

栽培季節氣象環境對水稻台農 71 號生產之影響¹

李裕娟² 楊純明^{2,3} 蕭巧玲²

摘 要

李裕娟、楊純明、蕭巧玲。2009。栽培季節氣象環境對水稻台農 71 號生產之影響。台灣農業研究 58:45-54。

本文研究以水稻 (*Oryza sativa* L.) 台農 71 號品種為試驗材料，在本所利用按月在田間栽植 1 次之週年栽培方式，探討栽培季節氣象環境對其生產之影響，並以建立氣象變因估測產量之關係模式。本文包括 95 年 12 月至 96 年 11 月等 12 個月份栽培季節之試驗資料，惟其中 96 年 9 月及 10 月栽培季節因生殖生長期長期低溫而無產量收穫，因此僅 10 個季節資料進行分析。氣象環境變因則篩檢栽培季節計算之全生育期累積日平均氣溫 (ADMAT)、日射量 (AIR)、日照時數 (ADSH)、日降水 (雨) 量 (ADP) 及日蒸發量 (ADE) 等 5 項。經由氣象變因之間的相關矩陣分析，發現霧峰地區之 ADMAT 與 AIR ($r = 0.976^{***}$)、ADSH ($r = 0.764^{**}$) 之間均呈極顯著正相關，ADSH 與 AIR ($r = 0.785^{**}$) 亦呈極顯著正相關，而 ADP 與 ADSH ($r = -0.691^*$) 則呈顯著負相關。另鮮穀粒產量 (fresh grain yield, FGY)、乾穀粒產量 (dry grain yield, DGY) 與氣象環境變因之相關分析結果，因包含適栽與非適栽季節，FGY 和 AIR、ADMAT、ADSH 等兩兩之間皆為顯性負相關 (r 值分別為 -0.801^{**} 、 -0.700^* 、 -0.716^*)，而 DGY 之結果亦同 (r 值分別為 -0.813^{**} 、 -0.724^* 、 -0.758^*)。將氣象變因與生產有關之參數進行多變數迴歸分析 (multivariate regression analysis)，包括生產指數 (production index, PI)、收穫指數 (harvest index, HI)、FGY、DGY 等 4 項，結果顯示影響生產指數及收穫指數之主要氣象變因為 AIR 及 ADMAT，分別可解釋 82.2% ($P = 0.002$) 及 82.3% ($P = 0.002$) 之指數變異範圍。鮮穀粒產量及乾穀粒產量則以 AIR、ADMAT、ADE 為主要氣象變因， R^2 分別可解釋 81.4% ($P = 0.013$) 及 81.0% ($P = 0.014$) 之產量變異範圍，其影響比重依序分別為 AIR、ADMAT、ADE。綜合上述試驗結果，顯見在霧峰地區以日射量、氣溫及蒸發量為決定台農 71 號水稻品種產量之主要氣象變因，藉由量測這些氣象變因輸入所建立多元線性複迴歸模式即可粗估其產量高低。

關鍵詞：水稻 (台農 71 號)、氣候 (象) 變因、生產、多變數迴歸分析、多元線性複迴歸模式。

前 言

農作物的產量與品質具有品種特性，受到作物遺傳形質的控制，然而品種特性的表現則

受到生育過程周遭環境的影響。影響作物生產的環境因素可概分為氣象、土壤和生物等三大類，其中氣象環境係指作物生存空間感受或接觸到的光照、氣溫、降水、濕度、風、雨、二

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2345 號。接受日期：98 年 1 月 8 日。
2. 本所作物組助理研究員、研究員、助理研究員。台灣 台中縣 霧峰鄉。
3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@tari.gov.tw；傳真機：(04)23317118。

氧化碳、...等因子的總和。環境因素在時間和空間上的差異與變異，亦會使得同一種作物因時、因地、因季節而產生不等的產量與品質 (Yang 2008)。Chang *et al.* (2002) 在進行氣象因子對盤固草產量之影響分析結果，即指出栽植地點、生長季節及氣象環境之間存在複雜的交感作用，且對牧草的生產造成綜合效應。Lee *et al.* (2004) 在尼羅草之氣象變因模式化研究上，亦發現納入多氣象變因之迴歸模式，才能解釋牧草之產量變異，即欲模擬氣象變因對牧草生產量之影響需要多項氣象參數。影響作物生產的環境因素可概分為氣象、土壤和生物等三大類，其中氣象環境係指作物生存空間感受或接觸到的光照、氣溫、降水、濕度、風、雨、二氧化碳、...等因子的總和。許多農耕栽培管理上的操作，目的即在於改善作物所處之氣象環境，藉以達到促進作物生育及提高作物生產目標，並進而增加農產收益 (Yang 1999)。

水稻 (*Oryza sativa* L.) 是台灣地區最主要的糧食作物，由於氣候溫暖、雨量充沛，一年多可栽培兩期稻作。通常第一期稻作之生育期由較低之氣溫與日射量往高溫、多日射量氣象環境生長，此一氣候條件頗利於稻株生長發育，因此稻穀生產量每公頃平均可達到 5 t 以上 (Hsieh & Liu 1979; Liu & Hsieh 1984; Tsai 1994)。第二期稻作則由生長初期之高溫、多日射量至收穫期之低溫、少日射量，平均產量低於一期稻作約 20–25% (Hsieh & Liu 1979; Liu & Hsieh 1984)。由於兩期稻作氣象環境的差異，將影響稻株生理反應、土壤中有機物質分解速度及病蟲害發生種類、危害時期與損失程度等，所以一、二期稻作之間的生育與產量上的差異並不令人意外。Huang (1979) 之研究指出，二期稻作之減產係單位面積有效穗數減少、結實率降低及粒重較輕所致。穗數減少之原因，Lin & Chen (1976) 之報告認為係二期稻作生育初期氣溫過高，抑制了有效分蘗數所

