

重要氣象因素對中間作水稻產量之影響

張素貞

台中區農業改良場助理研究員

余士銘、許誌裕

台中區農業改良場約僱助理

摘 要

本研究是以 1987 年及 1988 年二年 8 次種植水稻試驗的資料與年內氣象因素之變化進行其之間關係探討。試驗結果表示出水稻品種對氣象因素反應不同。台農 67 號品種之反應明顯，是在抽穗後氣象因素之平均最低氣溫及雨量對之生產力會有影響，平均最低氣溫對台中秈 10 號之影響是在分蘖盛期轉生殖生長期，雨量亦在抽穗後。台中育 365 號之產量及收穫指數對雨量均有明顯反應。雖然逐步迴歸分析結果沒有選擇日射量，但是 1987 年及 1988 年之氣象因素差異最大為日射量，1987 年在 8 月以後日射量低落，而 1988 年在 8 月以後日射量特別強，同時 8 月種植產量表現，1988 年遠超過 1987 年，故成熟期日射量可能會影響產量。

前 言

水稻之生產力可以稻穀產量或其收穫指數表示，兩者相關性極高⁽²⁾⁽⁶⁾。水稻之產量高低受其品種及栽培環境所影響，栽培環境包括栽培時施肥量及方法，灌溉水之品質、病蟲害發生與管理及氣象環境等等。氣象環境包括微氣象及氣候之變化，前者研究需較精密儀器測試紀錄有關資料，後者研究氣候之變化資料取得較容易，但影響因素較多，干擾因子也不少，故資料分析較困難，目前資訊業硬、軟體均很發達，許多研究者已採用電腦程式進行模擬程式 (Deterministic model) 之研究⁽⁷⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾⁽¹³⁾，但此項研究需多方面專家及研究者參與，才可收事半功倍之效果。早期氣象因素對水稻產量之影響研究頗多，就本省而言，在 70 年代為了解決本省二期作稻米低產問題，會有許多位研究者針對本省一、二期作氣象因素差異與水稻生產之關係，進行相關試驗研究及資料分析⁽³⁾⁽⁴⁾。鄔氏在 1979 年以 30 年水稻豐歉試驗的資料經統計分析得知日照時數可能支配蘗重，至於氣象因素差異並不直接影響產量，而是氣象因素影響產量構成因素與稻株之生長而間接影響產量。至於氣象因素所影響到的稻株性狀的種類則因品種之不同而異，故氣象因素對品種之影響應按品種別探討之⁽³⁾。至於國外對水稻與氣象因素之關係研究頗多，國際稻米研究中心就曾分別在 1974 年及 1986 年舉行有關的國際性研討會⁽¹⁰⁾⁽¹⁴⁾⁽¹⁶⁾

。Yoshida (1981) 曾指出氣象因素中氣溫、日射量及雨量會直接影響水稻產量。一般水稻最適溫約在 $20^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 左右，其中依水稻生育期而改變。在水稻幼穗分化期之減數分裂期因對溫度敏感，若此時期遇低氣溫，造成穎花不稔性，影響日後結實率⁽¹²⁾⁽¹⁵⁾。而營養生長期至生殖生長期最好由高溫至低溫，秈型稻成熟期高溫較無影響，粳型稻則最好為低溫 ($20^{\circ}\text{C} \sim 22^{\circ}\text{C}$)。日射量對生殖生長期及成熟期影響較大⁽¹⁾⁽¹⁵⁾。依Meek氏等(1984)報告指出成熟期日射量累積量需在 283 M. J. m^{-2} 至 475 M. J. m^{-2} 之間，才不至於影響光合作用總產量，而間接影響到稻穀產量。雨量多寡及強度對水稻生長雖有影響，但同時需視下雨天數長短而定⁽⁵⁾⁽⁸⁾。本研究利用二年 8 次種植水稻試驗的產量及收穫指數與水稻抽穗前後，氣象因素進行兩者相關性探討。

