

桃園地區 1993 年第二期作水稻增產 與氣象因素之關係

林孟輝 張學琨

摘 要

本文旨在探討桃園地區 1993 年第二期作水稻產量比 1985-1992 年同期作高產之原因。利用 8 年期所收集之水稻豐歉試驗資料與該期生育期間之氣象資料，分析比較其氣象特徵。結果顯示，由於 1993 年第二期作自移植至幼穗分化期間之氣溫為 27°C (比歷年平均低 0.4°C)，日射量為 938.92 MJ/m^2 (比歷年平均高 19.63 MJ/m^2) 下，分蘗數大幅增加(台農 67 號多 5.5 支，新竹 64 號多 4.8 支)；在抽穗期之減數分裂期間又因高溫 (24.1°C) 及較高日射量 (68.93 MJ/m^2)，導致稔實率顯著增加，台農 67 號為 95.3% (指數 + 21.7%)，新竹 64 號為 94.8% (指數 + 19.2%)；抽穗後又因雨量稀少且氣溫日照較高下，造成穀粒充實飽滿，台農 67 號及新竹 64 號千粒重為 24.6g 及 24.5g，分別增加 0.6g 及 1.8g。因穗數、稔實率及千粒重顯著增加，所以造成 82 年第二期作比歷年高產，台農 67 號增產 100.6%，新竹 64 號增產 92.2%，其增產幅度為本場成立以來所僅見。

關鍵詞：水稻，氣象因素，產量，減數分裂期，抽穗期。

前 言

作物之產量是由品種、栽培環境及管理技術三者所共同決定，當品種與管理技術相同時，產量的差異即歸因於環境的影響。而產量的形成則繫於一系列相承之生長過程，每一生長過程均受當時之生長環境的影響，且過程中之環境變化將影響作物的發育。鄔⁽⁶⁾即指出環境因子中的氣象變數對水稻產量的影響是透過其各發育過程的間接影響來決定的。而水稻為台灣地區首要糧食作物，因此為瞭解氣象因子對水稻發育及產量的影響，從日據時代即以同一栽培法、同一試驗田、以當時盛行之相同品種持續進行水稻豐歉試驗至今，並調查當時之氣象因子，建立長期資料，做為稻作生產豐歉預測之參考。

由豐歉試驗中發現，桃園地區於民國 1993 年第二期作水稻產量比歷年 (1985-1992 年) 同期作之平均產量特別高，因此即以當時之氣象狀況及水稻產量構成因素來探討其產量特高的原因。

材料與方法

氣象資料係自民國1985年桃園區農業改良場從新竹市遷場至桃園縣新屋鄉開始，在本場一級農業氣象觀測站之自動觀測系統(Nakaasa Model M-820)所搜集者(包括氣溫、日照時數、降雨量、風速及濕度等)進行分析。

稻作資料係採用本場於1985年起遷場之豐歉試驗，供試品種為台農67號及新竹64號，採逢機完全區集設計，三重複，行株距30x15cm，小區面積9m²，肥料用量在第二期作為N-P₂O₅-K₂O=110-72-70kg/ha。以育苗箱育苗，手插秧移植，5~6本植，其他栽培管理依一般慣行法行之。水稻生育及產量構成要素調查：插秧期：調查苗齡與苗高；分蘗始期與幼穗形成期：調查株高及分蘗；抽穗期：調查抽穗日期、株高及分蘗；收穫期：調查株高、穗數、一穗粒數、結實率、千粒重、稻穀產量及碾米率等。

本場水稻豐歉試驗之資料自民國1985年開始，至民國1992年止為基準，以其平均值與1993年者做分析。全部試驗結果以SAS套裝軟體⁽¹⁷⁾進行相關分析及逐步迴歸分析，以瞭解水稻在生育過程中受環境因子之影響及1993年水稻高產之原因。