致，而結實率的降低則係孕穗開花期經常遭遇低溫為主要原因 (Tang & Kao 1972)。Lin & Hung (1979) 和 Lin *et al.* (1979) 報告認為二期作抽穗期延長，再逢日照量不足，導致結實不良與粒重減輕，而降低產量。Lee (1990) 探討氣象因子對產量構成因素之影響，顯示兩期稻作生育期間氣象條件的不同，乃影響產量的主因。

氣象因子會直接或間接地影響農作物的生長，氣溫與光照是兩項影響水稻生產最明顯的氣象因子。稻株分蘗節位的高低常受到溫度影響；在適當的低溫環境下，分蘗的節位較低，且較低節位產生的分蘗具有較旺盛的分蘗能力，成為有效分蘗的比例較高，因此可獲得較多的穗數 (Huang 1979; Liu & Hsieh 1984)。另外以光照對稻株生長的效應為例，在合適的氣溫及充足光照條件下，稻株分蘗數將增加而擴大生產潛力。由此，一期稻作分蘗期的低溫環境，有利於稻株的分蘗及有效分蘗的增加，二期稻作分蘗期的高溫環境則反之，不僅可導致分蘗減少，也可降低高節位及高次節位的分蘗數。其次，高溫會加速土壤有機物質分解，缺氧下的土壤還原狀態將造成根系發育不良，減少養分吸收。高溫亦使得地上部快速生長，消耗大量營養元素及促進呼吸作用，使稻株體內同化產物及含氮化合物的短缺，植株發生提早老化並縮短營養生長期間。Lur *et al.* (2006) 研究指出，氣溫與光照強度影響稻米品質，在日均溫低於 26°C 時，日高溫低於 30°C、日低溫低於 22°C 及日射量高於 13 MJ m⁻² day⁻¹ 環境下，可以生產出外觀良好、白垩質低的優質稻米。

水稻良質米品種台農 71 號 (益全香米；2000 年 10 月命名) 育成以來 (Lai *et al.* 2001)，廣受民眾喜愛，其栽培面積及銷售量均逐年增加。惟此一品種之生長與產量明顯受到氣象環境影響，其米質亦對於氣象環境變化十分敏感，值得深入探究以期穩定生產質量。在

表 1. 從 2006 年 12 月至 2007 年 11 月期間栽植於農委會農業試驗所農場之水稻品種台農 71 號於不同栽培季節之移植日期、到達 50%抽穗所需日數、收穫到達收穫所需日數 (即生育日數) 及穀粒產量等調查資料

Table 1. Effect of planting dates on growth and yield of rice (*Oryza sativa* cv. TNG 71)^z

Planting month	Transplanting date	50% heading (days) ^y	Harvest (days) ^x	Fresh grain yield (Mg ha ⁻¹)	Dry grain yield (Mg ha ⁻¹)
12/2006	12/22/2006	04/02/2007 (102 d)	05/28/2007 (158 d)	4.47	3.59
1/2007	01/29/2007	04/25/2007 (87 d)	06/04/2007 (127 d)	5.40	4.86
2/2007	02/27/2007	05/15/2007 (78 d)	06/20/2007 (114 d)	7.66	6.89
3/2007	03/28/2007	06/06/2007 (71 d)	07/10/2007 (105 d)	5.66	4.90
4/2007	04/27/2007	07/07/2007 (72 d)	08/13/2007 (109 d)	5.43	4.80
5/2007	05/25/2007	08/03/2007 (71 d)	09/11/2007 (110 d)	5.49	4.81
6/2007	06/25/2007	09/03/2007 (71 d)	01/12/2007 (110 d)	6.44	5.64
7/2007	07/27/2007	10/02/2007 (68 d)	11/07/2007 (104 d)	7.38	6.47
8/2007	08/21/2007	10/24/2007 (65 d)	11/30/2007 (102 d)	5.93	5.16
11/2007	11/26/2007	04/04/2008 (130 d)	05/13/2008 (170 d)	3.98	3.11
Average		(81.5)	(120.9)	5.78	5.02

^z Rice cv. TNG 71 was transplanted in paddy fields at the experimental farm, Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung, Taiwan.

^y Days required from transplanting to 50% heading.

^x Days required from transplanting to harvest.

面臨氣候快速變遷及全球溫暖化趨勢的情境下，瞭解氣象環境變化對農作物 (尤其水稻) 生產影響的意義更為重要，而藉由氣象變因改變的追蹤量測以預估生產表現，也成為維持糧食安全供給不可或缺的一環。Pengs *et al.* (2004) 針對菲律賓地區水稻產量年度變化的研究，指出夜間低溫每增加 1°C 將導致 10% 的減產。過去百年來臺灣有全島性暖化現象，氣溫上升 1.0–1.4°C，增溫趨勢在夏季 (1.37°C/百年) 比冬季明顯 (0.83°C/百年)，因此年溫呈現上升的趨勢，而夜間氣溫上升幅度大於日間使得日夜溫差呈現下降的趨勢 (Hsu & Chen 2002)。對水