材料與方法

本研究於民國 76 年及 77 年的 4 月至 8 月之間在彰化大村本場試驗田每月種植一次 (表 1)。試驗材料為目前本省水稻栽培面積較廣之品種，粳型稻採用台農 67 號，秈型稻則選用台中秈 10 號，另選用本場新育成品系台中育 365 號。田間設計採逢機完全區集法，三重複，每小區 10 平方公尺，行株距為 30×20 公分。肥料施用量分別為每公頃 120 公斤、60 公斤、60 公斤，灌排水依水稻各生育期的需求及雨量多寡而定，但必於分蘗中期至盛期之間晒田，至於病蟲害及鳥害須事先預防。水稻調查項目為株高、穗數、晒乾的稻穀產量及稻稈乾重 (此處乾重為晒乾之重，與稻穀晒乾處理相同)，因田間稻稈乾重難測，先稱其鮮重再以 20 株鮮重及乾重之比估算之，再由稻穀與全部乾重之比計算收穫指數。並收集在試驗期間氣象資料，其中包括最高、最低及平均氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)，日射量 (M. Jm^{-2}) 及雨量 (m. m.)。

試驗調查之農藝性狀及產量等資料以年 \times 月份 \times 品種 ($2 \times 5 \times 3$) 分別為參試因子利用裂區設計之統計分析，其中產量及收穫指數因每年 5 月份種植時嚴重受螟蟲危害，故將 5 月份資料除去後再進行變方分析。另依各品種在不同月份種植之抽穗日期為基準，將抽穗前後各 5 或 4 週之氣象因素做每週平均或總計，再以其為自變數 (independent variable) 與產量或收穫指數為隨變數 (dependent variable) 進行逐步迴歸分析，選出各週氣象因素對產量或收穫指數有意義之影響的氣象因素。

表 1 試驗中各月份播種、插秧及收穫之日期
 Table 1 Dates of sowing, transplanting and harvesting in the experiments

月 份 Month	年 Year	播 種 Sowing	插 秧 Transplanting	收 穫 Harvesting
4	1987	3.14	4.17	8.1
	1988	3.15	4.5	8.6
5	1987	4.24	5.14	8.31
	1988	4.15	5.5	8.16
6	1987	6.6	6.22	10.20
	1988	5.15	6.5	9.10
7	1987	7.7	7.22	11.14
	1988	6.15	7.5	10.14
8	1987	7.16	8.6	11.17
	1988	7.15	8.5	11.12

結 果

一、不同種植月份水稻農藝性狀及產量之表現

由變方分析結果顯示品種之間株高、生育日數、產量及收穫指數在不同種植月份之間有顯著，而其中產量及收穫指數之變方分析結果列於表 2。產量在年、月份及品種與其之間交感效應均有顯著性，收穫指數在月份及品種之分析結果顯著但在年或年與月份、年與品種交感則不顯著，此暗示收穫指數對年度之間差異小，即以收穫指數表示水稻生產力之時不需考慮年與年之間差異。在不同月份種植之下給予水稻某些生長環境不同，例如其他農作物生態及氣象因素之變化。其他農作物變化中影響最大為 5 月份種植時，因本場試驗田在此時期禾本科作物非常少而又與兩正期水稻插植適期較遠，且又正值螟蟲密度達到高峰時期相配合，故在兩年試驗結果皆顯示 5 月份種植產量最低。若產量及收穫指數除去 5 月份資料後，再進行變方分析，結果與表 2 具相同顯著性。氣象因素中變化較明顯因素為日射量及雨量之變化（圖 1），平均最高溫、最低溫及日均溫之變化範圍分別在 25.0-35.5、14.2-25.9 及 16.9-29.8°C；其中日射量對產量之影響明顯，可從 76 年及 77 年 8 月份種植平均總產量與抽穗前後總日射量柱型圖中，表示出抽穗至成熟之總日射量愈大，其產量愈高（圖 2），由上述得知不同月份種植水稻之氣象因素會影響水稻生育情形及產量。株高、穗數及生育日數均以 4 月份之表現值最大，8 月份者最低；產量及收穫指數因 5 月份種植者受螟蟲嚴重危害（平均被害率為 69.2%），故特

