

氣溫與日射量對水稻期作性與 地區性產量差異之影響¹

蔡 金 川²

摘要 本試驗以硬稻臺農67號與秈稻嘉農秈11號為材料，於1977—1982年分別於臺北及臺中地區連續進行六年之田間試驗，目的在探討氣象因子對產量及其構成因素的影響，並於期作間及地區間進行比較。綜合而言，第一期作之產量高於第二期作，臺中地區之產量較臺北為高，而臺農67號較嘉農秈11號高產；穀粒產量與一株穗數及千粒重呈相同之變化趨勢。期作間之一穗穎花數差異在地區間之表現相反，尤以嘉農秈11號在臺北地區二期作之一穗穎花數最少，為產量低落的主要原因。

第一期作移植後45日內平均氣溫及日射量與水稻產量表現為正相關，並以臺北地區最為明顯；高氣溫與日射量可促進稻株分蘗，經由增加一株穗數而提高產量。臺中地區第一期作水稻分蘗期之氣溫與日射量較臺北地區為高，一株穗數與穀粒產量亦有相同的表現。

第二期作臺北地區水稻移植後40日內平均氣溫與產量呈負相關，過高之溫度不利於稻株分蘗，因而導致產量降低；臺中地區亦有相似表現，唯一株穗數及產量均較臺北地區為高。第二期作水稻抽穗後氣溫及日射量均大幅下降，可能致使結實率與千粒重降低；但臺中地區之氣象條件仍優於臺北地區，應為產量較高的主要因素。

作物之產量為所有內在生長作用的綜合表現，易受環境因子的影響，而氣象因素的溫度與日射量等，因無法以人為方式調節，對作物生產的作用尤其受到重視；因此為求提高產量或其安定性，瞭解氣象因子對作物產量性狀及生理的作用，實屬必要。有關此一問題之試驗報告頗多^(7,11,12,14,17)，以水稻為例，國內即曾進行多年之豐歉試驗，但因所使用之品種時有更改，無法充份究明品種與環境的交感作用，是為缺憾；又有關長期進行產量性狀試驗，並分析氣象因子影響效果的報告仍然少見。有鑑於此，本所作物生理研究室選用秈、硬稻品種，於1977至1982年間連續進行六年之田間試驗，除針對氣象因子及產量性狀予以詳細調查，以探討環境因素之作用外，並著重期作間的比較，以及地區間的差異，所得之試驗結果或可供為今後改良品種與栽培方法之參考資料。

材料與方法

本試驗採用硬稻臺農67號與秈稻嘉農秈11號為材料，自1977年至1982年，每年兩期作分別於臺北地區（國立臺灣大學附屬試驗農場）與臺中地區（臺中縣霧峰鄉本所試驗農場）栽培試驗。第一期作之插秧日期在臺北與臺中分別為3月10日至23日與2月14日至28日，第二期作分別為8月3日至6日及7月28日至8月2日。移植時之行株距為25×20cm，採多本植，小區面積為8m²，重複三次，

1. 臺灣省農業試驗所 研究報告第 1445 號。本報告承日本東京大學 Takeda Genkichi 教授指導及斧正，謹致謝意。

2. 本所農藝系助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

使用逢機完全區集設計。肥料 (N:P₂O₅:K₂O) 用量在第一期作為 134:58:54kg/ha，第二期為 121:45:51kg/ha；其他栽培管理依一般慣行法行之。水稻生育期間進行多項性狀調查，並曾針對部分材料行化學分析，所得資料將另文發表，本報告僅著重產量及產量構成要素的表現，其方法係於水稻成熟期自每小區取樣 10 株調查，結實率以比重 1.06 食鹽水選求之，產量以每株穗數、一穗穎花數、結實率及千粒重之乘積表示。試驗結果均先以 Bartlett's test 進行均方純度測驗 (tests of homogeneity of variance)，得知試驗機差均方差異不大，即機差係純質，故將六年資料合併分析。試驗結果又經變方分析，並求取有關產量性狀及氣象因子之年次間之相關關係。

氣象因子係以氣溫與日射量為主，資料均係中央氣象局提供。

結 果

試驗進行期間之最高，最低與平均氣溫及日射量變化情形示於圖 1，圖中資料為六年之平均值。就第一期作移植至抽穗期間之平均溫度而言，臺中地區之平均最低溫度略低於臺北地區，但平均溫度及平均最高氣溫則較高，亦即可能具有較大之日夜溫差；第二期作插秧後水稻營養生長期間，平均氣溫多以臺中地區較低。抽穗後穀粒充實期的溫度無論一、二期作，亦以臺中地區高於臺北地區，經由比較平均最高與最低氣溫的差距，顯示臺中地區有較大的溫差，可能有利於穀粒充實。

地區與期作間的日射量比較資料亦列於圖 1，六個年度的平均結果顯示，除八月份外，其他月份

表 1. 水稻品種臺農 67 號與嘉農 11 號之產量及產量構成要素之變方分析 (1977—1982)

Table 1. Analysis of variance for grain yield and yield components of rice cultivars Tainung 67 and Chianung Sen 11 (1977—1982)