稻而言，如何因應氣候變遷方向來研擬必要措施，以調和生產環境變異對生長、發育、產量及品質帶來的各種影響，乃持續水稻生產必要的作法及迫切需要採行的步驟。

本文研究旨在利用逐月田間栽植一批水稻的週年栽培方式，來探討栽培季節氣象環境對水稻品種台農 71 號生產之影響，同時釐清各種氣象變因在稻株生長發育和產量表現上扮演的角色，提供未來綜合研擬全球暖化趨勢下水稻栽培環境管理對策之參考。研究結果可同時利用於適地適時適作之依據，以生產高質量的良質米而發揮最大生產效益。

材料與方法

本項試驗在臺中縣霧峰鄉之行政院農業委員會農業試驗所農場進行，栽植月份自 2006 年 12 月起至 2007 年 11 月止，每月栽植水稻品種台農 71 號一批 (表 1)。在合計 12 個栽培季節當中，9 月及 10 月栽植之水稻因遭逢生殖生長期間發生的多次低溫事件而無穀粒收穫，因此沒有穀粒產量紀錄而未列入表 1，實際分析 10 個栽培季節收集之相關資料。試驗方法求其一致，移植時將 3–4 葉齡期秧苗以南北向插於試驗田區，每月種植面積 0.1 ha，試區土壤質地為壤土，酸鹼值 pH 5.36，有機質含量 2.21%。

生育期間肥料施用係以硫銨 (21% N) 200 kg ha⁻¹ 為基肥，於插秧後一週內施用；第一次追肥於插秧後 3–4 週實施，施予臺肥 39 號複合肥料 (12% N) 200 kg ha⁻¹；第二次追肥於抽穗前 1–2 週，用量為尿素 (46%) 100 kg ha⁻¹；經過 9 週後再施用硫銨 160 kg ha⁻¹ 為穗肥。在雜草防除上，以 8% 丁拉殺丹粒劑 30 kg ha⁻¹ 在插秧後施用，又於插秧後 3–4 週於施肥前以人工除草 1 次。其他農藥施用則視病蟲害發生狀況而定，以苦茶粕 100 kg ha⁻¹ 防治福壽螺，以 6% 培丹粒劑 30 kg ha⁻¹ 防治二化螟蟲及瘤野螟，以 3% 維利黴素溶液 1 L ha⁻¹、10% 克枯爛可濕性粉劑千倍稀釋液分別防治紋枯病、白葉枯病，以及 40% 加保扶水懸劑 1.2 L ha⁻¹ 千倍稀釋液防治其他害蟲。

在水稻生育期間定期取樣調查稻株生長性狀，包括株高、分蘗數、葉片數、葉面積、地上部植體各部位 (分為葉片、稈、穗三部分) 鮮重與乾重等。收穫時取樣調查產量性狀，包括穗數 (有效分蘗百分比)、穗重、穗長、千粒重、稔實率等。各栽植月份均於收穫時割取 10 m² 小區產量 2 點，由此取得穀粒鮮產量及烘乾產量 (40°C 烘乾 120 h)。此外，亦收集鄰近 500 m 設於農業試驗所之一級農業氣象測站測值，包

括日平均氣溫 (DMAT)、日射量 (IR)、日照時數 (DSH)、日降水 (雨) 量 (DP) 及日蒸發量 (DE) 等五項因子，再計算全生育期累積的日平均氣溫 (ADMAT)、日射量 (AIR)、日照時數 (ADSH)、日降水 (雨) 量 (ADP) 及日蒸發量 (ADE) 等五項氣象變因。

試驗資料之統計分析，係採用 SigmaPlot 統計繪圖軟體 (version 8.0, SPSS ASC BV, the Netherlands) 及 SAS 統計軟體 (Version 8.1, SAS Institute 1998)。以相關矩陣分析來比較兩兩氣象變因之關係，及各氣象變因與穀粒鮮產量 (fresh grain yield, FGY)、穀粒乾產量 (dry grain yield, DGY) 之相關性。以多元線性複迴歸分析 (multiple linear regression analysis, MLR) 來篩檢輸入五氣象變因之相關優先，建立以氣象變因估測產量之多元線性複迴歸方程式 (模式)，同時解釋氣象變因對水稻生產有關性狀 (生產指數、收穫指數、穀粒鮮產量、穀粒乾產量等) 之影響。生產指數 (production index, PI) 為穗鮮重與葉片鮮重加上稈鮮重之比值，收穫指數 (harvest index, HI) 則為穗鮮重與地上部鮮重 (穗鮮重、葉片鮮重及稈鮮重之和) 之比值。

結 果

利用逐月田間栽植一批的週年栽培方式，從 2006 年 12 月至 2007 年 11 月期間栽植於農委會農業試驗所農場之水稻品種台農 71 號，所調查之移植日期、到達 50% 抽穗所需日數、收穫到達收穫所需日數 (及生育日數) 及穀粒產量等資料列於表 1。資料顯示，試驗期間台農 71 號稻種之生育日數介於 102–170 天，11 月至 2 月的栽培季節，由移植至 50% 抽穗所需日數為 87–130 天，至收穫所需日數則為 127–170 天。在霧峰地區一、二期稻作慣行之 2 月及 7 月，至 50% 抽穗所需日數分別為 78 天、68 天，至收穫所需日數則分別為 114 天、104 天。試驗的 10 個