別低落（表3）。

表2 產量及收穫指數之變方分析表
Table 2 ANOVA of yield and harvest index for case of split plot design

變異因素 Source of variance	自由度 D.F.	均 方 Mean square of	
		產 量 Yield	收 穫 指 數 Harvest index
Block	2	2342	28.94
Year (A)	1	15549258**	17.03
Error A	2	26968	7.80
Month (B)	4	63099150**	1405.97**
A × B	4	22401355**	319.99**
Error B	16	431160	17.06
Variety (C)	2	1211000**	39.15*
A × C	2	959606*	2.31
B × C	8	1988087**	60.66
A × B × C	8	415506	20.30
Error C	40	261562	10.49

表3 在不同月份種植水稻之農藝性狀、產量及收穫指數之比較
Table 3 Comparisons of agronomic characteristics, grain yield and harvest index by monthly transplanting

項 目 Terms	插 秧 月 份 Transplanted in					LSD
	4 月 April	5 月 May	6 月 June	7 月 July	8 月 August	
株 高 Plant height (cm)	109.8	101.5	104.5	103.5	99.4	2.1
穗 數 Panicle no.	17.9	16.4	15.3	16.0	15.2	1.2
插秧至抽 穗 日 數 Days to heading	74	69	65	69	62	0.7
插秧至成 熟 日 數 Days to ripening	106	98	101	107	98	1.4
稻穀產量 Grain yield (Kg/ ha)	8010	2958	5999	6731	6442	464
收穫指數 Harvest index	45.0	28.8	33.4	47.0	48.4	2.9