Source of Variation	F Value					
	df	Yield per Hill (g)	Panicle Number per Hill	Spikelets Number per Panicle	Seed Setting (%)	1000-Grain Weight (g)
Year (Y)	5	80.16**	21.24**	187.32**	1308.96**	33.67**
Location (L)	1	2717.50**	208.82**	195.88**	180.83**	338.45**
Y × L	5	19.81**	6.94**	24.63**	109.88**	16.66**
Crop (C)	1	964.34**	41.60**	10.47**	601.97**	261.97**
Y × C	5	6.33**	13.08**	46.73**	126.80**	26.98**
L × C	1	28.55**	58.55**	549.35**	1146.98**	36.84**
Y × L × C	5	5.09**	3.99**	30.08**	92.34**	9.18**
Mean Square of Main Plot Error (Ea)	48	0.63	0.47	3.66	0.95	0.39
Variety (V)	1	26.94**	35.51**	251.69**	158.97**	91.88**
Y × V	5	0.75	1.76	6.57**	44.59**	5.95**
L × V	1	0.16	4.22*	39.49**	522.32**	0.06
Y × L × V	5	0.37	1.68	2.66	27.09**	2.53*
C × V	1	1.35	34.40**	17.40**	2.82	13.67**
Y × C × V	5	1.75	0.22	0.54	28.50**	1.62
L × C × V	1	0.84	6.46*	27.88**	13.09**	0.01
Y × L × C × V	5	1.10	0.56	0.97	38.38**	2.35
Mean Square of Sub Plot Error (Eb)	48	0.60	0.53	9.00	0.96	0.38

* and ** are significant at 5% and 1% level, respectively.

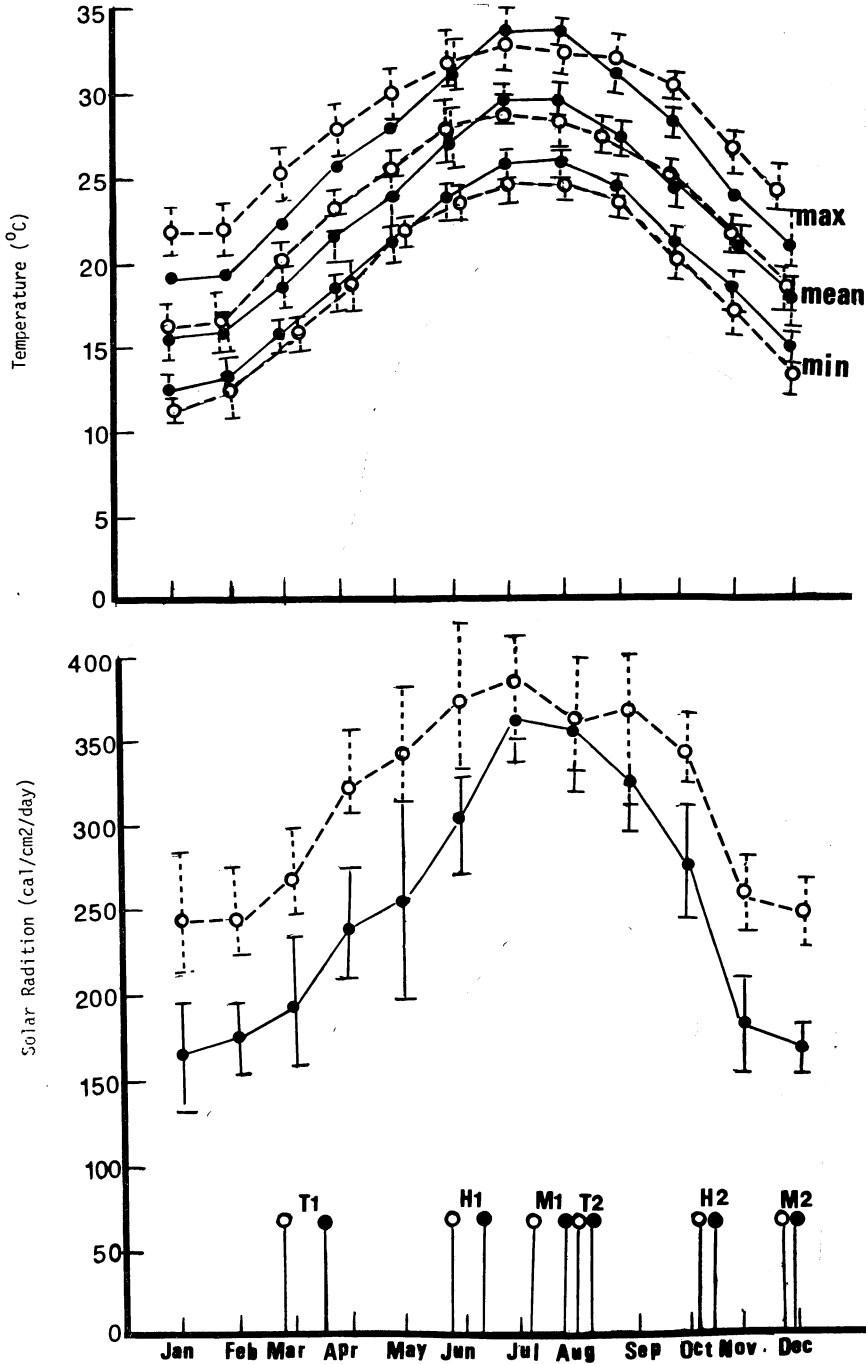


圖 1. 臺北及臺中地區稻作試驗期間月平均氣溫與日射量變化 (1977—1982)

Fig. 1. Changes of monthly means of air temperature and solar radiation during the experimental period (average of six years from 1977—1982)

●: Taipei area, ○: Taichung area. T1 and T2: transplanting time in the 1st and 2nd crops, respectively. H1 and H2: heading time in the 1st and 2nd crops, respectively. M1 and M2: Maturing time of the 1st and 2nd crops, respectively.