栽培季節期間,平均 FGY 及 DGY 分別為 5.78、5.02 kg ha⁻¹, 一期稻作適栽的 2 月份之 FGY 及 DGY 分別為 7.66、6.89 kg ha⁻¹, 二期稻作適栽的 7 月份則分別為 7.36、6.47 kg ha⁻¹, 產量較低之 11-12 月份 FGY 介於 3.98-4.47 kg ha⁻¹、DGY 介於 3.11-3.59 kg ha⁻¹。

收集試驗期間位於試區鄰近之農業氣象一級測站氣象資料, 篩選其中之日平均氣溫 (DMAT)、日射量 (IR)、日照時數 (DSH)、日降水 (雨) 量 (DP) 及日蒸發量 (DE) 等五項氣象因子, 並計算其等在各栽培季節的累積量

(即 A_{DMAT}、A_{IR}、A_{DSH}、A_{DP} 及 A_{DE}) 合併產量資料繪製分佈圖 (圖 1), 可瞭解試驗期間各參數之高低變化。將這七項參數進行相關矩陣分析, 結果如表 2, 可發現霧峰地區之 A_{DMAT} 與 A_{IR} (r = 0.976***)、A_{DSH} (r = 0.764**) 呈極顯著正相關, A_{DSH} 與 A_{IR} (r = 0.785**) 亦呈顯著正相關, A_{DP} 與 A_{DSH} (r = -0.691*) 則為顯著負相關, 而 FGY 和 DGY 與 A_{IR} (r 分別為 -0.801**、-0.816**)、A_{DMAT} (r 分別為 -0.700*、-0.724*)、A_{DSH} (r 分別為 -0.716*、-0.758*) 之間均為顯著負相關。

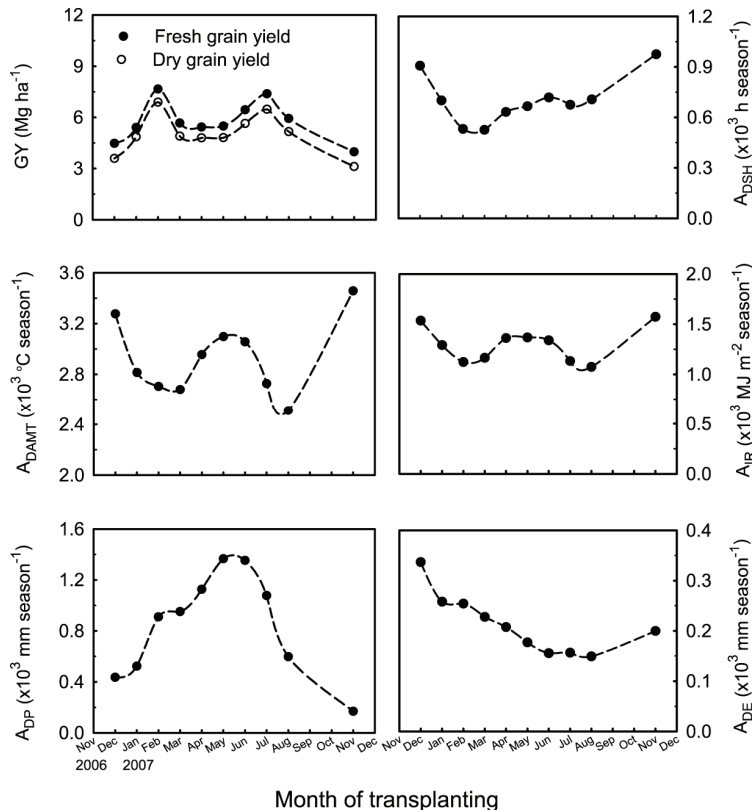


圖 1. 從 2006 年 12 月至 2007 年 11 月期間栽植於農委會農業試驗所農場之水稻品種台農 71 號於不同栽培季節之穀粒產量 (GY)、累積日平均氣溫 (A_{DMAT})、累積日射量 (A_{IR})、累積日照時數 (A_{DSH})、累積日降水量 (A_{DP}) 及累積日之蒸發量 (A_{DE}) 之分佈圖示。

Fig. 1. The distribution of grain yields (GY) of rice cv. TNG 71 and seasonal accumulated values of daily mean air temperature (A_{DMAT}), daily irradiance (A_{IR}), daily sunshine hours (A_{DSH}), daily precipitation (A_{DP}), and daily evaporation (A_{DE}) collected from fields of rice planted at different months from December 2006 to November 2007.

為瞭解影響產量表現之氣象變因與產量間之互動關係，乃繪製 FGY 和 DGY 與 A_{IR} 之相關曲線，如圖 2 所示，以說明其等之相關分佈。由圖 2 可知，無論 FGY 或 DGY 皆與 A_{IR} 呈現直線負相關變化，全生育期累積日射量愈高則產量愈低。

將這五項氣象變因與水稻生產有關性狀 (PI、HI、FGY、DGY 等) 進行多元線性複迴歸分析，結果列於表 3。其中，包括 A_{IR} 及 A_{DMAT} 等兩項氣象變因之最佳二元直線迴歸方程式，分別可解釋 82.2% ($P = 0.002$) PI 指數及 82.3% ($P = 0.002$) HI 指數之變異範圍。而包括 A_{IR} 、 A_{DMAT} 及 A_{DE} 等三項氣象變因之最佳三元直線複迴歸方程式，則分別可解釋 81.4% ($P = 0.013$) FGY 及 81.0% ($P = 0.014$) DGY 之產量變異範圍。

討 論

栽植於不同月份之水稻將經歷獨特的栽培季節及氣象環境，除了將造成稻株生理代謝上的差別之外，也將會在土壤有機物質分解、病蟲害發生時期、種類與流行、逆境危害及災情損失等各方面形成差異，因而對生產帶來不等程度的影響。本文研究利用逐月田間栽植一批的週年栽培方式來產生多種氣