結 果

一、試驗期間與歷年氣象因素之比較

1993年第二期作試驗期間之氣象因子與歷年差異較明顯者有氣溫、日射量、降雨量及風速等(圖1)。由圖1可知，1993年8月1日移植起至8月30日止其氣溫條件與歷年相若，平均氣溫28.2°C。至9月15日幼穗分化期開始，氣溫開始上昇，比歷年高約0.7~2.6°C(最高31.4°C、平均27.3°C、最低23.8°C)。而後從10月1日起氣溫明顯下降，比歷年低1°C左右(最高26.3°C、平均22.7°C、最低20.8°C)。穀粒充實初期有短暫幾天氣溫較高，但隨後又下降，至充實後期時，氣溫明顯比歷年高約1.5°C左右。日射量除8月中旬有32.5mm降雨量及10月上旬有39mm降雨量的影響外，幾乎整個生育期都比歷年高；平均風速在初期皆比歷年低，至10月初才受東北季風的影響，出現較高之風速(7.5m/s)，其餘與歷年相仿。因此，1993年第二期作之氣象條件為高溫、多日照及較乾旱的狀態。

二、1993年第二期作水稻產量構成因子與歷年之比較

歷年之台農67號及新竹64號的抽穗期約在10月15日左右(其氣溫最高27.1°C、平均23.4°C、最低20.7°C)。而1993年受高溫及高日照的影響，提早2天抽穗，又成熟後期的高溫，因此使成熟期比歷年提早近9天左右。至於兩品種的產量構成因子之分蘗數分別較歷年高出44.7%及37.2%(表1)，一穗粒數亦分別高出21.9%及28.8%，且因稔實率達九成以上(台農67號為95.3%，新竹64號為94.8%，分別增加21.7%及19.2%)，因此台農67號之公頃產量為8430公斤，比歷年平均值增產一倍，新竹64號為8366公斤，增產92.2%。如果將每株穗數、每穗粒數、稔實率及千粒重之指數增加部份相加，則台農67號增加93.9%，新竹64號增加93.1%，與產量增加指數極為相近。