之平均日射量均明顯以臺中地區為高，其差異尤以第一期作之營養生長期及第二期作之穀粒充實期為大。就期作間之比較而言，水稻在生育前所接受之日射量以第二期作為高，但生育後期則遠以第一期作為高，其最大差距可達 100cal/cm²/day 以上。

有關水稻產量及其構成要素之年度、地區、期作及品種效應之變方分析結果列於表 1。就絕大多數產量性狀而言，各變因之效應皆達極顯著水準，而多項交感作用亦極顯著，顯示所使用兩個水稻品

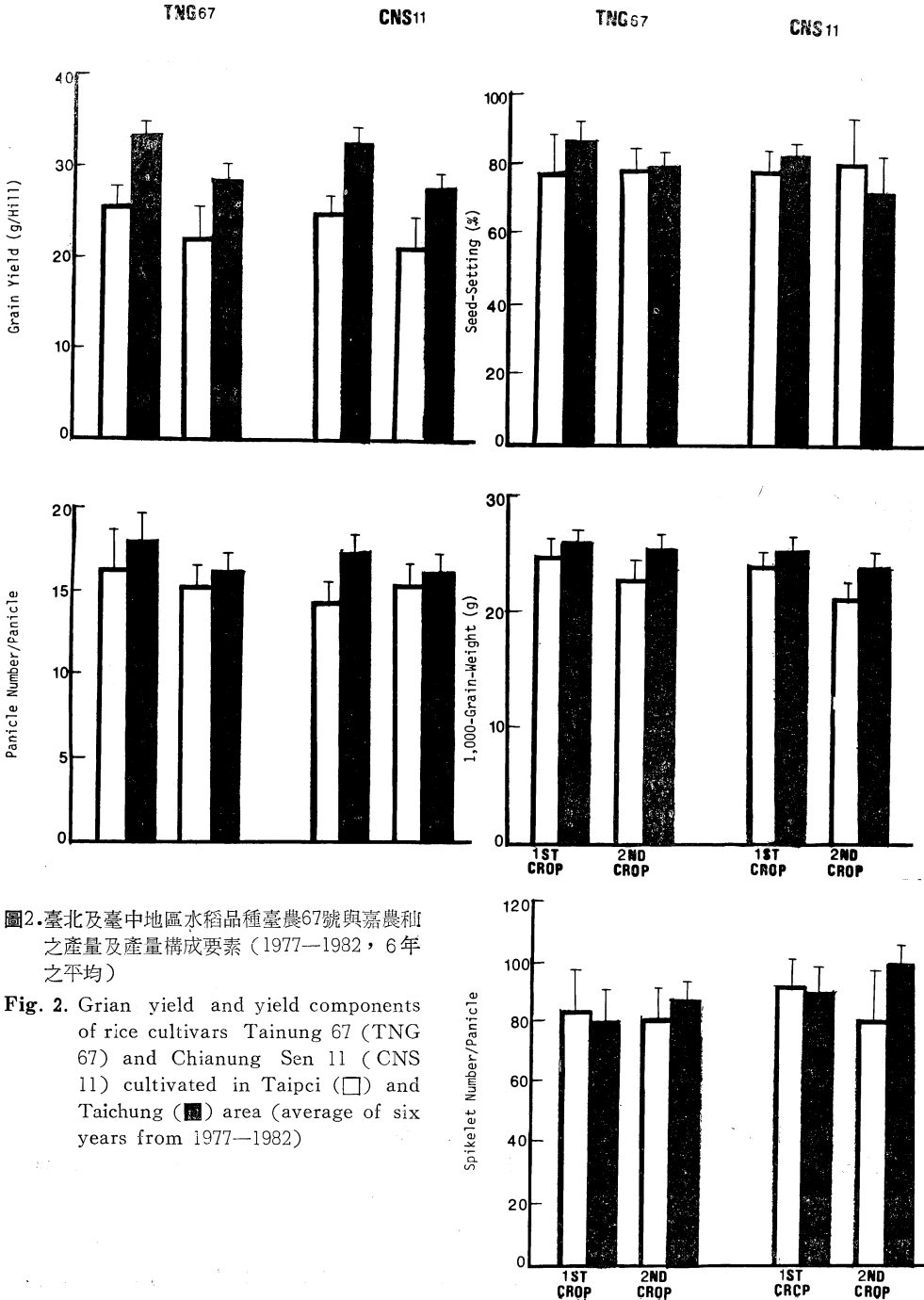


圖2.臺北及臺中地區水稻品種臺農67號與嘉農秈之產量及產量構成要素 (1977—1982, 6年之平均)

Fig. 2. Grain yield and yield components of rice cultivars Tainung 67 (TNG 67) and Chianung Sen 11 (CNS 11) cultivated in Taipci (□) and Taichung (■) area (average of six years from 1977—1982)

種產量性狀表現受到環境因子的影響頗鉅。

圖 2 所示資料為水稻產量及其構成要素的六年試驗平均結果，其中單株稻穀產量表現具有三項特色，即第一期作之產量高於第二期作，臺北地區之產量不如臺中地區，及臺農 67 號較嘉農 11 號高產。

