線圖

Fig. 3. Isopleths (%) of the percentage of hourly mean solar radiation in Tainan area (Sept. 1967—Aug. 1977)

以前太陽輻射尚弱，輻射量不多，雖氣層變化大，惟影響日射總量不大，9 時以後日射雖強但氣層變差不大，其增減變化亦不如 8—9 時（冬季）或 7—9 時（夏季），故全日各小時日射量增減變化當以 7—9 時變化最大，同理下午應在 15—17 時變化最大。

分析一日內各時日射量之增減變化，下午遞減率平均較上午遞增為緩和。一日各小時日射量佔全日百分率（圖三），冬季（11 月至翌年 1 月）午間 11—13 時每小時日射量約佔全日 16%，夏季（6—8 月）平均 13%，冬季午間所佔百分率較夏季為高，因冬季日射量較夏季為少，且日出遲日落早，故午間日射所佔百分率相對增大。

五、日射與日照關係

日照為一日自日出至日沒一地受有陽光時間，不計光照強度，日射則為射至地面之總能量，二者雖所測單位不同，但有密切關係。1924 年 Ångström⁽²⁾ 氏以日射量 (Q) 對理論日射量 (Q₀) 之比與日照率 (n/N, n 為實際日照時數, N 為日長時數) 有直線關係，即：

$$\frac{Q}{Q_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (1)$$

照 ① 式中 Q₀ 為理論之日射量（即太陽射至地球大氣層以外者），僅視緯度不同而異，全球同緯度地區均為同值，臺南緯度為 22°58'，茲將 23°N 理論日射量 (Q₀)⁽³⁾ (表四)，與臺南十年 (1967—1977 年) 實際各月日射量 (Q)，日照率 (n/N) 代入 ① 式求得臺南實際日射量 (Q) 對理論日射 (Q₀) 之比與日照率 (n/N) 之關係式如 ② 式，其兩者相關係數 r = 0.8151 (已達 1% 之顯著標準)。

$$\frac{Q}{Q_0} = 0.3129 + 0.3138 \frac{n}{N} \quad (2)$$

事實上，各地氣候不同氣團性質亦不相同，在相同理論日射量 (Q₀) 及日照率 (n/N) 情形下，所透過之實際日射量 (Q)，因各地空氣乾濕性質不同，必將有不同值，故一地之計算結果並不能應用於他地，如配合各地區氣候差異，將理論日射量 (Q₀) 改為當地最大可能日射量 (Q'₀)，其相關或可改善，茲以臺南地區實測十年日射資料中，逐日逐時選取完全無雲晴天之日射量作為最大日射量，由此所得日射量加以統計，代表在本地域氣候情況下可能達到之最強日射 (Q'₀) (表四)，而理論上 23°N 之日射量如經過大氣層射至地面，即使空氣中完全無雲，也只有大約一部份能量到達地面，因即使完全無雲之空中仍含有水汽，二氧化碳，微塵與其他物質，均能反射，吸收與散射日射量，照臺南資料估算，大約 36%—42% 被吸收及反射，只有 58%—64% 能射達地面。

此項估算值之最大日射量 (Q'₀)，與理論值 (Q₀)，其各月變化趨勢略同，5 月值不及 6、7 月值，與上節討論臺南實測日射量值以 5 月最高不同，可見 6、7 月在理論上均有較大日射量。但照實際估算，其間差異變化，冬夏不同。臺南 6、7 月雖然無雲晴天，空氣中仍因含有水汽會影響 Q'₀ 值，而 Q'₀ 值係將理論 Q₀ 值加以當地氣候修正，故以 Q'₀ 值代替 Q₀ 值較能符合地區氣候性質，應能得較佳相關。茲將估算最大日射量 Q'₀ 替換 ② 式中理論值 (Q₀)，求得臺南實際日射量 (Q) 對估計最大日射量 (Q'₀) 之比與日照率 (n/N) 之關係式如 ③ 式，其兩者相關係數 r = 0.9041。

$$\frac{Q}{Q'_0} = 0.2745 + 1.0665 \frac{n}{N} \quad (3)$$

表四 臺南碧空日射量 (Q'₀) 與緯度 23°N 理論日射量 (Q₀) 之比較表

Table 4. Comparison of solar radiation between observed under cloudless sky at Tainan 22°58' N (Q'₀) and the theoretical value at 23°N (Q₀)