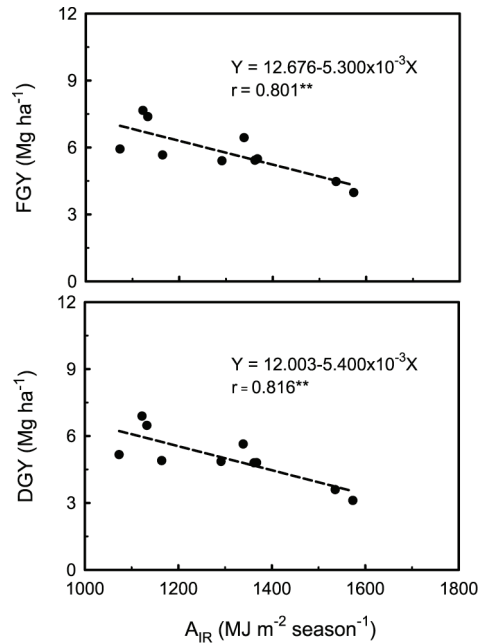


圖 2. 從 2006 年 12 月至 2007 年 11 月期間栽植於農委會農業試驗所農場之水稻品種台農 71 號於不同栽培季節收穫穀粒鮮產量 (FGY)、穀粒乾產量 (DGY) 與全生育期累積日射量 (A_{IR}) 之相關圖示。

Fig. 2. The correlations between fresh grain yield (FGY) and dry grain yield (DGY) of rice (*Oryza sativa* cv. TNG71) and seasonal accumulated daily irradiance (A_{IR}) collected from the fields of rice planted at different months from December 2006 to November 2007.

表 2. 氣象變因與水稻品種台農 71 號穀粒鮮產量、穀粒乾產量之間相關矩陣分析結果

Table 2. The correlation matrix obtained from analyzing climatic factors and fresh grain yield and dry grain yield of rice (*Oryza sativa* cv. TNG71)

Variable ^z	FGY	DGY	A_{DMAT}	A_{DP}	A_{DSH}	A_{IR}	A_{DE}
FGY	1						
DGY	0.995*** ^y	1					
A_{DMAT}	-0.700*	-0.724*	1				
A_{DP}	0.576	0.599	-0.296	1			
A_{DSH}	-0.716*	-0.758*	0.764**	-0.691*	1		
A_{IR}	-0.801**	-0.816**	0.976***	-0.376	0.785**	1	
A_{DE}	-0.336	-0.331	0.272	-0.433	0.185	0.378	1

^z FGY: fresh grain yield ($Mg\ ha^{-1}$); DGY: dry grain yield ($Mg\ ha^{-1}$); A_{IR} : Seasonal accumulated daily irradiance ($MJ\ m^{-2}\ season^{-1}$); A_{DMAT} : seasonal accumulated daily mean air temperature ($^{\circ}C\ season^{-1}$); A_{DP} : seasonal accumulated daily precipitation ($mm\ season^{-1}$); A_{DSH} : Seasonal accumulated daily sunshine hours ($h\ season^{-1}$); A_{DE} : Seasonal accumulated daily evaporation ($mm\ season^{-1}$).

^y***, **, *: Significant at 0.001, 0.01, and 0.05 levels, respectively.

表 3. 利用氣象變因建立估測水稻品種台農 71 號生產指數與收穫指數之最佳二元直線複迴歸方程式及估測穀粒鮮產量與穀粒乾產量之最佳三元直線複迴歸方程式

Table 3. The best two-variable multiple linear regression (MLR) equations for estimating production index and harvest index and the best three-variable MLR equations for estimating fresh grain yield and dry grain yield of rice (*Oryza sativa* cv. TNG71), using weather data collected during the growing seasons

Item	Y = a + a ₁ A _{IR} + a ₂ A _{DMAT} + a ₃ A _{DP} ^z				R ²	C _(p)	P
	a	a ₁	a ₂	a ₃			
Production index	1.782	-4.430 × 10 ⁻³	1.700 × 10 ⁻²		0.822	0.061	0.002
Partial-R ²		0.713	0.109				
Harvest index	0.757	-1.060 × 10 ⁻³	3.766 × 10 ⁻²		0.823	0.298	0.002
Partial-R ²		0.745	0.078				
Fresh grain yield	7.201	-1.399 × 10 ⁻²	5.530 × 10 ⁻³	6.113 × 10 ⁻⁴	0.814	3.809	0.013
Partial-R ²		0.642	0.141	0.031			
Dry grain yield	7.288	-1.17 × 10 ⁻²	4.190 × 10 ⁻³	7.600 × 10 ⁻⁴	0.810	3.195	0.014
Partial-R ²		0.661	0.101	0.048			

^z A_{IR}: seasonal accumulated daily irradiance (MJ m⁻² season⁻¹); A_{DMAT}: seasonal accumulated daily mean air temperature (°C season⁻¹); A_{DP}: seasonal accumulated daily precipitation (mm season⁻¹).