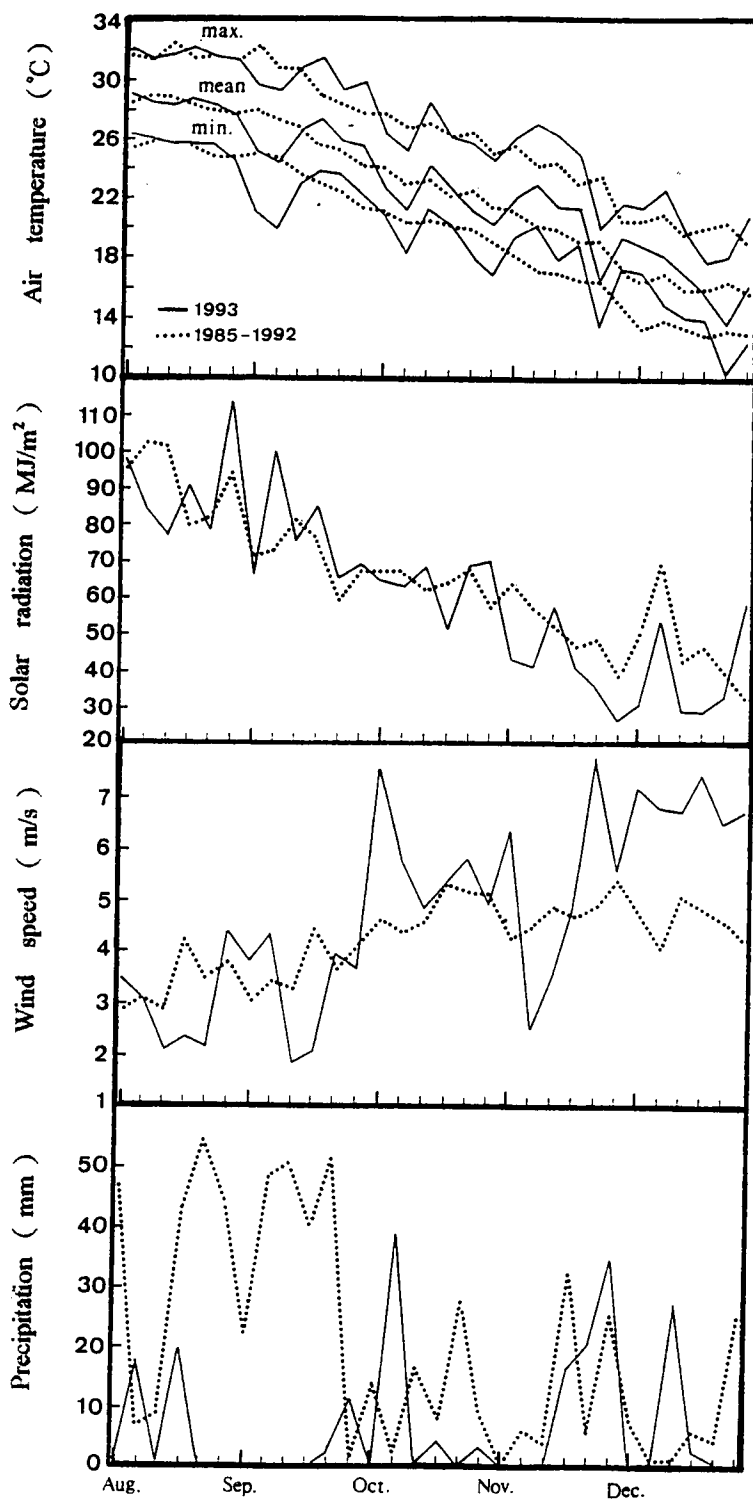


Fig. 1. Seasonal fluctuation of climatic variables during the growing season of rice plants in the second crop.

Table 1. Comparison of agronomic characteristics and yield of rice varieties for the second crop in 1993 and 1985-1992.

Variety	Year	Day to heading (day)	Day to maturity (day)	Panicles (no./hill)	Spikelets (no./panicle)	Seed setting (%)	1000-grain weight (g)	Yield (kg/ha)
Tainung 67	1993	75.0	107.0	17.8	118.2	95.3	24.6	8430.4
	1985-1992	78.0	116.6	12.3	97.0	78.3	23.3	4202.9
	Present/Normal			144.7	121.9	121.7	105.6	200.6
Hsinchu 64	1993	75.0	107.0	17.7	121.6	94.8	24.5	8365.9
	1985-1992	77.2	116.3	12.9	94.4	79.5	22.7	4351.6
	Present/Normal			137.2	128.8	119.2	107.9	192.2

三、氣象因子與水稻增產之關係

依李及林⁽¹⁾將抽穗期設為原點後，把水稻生育期間分割為七個時段，分別為(1)自移植日起至抽穗前第53天止，此期間約為水稻生長緩滯期；(2)自抽穗前第52天至抽穗前32天止，此期間約為水稻分蘖盛期；(3)自抽穗前第31天至抽穗前18天止，此期間約為幼穗分化至穎花分化期；(4)自抽穗前第17天至抽穗前4天止，此期間約為減數分裂期；(5)自抽穗前第3天至抽穗後3天止，此期間約為孕穗、抽穗與開花、授粉期。(6)抽穗後第4天起至第17天止，此期間約為穀粒充實前期；(7)抽穗後第18天起至成熟收穫止，此期間約為穀粒充實後期。將水稻各生育時段之氣象條件對水稻產量構成因子進行相關分析後結果如下。

1993年第二期作自8月1日插秧起至9月25日幼穗分化期止之平均氣溫約為27.1°C，比歷年低0.2°C，累積日射量為938.92MJ/m²，比歷年多出19.63MJ/m²，累積雨量只有40.0mm比歷年短少375.5mm，在此營養生長期間屬於高溫、多日照且較乾旱的氣象狀態下，水稻生育狀況良好。