	日 射 量 Solar Radiation (Ly/day)												年平均
	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	
碧空日射量 (Q' ₀)	366.8	435.7	488.6	561.4	614.4	625.2	619.5	596.6	528.9	443.5	373.1	339.7	499.5
理論日射量 (Q ₀)	614.9	720.3	826.7	917.9	962.0	976.3	968.6	934.3	862.9	759.4	647.2	586.7	814.8
Q' ₀ /Q ₀	0.597	0.605	0.591	0.612	0.639	0.640	0.640	0.639	0.613	0.584	0.577	0.579	0.613

表五 由日照時數估計民國 67 年臺南之日射量

Table 5. Estimated solar radiation (Ly/day) of sunshine hours in 1978, Tainan.

Item	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	276.5	294.9	284.8	314.4	395.3	470.7	465.9	365.5	356.1	260.4	268.8	247.6
實測值	261.7	291.8	281.7	321.5	365.4	440.0	403.9	331.0	337.5	267.4	253.1	216.9
誤差	+14.8	+3.1	+3.1	-7.1	+29.9	+30.7	+62.0	+34.5	+18.6	-7.0	+15.7	+30.7
誤差/實測值 (%)	+6	+1	+1	-2	+8	+7	+15	+10	+5	-3	+6	+14

③式之相關係數 0.9041 比②式之相關係數 0.8151 為高，係估計最大日射量 (Q_0) 已經含有當地氣候修正，故較用 23°N 理論值 (Q_0) 更具有代表性。張鏡湖⁽⁹⁾氏曾將夏威夷 Waipio, Makiki 的資料，按①式分別求得 $a=31.45$ $b=0.52$ 及 $a=48.70$ $b=0.34$ ，此與上項②，③式所求得之臺南地區值並不一致，可說明在各地區氣候不同條件下，日射與日照率之關係亦有差異。

茲分別以 1978 年 1—12 月臺南實測之日照時數，代入③式，估算各月平均日射量值如表(五)，估計值與實測值誤差不大，全年誤差總平均值為 5.7%，故以日照時數估計日射量，尚可提供應用參考。

六、結 論

太陽輻射經過大氣層受到散射，反射與吸收等影響，再因各地空氣水分含量及雲層厚薄不同，致地面受到之日射量因地區與季節而有差別。臺南測得之日射量，一年中以 5 月最高，12 月最低，6、7、8 月雖在盛夏，但因值雨季多雲量，故日射量反少於 5 月。一日內逐時日射量以午間 12—13 時最強，一年中以 4 月、5 月份尤強。每日各時變化率以早上 7—9 時及下午 15—17 時最大，夏季午間日射量雖多，但所佔全日射總量之百分率反比冬季小，因冬季晝短夜長，其午間所佔全日總量之百分率反偏高，較夏季者為大。

日照可用以估計日射量，因日照觀測儀器較為簡便，價格亦低廉，資料容易獲得，目前日射量資

料極為缺乏，根據 Ångström 從日照估計到達日射量之關係式固可求得日射量，然因空中反射散射及水汽含量等影響因素，結果遠大於實際反射量。經以臺南平均最大日射量代替關係式中理論日射量所獲結果，大為改進，頗近實際，此項關係式應亦可應用於本省南部地區。

誌 謝

本文承蒙臺灣糖業研究所農藝系主任楊尚仁博士，農業氣象研究室主持人董文海先生鼓勵及提供寶貴意見，始克完成，謹此併致誠摯的謝意。

Reference

- (1) 大田及篠原，氣象觀測手冊，人文書館。
- (2) Chang, J. H. 1968. *Climate and Agriculture*. Aldine, Chicago.
- (3) Chang, J. H. 1971. *Problem and Methods in Agricultural Climatology*. Orient Publish Company.
- (4) Chang, J. H. 1961. *Micro-climate of Sugar Cane*. Hawaiian planter's Records 56(3):3-5.
- (5) Gates, D. M. 1966. *Spectral Distribution of Solar Radiation at the Earth's Surface*. Science. 151 (3710):525.
- (6) George, O. G. L., John, A. D. and Clayton O. S. 1966. *World Distribution of Solar Radiation*. College of Engineering the University of Wisconsin.