象環境組合，據以分析各氣象變因之相關性及對水稻生產之效應。由表 1 顯示，試驗期間水稻品種台農 71 號之生育日數介於 102–170 天，惟從晚秋 (11 月) 至晚冬 (2 月) 的栽培季節，則由於較低的氣溫及光照 (圖 1) 使其移植至 50%抽穗所需日數增長為 87–130 天，至收穫所需日數更延長為 127–170 天。當稻株處於較低氣溫及較少日射量環境下，將會明顯延長參試稻種台農 71 號之生育日數及達稻抽穗所需日數。在霧峰地區一、二期稻作栽植適期的 2 月及 7 月，至 50%抽穗所需日數分別為 78 天、68 天，至收穫所需日數則分別為 114 天、104 天，顯見二期稻作較一期稻作提前 10 天採收 (表 1)。

續由表 1 可知，試驗的 10 個栽培季節期間，平均 FGY 及 DGY 分別為 5.78·5.02 kg ha⁻¹。而無論 FGY 或 DGY，均以一期稻作適栽的 2 月份最高 (分別為 7.66·6.89 kg ha⁻¹)，其次為二期稻作適栽的 7 月份 (分別為 7.36·6.47 kg ha⁻¹)；11–12 月份栽植者之產量最低，FGY 介於 3.98–4.47 kg ha⁻¹、DGY 介於 3.11–3.59 kg ha⁻¹。顯然的，水稻品種台農 71 號係配合慣行兩期稻作栽培制度選育而成，因此在週年栽培下出現雙峰曲現。又 10 個栽培季

節的平均 FGY 為 5.78 kg ha⁻¹，相較於 2 月份最大值 7.66 kg ha⁻¹，其可能增產幅度為 30%，而相較於 11 月份最低值 3.98 kg ha⁻¹，其可能減產幅度亦為 30%。由知栽培季節的是否合適，確實會顯著影響稻株的生育，乃至於生產潛力的發揮，而其中的氣象環境優劣係重要關鍵。

本研究於是計算試區鄰近氣象測站收集之日平均氣溫 (DMAT)、日射量 (IR)、日照時數 (DSH)、日降水 (雨) 量 (DP) 及日蒸發量 (DE) 等五項氣象因子在各栽培季節的累積量，期由全生育期累積量 (即 A_{DMAT}、A_{IR}、A_{DSH}、A_{DP} 及 A_{DE} 相) 及產量資料之相關矩陣分析，比較氣象變因之相互關係及其等對產量之影響。由表 2 之分析結果，發現霧峰地區之 A_{DMAT} 與 A_{IR} (r = 0.976***)、A_{DSH} (r = 0.764**) 呈極顯著正相關，A_{DSH} 與 A_{IR} (r = 0.785**) 亦為極顯著正相關，而 A_{DP} 與 A_{DSH} (r = -0.691*) 則呈顯著負相關。顯然霧峰地區水稻全生育期累積的日平均氣溫分別與日射量、日照時數密切相關，而且日照時數之長短也明顯影響日射量與蒸發量之高低。此外，FGY 和 DGY 與 A_{IR} (r 分別為 -0.801**、-0.816**)、A_{DMAT} (r 分別為 -0.700*、-0.724*)、A_{DSH} (r 分別為 -0.716*、-0.758*) 之間皆呈現顯著負相關，顯示水稻生期間累積的日

射量、平均氣溫及日照時數的多寡皆可個別影響水稻的產量表現。

Yang (1994) 之研究指出，在一、二期作適栽月份之稻穀產量與全生育期累積日射量、累積氣溫之間為直線正相關，較多日射量及較高積溫有利於水稻生產。本研究則採用週年栽培試驗，試驗期間包含適栽與非適栽季節資料，發現 A_{IR} 、 A_{DMAT} 及 A_{DSH} 等三氣象變因與產量之間均為直線負相關，其可能原因在於栽培環境的低氣溫明顯延長生育日數所致，因此低氣溫栽培環境累加較高的全生育期累積日射量、累積氣溫及累積日照時數，使得與產量之關係轉為負相關。據此，欲以單一氣象變因（如圖 2 所示之全生育期累積日射量）解釋水稻生產之變化，必須說明試驗方法及資料計算方式，以免誤導結果。試驗資料若改以有效積溫或僅採用適栽季節、特定生育時期部分，結果可能不同。其次，單一氣象變因通常僅能解釋部分氣象影響機制，如本研究結果可解釋的變異範圍不及 70%，應當加上其他氣象變因及各生育階段氣象狀態綜合說明之。

許多研究 (Huang 1979; Liu *et al.* 1984; Wu *et al.* 1975) 均歸結氣象因子的影響，乃造成國內一、二期稻作產量差異的最根本原因，本試驗從週年栽培試驗亦獲得類似結果，前述個別氣象變因 A_{IR} 、 A_{DMAT} 、 A_{DSH} 即可明顯影響產量高低。Tsai *et al.* (1984) 利用遮陰處理降低日射量強度，發現在營養生長期可延遲稻株抽穗，在穗形成期間更可能影響產量構成要素。光照不足對水稻生長與產量之潛在效應，除了日射量偏低情形，日照時數短缺是另一可能。本試驗則顯示日照時數與產量之間為直線負相關，由於前項試驗係人為遮光處理、後項試驗為自然環境，而且單一氣象變因並無法充分解釋試驗結果，其因果關係仍待釐清。在氣溫因素上，Li & Hou (1999) 發現花蓮地區一期稻作幼穗發育期之短期 (7 天) 低溫 (13.6–18.1°C)，

使得穀粒充實不良，無論早、中、晚熟型稻種皆出現減產現象。Lin (1974) 在嘉南地區一期稻作、Lin *et al.* (1995) 在桃園地區二期稻作之試驗結果亦指出，孕穗期連續數日 20°C 以下的低溫，使得稻穀稔實率下降而導致減產。