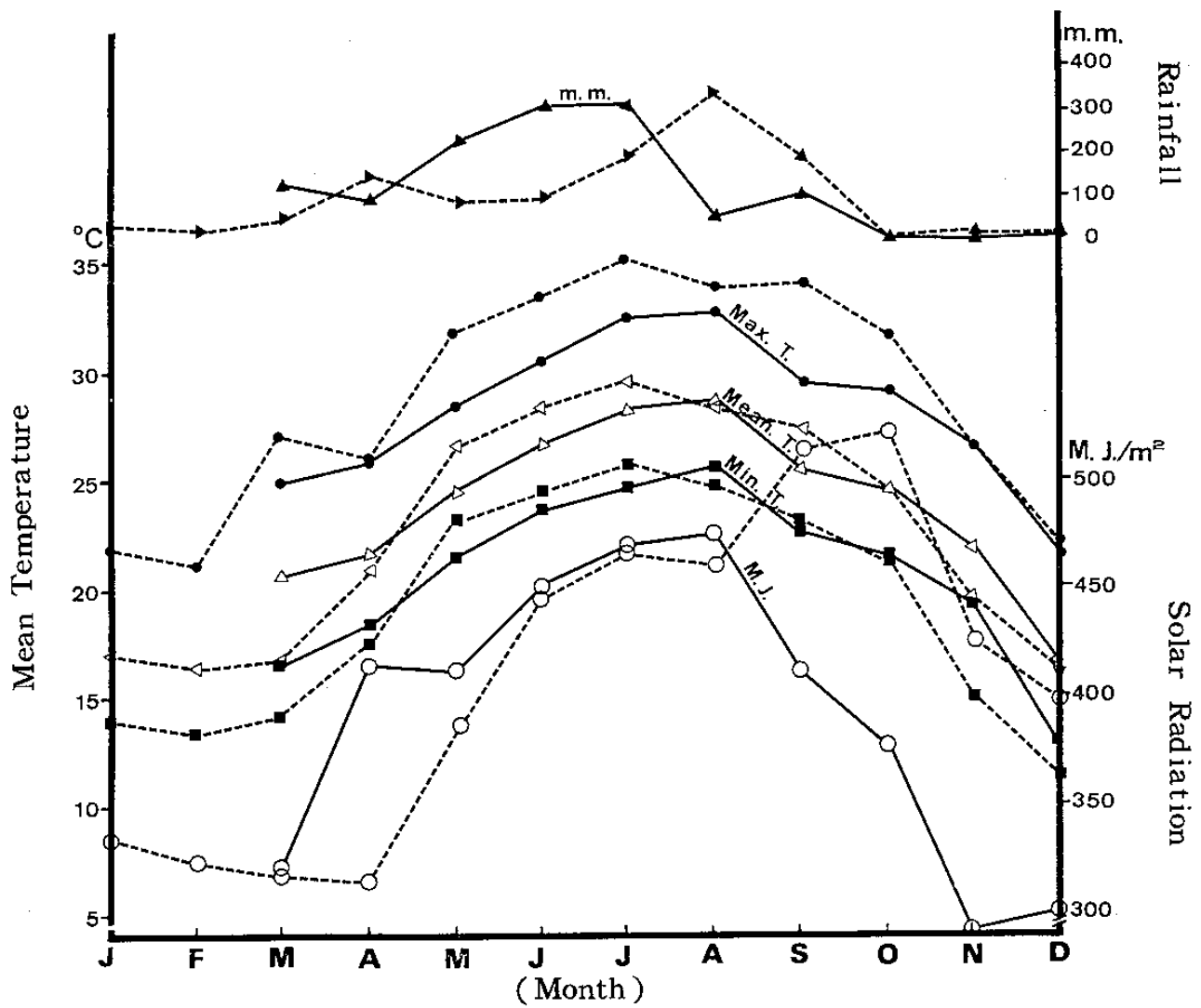


圖1 1987年及1988年之氣象因素的變化
 Fig. 1 Changes of mean of temperature, sums of solar radiation, and sums of rainfall per month in 1987 and 1988.

