

# 穀粒充實期間氣象因子對「台稉 9 號」產量與米質性狀之影響

何佳勳<sup>1</sup> 楊純明<sup>2,\*</sup> 蕭巧玲<sup>1</sup> 賴明信<sup>3</sup>

## 摘要

何佳勳、楊純明、蕭巧玲、賴明信。2015。穀粒充實期間氣象因子對「台稉 9 號」產量與米質性狀之影響。台灣農業研究 64(4):317-329。

本研究於 2008-2012 年在行政院農委會農業試驗所農場(台中市霧峰區)進行 5 年期間上、下半年稻作之節氣栽植，每年以立春/大暑為中心前後各推延 2 個節氣之 10 次水稻栽植期，5 年總計 49 個栽植期。本研究試材為「台稉 9 號」(‘TK9’)，試驗期間收集試區鄰近一級農業氣象測站氣象測值之日均溫 (DMAT)、日最高溫 (DMAXAT)、日最低溫 (DMINAT)、日照時數 (DSH) 及日射量 (DIR) 等 5 項氣象因子，計算穀粒充實期間之測值累加值 (即 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT、ADSH、ADIR) 及其等平均值 (即 MDMAT、MDMAXAT、MDMINAT、MDSH、MDIR)，合計 49 個栽植期之各 49 組參數值，據以分析氣象變數對「台稉 9 號」產量與米質性狀之效應。經由相關分析結果顯示，上半年的白米粗蛋白質含量及白度與 ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT 呈極顯著正相關，而直鏈性澱粉和透明度則與此 3 項溫度變數呈極顯著負相關。進一步利用複回歸分析之逐步選擇法，亦顯示穀粒充實期間累加溫度變數乃為影響米質性狀表現之重要氣象因子，惟其影響權重會因為上、下半年栽植期的氣象環境不同而有所差異。又由複回歸分析顯示，產量與 3 項平均溫度變數 (MDMAT、MDMAXAT 及 MDMINAT) 皆分別呈現凸二次曲線關係，上半年栽植期於穀粒充實階段之 MDMINAT 近於 22.5°C、MDMAT 近於 26°C、MDMAXAT 近於 31°C 時，而下半年則分別為 MDMINAT 近於 20°C、MDMAT 近於 24°C、MDMAXAT 近於 29°C 時，可獲得最大穀粒產量。又由米質性狀與 3 項平均溫度變數之複回歸分析，發現白米的粗蛋白質和白度與平均溫度之間具有凹二次曲線關係，而直鏈性澱粉和透明度則與平均溫度之間呈凸二次曲線關係，其中以上半年的變化幅度較為顯著。綜合試驗結果，可知溫度變數為影響「台稉 9 號」產量及米質性狀之重要氣象因子，從該品種主要栽植地區(如苗栗、台中、彰化及雲林)之氣溫歷史資料及上述試驗結果分析，發現上半年的一期稻作穀粒充實期間最適月份落在 5 月份，而二期稻作則落在 10 月份。進一步推算這些地區栽植適期，則上半年的一期作栽植適期為立春前 15 d，下半年的二期作則為大暑後 15 d。

**關鍵詞：**節氣、立春、大暑、日均溫、日最高溫、日最低溫。

## 前言

水稻為台灣栽種面積最廣的糧食作物，且稻米亦為國人傳統主食，在國內糧食安全上扮演重要角色。近年來在快速的氣候變遷情

境下，全球地表平均氣溫呈現上升現象，也造成降雨型態紊亂失序、極端天氣事件發生頻率升高、乃至於形成海平面的升高，對於農業生產及生物多樣性帶來嚴重的威脅，水稻生產亦無例外受到影響。依據研究結果發現，當夜

投稿日期：2015 年 6 月 1 日；接受日期：2015 年 7 月 7 日。

\* 通訊作者：cmyang@tari.gov.tw

<sup>1</sup> 農委會農業試驗所作物組助理研究員。台灣 台中市。

<sup>2</sup> 農委會農業試驗所作物組研究員兼組長。台灣 台中市。

<sup>3</sup> 農委會農業試驗所作物組副研究員。台灣 台中市。

溫增加 1°C 可使水稻產量減少約 10%，且水稻於分蘖期間若遭逢高溫環境將減少分蘖數而降低每株穗數，若係發生於敏感的抽穗開花期及隨後的穀粒充實期，將可能影響穎花的發育及授粉而增加不稔實率 (Liu *et al.* 1984; Zakaria *et al.* 2002; Peng *et al.* 2004; Oh-e *et al.* 2007; Mohammed & Tarpley 2010; Xiao *et al.* 2011)。然而，有關穀粒充實期間溫度高低起伏對稻穀生產及米質的相對影響，尚缺乏系統性的探討，而且日均溫、日最高溫及日最低溫之間的連動關係，以及一、二期作間的差異，亦未臻清楚釐清。

隨著社會發展和生活水準提升，國人對米食需求已由吃得飽、吃得好進展至吃的安全與吃出健康的高標境界。「台梗 9 號」(‘Taikeng No. 9’; ‘TK 9’) 由行政院農委會台中區農業改良場選育命名以來，由於其米粒透明飽滿、粒型整齊且口感佳，深受消費者普遍喜愛，因此在 2005–2013 年間被廣泛列為優質水稻品種之對照組 (Hsu & Sung 1993)，此品種已遍布全台，2013 年全台栽培面積仍達 9,000 ha，尤以彰化 (2,518 ha)、雲林 (2,409 ha)、南投 (1,176 ha) 及苗栗 (997 ha) 等地為其主要栽植地區。惟目前此水稻品種對於氣象環境的適應性尚未有完整研究，在現行溫暖化趨勢下的質量表現也不盡明確，有待吾人深入究明。

國內對於「米質」意涵未有標準定義，一般常指稱由 4 個主要的性狀所構成，即碾米特性、米粒外觀、營養成分及烹調品質等，而個別性狀皆會影響整體米粒品質、米飯口感及營養價值。米粒外觀屬於物理性特徵，通常包括粒形、透明度 (transparency) 及白度 (whiteness) 等，營養成分則端視內在化學組成而異，牽涉到蛋白質、脂肪酸、澱粉、維生素、礦物質及水分等各種成分 (Kim *et al.* 1994; Hong *et al.* 2000b; Hsu *et al.* 2000; Choi 2002)。蛋白質含量是稻米營養價值的重要指標之一，惟其含量高低又與米飯食味品質有密切關係，高蛋白質含量將降低米飯的黏性與彈性，增加米粒的硬度。因此，過高的蛋白質含量，將使米飯食味品質轉差、口感不佳 (Zhang *et al.* 2001; Shen *et al.* 2003)。一般水稻穀粒中的粗蛋白