接著將前述五項氣象變因與水稻生產有關性狀 (PI、HI、FGY、DGY 等) 進行多元線性複迴歸分析 (表 3)，建立以氣象變因估測產量之多元線性複迴歸方程式 (模式)，並解釋氣象變因對水稻生產有關性狀之影響。分析結果如表 3，影響稻株 PI 與 HI 之主要氣象變因為 A_{IR} 及 A_{MDAT} 等兩項，合併可分別解釋高達 82.2% ($P = 0.002$) 與 82.3% ($P = 0.002$) 之指數變異範圍，其中又以 A_{IR} (partial- R^2 分別為 0.713、0.745) 為最主要之單項氣象變因。FGY 和 DGY 則均以 A_{IR} 、 A_{DMAT} 及 A_{DE} 為主要氣象變因，合併可分別解釋 81.4% ($P = 0.013$) 及 81.0% ($P = 0.014$) 之產量變異範圍，亦以 A_{IR} 為最主要之單項氣象變因 (partial- R^2 分別為 0.642、0.661)，其次依序為 A_{DMAT} 、 A_{DE} 。試驗結果顯示，生長於霧峰地區之台農 71 號水稻品種，以 A_{IR} 、 A_{DMAT} 及 A_{DE} 為決定產量最主要之氣象變因，經由量測日射量、日平均氣溫及日蒸發量在全生育期累積量即可粗估生產表現。本項研究將持續第二週年栽培循環，並於一、二期稻作栽植適期前後另予多次栽培，收集更多、更廣之氣象環境組合來進一步釐清栽培季節氣象環境對水稻生產之影響。

引用文獻 (Literature cited)

- Chang, F. M., C. M. Yang, K. Y. Hong, Y. M. Shy, F. H. Hsu, R. H. Buu, and W. W. King. 2002. Analysis of climatic factors on forage yield of pangolagrass. *J. Agric. Res. China* 51(1):15–24. (in Chinese with English abstract)
- Hsieh, S. C. and D. J. Liu. 1979. The Causes of Low Yielding of the Second Crop Rice in Taiwan and the Measures for Improvement. *Natl. Sci. Council. Symp. Ser. 2. Natl. Sci. Council. Taipei*. 271 pp. (in Chinese with English abstract)

- Hsu, H. H. and C. T. Chen. 2002. Observed and projected climate change in Taiwan. *Meteorol. Atmos. Phys.* 79:87–104. (in Chinese with English abstract)
- Huang, C. S. 1979. Causes of low yielding of the second crop rice in Taiwan. p.28–36. *in: The Causes of Low Yielding of the Second Crop Rice in Taiwan and the Measures for Improvement.* (S. C. Hsieh and D. J. Liu, eds.) Natl. Sci. Council. Symp. Ser. 2. Natl. Sci. Council. Taipei. (in Chinese with English abstract)
- Lai, M. H., C. P. Li, C. S. Tseng, H. J. Huang, C. G. Chern, and Y. C. Kuo. 2001. Development of aromatic rice variety Tainung 71 (Yihchuan aromatic rice). *J. Agric. Res. China* 50(2):1–11. (in Chinese with English abstract)
- Lee, C. Y. and F. F. Hou. 1999. The effect of low temperature during young panicle development stage on the growth and grain yield in rice (*Oryza sativa* L.). *Chinese J. Agromet.* 6(4):149–158. (in Chinese with English abstract)
- Lee, Y. J., C. M. Yang, K. Y. Hong, and F. H. Hsu. 2004. Modeling climatic effects on forage production of *Acroceras macrum*. *Crop Environ. Bioinform.* 1:39–46.
- Li, C. L. 1990. Prediction of Rice Yield by the Influence of Meteorological Factors on Yield Components. Master thesis. Natl. Chung Hsing Univ. Taichung, Taiwan, ROC. 92 pp. (in Chinese with English abstract)
- Lin, S. H. 1974. Low temperature effects on physiological mechanism of the occurrence of empty grains of rice plant. *Sci. Agric.* 22(9–10):342–345. (in Chinese with English abstract)
- Lin, A. C. and C. S. Chen. 1976. Studies on the cause of low yielding in the second crop of rice plant. I. Comparison of the characteristic of tillering between the 1st and 2nd crops. *J. Agric. Assoc. China* 4(10):53–70. (in Chinese with English abstract)
- Lin, A. C., L. K. Lai, and L. F. Lee. 1979. Studies on the cause of low yielding in the second crop of rice plant. IV. Comparison of the characteristics of heading and ripening process between the first and second crops of rice plant. *J. Agric. Assoc. China* 107:17–24. (in Chinese with English abstract)
- Lin, A. C. and L. M. Hung. 1979. Studies on the cause of low yielding in the second crop of rice plant. VI. Effect of temperature and light intensity on heading and ripening of rice plant. *J. Agric. Assoc. China* 108: 24–38. (in Chinese with English abstract)
- Lin, M. H., T. T. Huang, S. E. Chen, F. J. Lin, and S. K. Chang. 1995. Influence of climatic factors on the yield reduction of the second crop of rice in 1992 in Taoyuan area. *Chinese J. Agromet.* 2(2):85–91. (in Chinese with English abstract)
- Liu, C., S. C. Hsieh, and M. H. Lin. 1984. Influence of climate on the yield and agronomic characters of the first and second crop rices in Taiwan. p.59–72. *in: Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and Measures of Improvement.* (D. J. Liu and S. C. Hsieh, eds.) Special Pub. No. 16. Taiwan Agric. Res. Inst. Taichung. (in Chinese with English abstract)
- Liu, D. J. and S. C. Hsieh. 1984. Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and Measures of Improvement. Special Pub. No. 16. Taiwan Agric. Res. Inst., Taichung. 322 pp. (in Chinese with English abstract)
- Lur, H. S., Y. H. Liu, and Agromet. Sec. Central Weather Bureau. 2006. Environmental challenge and strategy for quality rice culture in Taiwan. *Crop Environ Bioinform.* 3:297–306. (in Chinese with English abstract)
- Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush, and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *PNAS* 101(27): 9971–9975.
- SAS Institute. 1998. SAS/STAT User's Guide. Version 8.1. SAS Inst., Cary, NC, USA.
- Tang, W. T. and C. H. Kao. 1972. Growth and development of rice plants under controlled temperature conditions. II. Effects of different temperature conditions on the grain yield and agronomic characteristics of Chia-nan 8 rice plants. *J. Agric. Assoc. China* 77:16–25. (in Chinese with English abstract)
- Tsai, J. C., M. C. Shen, C. S. Chen, and D. J. Liu. 1984. Effect of shading on the heading date, nutrient concentrations, dry matter production and yield of rice varieties. p.83–98. *in: Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and Measures of Improvement.* (D. J. Liu and S. C. Hsieh, eds.) Special Publ. No. 16. Taiwan Agric. Res. Inst. Taichung. (in Chinese with English abstract)
- Tsai, J. C. 1994. Studies on the relationship between rice yield of different crop seasons and climatic elements in Taiwan. p.29–48. *in the Proceedings of the Sino-Japanese Symposium on Applications of Agrometeorology.* Chinese Soc. Agromet. Taichung. (in Chinese with English abstract)
- Wu, H. P., I. Y. Liao, M. H. Chien, T. L. Lin, Y. S. Chen, Y. P. Wang, K. H. Tsai, L. K. Wu, W. L. Chang, F. H. Lin, and Y. L. Wu. 1975. The investigation on the causes of low yielding in the second crop of rice. *Natl. Sci. Council. Month.* 3(10):5–39. (in Chinese with English abstract)
- Yang, C. M. 1994. Response of rice yield in relation to solar radiation and air temperature under soil water deficits. *Chinese J. Agromet.* 1:27–34. (in Chinese with English abstract)
- Yang, C. M. 1999. Environment and Rice Production. Taiwan Agric. Res. Inst./Chinese Soc. Agromet. Taichung Hsien. 191 pp. (in Chinese with English abstract)