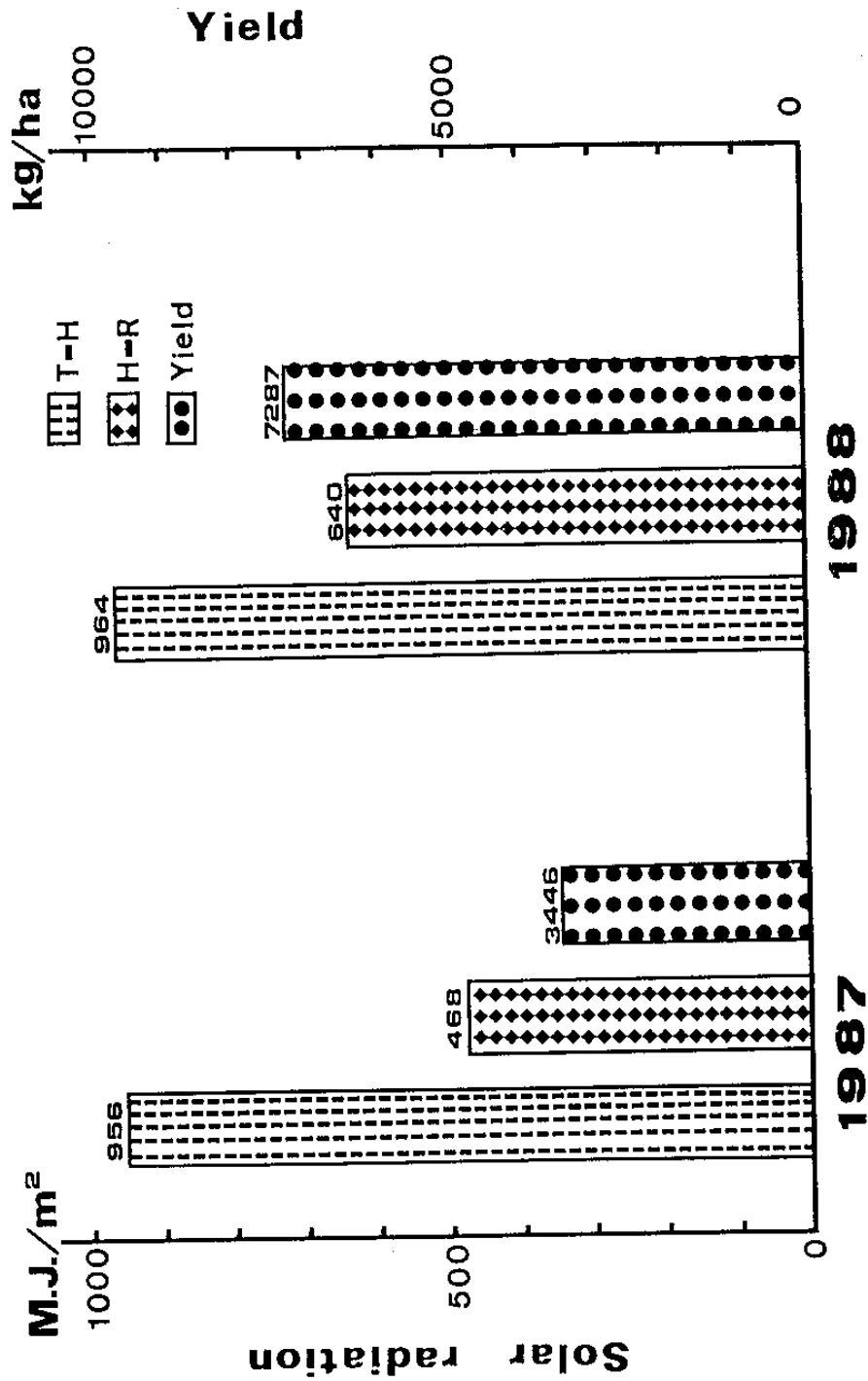


圖2 水稻成熟期之總日射量對稻穀產量之影響

Fig.2 Effect of solar radiation on grain yield.

二、氣象因素與產量之關係

由上所述得知抽穗至成熟之間總日射量會影響產量，但因水稻品種及其不同生長期對氣象因素反應不同，故再以各參試品種抽穗前 5 週及後 4 週之各週、插秧至抽穗及抽穗至成熟之間的氣象因素與產量與收穫指數進行逐步迴歸分析，選擇較佳因素後，再進行多項迴歸分析 ($Y = a + bX + cX^2 \dots$) 或複迴歸分析 ($Y = a + bX_1 + cX_2 \dots$) 分析結果列於表 4。由表 4 中所有最佳迴歸方程式之自變數僅有每週平均最低氣溫 (T) 及雨量之和 (Rn) 兩個自變數被選出。產量與氣象因素之關係，各品種的反應不同。台農 67 號的產量與抽穗後第 3 週的平均最低氣溫之關係最明顯，以迴歸方程式解釋之可有 70.37 % 的程度；台中秈 10 號的產量則與抽穗前第 5 週的平均最低氣溫有關，但迴歸決定係數較小僅 51.5 %；台中育 365 號的產量則與抽穗前第 2 週的雨量有密切關係。

表 4 各參試品種之產量或收穫指數與氣象因素之最佳迴歸方程式及其決定係數
Table 4 The best regression equations of each tested variety

品 種 Variety	抽穗前後之週數 Weeks pre- postheading	隨 變 數 Dependent variable(Y)	最佳迴歸方程式 Best regression equation	決定係數 R ²
台農 67 號	+ 3	Yield	$Y = 60.74 T - 753.05$	70.37
Tainung 67	+ 1	H. I.	$Y = 46.41 - 0.1326 Rn$	57.63
台中秈 10 號	- 5	Yield	$Y = 2717.12 - 81.115T$	51.51
Taichung Sen 10	+ 4	H. I.	$Y = 49.8 + 0.0395 Rn - 0.00126 Rn^2$	79.42
台中育 365 號	- 2	Yield	$Y = 572.83 - 3.259 Rn$	67.44
Taichung yuh 365	+ 1	H. I.	$Y = 44.01 - 0.1115 Rn$	53.91

T : 平均最低氣溫 (mean minimum temperature, °C)

Rn: 雨量 (rainfall, m.m.)