質含量約占 5–12%，其中約有 90% 以上為貯藏性蛋白質，而這些蛋白質依溶解性不同可區分成 4 種，分別為水溶性蛋白質 (albumins)、鹽溶性蛋白質 (globulins)、醇溶性蛋白質 (prolamins) 及鹼溶性蛋白質 (glutelins)，後兩者約占 85% 的貯藏性蛋白質含量，乃稻米中主要的蛋白質成分。文獻資料指出，除了稻株生育中增施氮肥將會影響穀粒蛋白質含量之外 (Akram *et al.* 1985; Petroudi *et al.* 2011)，穀粒充實期間遭遇高溫環境將會促使穀粒中的粗蛋白質含量增加，特別又以醇溶性及鹼溶性蛋白質增加最為顯著 (Liang *et al.* 2011; Liang *et al.* 2013; Liu *et al.* 2013)。醇溶性蛋白質之人體必需胺基酸含量較低，營養價值相對不高，鹼溶性蛋白質則含有較多的離胺酸 (lysine)、精胺酸 (arginine)、甘胺酸 (glycine) 等必需胺基酸，為米粒中主要的蛋白質營養來源，且鹼溶性蛋白質相較於醇溶性蛋白質比較容易被分解消化。Hong *et al.* (2000a) 研究報告指出，鹼溶性蛋白質含量高低，不會顯著影響梗稻的食味良劣，但醇溶性蛋白質含量增加，則會顯著降低梗稻的食味品質。研究另也指出，穀粒充實期間遭遇高溫環境時，將會減少同化物質供應至水稻穀粒中並縮短穀粒有效充實期，導致穀粒重量下降 (Matsui *et al.* 2001; Kobata & Uemuki 2004)。又抽穗至穀粒成熟期間處於高溫環境時，將使白垩質比例增加、完整米粒減少，進而造成米粒外觀及碾米品質下降 (Counce *et al.* 2005; Yamakawa *et al.* 2007; Cooper *et al.* 2008; Liu *et al.* 2013)。

綜合文獻報告，可歸結出稻米品質與產量容易受到氣象環境影響的推論，尤其在抽穗至收穫期間的穀粒充實期更是決定產量與米質的關鍵時期。此外，根據大氣觀測資料顯示，在過去 1880–2012 年的百餘年間，全球陸域與海域表面的平均溫度已上升了 0.85°C，再由大氣循環預測模式的推估，2081–2100 年的全球地表平均溫度將會提高 0.3–1.7°C (IPCC 2013)。據此，吾人勢必及早針對溫度的升高趨勢進行因應並謀求解決對策，期以能減緩全球暖化對水稻生產所造成的衝擊，以達到穩定稻米產量及維持稻米品質之目的。本文研究在近 5 年期

間內進行「台梗 9 號」合計多達 49 個田間栽植期試驗，探討穀粒充實期間氣象環境變化對其產量與米質之影響，尤其關注氣溫效應，期以有助於未來暖化因應策略及栽培管理措施的調適。

## 材料與方法

### 田間栽培與管理

本研究於台中市霧峰區之行政院農委會農業試驗所農場實施田間栽培試驗，試驗期間自 2008 年 1 月起至 2012 年 8 月止共計進行 49 個栽植期(作季)。栽植設計採用節氣栽植方式，上半年栽植期以立春(‘Lichun’ or start of spring; SS)、下半年栽植期以大暑(‘Dashu’ or major heat; MH)為中心節氣，分別在兩節氣前後各 15 d (1 個節氣) 及 30 d (2 個節氣) 實施插秧，一年合計 10 個節氣栽植期。換言之，每年之上半年有立春前 30 d (SS - 30)、立春前 15 d (SS - 15)、立春 (SS)、立春後 15 d (SS + 15)、立春後 30 d (SS + 30) 等 5 個栽植期，下半年則有大暑前 30 d (MH - 30)、大暑前 15 d (MH - 15)、大暑 (MH)、大暑後 15 d (MH + 15)、大暑後 30 d (MH + 30) 等 5 個栽植期。

本試驗選用優良水稻品種「台梗 9 號」(*Oryza sativa* L. cv. ‘Taikeng 9’) 為試材，並於水稻抽穗至收穫之間的穀粒充實期，分別收集鄰近農業試驗所一級農業氣象測站之日均溫 (DMAT)、日最高溫 (DMAXAT)、日最低溫 (DMINAT)、日照時數 (DSH) 及日射量 (DIR) 等 5 項氣象因子測值，計算每個栽植期在此期間之累加值，即累加日均溫 (ADMAT)、累加日最高溫 (ADMAT)、累加日最低溫 (ADMINAT)、累加日照時數 (ADSH) 及累加日射量 (ADIR) 等 5 項氣象變數，同時計算其等之平均值，即平均日均溫 (MDMAT)、平均日最高溫 (MDMAXAT)、平均日最低溫 (MDMINAT)、平均日照時數 (MDSH) 及平均日射量 (MDIR) 等 5 項氣象變數，接著分析這些氣象變數對「台梗 9 號」產量與米質性狀之效應。

各栽植期之田間栽培採一致性管理作業，

將育苗至 3–4 葉齡秧苗以南北向多本植插於試驗田區並採密植栽培密度，行株距為 0.3 m × 0.15 m，每 1 試區面積為 0.1 ha (50 m × 20 m)。田區土壤呈偏酸性 (pH 5.36)，有機質含量約 2.21%，在肥料施用上各栽植期皆施予 4 次化學肥料。基肥施用於插秧前 1 wk，以台肥 39 號複合肥料 (粒劑，12% N，台灣肥料股份有限公司，高雄市) 施用 200 kg ha<sup>-1</sup>；第 2 次肥料施用於插秧後 1–2 wk，以台肥硫銨 (粒劑，21% N) 用量 200 kg ha<sup>-1</sup>；第 3 次肥料施用於插秧後 4–5 wk，以台肥硫銨用量 200 kg ha<sup>-1</sup>；第 4 次為穗肥，施用於抽穗前 1–2 wk，以台肥 39 號複合肥料用量 100 kg ha<sup>-1</sup>，合計約 120 kg ha<sup>-1</sup> 的氮素。在雜草管理方面，插秧後即施用 30 kg ha<sup>-1</sup> 的 8% 丁拉殺丹粒劑，又於插秧後 3–4 wk 於第 2 次肥料施用前實施人工除草 1 次。病蟲害管理視田間發生情況而定，福壽螺防治以 100 kg ha<sup>-1</sup> 苦茶粕處理 1–2 次；紋枯病及白葉枯病乃分別施用 3% 維利黴素溶液及 10% 克枯爛可濕性粉劑千倍稀釋液；瘤野螟及二化螟蟲施以 30 kg ha<sup>-1</sup> 的 6% 培丹粒劑；其他害蟲發生另施用 40% 加保伏水懸劑 1.2 L ha<sup>-1</sup> 千倍稀釋液。

### 產量與米質分析

各栽植期皆在達收穫時割取 3 個 10 m<sup>2</sup> 小區產量 (約 220 株水稻植株)，取 3 重複之平均值表示。割取的穀粒經風選後以 40°C 烘乾超過 72 h，於穀粒水分維持在 12–13% 時秤取烘乾穀粒產量，並以此材料進行米質之各項分析 (Hsiao *et al.* 2009)。穀粒先碾除稻殼為糙米 (brown rice)，再碾除糠層為白米 (milled rice；或稱精米)。精米粒的光澤亮度以多功能精米碾白計 (model MM1C milling meter, Satake Co., Japan) 測量米粒之透明度及白度。糙米及精米粒之化學組成，則以近紅外線米粒測計 (model AN-820 near infrared grain tester, Kett Co., Japan) 分析，經由內建校正曲線估測梗型稻糙米之粗蛋白質、直鏈性澱粉及游離脂肪酸以及精米之粗蛋白質、直鏈性澱粉等含量。