在產量構成要素方面，與稻穀產量具有相同變化趨勢者有一株穗數（臺北地區第二期作之嘉農 11 號例外）及千粒重（圖 2）；一穗穎花數及結實率在品種、地區或期作間缺少完全一致的變化趨向，唯兩性狀間呈互補作用，即一穗穎花數低者，其結實率常較高。就一穗穎花數而言，臺北地區以一期作高於二期作，臺中地區表現相反；第二期作嘉農 11 號一穗穎花數顯著以臺中地區為高，是導致地區間產量差異的最主要原因。

臺北地區第一期作插秧後 45 日內及第二期作插秧後 40 日內平均氣溫與產量的關係示於圖 3；其中第一期作呈極顯著之正相關，亦即在低溫環境下，溫度升高可能經由增加穗數而提高產量；但第二期作則呈極顯著之負相關，應為移植後正逢高溫，而過高之溫度不利於稻株產量生理的綜合表現。臺北地區水稻抽穗前、後各四週的平均溫度與產量間之關係亦列於圖 3，除第二期作抽穗後平均溫度與產量為正相關外，其他期作或時期則未顯現確切的相關關係。

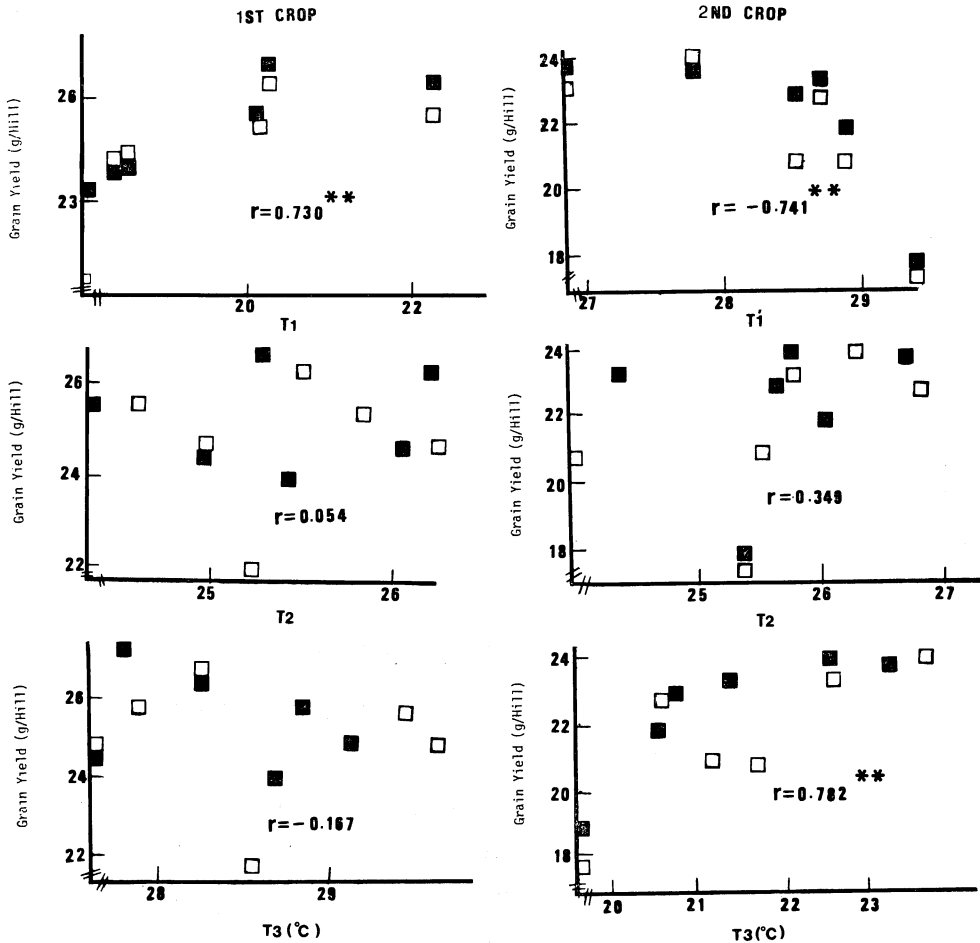


圖 3. 臺北地區水稻產量與平均氣溫之關係

Fig. 3. Relation between grain yield and mean daily air temperature for rice crops cultivated in Taipei area.

■: Tainung 67, □: Chianung Sen 11. T1 and T1': mean air temperature during 45 and 40 days after transplanting in the 1st and 2nd crops, respectively. T2 and T3: mean air temperature during the 4 weeks before and after heading, respectively.