10月13日為水稻抽穗期，由表2顯示，1985年至1993年第二期作之四個生育期的氣象因子與分蘖數之相關關係，可知第二時段之最低氣溫與分蘖數之間在台農67號呈顯著負相關 $r=-0.687$ ；在第三時段之日射量與分蘖數之間呈顯著正相關，台農67號為0.720，新竹64號為0.655；而降雨量與分蘖數之間呈顯著負相關，台農67號為0.760，新竹64號為0.817。兩品種之一穗粒數與氣象因子間的相關係數並無顯著性存在(表3)。由表4可知兩品種之稔實率與最高氣溫在第四時段呈顯著正相關，台農67號為0.788，新竹64號為0.832，而日射量亦有相似之結果，台農67號為0.676，新竹64號為0.651。至於千粒重亦與日射量在第四時段呈顯著正相關，台農67號為0.694，新竹64號為0.708，而與累積降水量呈顯著負相關，台農67號為-0.714，新竹64號為-0.666。

Table 2. Correlation coefficient between panicle number per hill (Y_1) and climatic factors for the second crop during 1985 to 1993 in Taoyuan area.

Variety	Variables ^a	Growth period ^b			
		1	2	3	4
Tainung 67	Mx and Y_1	0.165	-0.248	-0.051	-0.099
	Me and Y_1	0.053	-0.516	-0.083	-0.258
	Mn and Y_1	-0.064	-0.687*	-0.254	-0.290
	Sr and Y_1	-0.128	0.122	0.720*	-0.065
	Ws and Y_1	-0.050	-0.110	-0.442	-0.002
	Rf and Y_1	0.496	-0.278	-0.760*	-0.371
Hsinchu 64	Mx and Y_1	0.229	0.033	0.131	0.092
	Me and Y_1	0.335	-0.259	0.226	-0.015
	Mn and Y_1	0.053	-0.583	-0.036	-0.114
	Sr and Y_1	-0.383	0.026	0.655*	-0.307
	Ws and Y_1	-0.214	-0.403	-0.512	-0.295
	Rf and Y_1	0.374	-0.433	-0.817**	-0.233

a : Mx, Me and Mn: Maximum, mean and minmum temperature ($^{\circ}\text{C}$), respectively.

Ws: Wind speed (m/s); Sr: Solar radiation (MJ/m^2); Rf: Rainfall (mm).

b : 1: From transplanting to the 53rd day before heading.

2: From the 52nd to the 32nd day before heading.

3: From the 31st to the 18th day before heading.

4: From the 17th to the 4th day before heading.

* and ** : Significant at 0.05 and 0.01 level, respectively.

Table 3. Correlation coefficient between spikelet number per panicle (Y_2) and climatic factors for the second crop during 1985 to 1993 in Taoyuan area.

Variety	Variables ^a	Growth period			
		2	3	4	5 ^b
Tainung 67	Mx and Y_2	0.105	0.397	-0.187	-0.132
	Me and Y_2	-0.358	0.328	-0.185	-0.147
	Mn and Y_2	-0.603	0.187	-0.153	-0.265
	Sr and Y_2	-0.101	0.535	-0.525	0.118
	Ws and Y_2	-0.072	-0.323	0.010	0.033
	Rf and Y_2	-0.604	-0.610	-0.000	0.059
Hsinchu 64	Mx and Y_2	0.104	0.507	-0.194	-0.069
	Me and Y_2	-0.355	0.399	-0.186	-0.125
	Mn and Y_2	-0.590	0.288	-0.152	-0.245
	Sr and Y_2	-0.032	0.453	-0.508	0.184
	Ws and Y_2	0.008	-0.318	0.057	0.047
	Rf and Y_2	-0.645	-0.554	0.052	0.061

a, * and ** : See Table 2.

b : 5: From the 3rd day before heading to 3rd day after heading.

Table 4. Correlation coefficient between percentage of seed setting (Y_3) and climatic factors for the second crop during 1985 to 1993 in Taoyuan area.