## 「台梗 9 號」主要產地之氣象資料收集

本試驗收集「台梗 9 號」主要栽植地區苗栗縣、台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣之農業氣象資料，此 4 個區域選用之一級農業氣象測站分別為行政院農委會農業試驗所（台中市霧峰區）、苗栗區農業改良場（苗栗縣公館鄉）、台中區農業改良場（彰化縣大村鄉）及台南區農業改良場之雲林分場石溪（雲林縣斗南鎮）等，氣象資料收集期間自 1993 年 1 月起至 2013 年 12 月止共計 20 年之每月平均日均溫。

## 統計分析與繪圖

上列量測之產量與米質性狀皆以試區均值表示，試驗資料之統計分析（如相關分析、回歸分析、最小顯著性分析等）係利用 SAS Enterprise Guide 統計軟體（version 4.1），而統計繪圖則使用 SPSS 公司之 SigmaPlot 軟體（version 10.0）。

## 結果

將本試驗收穫稻穀碾製成白米之米質性狀與穀粒充實期間氣象變數進行相關分析（表 1），發現上半年栽植期之白米粗蛋白質與累

加日均溫（ADMAT）、累加日最高溫（ADMAXAT）及累加日最低溫（ADMINAT）之間皆呈現極顯著正相關，而白米直鏈性澱粉則與此 3 項溫度變數呈現極顯著負相關。又白米白度與此 3 項溫度變數及累加日射量（ADIR）之間呈現顯著或極顯著正相關，惟白米透明度與 5 項累加氣象變數之間皆呈現顯著或極顯著負相關；即隨著穀粒充實期間之累加溫度升高，會使白米化學組成之粗蛋白質增加而直鏈性澱粉減少，且亦會造成白米白堊質上升而透明度下降。除了累加溫度變數之外，累加日照時數（ADSH）及累加日射量（ADIR）亦會影響白度及透明度的表現。下半年栽植期之白米粗蛋白質與 5 項累加氣象變數之間皆未達顯著差異，其餘 3 項米質性狀（直鏈性澱粉、白度及透明度）與氣象變數之間的相關性結果均與上半年栽植期表現相近。

藉由穀粒產量與穀粒充實期間累加值氣象變數的複回歸分析，結果如表 2，在上半年 24 個栽植期之穀粒產量與此 5 項氣象變數達顯著水準（ $R^2 = 0.500$ ,  $P = 0.020$ ），其中又以 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT 及 ADSH 等 4 項氣象變數對產量影響較為顯著；而下半年 25 個栽植期產量則未與此 5 項氣象變數達

表 1. 水稻「台梗 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間 5 項累加值氣象變數與白米米質性狀之相關分析。

Table 1. Correlation analysis for rice quality traits with five climatic variables from heading to harvest in rice cultivar 'TK9' grown in 24 cropping seasons in the first-half years and 25 cropping seasons in the second-half years in 2008–2012.

Rice quality trait	ADMAT <sup>z</sup>	ADMAXAT	ADMINAT	ADSH	ADIR
The first-half year ( $n = 24$ )					
Crude protein	0.531**	0.565**	0.518**	0.294	0.235
Amylose	-0.689**	-0.664**	-0.714**	-0.307	-0.387
Whiteness	0.770**	0.751**	0.803**	0.263	0.501*
Transparency	-0.656**	-0.651**	-0.651**	-0.474*	-0.536**
The second-half year ( $n = 25$ )					
Crude protein	0.013	0.014	0.017	-0.280	-0.257
Amylose	-0.787**	-0.730**	-0.800**	-0.427*	-0.328
Whiteness	0.576**	0.585**	0.552**	0.167	0.498*
Transparency	-0.563**	-0.476*	-0.606**	-0.362	-0.043

<sup>z</sup> ADMAT: accumulated daily mean air temperature; AMDAXAT: accumulated daily maximum air temperature; ADMINAT: accumulated daily minimum air temperature; ADSH: accumulated daily sunshine hours; ADIR: accumulated daily irradiance.

\*: significant at 0.05 probability level; \*\*: significant at 0.01 probability level.

表 2. 水稻「台稈 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間 5 項累加值氣象變數與穀粒產量之複回歸分析。

**Table 2.** The multiple regression equations for grain yield with five climatic variables from heading to harvest in rice cultivar 'TK9' grown in 24 cropping seasons in the first-half years and 25 cropping seasons in the second-half years in 2008–2012.

Climatic variable	Regression coefficient	$P >  t $	Model $R^2$	Model P of F
The first-half years ( $n = 24$ )				
Intercept	5.045	0.056	0.500	0.020
ADMAT <sup>z</sup>	0.320**	0.002		
ADMAXAT	-0.123**	0.006		
ADMINAT	-0.192**	0.003		
ADSH	-0.060**	0.005		
ADIR	0.007	0.100		
The second-half years ( $n = 25$ )				
Intercept	3.492	0.443	0.203	0.461
ADMAT	-0.017	0.658		
ADMAXAT	0.021	0.256		
ADMINAT	-0.003	0.871		
ADSH	-0.011	0.404		
ADIR	-0.003	0.524		

<sup>z</sup> ADMAT: accumulated daily mean air temperature; ADMAXAT: accumulated daily maximum air temperature; ADMINAT: accumulated daily minimum air temperature; ADSH: accumulated daily sunshine hours; ADIR: accumulated daily irradiance.

\*: significant at 0.05 probability level; \*\*: significant at 0.01 probability level.

到顯著水準。進一步利用複回歸分析之逐步選擇法探討米質性狀與 5 項累加氣象變數間之關聯程度，由表 3 結果可見，在上半年 24 個栽植期之白米粗蛋白質受到 ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT 等 3 項變數的影響達到極顯著 (model  $R^2 = 0.695$ ,  $P < 0.001$ )，其中以 ADMAXAT (partial  $R^2 = 0.319$ ) 及 ADMINAT (partial  $R^2 = 0.268$ ) 之權重較大；直鏈性澱粉僅受到單一 ADMINAT 變數的影響達到極顯著水準 (model  $R^2 = 0.510$ ,  $P < 0.001$ )，白度受到 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT 及 ADSH 等 4 項氣象變數影響較為顯著 (model  $R^2 = 0.767$ ,  $P < 0.001$ )，又以 ADMINAT (partial  $R^2 = 0.644$ ) 之權重最大，透明度則僅受到 ADMAT 影響達極顯著水準 (model  $R^2 = 0.431$ ,  $P < 0.001$ )；在下半年 25 個栽植期之白米直鏈性澱粉分析結果與上半年相同，受到單一 ADMINAT 變數影響其含量變化 (model  $R^2 = 0.639$ ,  $P < 0.001$ )，而下半年 ADMINAT 影響權重高於上半年，白度與

ADMAXAT、ADSH 及 ADIR 等 3 項變數達到極顯著水準 (model  $R^2 = 0.560$ ,  $P < 0.001$ )，其中以 ADMAXAT (partial  $R^2 = 0.342$ ) 具有較高的權重，而透明度則與 ADMAXAT、ADMINAT、ADSH 及 ADIR 等 4 項變數達到極顯著 (model  $R^2 = 0.644$ ,  $P < 0.001$ )，又以 ADMINAT (partial  $R^2 = 0.368$ ) 之權重最大。綜合上述複回歸分析得知，溫度變數乃為影響本研究「台稈 9 號」產量及米質性狀之重要氣象因子。

為釐清穀粒充實期間平均溫度變數對產量及米質性狀之影響，乃繼續針對另 3 項平均溫度變數 (MDMAT、MDMAXAT 及 MDMINAT) 進一步探討其等與產量及米質性狀之關係。由所繪製之回歸趨勢圖，在上半年栽植期之穀粒產量與此 3 項平均溫度變數之間呈現極顯著的二次曲線關係，惟下半年栽植期則未達顯著性 (圖 1)。上半年栽植期當 MDMINAT 近於 22.5°C、MDMAT 近於 26.0°C、MDMAXAT 近於 31.0°C，下半年栽植期則分別 MDMINAT

表 3. 水稻「台稈 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間 5 項累加值氣象變數與白米米質性狀之複回歸逐步選擇法分析。

**Table 3.** The multiple regression equations using stepwise selection for rice quality traits of milled rice with five climatic variables from heading to harvest in rice cultivar 'TK9' grown in 24 cropping seasons in the first-half years and 25 cropping seasons in the second-half years in 2008–2012.