三、氣象因素與收穫指數之關係

三個參試品種(系)之收穫指數均與氣象因素中雨量有明顯關係，台農67號與台中育365號在抽穗後第1週，台中秈10號則在抽穗後第4週(表4)。由此可見在水稻抽穗之前雨量對水稻的收穫指數影響不大，但在抽穗左右或其後則影響極大。台中秈10號之穗大且重，在抽穗後第4週已達生理成熟期，極易受雨量之影響，若以迴歸方程式 $Y = 49.80 + 0.0395 R_n - 0.00126R_n^2$ 解釋之可達 79.42 % 解釋程度。

討 論

水稻之生產力可由其之收穫指數代表^(2,6)，本研究同時以水稻之稻穀產量及收穫指數來表示水稻生產力，並將其與種植時期之氣象因素之關係進行逐步迴歸分析，選擇對水稻生產力具有影響力的氣象因素。試驗結果品種間對氣象反應分別有類同與相異之處，類同是對各品種具有影響力的氣象因素均為平均最低氣溫與雨量；相異之點為影響的時期不同。另外值得注意的是平均最低氣溫影響產量，雨量則主要影響收穫指數。參試品種屬於稈型稻之台農67號與台中育365號對氣象因素反應相同之處為在抽穗後第1週，其收穫指數對雨量反應明顯，而秈型稻台中秈10號則延至抽穗後第4週，此因水稻品種遺傳形態不同，對氣象因素反應型式亦不同，所造成現象⁽³⁾，但是否同類型品種可以合併分析，則尚待進一步研究，縱然前人研究指出秈型稻在本省較適合前期高溫，稈型稻在日本成熟期最適溫為 20 ~ 22°C 之間等報告⁽¹⁵⁾，此問題還值得做深入探討。

本試驗結果雖僅由二年8次種植之資料分析成績，但初步得知平均最低氣溫與產量有關，此與 Seshu 及 Cady (1984) 報告結果有相似之處，可是在本試驗結果台農67號與台中秈10號對平均最低氣溫之反應顯著的時期不同，台農67號在抽穗後第3週即其成熟期中糊熟期進入黃熟期階段，而台中秈10號則在抽穗後第5週，即其分蘗盛期轉入生殖生長時期，且其迴歸決定係數 R^2 僅 51.51%，而台農67號在成熟期中受平均最低氣溫影響較大， R^2 值為 70.37%，且由相關係數為正值來看，平均最低氣溫愈高可期望台農67號產量愈高，但最好不超過適溫 25°C。

另日射量影響水稻之產量^(1,15)，尤其在生殖生長期及成熟期，依 Venkataraman (1987) 指出水稻穀粒中澱粉形成大都來至於抽穗前2週及抽穗後4週之光合產物。在本研究試驗資料經逐步迴歸分析結果雖沒有選到日射量，但以1987年及1988年之氣象因素差異最大者為日射量。其差異在1988年8月以後日射量特別強，而1987年8月以後日射量却逐漸低落，同時兩年產量差異最大者亦為8月份種植之水稻，故日射量會影響產量。

一般研究氣象因素與作物關係之資料最好時間愈長愈好即長期資料 (long term)，且目前國外利用電腦程式模擬 (deterministic model) 或做產量預測 (yield forecasting) 等研究頗多^(7,9,10,13)，因其參與因子頗多，故在國外此方面研究均有多方面