Influence of Climatic Conditions on Production of Rice Cultivar TNG 71¹

Yuh-Jyuan Lee², Chwen-Ming Yang^{2,3}, and Chiao-Ling Hsiao²

Abstract

Lee, Y. J., C. M. Yang, and C. L. Hsiao. 2009. Influence of climatic conditions on production of rice cultivar TNG 71. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:45–54.

This study was conducted at Agricultural Research Institute Experimental Farm, Wufeng, Taichung, Taiwan to study effects of climatic conditions on yield of rice (*Oryza sativa* L. cv. TNG 71). Rice was transplanted in paddy fields every month from December 2007 to January–August and November 2007 to determine effects of different planting dates on grain yield. Weather data used for analyses were seasonal accumulated values of daily mean air temperature (A_{DMAT}), daily irradiance (A_{IR}), daily sunshine hour (A_{DSH}), daily precipitation (A_{DP}), and daily evaporation (A_{DE}). Results from correlation matrix between pairs of climatic variables indicated that, in Wufeng, Taichung, A_{DMAT} was positively correlated with A_{IR} ($r = 0.976^{***}$) and A_{DSH} ($r = 0.764^{**}$), A_{DSH} was positively correlated with A_{IR} ($r = 0.785^{**}$) and A_{DP} was negatively related to A_{DSH} ($r = -0.691^*$). Both fresh grain yield (FGY) and dry grain yield (DGY) were negatively correlated with A_{IR} , A_{DMAT} , and A_{DSH} . The correlation coefficients (r) for A_{IR} , A_{DMAT} and A_{DSH} were -0.801^{**} , -0.700^* and -0.716^* , respectively, for FGY, and were -0.813^{**} , -0.724^* , and -0.758^* , respectively, for DGY. Results of multiple linear regression (MLR) analyses between climatic variables and yield-related parameters, including production index (PI), harvest index (HI), fresh grain yield, and dry grain yield, showed that A_{IR} and A_{DMAT} were the two weather variables affecting PI ($R^2 = 0.822$, $P = 0.002$) and HI ($R^2 = 0.823$, $P = 0.002$), whereas A_{IR} , A_{DMAT} and A_{DE} were the three weather variables affecting FGY ($R^2 = 0.814$, $P = 0.013$) and DGY ($R^2 = 0.810$, $P = 0.014$). This study suggests that A_{IR} , A_{DMAT} , and A_{DE} are the three most critical climatic variables in determining yield of rice cultivar TNG 71 in Wufeng, Taichung, Taiwan.

Key words: Rice, *Oryza sativa* L., Climatic variables, Yield, Multivariate regression analysis, Multiple linear regression model.

-
1. Contribution No.2345 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture. Accepted: January 8, 2009.
 2. Respectively, Assistant Researcher, Researcher, and Assistant Researcher, Crop Science Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Corresponding author, E-mail: cmyang@tari.gov.tw; Fax: (04)23317118.