Variety	Variables ^a	Growth period ^b				
		3	4	5	6	7
Tainung 67	Mx and Y_3	0.206	0.788*	0.471	-0.396	0.526
	Me and Y_3	0.235	0.529	0.526	-0.062	0.452
	Mn and Y_3	0.217	0.386	0.382	0.097	0.367
	Sr and Y_3	-0.184	0.676*	-0.386	-0.208	-0.252
	Ws and Y_3	-0.399	-0.092	-0.257	-0.170	-0.200
	Rf and Y_3	0.030	-0.509	0.105	-0.117	-0.170
Hsinchu 64	Mx and Y_3	0.213	0.832**	0.459	-0.442	0.499
	Me and Y_3	0.287	0.604	0.440	-0.074	0.422
	Mn and Y_3	0.261	0.469	0.386	0.106	0.323
	Sr and Y_3	-0.244	0.651*	-0.327	-0.215	-0.192
	Ws and Y_3	0.458	-0.150	-0.226	-0.211	-0.266
	Rf and Y_3	0.062	-0.523	0.135	-0.156	-0.099

a, * and ** : See Table 2.

b : 6: From the 4th day to the 17th day after heading.

7: From the 18th day after heading to full maturity.

Table 5. Correlation coefficient between 1000-grain weight (Y_4) and climatic factors for the second crop during 1985 to 1993 in Taoyuan area.

Variety	Variables ^a	Growth period ^b				
		3	4	5	6	7
Tainung 67	Mx and Y_4	0.486	0.417	-0.041	-0.116	0.555
	Me and Y_4	0.332	0.334	-0.171	-0.099	0.453
	Mn and Y_4	0.448	0.317	-0.082	-0.256	0.315
	Sr and Y_4	-0.070	0.694*	-0.299	0.331	-0.317
	Ws and Y_4	0.090	0.396	0.195	0.313	-0.248
	Rf and Y_4	0.447	0.050	0.054	-0.261	-0.714*
Hsinchu 64	Mx and Y_4	0.499	0.408	-0.087	-0.147	0.515
	Me and Y_4	0.347	0.333	-0.189	-0.181	0.401
	Mn and Y_4	0.453	0.332	-0.102	-0.377	0.249
	Sr and Y_4	0.022	0.708*	-0.248	0.411	-0.393
	Ws and Y_4	0.040	0.439	0.285	0.266	0.239
	Rf and Y_4	0.415	0.005	0.004	-0.383	-0.666*

a, b, * and ** : See Table 4.

討 論

稻穀產量由穗數、每穗穎花數、稔實率及千粒重等四個因素構成，其中除穗數在水稻營養生長期形成外，其餘三者均在幼穗分化後形成，而各產量構成因素在水稻生育過程中有其決定時期。星川⁽³⁾及 Matsushima⁽¹⁴⁾指出，單位面積穗數由分蘗數決定，而分蘗數由播種至最高分蘗期後 10 天（自第一時段至第四時段）的環境條件決定，亦即分蘗能否抽穗在最高分蘗期後 10 天（相當於穎花分化期）即已決定。而穗數在適溫範圍內（約 18°C）時，高溫能使穗數增加，但溫度過高則縮短分蘗期間，使分蘗數減少，高溫且日照不足時會導致分蘗芽枯死；低溫則使分蘗延遲⁽¹⁸⁾。Munakata⁽¹⁵⁾及鈴木⁽⁷⁾也指出，在抽穗前 6 週（即分蘗盛期）日照與溫度對分蘗數影響很大，低溫高日照下，分蘗數較多。而在 1993 年第二期作自 8 月 1 日插秧起至 9 月 25 日幼穗分化期止之平均氣溫約為 27.1°C，比歷年低 0.2°C，累積雨量只有 40.0mm，比歷年短少 375.5mm（圖 1），因降水量減少使得累積日射量達 938.92MJ/m²，比歷年多出 19.63MJ/m²。同時由表 2 結果可看出在第三時段穗數與日射量呈顯著正相關，與降水量與呈顯著負相關，另與最低溫在第二時段呈顯著負相關，意即在第二、三時段之低溫高日照下有助於穗數的增加，此亦可說明 1993 年第二期作之穗數比歷年高出 37.2 ~ 44.7% 的原因。