Rice quality trait	Climatic variable	Regression coefficient	$P >  t $	Partial $R^2$	Model $R^2$	Model P of F
The first-half years ( $n = 24$ )						
Crude protein	Intercept	-0.760	0.643		0.695	< 0.001
	ADMAT <sup>z</sup>	-0.236**	< 0.001	0.108		
	ADMAXAT	0.129**	< 0.001	0.319		
	ADMINAT	0.104**	< 0.001	0.268		
Amylose	Intercept	22.995**	< 0.001		0.510	< 0.001
	ADMINAT	-0.005**	< 0.001	0.510		
Whiteness	Intercept	6.776	0.328		0.767	< 0.001
	ADMAT	-0.660*	0.011	0.044		
	ADMAXAT	0.246*	0.032	0.050		
	ADMINAT	0.457**	0.003	0.644		
	ADSH	0.055	0.144	0.029		
Transparency	Intercept	6.555**	< 0.001		0.431	< 0.001
	ADMAT	-0.004**	< 0.001	0.431		
The second-half years ( $n = 25$ )						
Crude protein	Intercept	n.a. <sup>y</sup>	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Amylose	Intercept	23.061**	< 0.001		0.639	< 0.001
	ADMINAT	-0.004**	< 0.001	0.639		
Whiteness	Intercept	26.600**	< 0.001		0.560	< 0.001
	ADMAXAT	0.014**	0.003	0.342		
	ADSH	-0.048**	0.008	0.065		
	ADIR	0.016*	0.013	0.153		
Transparency	Intercept	5.609**	< 0.001		0.644	< 0.001
	ADMAXAT	0.004*	0.039	0.086		
	ADMINAT	-0.007**	0.001	0.368		
	ADSH	-0.011**	0.004	0.112		
	ADIR	0.003**	0.008	0.078		

All variables left in the model are significant at the 0.150 level.

<sup>z</sup> ADMAT: accumulated daily mean air temperature; AMDAXAT: accumulated daily maximum air temperature; ADMINAT: accumulated daily minimum air temperature; ADSH: accumulated daily sunshine hours; ADIR: accumulated daily irradiance.

<sup>y</sup> n.a.: no variable met the 0.150 significance level for entry into the model.

\*: significant at 0.05 probability level; \*\*: significant at 0.01 probability level.

近於 20.0°C、MDMAT 近於 24.0°C、MDMAXAT 近於 29.0°C 時，可獲得較高之穀粒產量，但隨著溫度持續升高則會使產量逐漸下降。

白米化學組成中的粗蛋白質及直鏈性澱粉與此 3 項平均溫度變數 (MDMINAT、MDMAT 及 MDMAXAT) 之回歸關係，繪製於

圖 2。在上半年栽植期，此 3 項平均溫度變數與白米粗蛋白質及直鏈性澱粉皆呈現顯著二次曲線關係，穀粒充實期間當高於臨界溫度後，白米粗蛋白質含量會隨著溫度增加而上升，直鏈性澱粉含量則隨著溫度升高而下降；在下半年栽植期，此 3 項平均溫度變數與白米粗蛋白

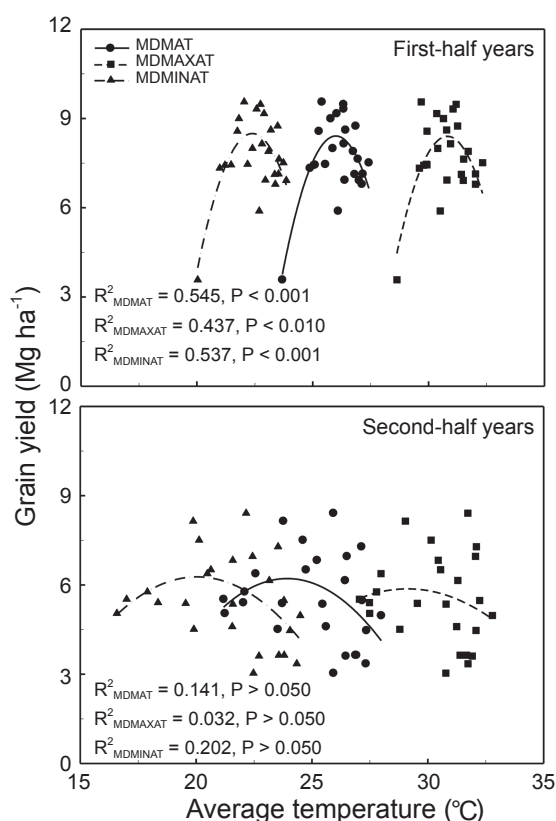


圖 1. 水稻「台梗 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間平均日均溫、日最高溫及日最低溫與穀粒產量之曲線關係。

**Fig. 1.** Changes in grain yield to the average values of daily mean air temperature (MDMAT), daily maximum air temperature (MDMAXAT) and daily minimum air temperature (MDMINAT) calculated from heading to harvest in the first-half and second-half years of rice cultivar 'TK9' grown in the cropping seasons of 2008–2012.

質之間則未達顯著水準，而與白米直鏈性澱粉則呈極顯著二次曲線負相關，其表現趨勢與上半年結果相近。白米白度、透明度與 3 項平均溫度變數之複回歸分析結果 (圖 3)，可發現在上半年栽植期之 3 項平均溫度變數與白米白度及透明度皆呈極顯著二次曲線關係，白度隨著平均溫度升高而逐漸增加，透明度的表現趨勢則相反；在下半年度，透明度與此 3 項平均溫度變數之表現亦和上半年有相同趨勢，惟白度除了與 MDMAXAT 達極顯著差異之外，與其

餘 2 項平均溫度變數 (MDMAT 及 MDMINAT) 皆未達顯著水準。

在穀粒產量部分，本研究整理「台梗 9 號」近 5 年不同節氣栽植期試驗之產量變異資料，經最小顯著性測驗分析結果如圖 4。由圖可知，在上、下半年分別以 SS - 15 及 MH + 15 兩節氣栽植期有較高之穀粒產量，而 SS - 30 及 MH - 30 兩節氣栽植期之產量皆顯著最低。另由上述試驗結果發現，上、下半年栽植期以穀粒充實期間之平均日均溫 (MDMAT) 分別近於 26°C 及 24°C 時可獲得較高之穀粒產量，作者乃因此收集與比較國內「台梗 9 號」主要栽植地區 (如苗栗縣、台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣) 氣象站之氣溫資料，並統計 4 個地區於 1993–2013 年每月之平均日均溫，期以反推估各地區之「台梗 9 號」最適栽植期。由圖 5 結果顯示，若以上半年 26°C 為最佳產量之溫度條件，則台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣等 3 個地區在 5 月份期間之 MDMAT 分別為 25.8°C、25.7°C 及 25.9°C，較接近此溫度範圍，而苗栗縣溫度則偏低 (近於 24.9°C)，6–9 月之 MDMAT 將皆會超過 27°C，顯示穀粒充實期若在此月份可能會有減產風險；這些地區在下半年以 24°C 為最佳溫度條件，據此穀粒充實期以 10 月份為最適溫度範圍。