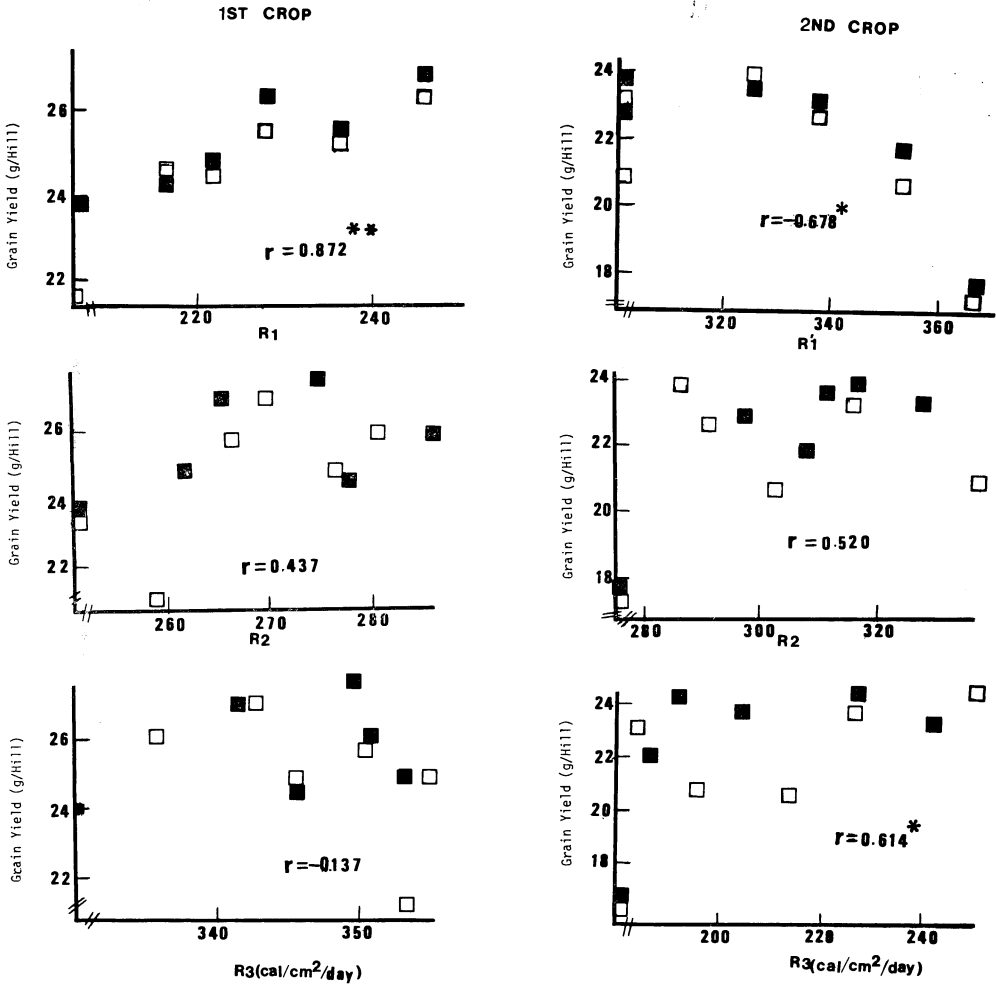


圖 4. 臺北地區水稻產量與平均日射量之關係

Fig. 4. Relation between grain yield and mean solar radiation for rice crops cultivated in Taipei area.

■: Tainung 67, □: Chianung Sen 11. R1 and R1': mean solar radiation during 45 and 40 days after transplanting in the 1st and 2nd crops, respectively. R2 and R3: mean solar radiation during the 4 weeks before and after heading, respectively.

臺中地區的溫度與產量關係示於圖 5；與臺北地區不同者為無論第一、二期作，插秧後 45 或 40 日內的平均溫度與產量均無相關。就抽穗前、後各四週之平均溫度而言，則除第二期作抽穗前之溫度與產量為正相關外，其他之關係亦不明確。換言之，臺中地區水稻產量表現受溫度作用的程度不及臺北地區顯著。

臺北與臺中地區第一期作插秧後45日及第二期作插秧後40日內平均日射量與產量間的關係分別列於圖4及圖6。其結果在臺北第一期作為極顯著之正相關，第二期作為負相關（圖4），在臺中地區兩期作之相關均未達顯著水準。臺北地區抽穗前四週及第一期作抽穗後四週之平均日射量與稻穀產量亦無相關，但第二期穀粒充實期間如能有較高的日射量，有助於產量的提升（圖4）；臺中地區抽穗前後日射量與稻穀產量間的關係則均不顯著（圖6）。