張^(5,10)分析台中農改場 32 年豐歉試驗資料時，指出台中 65 號在二期作產量與生育各期之氣溫均無顯著相關性，但與有效分蘗期、最高分蘗至孕穗期及抽穗期間之水溫有極顯著的負相關，與秧田期及成熟期之水溫則無相關，至於與土溫之相關性則僅在最高分蘗至孕穗期與產量有極顯著負相關，其他各期則不顯著，顯示二期作之低產與營養生長期及生殖生長期之高水溫所引起，此與本試驗 1993 年二期作分蘗期呈低氣溫、高日照，可導致低土溫及低水溫，而抑制土壤還原的速度，促進根系的伸張及有效分蘗數的增加，證實二期作營養生長期的低溫為增產最主要因素，此可由四種產量構成因素中，穗數佔最高的分量看出。

星川及 Matsushima^(4,14)指出，減數分裂始於抽穗前 13 ~ 15 天，抽穗前 9 ~ 10 天為減數分裂盛期，至抽穗前 4 ~ 5 天減數分裂完成。依前述生育過程來推算時，減數分裂於 10 月初開始，此時氣溫較歷年低 1.5°C 左右，而減數分裂盛期及減數分裂末期時平均氣溫為 24.4°C 及 22.7°C，分別比歷年高 1.0°C 及 0.4°C，且此時之日射量為 68.93MJ/m²，比歷年高 4.51MJ/m²。根據 Hayase 等⁽¹⁶⁾及楊及朱⁽⁸⁾指出，水稻在幼穗發育期間對溫度相當敏感，特別是在花粉母細胞減數分裂時；同時由表 4 可看出第四時段之氣溫對水稻之稔實率呈顯著正相關（台農 67 號為 0.788，新竹 64 號為 0.832），而且第四時段之日射量與兩品種之稔實率亦呈顯著正相關（台農 67 號為 0.676，新竹 64 號為 0.651），可見在此時段適量之高溫及日射有助於稔實率之增加，因本時期不僅是減數分裂期，亦是抽穗前同化產物預儲於莖稈內的主要蓄積時期⁽⁹⁾。同時抽穗前後 3 天之第五時段是稔實率的重要決定期，而 10 月 13 日抽穗時平均氣溫 24.1°C，比歷年之平均升高 0.5°C，尤其最低氣溫達 21.4°C，因為在低溫下授粉與穀粒充實將無法正常進行，而高溫反之^(11,13)，故此時期之高溫有助於穎花發育。穀粒充實期間之有效充實日數與充實速率為決定充實良否的主要生理特性，而充實速率又比充實期重要⁽¹²⁾。抽穗後 21 天內為穀粒的主要充實期間，此期間之高溫可促進充實速率，縮短有效充實期，低溫則反之⁽⁷⁾。本年於抽穗後平均溫雖比歷年低 1.5°C，但仍達 21.2°C，而後氣溫開始回昇至 22.1.1°C 之間，使得穀粒充實速率增加，而且預儲於莖稈及葉鞘內之光合產物開始轉移時間及速度亦受到高溫之影響。因此本年之稔實率高達九成以上。右由表 5 可看出第七時段中降水量與千粒重呈顯著負相關（台農 67 號為 -0.714，新竹 64 號為 -0.666），而 1993 年第二期作在穀粒充實期間只有 4.0mm 降水量，比歷年少 42.5mm，因此本年之台農 67 號的千粒重為 24.6g 新竹 64 號為 24.5g，分別比歷年多出 5.9

%及7.7%。

以上比較1993年第二期作之產量構成因素與氣象條件之關係後，可推測其增產原因可能是自插秧至幼穗分化期間之低溫高日射量下，分蘗數大幅增加；在抽穗前之減數分裂期間受高溫的影響，水稻之花粉母細胞正常發育，且正值抽穗時又逢高溫及高日射量，使得授粉或受精後之子房發育正常，因而稔實率增高；抽穗後又因雨量稀少且氣溫日照較低下，穀粒充實速度較快、充實期間縮短及光合產物轉移正常，造成穀粒充實完全，千粒重亦增加。因產量構成因子之穗數、稔實率及千粒重的增加，所以造成1993年第二期作比歷年高產。