## 討論

已知水稻穀粒產量及米質除了受到品種特性影響之外，與外界環境之間存在密切關聯性，且以溫度因子之影響權重最大 (Lee *et al.* 2009; Ho *et al.* 2012, 2013)。因此，本研究以立春與大暑為栽植中心期進行 5 年多達 49 個栽植期的節氣栽培試驗，並收集各個栽植期由抽穗至收穫期間之氣象因子測值，藉以探討關鍵的穀粒充實期間氣象環境對「台梗 9 號」穀粒產量及米質表現之效應。由於台灣處於熱帶及亞熱帶交界地區，且本試驗材料於抽穗至收穫期間之日均溫均高於水稻生長之基礎溫度以上 (一般以 10°C 為其基礎溫度) (Tang *et al.* 2009; Sandhu *et al.* 2013)，本試驗因而未使用生育積溫作為分析之氣象變數。首先經由相關分析結果，發現抽穗至收穫期間的 3 個累加溫

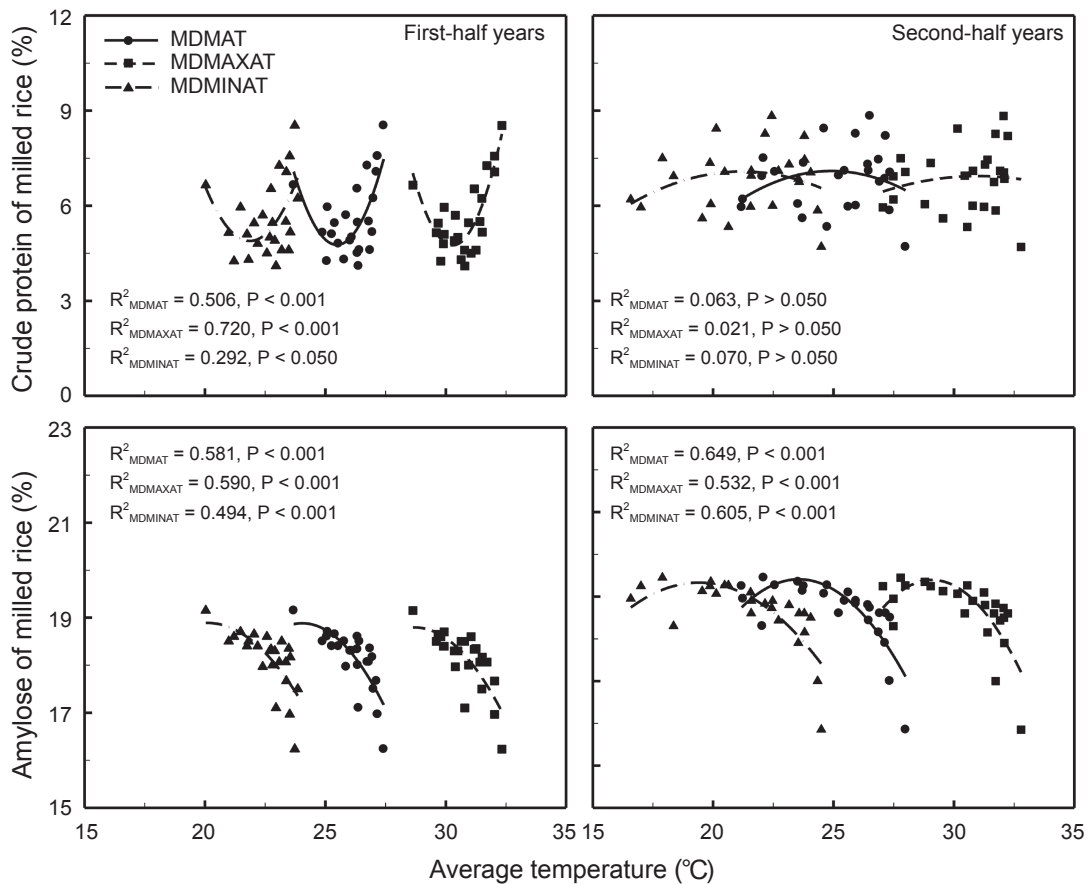


圖 2. 水稻「台稉 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間平均日均溫、日最高溫及日最低溫與白米粗蛋白質、直鏈性澱粉之曲線關係。

**Fig. 2.** Changes in crude protein and amylose of milled rice to the average values of daily mean air temperature (MDMAT), daily maximum air temperature (MDMAXAT) and daily minimum air temperature (MDMINAT) calculated from heading to harvest in the first-half and second-half years of rice cultivar 'TK9' grown in the cropping seasons of 2008–2012.

度變數 (ADMAT、ADMAT 及 ADMINAT) 與「台稉 9 號」的米質性狀具有較密切的相關；再由複回歸分析之逐步選擇法結果，亦顯示溫度變數確實會影響「台稉 9 號」的米質性狀表現，然而此 3 項溫度變數之影響權重會因為上、下半年栽植期的氣象環境不同而有所差異。台灣上半年的一期作水稻生育時期之溫度變化趨勢概由低溫至高溫，日照時數則由短日照至長日照，而下半年的二期作期間則相反。這樣的上、下半年稻作之氣象環境差異，將會影響水稻產量與品質表現，一如本試驗「台稉 9 號」結果，在其他水稻品種的研究亦有類似

現象 (Chu & Lu 1984; Liu *et al.* 1984)。

Lur *et al.* (2006) 研究指出，穀粒成熟期之平均日均溫低於  $26^{\circ}\text{C}$ 、平均日高溫低於  $30^{\circ}\text{C}$ 、平均日低溫低於  $22^{\circ}\text{C}$  且日射量高於  $13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  環境下，可歸為生產台灣優良稻米的「安全環境」。本研究綜整「台稉 9 號」近 5 年之 49 個節氣栽植期資料，經分析穀粒充實期間 3 項平均溫度變數 (MDMAT、MDMAXAT 及 MDMINAT) 與產量之關係，進一步發現產量與各平均溫度變數之間可呈現凸二次曲線趨勢。以上半年栽植期而言，當 MDMINAT、MDMAT 及 MDMAXAT 近於 22.5、26.0 及