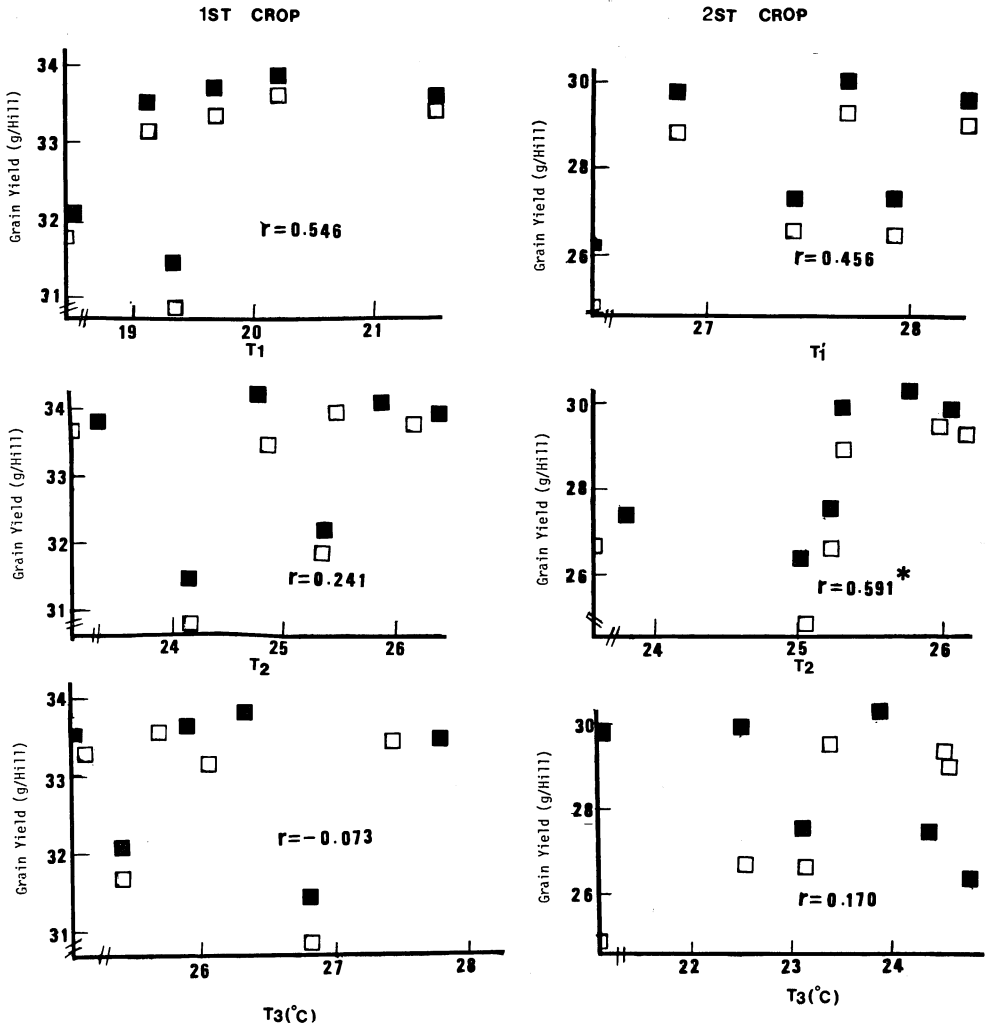


圖 5. 臺中地區水稻產量與平均氣溫之關係

Fig. 5. Relation between grain yield and mean daily temperature for rice crops cultivated in Taichung area.

Refer to Fig. 3 for description of symbols.

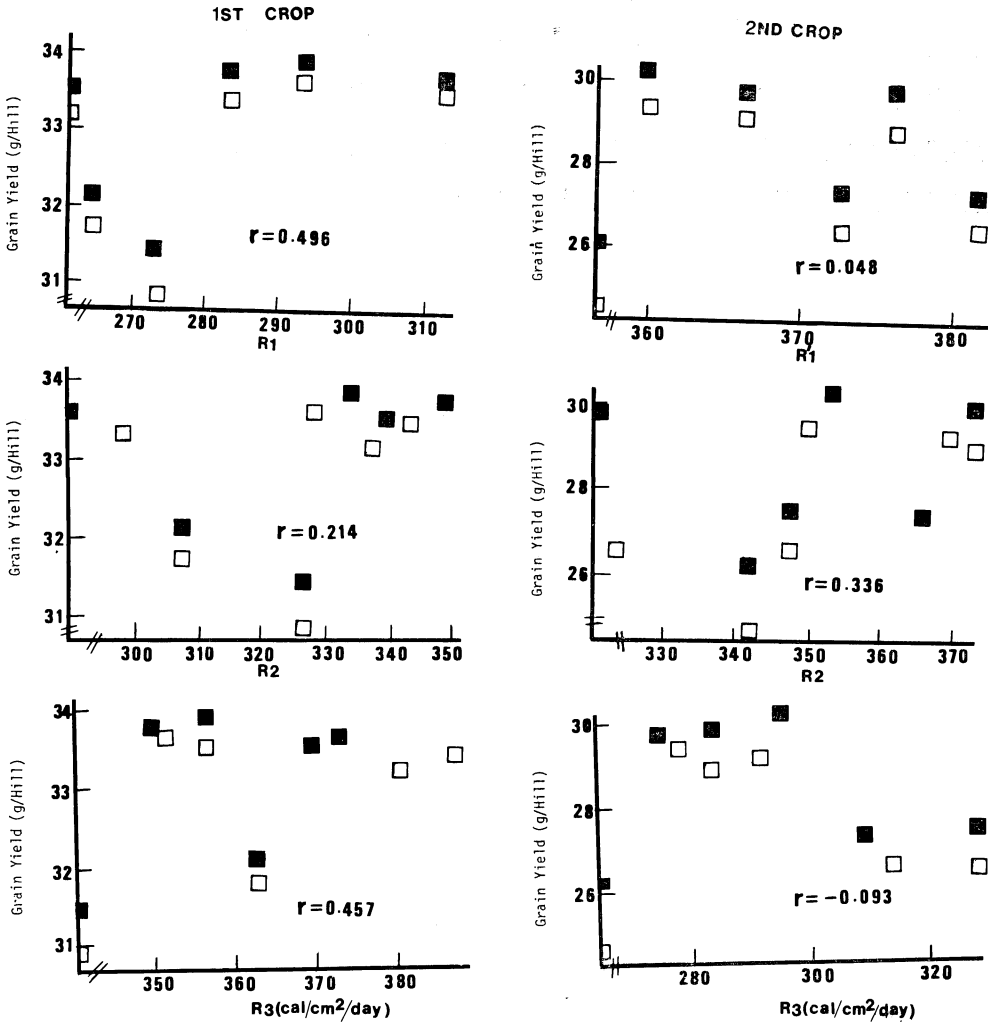


圖 6. 臺中地區水稻產量與平均日射量之關係

Fig. 6. Relation between grain yield and mean solar radiation for rice crops cultivated in T.ichung area.