參考文獻

1. 李蒼郎、林俊隆。1990。氣象因子對水稻產量構成因素之影響及產量估計模式。國立中興大學農藝學研究所碩士論文 p.65-66。
2. 林安秋。1981。氣溫與日照強度對水稻光合成物質之運轉與分配的影響。科學發展月刊 9(11)：965-974。
3. 星川清親。1977。イネの生長。農山漁村文化協會。p.221。
4. 星川清親。1977。イネの生長。農山漁村文化協會。p.237。
5. 張學琨。1967。水稻需水量和灌排水管理 興農4：81-91。
6. 鄔宏潘。1979。氣象因素及地區對一、二期作稻產量之影響。台灣二期作低產原因及其解決方法研討會專集。p.39-48。行政院國家科學委員會研討會專集(二)。行政院國家科學委員會。
7. 鈴木守、中村公則。1978。暖地水稻の收量成立過程における氣象要因の影響に関する二、三の解析。日作紀 46(4)：529-535。
8. 楊素絲、朱鈞。1994。水稻花粉發育過程中對低溫敏感時期之檢定。中華農藝 3(4)：157-166。
9. 魏夢麗、劉大江。1983。期作間光合成物質生產、分配及產量之比較。中華農業研究 32(4)：303-311。
10. Chang, S. K. 1987. The cause of low yield of the second crop rice in relation to the measures increasing its productivity in central Taiwan. Spec. Publ. No.9. ISSN 0258-2708, Taichung DAIS.
11. Hsu, T. H. 1976. Studies on the causes of low yield in second crop of rice in northern part of Taiwan. Influences of low temperature on the growth of rice plant with special references to the reproductive stage. Natl. Sci. Council. Monthly, ROC 4:2907-2919.
12. Jones, D. B., M. L. Peterson and S. Geng. 1979. Association between grain filling rate and duration and yield components in rice. Crop Sci. 19:641-644.
13. Lin, A. C., K. L. Lai and L. F. Lee. 1979. Studies on the causes of low yield in the second crop plant. IV. Comparison of the characteristics of heading and ripening process between the first and second crop of rice plant. J. Agric. Assoc. China 107:17-24.
14. Matsushima, S. 1980. Rice cultivation for the million. p276. Japan scientific societies press. Tokyo.
15. Munakata, 1976. Effects of temperature and light on the reproductive growth and ripening of rice. p187-210. In Climate and Rice. I.R.R.I. P.o.Box 933. Manila Philippines.
16. Hayase, H., T. Satake, I. Nishiyama and N. Ito. 1969. Male sterility caused by cooling treatment at the meiotic stage in rice plants. II The most sensitive stage to cooling and the fertilizing ability of pistils. Proc. Crop Sci. Soc. Japan 38:706-711.
17. SAS Institute Inc. 1987. SAS/STAT Guide for Personal Computer, Version 6 Ed. Cary, NC.
18. Venkateswarlu, B., B. S. Vergara and R. M. Visperas. 1987. Influence of photosynthetically active radiation on grain density of rice. Crop Sci. 27:1210-1214.

Influence of Climatic Factors on the Yield Increase of the Second Crop of Rice in 1993 in Taoyuan Area

Meng-huei Lin and Shueh-kun Chang

Summary

The objective of this study was to clarify the factors of the yield of the second crop of rice increased particularly in 1993. Results indicated that yield increase of the second crop of the cultivars Tainung 67 and Hsinchu 64 in 1993 were 100.6 to 92.2%, respectively, higher than that the average of 1985 to 1992. Based on the analyses of the climatic data obtained from the growth period of the second crop of rice in 1993, the increase in yield was due to the following factors : (1) The lower temperature (27°C) and higher solar radiation (938.92MJ/m²) during the period from date of transplanting to 18th days before heading increased the panicle no. per panicle; (2) The higher temperature (24.1°C) and higher solar radiation (68.93 MJ/m²) during the heading stage were beneficial to pollination and fertility; (3) Low precipitation, higher temperature and higher solar radiation after the heading increased grain filling rates which consequently resulted in higher 1000-grain weight.

Key words: Rice, Climatic factor, Yield, Meiosis stage, Heading stage.