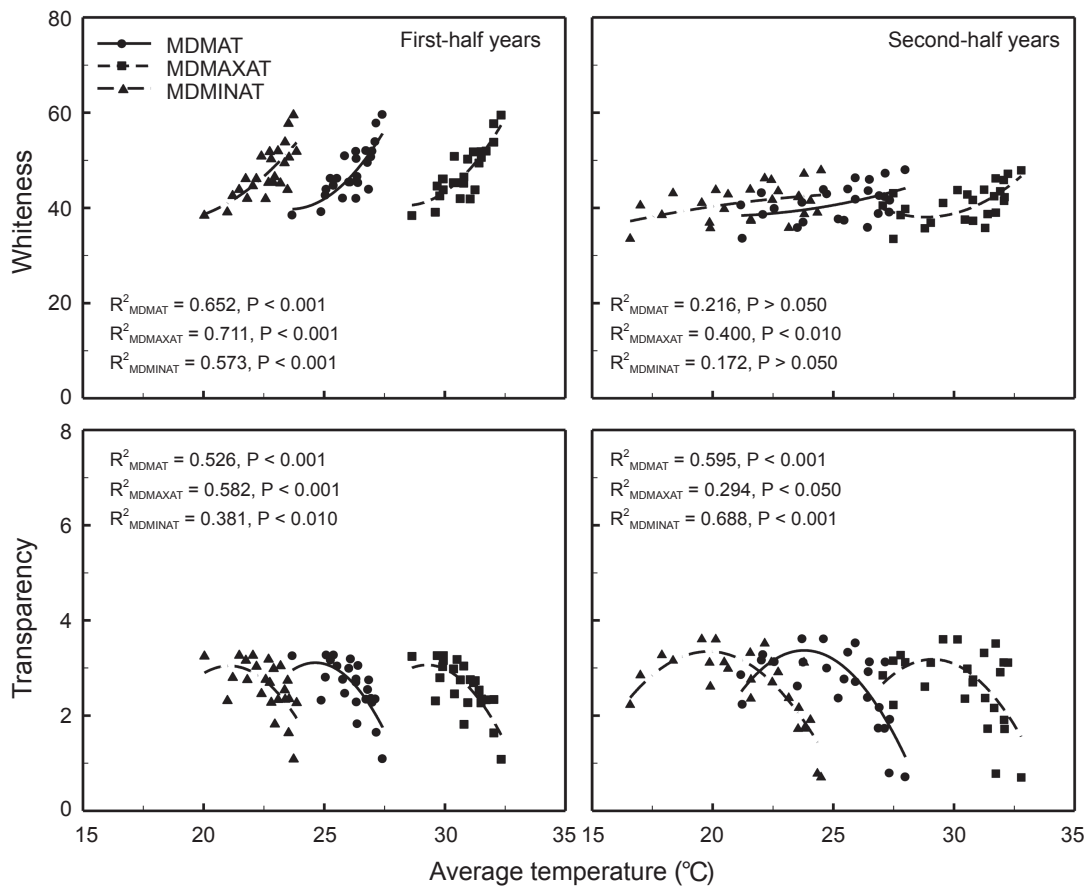


圖 3. 水稻「台稈 9 號」於 2008–2012 年期間合計 24 個上半年栽植期及 25 個下半年栽植期之抽穗至收穫期間平均日均溫、日最高溫及日最低溫與白米白度、透明度之曲線關係。

Fig. 3. Changes in whiteness and transparency of milled rice to the average values of daily mean air temperature (MDMAT), daily maximum air temperature (MDMAXAT) and daily minimum air temperature (MDMINAT) calculated from heading to harvest in rice cultivar ‘TK9’ grown in 24 cropping seasons in the first-half years and 25 cropping seasons in the second-half years in 2008–2012.

31.0°C時有最大穀粒產量，而下半年栽植期則在 MDMINAT、MDMAT 及 MDMAXAT 分別近於 20.0、24.0 及 29.0°C 時可獲得最大產量，試驗數據與 Lur *et al.* (2006) 研究結果頗為相近。

此外，由「台稈 9 號」於抽穗至收穫期間 3 項平均溫度變數與米質性狀之趨勢關係，發現白米的粗蛋白質及白度與平均溫度變數之間具有凹二次曲線關係，而直鏈性澱粉及透明度則與平均溫度變數之間呈凸二次曲線關係。文獻研究資料亦指出，水稻於穀粒充實期間遭遇高溫環境將會使穀粒中的粗蛋白質含量及白堊質比例增加，而直鏈性澱粉及完整米粒

減少，造成米粒外觀、碾米品質與食味品質下降 (Counce *et al.* 2005; Yamakawa *et al.* 2007; Cooper *et al.* 2008; Liu *et al.* 2013)。粗蛋白質含量增加又以鹼溶性及醇溶性蛋白質增加最為顯著，其中以醇溶性蛋白質含量增加將會顯著降低梗稻的食味品質 (Hong *et al.* 2000a; Liang *et al.* 2011; Liang *et al.* 2013; Liu *et al.* 2013)。除了氣象環境的效應，稻株生育中的氮肥施用量與稻米的粗蛋白質含量具有正相關，即隨著氮肥施用量增加將使得稻米的粗蛋白質含量增加而降低品質 (Akram *et al.* 1985; Petroudi *et al.* 2011)。

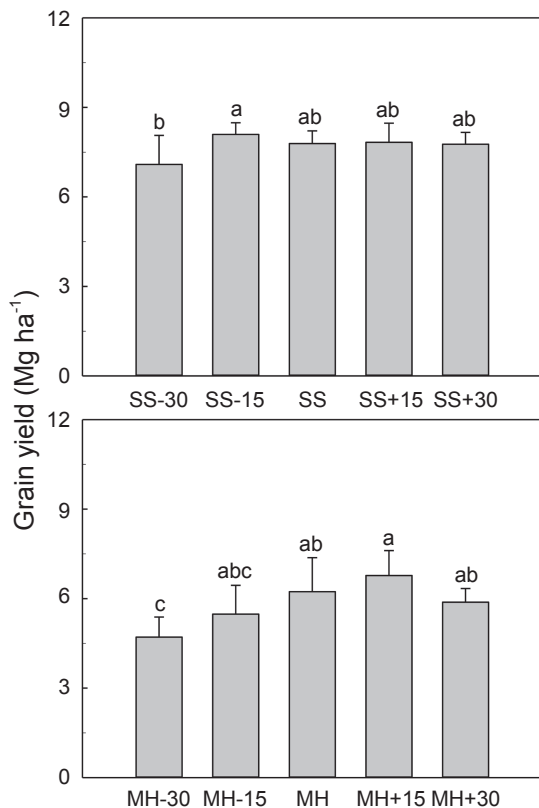


圖 4. 水稻「台梗 9 號」於 2008–2012 年期間在台中市霧峰區進行不同節氣栽植期試驗之產量變異資料。

**Fig. 4.** Variations of grain yield in the first-half and the second-half years of rice cultivar 'TK9' grown in the cropping seasons of 2008–2012 in Wufeng District of Taichung City. Error bar is the standard error of mean ( $n = 15$ ). Means with the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test. SS: Lichun (literally 'start of spring' or 'the first day of spring'). SS - 30 and SS - 15 are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Lichun; SS + 15 and SS + 30 are 15 and 30 days after the date of Lichun. MH: Dashu (literally 'major heat' or 'first day of mid-summer'). MH - 30 and MH - 15 are transplanting of rice seedlings at 30 and 15 days before Dashu; MH + 15 and MH + 30 are 15 and 30 days after the date of Dashu.