Refer to Fig. 4 for description of symbols.

討 論

本研究的主要目的在經由探討氣溫及日射量與水稻產量間的關係，明瞭氣象因子對期作性及區域性產量差異的影響。綜合六年試驗之平均結果，得知第一期作與臺中地區的產量分別高於第二期作與臺北地區，與以往諸多研究報告均相符合^(1,5,6,7,8,9)。在第二期作低產方面，一株穗數及千粒重為重要的作用因子（圖 2、表 2），由於移植後正逢高溫環境，如臺北及臺中地區移植後 40~45 日內之平均氣溫分別為 28.3°C 及 27.5°C，可能不利於水稻生長與分化；鈴木等⁽¹⁴⁾指出水稻分蘗期平均氣溫在 27°C 以上時，分蘗能力即受抑制，穗數因而減少；在國內，黃^(4,6)與蔡⁽⁹⁾亦有類似報告，認為第二期作水稻生育初期所逢高溫導致過度旺盛之營養生長，但使分蘗數減少，因而影響產量。本試

驗中臺北地區第二期作移植後40日的平均氣溫較臺中地區為高，且與產量呈負相關（圖3），即為一項證明；村田⁽¹²⁾即曾指出，在暖地因高溫可始日射量對水稻產量產生不利影響。

此外，高溫具有縮短營養生長期的作用^(6,7)，Vergara⁽¹⁸⁾亦認為水稻營養生長可影響穗部的發育與充實，並指出營養生長期愈長，則產量有愈高的趨向；Tanaka and Vergara⁽¹⁷⁾的報告認為如將水稻生育日數適度延長至130~140日，與較短的生育期比較，產量均有增加。本試驗中第一、二期作的平均生育日數分別為131日與112日，差距為19日，而二期作的產量顯著低於一期作，可證明兩者間的關係。事實上，除水稻外，其他禾穀科作物也有相同的表現^(15,16)。

水稻之平均粒重在品種內原為一極穩定的性狀，但亦可能受栽培與環境條件的作用而產生變異；依據翁⁽²⁾與劉⁽⁸⁾的研究，第二期作水稻抽穗前預貯於莖稈內的碳水化合物較第一期作為少，可能不利於抽穗後穗部之充實及乾物質累積能力。賴⁽¹⁰⁾認為第二期作生育初期之高溫使土壤環境劣化，影響根系之氧化力，從而使活性降低，不利於抽穗後之穀粒充實，為減產的重要因素。本試驗中第二期作水稻千粒重不如第一期作（圖2），產量亦低，可能與上述原因有關，值得再予探討。

日射量與氣溫同為影響作物生長與產量表現的重要因子，在本試驗中，地區間與期作間的日射量差異頗大（圖1），應對產量性狀產生重要的影響。第二期作水稻抽穗後穀粒充實期間日射量與氣溫均明顯下降，尤以臺北地區水稻乳熟至糊熟期間為 $184\text{cal}/\text{cm}^2/\text{day}$ ，遠不及臺中地區；又鑑於臺北地區第二期作水稻抽穗後四週之平均溫度及日射量與產量呈正相關關係（圖3、4），顯示不良之氣象因子導致水稻低產。村田⁽¹²⁾指出在 21.2°C 以下時，平均溫度與產量為正相關，而低溫環境下日射量亦與產量呈正相關關係；在國內方面，林⁽¹⁾認為第二期作水稻生育後期之低日射量可影響光合成效率（photosynthetic efficiency），不利於乾物質生產，並使產量降低。另一方面，松島⁽¹³⁾報告低溫使水稻養分吸收轉流等生理活性受阻，間接使同化作用及同化產物供應量降低，如再逢低日射量，減產程度將更為嚴重。本試驗相關結果均能與上述推論符合，尤其以臺北地區之稻產量表現最能顯示氣象因子的不利作用。

第一期作值得注意的氣象因子作用為移植後生育初期的低溫與低日射量（圖1），臺北地區移植後45日內平均氣溫及日射量均與產量有正相關（圖3、4），顯示產量受限於此一時期的低溫與低日射量，與村田⁽¹²⁾的試驗結果相同。臺中地區第一期作水稻生育初期的溫度與日射量均較臺北為高，可能為兩個氣象因子與產量關係未達顯著水準（圖5、6）及產量亦較高（圖2）的原因之一；不過由於此一時期之溫度為在 20°C 左右以下，如能適度提高溫度，或仍有利於產量表現。

本試驗中另一值得注意的現象為在臺北地區栽植嘉農秈11號品種時，第二期作之一株穗數反較第一期作為高，此可能與品種特性有關，亦即嘉農秈11號之分蘗能力不易受高溫抑制，在低溫下之分蘗數反而較少；陳⁽³⁾即曾指出栽培秈稻時，分蘗能力易受生育初期低溫的影響，為生產一期作水稻時應注意的事項。由表1可知，一株穗數之品種與環境因子交感作用多達顯著水準，亦即在考慮氣象因子對水稻產量性狀的影響時，應注意不同品種對環境的適應能力。