專家參與，本研究進行簡單分析，且資料收集時間不夠長，但利用年度內多次種植結果與氣象因素變化進行兩者相關試驗研究結果不多，故尙可做日後有關研究之參考。

參考文獻

1. 坪井八十二。1986。氣象農業生產。養賢堂，日本。p. 259。
2. 張素貞、許誌裕。1988。台灣中部一年一作水稻生產潛力之研究。台中區農業改良場研究彙報 21（印刷中）。
3. 鄔宏潘。1979。氣象因素及地區對一、二期作稻產量之影響。p. p. 39-48。謝順景、劉大江編。台灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。行政院國家科學委員會，台北。
4. 劉大江。1979。水稻各生育期溫度對碳水化合物累積與轉流之影響。p. p. 101-111。謝順景、劉大江編。台灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集。行政院國家科學委員會，台北。
5. Elston, J., 1983. Potential productivity of field crops under different environments. pp. 3-14 in International Rice Research Institute. Climate. Manila, Philippines.
6. Lin, F. H., 1988. Variations in harvest index of rice observed in southern Taiwan and its implication in rice breeding. Hualien D. A. I. S. Technical Bulletin No. 1., p. 99.
7. Meek, D. W., J. L. Hatfield, T. A. Howell, S. B. Idao, and R. J. Reginato, 1984. Generalized relationships between photosynthetically active radiation and solar radiation. Agron. J. 76: 939-945.
8. Mowla, K. G., 1978. Relation between climatic fluctuations and rice production in Bangladesh. p. 137 in Climate Change and Food Production. University of Tokyo Press, Japan.
9. Oldeman, L. R., and M. Frere, 1982. A study of the agroclimatology of the humid tropics of South Asia. Food and Agriculture Organization, Rome, p. 229.
10. Oldeman, L. R., D. V. Seshu, and F. B. Cady, 1987. Response of rice to weather variables. pp. 5-39 in International Rice Research Institute. Weather and Rice. Los Banos, Philippines.
11. Ormord, D. P., 1961. Photosynthesis rate of young rice plants as affected by light intensity and temperature. Agron. J. 53: 93-95.
12. Sasaki, K. and S. Wada, 1973. Varietal difference in cold tolerance at different stages of panicle development in rice. Hoku-No (Japan) 40(8): 7-14.
13. Seshu, D. V. and F. B. Cady, 1984. Response of rice to solar radiation and temperature estimated from international yield trials. Crop Sci. 24: 649-654.
14. Venkataraman, S., 1987. Agrometeorological aspects of growth, yield, and water relations, with

special reference to rice. pp. 55–67 in International Rice Research Institute. Weather and Rice. Los Banos, Philippines.

15. Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
16. Yoshida, S. and F. T. Parao, 1976. Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. pp. 471–494 in International Rice Research Institute. Climate and Rice. Los Banos, Philippines.

THE EFFECT OF MAJOR FACTORS WEATHER ELEMENTS ON
YIELDS OF INTERCROPPING RICE

Su-Jein Chang, Shyh-Ming Yu

and

Chich-Yu Sheu

Taichung Agricultural Improvement Station

ABSTRACT

The studies on the effect of weather variables on the rice productivity with the ten transplantings from April to August in 1987 and 1988. The results showed that the more effective weather variables were mean minimum temperature per week and rainfall. The responses to the two weather variables were different in the tested rice varieties. The main different responses were the responsive stages. The significant responses of the variety Tainung 67 of grain yield and harvest index to the minimum temperature and rainfall respectively, were the third week and the first week. The responses of the variety Taichung Sen 10 to the minimum temperature was at the end of the maximum tillering stage and the beginning of the reproductive stage. The responses of the strain Taichung yuh 365 of grain yield and harvest index to the rainfall were the second week before heading and the first week after heading respectively. Although, the effective weather variable, the solar radiation was not selected by stepwise regression, it is important variable at ripening stage, especially.