分析各溫度變數與穀粒產量的曲線關係，在試驗期間的上半年栽植期，以 MDMINAT 介於 22.0–23.1°C、MDMAT 介於 25.4–26.7°C、MDMAXAT 介於 30.2–31.8°C 時，可獲得最高產量 95–100%，即 1°C 的變化區間相當於產量 5% 變異範圍。在下半年栽植期，MDMINAT

介於 20.0–21.0°C、MDMAT 介於 23.4–24.6°C、MDMAXAT 介於 29.1–30.5°C 時，亦可收穫最高產量 95–100%。依此結果可知，「台梗 9 號」在一、二期稻作穀粒充實期間若能處於這些溫度範圍，則可維持穩定的稻米產量。由此結果檢視與比較「台梗 9 號」在主要栽植地區（即苗栗縣、台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣等地）之氣溫歷史資料，可篩檢出符合以上溫度區間的月份並推算栽植適期，俾發揮「台梗 9 號」的生產潛能。本文計算苗栗縣、台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣在 20 年期間 5 月份之氣溫平均值，分別為 24.9、25.8、25.7 及 25.9°C，而 10 月份之氣溫平均值則分別為 23.5、24.9、24.8 及 24.7°C，又此 4 個地區在 6–9 月之氣溫平均值均會超過 27°C，故建議應當避免穀粒充實期落在這些氣溫過高的月份。整理上述資料，總結上半年的一期稻作穀粒充實期間最適月份當落在 5 月份，而二期稻作則當落在 10 月份。進一步回推栽植適期，則上半年一期稻作栽植適期為立春前 15 d (SS - 15)，下半年二期稻作栽植適期則為大暑後 15 d (MH + 15)，此推論恰與本研究在不同節氣栽植期之產量結果相吻合。因此，對於現行以立春為一期稻作、大暑為二期稻作之栽植適期的台中市霧峰區而言，為因應氣候暖化，勢必得調整其栽植適期，將一期稻作提前 1 個節氣至立春前 15 d (SS - 15)，二期稻作則延後 1 個節氣至大暑後 15 d (MH + 15)，如此當可提高其獲得高產潛能的機會。

由此研究結果，不僅驗證了水稻在不同生育階段中將受到氣象環境的影響，以及穀粒充實期間氣象環境對最終產量與米質的密切關聯，更確認了在溫暖化情境下調整栽植期作為調適策略的可行性與必要。水稻生產者若能釐清當地氣象變數對稻株生長及穀粒產量與米質性狀的關係 (Lack *et al.* 2012)，尤其是關鍵的穀粒充實期，並據以選擇合適的栽植地區及調整栽植期，則可避免或降低暖化現象及其衍生極端天氣事件對水稻生育與生產的負面作用，有效穩定水稻的生產質量，而有利於維持糧食安全。

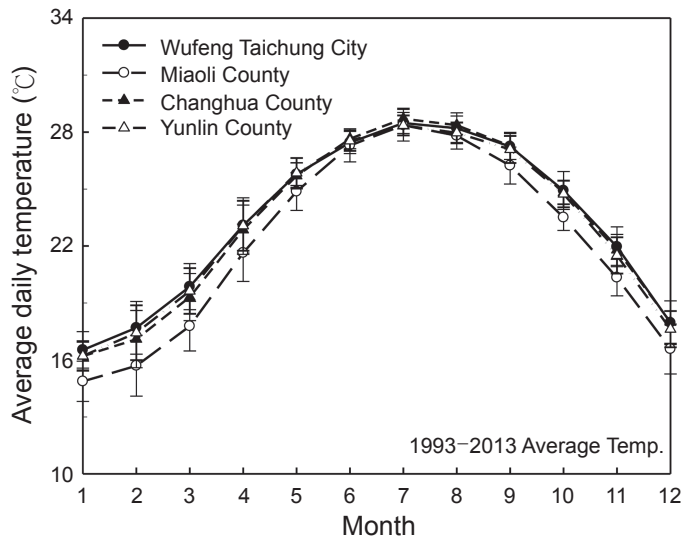


圖 5. 比較水稻「台梗 9 號」主要栽植地區如苗栗縣、台中市霧峰區、彰化縣及雲林縣氣象站於 1993–2013 年每月平均氣溫資料。

Fig. 5. Comparisons of the monthly average values of daily mean air temperature (MDMAT) at four major rice production locations, Wufeng District of Taichung City, Miaoli County, Changhua County and Yunlin County, in Taiwan.

## 引用文獻

- Akram, M., A. A. Cheema, M. A. Awan, and M. Ahmad. 1985. Effect of planting date and fertilizer level on grain yield and protein content of rice. *Pakistan J. Agric. Res.* 6:165–167.
- Choi, H. C. 2002. Current status and perspectives in varietal improvement of rice cultivars for high-quality and value-added products. *Korean J. Crop Sci.* 47(S):15–32.
- Chu, C. and H. S. Lu. 1984. Grain-filling characteristics and its relation to yield components in the first and second rice crops. p.165–179. *in: Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and the Measures for Improvement.* (Liu, D. J. and S. C. Hsieh, eds.) Taiwan Agric. Res. Inst. Special Pub. No. 16. Taichung. 322 pp. (in Chinese with English abstract)
- Cooper, N. T. W., T. J. Siebenmorgen, and P. A. Counce. 2008. Effects of night-time temperature during kernel development on rice physicochemical properties. *Cereal Chem.* 85:276–282.
- Counce, P. A., R. J. Bryant, C. J. Bergman, R. C. Bautista, Y. J. Wang, and T. J. Siebenmorgen. 2005. Rice milling quality, grain dimensions, and starch branching as affected by high night temperatures. *Cereal Chem.* 82:645–648.
- Ho, C. H., C. M. Yang, C. L. Hsiao, and M. H. Lai. 2012. Effect of climatic conditions during heading to harvest stage on quality of rice cultivar TNG 71. *J. Taiwan Agric. Res.* 61:222–240. (in Chinese with English abstract)
- Ho, C. H., C. M. Yang, C. L. Hsiao, and M. H. Lai. 2013. Changes of climatic variables during grain-filling stage affect yield and quality of rice cultivars bred from different regions in Taiwan. *J. Taiwan Agric. Res.* 62:321–339.
- Hong, M. C., P. J. Chien, and H. S. Lur. 2000a. The relation between palatability characteristics and glutelin and prolamin contents of rice grains. *Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn.* 67:1–10. (in Chinese)
- Hong, M. C., A. N. Hsu, and C. F. Li. 2000b. Analysis of rice quality. p.252–266. *in: Annual Report of Rice Improvement 2000.* Taichung Dist. Agric. Res. Improve. Stn. Changhua. 350 pp. (in Chinese)
- Hsiao C. L., Y. J. Lee, C. M. Yang, and M. H. Lai. 2009. Effects of planting month on rice quality of cultivar TNG 71. *Crop Environ. Bioinform.* 6:220–232. (in Chinese with English abstract)
- Hsu, C. S., K. C. Lu, P. C. Wu, and K. C. Lin. 2000. Study on cultivation practices to improve rice quality. p.162–168. *in: Annual Report of Rice Improvement 2000.* Taichung Dist. Agric. Res. Improve. Stn. Changhua. 350 pp. (in Chinese)
- Hsu, C. S. and H. Sung. 1993. Development of new rice variety: Taikeng 9. *Harv. Farm Magaz.* 43(16):14–20. (in Chinese)