氣象因子不能以人為方法改變，換言之，如欲針對氣象因子的影響而謀求提高產量，仍宜由品種及栽培方法之改良著手。以第二期作之品種為例，理論上應選用生育初期適應高溫品種，以求提高穗數及莖稈內貯存性碳水化合物之累積；而抽穗後又較能適應低溫與低日射量，使同化作用與轉運效率不致過度降低，應能有利於產量表現。

引用文獻

1. 林安秋。1979。一、二期作水稻羣落光合作用之比較。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集，pp. 85-90。行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
2. 翁仁憲、陳清義。1984。臺灣水稻之光合作用、物質生產及穀實生產特性—第一、二期作水稻之物質生產與穀實生產特性。中華農學會報 125：4—13。

3. 陳建山。1979。第一、二期作水稻之分蘗特性比較。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集， pp. 61-74。行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
4. 黃真生。1977。水稻第二期作低產之原因。中華農學會報 100: 22-33。
5. 黃真生。1979。臺灣水稻第二期作之低產情況。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集， pp. 23-27。行政院國家科學委員會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
6. 黃真生。1979。臺灣水稻第二期作低產之原因。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法及其解決方法研討會專集， pp. 29-36。行政院國家科學委員會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
7. 鄒宏潘、廖雲英、錢美華、林燦隆、陳一心、王銀波、蔡國海、吳來貴、張萬來、林富雄、吳育郎。1975。第二期作低產原因之探討。科學發展月刊 3(10): 5-39。
8. 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。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集， pp. 101-111。行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
9. 蔡金川。1978。水稻生育各期溫度及遮光對產量及其構成因素之影響。科學農業26(5-6): 194-201。
10. 賴光隆。1979。水稻根羣形成的特性與活力之診斷。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集， pp. 77-84。行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
11. 謝昱暉。1979。一、二期作水稻之生長與光合作用構成因子。臺灣二期作稻低產原因及其解決方法研討會專集 pp. 91-100。行政院國家科學委員會研討會專集第二號。行政院國家科學委員會，臺北。
12. 村田吉男。1964。わが國の水稻收量の地域性に及ぼす日射と温度の影響について。日作紀33: 59-63。
13. 松島省三。1972。稻作の理論と技術。養賢堂，東京。 pp. 219-225。
14. 鈴木守、中村公則。1977。暖地における水稻の乾物生産と氣象要因なびに太陽エネルギー利用率について。日作紀46(4): 530-536。
15. Askel, R., and L. P. Johnson. 1961. Genetic studies in sowing-to-heading and heading-to-ripening periods in barley and their relation to yield and yield components. *Can. J. Genet. Cytol.* 3: 242-259.
16. Bingham, J. 1969. The physiological determination of grain yield in cereals. *Agric. Prog.* 44: 30-42.
17. Tanaka, A., and B. S. Vergara. 1967. Growth habit and ripening of rice plants in relation to the environmental conditions in the Far East I. *R. C. Newsl.* (Special issue): 26-42.
18. Vergara, B. S., A. Tanaka, R. Willis, and S. Puranabhavung. 1966. Relationship between growth duration and grain yield of rice plants. *Soil Sci Plant Nutr.* 12(1): 31-39.

Seasonal and Regional Differences in Rice Grain Yield in Response to Air Temperature and Solar Radiation

Jin-Chuan Tsai

Summary

Rice cultivars Tainung 67 (japonica) and Chianung sen 11 (indica) were grown in Taipei and Taichung area from 1977 to 1982 to investigate the influence of climatic factors on the yield performance of rice crop. Comparisons between crop seasons and locations were emphasized. In general, grain yield was higher in the first crop and Taichung area than in the second crop and Taipei area, respectively. Tainung 67 cultivar outyielded Chianung sen 11 in most of the experiments. Changes in grain yield was in accordance with those of spikelet number per panicle and 1,000-grain-weight. On the other hand, there was a negative relationship between spikelet number per panicle and seed-setting percentage. Seasonal difference in spikelet number per panicle was different between Taichung and Taipei locations. The most significant case was Chianung sen 11 cultivated in the second crop at Taipei where the low grain yield was considered to be caused primarily by low spikelet number per panicle.

Mean daily temperature and solar radiation during the 45-day period after transplanting in the first crop was positively correlated with grain yield, particularly for rice cultivated in Taipei area. High temperature and solar radiation were considered beneficial to the tillering ability of rice crop and hence grain yield was increased through high panicle number per hill. Comparison on the effect of climatic conditions between Taichung and Taipei areas also revealed the same results.

On the contrary, mean daily temperature during the period of 40 days after transplanting showed negative correlation with grain yield in the second crop season in Taipei area. Temperature higher than optimum during vegetative growth period of rice plants tended to inhibit tillering and therefore decreased grain yield. Similar conclusion was obtained in Taichung experiments, however, panicle number per hill and grain yield were higher than those in Taipei area. Temperature and solar radiation decreased markedly during the grain-filling period of the second crop rice which might impair seed-setting percentage and 1,000-grain-weight. Climatic condition, which were more suitable for grain development in Taichung than in Taipei, was considered the main factor in causing yield difference between the two locations.

1. Contribution No. 1445 from Taiwan Agricultural Research Institute.

2. Assistant agronomist, Department of Agronomy, TARI, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 41301, ROC.