- IPCC. 2013. Summary for policymakers and technical summary. p.3–73. *in*: Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis. (Joussau-me, S., J. Penner, and F. Tangang, eds.) Cambridge University Press. Cambridge. 2216 pp.
- Kim, K. H., S. Y. Cho, H. P. Moon, and H. C. Choi. 1994. Breeding strategy for improvement and diversification of grain quality in rice. *Korean J. Breed.* 26(S):1–15.
- Kobata, T. and N. Uemuki. 2004. High temperature during grain-filling period do not reduced the potential grain dry matter increase of rice. *Agron. J.* 96:406–414.
- Lack, S., N. M. Marani, and M. Mombeni. 2012. The effects of planting date on grain yield and yield components of rice cultivars. *Adv. Environ. Biol.* 6:406–413.
- Lee, Y. J., C. M. Yang, and C. H. Hsiao. 2009. Influence of climatic conditions on production of rice cultivar TNG 71. *J. Taiwan Agric. Res.* 58:45–54. (in Chinese with English abstract)
- Liang, C. G., L. P. Chen, Y. Wang, J. Liu, G. L. Xu, and T. Li. 2011. High temperature at grain-filling stage affects nitrogen metabolism enzyme activities in grains and grain nutritional quality in rice. *Rice Sci.* 18:210–216.
- Liang, C. G., Q. Zhang, G. L. Xu, Y. Wang, O. Ryu, and T. Li. 2013. High temperature during rice grain filling enhances aspartate metabolism in grains and results in accumulation of aspartate-family amino acids and protein components. *Rice Sci.* 20:343–348.
- 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 rice in Taiwan. p.59–72. *in*: Regional and Seasonal Causes of Low Yield in Rice and the Measures for Improvement. (Liu, D. J. and S. C. Hsieh, eds.) Taiwan Agric. Res. Inst. Special Pub. No. 16. Taichung. 322 pp. (in Chinese with English abstract)
- Liu, Q., X. Wu, J. Ma, T. Li, X. Zhou, and T. Guo. 2013. Effects of high air temperature on rice grain quality and yield under field condition. *Agron. J.* 105:446–454.
- Lur, H. S., Y. H. Liu, and Agrometeorology Section of 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)
- Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 2001. The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica-rice varieties. *Plant Prod. Sci.* 4:90–93.
- Mohammed, A. R. and L. Tarpley. 2010. Effects of high night temperature and spikelet position on yield-related parameters of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Eur. J. Agron.* 33:117–123.
- Oh-e, I., K. Saitoh, and T. Kuroda. 2007. Effects of high temperature on growth, yield and dry-matter production of rice grown in the paddy field. *Plant Prod. Sci.* 10:412–422.
- 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. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 101:9971–9975.
- Petroudi, E. R., G. Noormohammadi, M. J. Mirhadi, H. Madani, and H. R. Mobasser. 2011. Effects of nitrogen fertilization and rice harvest height on agronomic yield indices of ratoon rice-berseem clover intercropping system. *Aust. J. Crop Sci.* 5:566–574.
- Sandhu, S. S., Prabhjyot-Kaur, and K. K. Gill. 2013. Weather based agro indices and grain yield of rice cultivars transplanted on different dates in Punjab. *Intl. J. Agric. Food Sci. Technol.* 4:1019–1026.
- Shen, P., Q. X. Luo, and Z. X. Jin. 2003. Relationship between protein content and the cooking and eating quality properties of rice grain. *J. Northeast Agric. Univ.* 34:368–371.
- Tang, L., Y. Zhu, D. Hannaway, Y. Meng, L. Liu, L. Chen, and W. Cao. 2009. RiceGrow: A rice growth and productivity model. *NJAS- Wagen. J. Life Sci.* 57:83–92.
- Xiao, T. H., Y. Pan, L. H. Luo, H. B. Deng, G. L. Zhang, W. B. Tang, and L. Y. Chen. 2011. Quantitative trait loci associated with pollen fertility under high temperature stress at flowering stage in rice (*Oryza sativa* L.). *Rice Sci.* 18:204–209.
- Yamakawa, H., T. Hirose, M. Kuroda, and T. Yamaguchi. 2007. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. *Plant Physiol.* 144:258–277.
- Zakaria, S., T. Matsuda, S. Tajima, and Y. Nitta. 2002. Effect of high temperature at ripening stage on the reserve accumulation in seed in some rice cultivars. *Plant Prod. Sci.* 5:160–168.
- Zhang, G. M., Y. H. Zhang, L. Q. Song, and X. X. Guo. 2001. Elementary introduction about the influences of protein in rice on nutritive value and taste quality. *Heilongjiang Agric. Sci.* 3:38–39. (in Chinese with English abstract)

# Effects of Climatic Factors during Grain Filling Stage on Yield and Quality of Rice: A Case Study of Cultivar ‘TK 9’

Chia-Hsun Ho<sup>1</sup>, Chwen-Ming Yang<sup>2,\*</sup>, Chiao-Ling Hsiao<sup>1</sup>, and Ming-Hsin Lai<sup>3</sup>

## Abstract

Ho, C. H., C. M. Yang, C. L. Hsiao, and M. H. Lai. 2015. Effects of climatic factors during grain filling stage on yield and quality of rice: A case study of cultivar ‘TK 9’. *J. Taiwan Agric. Res.* 64(4):317–329.

A five-year field study was conducted in the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (TARI) (Wufeng District, Taichung City) in 2008–2012. Rice (*Oryza sativa* L. cv. ‘TK9’) plants were planted in ‘Lichun’ (means ‘start of spring’) in the first half and ‘Dashu’ (means ‘major hear’) in the second half of the year as well as one and two solar terms before and after them in each year. There were 49 planting times/seasons in total within five-year experimental period, where weather data were also collected from the nearby weather station located at TARI. Five climatic factors, namely, daily mean air temperature (DMAT), daily maximum air temperature (DMAXAT), daily minimum air temperature (DMINAT), daily sunshine hours (DSH), and daily irradiance (DIR) were computed to calculate the respective cumulative (i.e., ADMAT, ADMAXAT, ADMINAT, ADSH, and ADIR) and average (i.e., MDMAT, MDMAXAT, MDMINAT, MDSH, and MDIR) values of these variables during grain-filling stage (from anthesis to harvest). The effects of climatic factors on yield and quality of this cultivar were analyzed based on these datasets. From the results of correlation matrices, crude protein and whiteness of milled rice were positively correlated, while amylose and transparency were negatively correlated, with ADMAT, ADMAXAT and ADMINAT in the first half year. By the stepwise selection of multiple regression analysis, results indicated that the cumulative values of temperatures were the main climatic variables affecting rice quality, but their weights varied with changes in climatic environment in both the first and the second halves of the year. Results showed that rice yield was closely correlated with MDMAT, MDMAXAT, and MDMINAT in a convex curvilinear function. In the first half, the maximum values of yield for MDMINAT, MDMAT and MDMAXAT were occurred near 22.5, 26, and 31°C, respectively, but were shifted to 20, 24, and 29°C in the second half. Rice quality was also significantly correlated with these three variables in a curvilinear fashion. Crude protein and whiteness of milled rice were positively correlated while amylose and transparency were negatively correlated. Variation was in a greater extent in the first half of the year. As a summary, temperature variables are more important in determining grain yield and rice quality of cultivar ‘TK9’. When combining the experimental results with historical weather data of the major production areas (Maoli County, Taichung City, Changhua County, and Yunlin County) of this cultivar, the best month for grain filling is May in the first half and is October in the second half. To better match these two months for these areas, the first crop should be planted at 15 days before ‘Lichun’ while the second crop should be cultivated at 15 days after ‘Dashu’.

**Key words:** Solar term, Lichun (start of spring), Dashu (major heat), Daily mean air temperature, Daily maximum air temperature, Daily minimum air temperature.

---

Received: June 1, 2015; Accepted: July 7, 2015.

\* Corresponding author, e-mail: cmyang@tari.gov.tw

<sup>1</sup> Assistant Research Fellows, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>2</sup> Research Fellow and Director, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

<sup>3</sup> Associate Research Fellow, Crop Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.