

抽穗至收穫期間氣象變因對水稻米質 (TNG 71) 之影響¹

何佳勳² 楊純明^{2,3} 蕭巧玲² 賴明信²

摘 要

何佳勳、楊純明、蕭巧玲、賴明信。2012。抽穗至收穫期間氣象變因對水稻米質 (TNG 71) 之影響。台灣農業研究 61:222-240。

為探討抽穗至收穫之穀粒充實期間氣象環境變化對稻米品質的效應，以釐清影響米質的關鍵生育期主要氣象變因之作用及其影響，本研究以良質稻種台農 71 號 (TNG 71) 為試料，在台中市霧峰區的行政院農業委員會農業試驗所農場進行多個栽植期的田間試驗。研究期間自 2006 年 12 月起至 2009 年 8 月止總計 41 個栽植期，累加各栽植期自抽穗至收穫所量測的日均溫 (ADMAT)、日最高溫 (ADMAT)、日最低溫 (ADMINAT)、日照時數 (ADSH) 與日射量 (ADIR) 等五項氣象因子測值，以分析此五個氣象變因對米質的影響。又將 41 個栽植期劃分兩部分，其一為 1 月至 6 月的上半年，共有 22 個栽植期，其二為 7 月至 12 月的下半年，計有 19 個栽植期，藉以進一步分析上、下半年氣象因子對米質的差異影響。經由相關矩陣分析結果，此 5 項計算累加值的氣象變因兩兩之間皆為顯著相關，上半年之此 5 項氣象變因之間泰半具有較高的相關係數，顯示試驗期間上半年的氣象變因之間具有較密切之連結。對於影響米飯食味品質的米粒化學組成與外觀品質，其與 41 個栽植期的氣象變因之相關性分析顯示，糙米的粗蛋白質含量與此 5 項氣象變因皆呈顯著正相關，其游離脂肪酸則與 ADMAT 及 ADSH 呈顯著正相關；而白米的粗蛋白質含量與 ADMAT、ADMAT 及 ADSH 呈顯著正相關，其直鏈性澱粉與 ADMINAT 則呈顯著負相關，白米的白度與 ADMAT、ADMAT、ADSH 及 ADIR 等氣象變因具有顯著負相關，其透明度則與此 5 項氣象變因均呈極顯著負相關。白米的完整粒比例與 ADMAT、ADMAT、ADMINAT 及 ADSH 等氣象變因之間為顯著負相關，其非完整粒比例則與 ADMAT 及 ADMINAT 為顯著正相關。穀粒的粒長與 ADIR 呈顯著負相關，粒厚則與 ADIR 呈顯著正相關。除白米粗蛋白質含量、穀粒長度及穀粒長/穀粒寬之比值之外，概以上半年較下半年具有較高相關程度。由多元線性迴歸分析結果，建立米粒化學組成及物理特性與氣象變因之間的三元線性迴歸方程式，發現概以 ADMINAT、ADSH 及 ADIR 乃影響本試區米粒化學組成及物理特性的 3

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第 2686 號。接受日期：101 年 6 月 28 日。

2. 本所作物組助理研究員、研究員、助理研究員、副研究員。台灣 台中市。

3. 通訊作者，電子郵件：cmyang@tari.gov.tw；傳真機：(04)23317118。

項最主要氣象變因。綜合試驗結果，顯見良質稻種台農 71 號於抽穗至收穫期間的氣象因子變化將會影響米粒的化學組成及物理特性，各項米質性狀各有其不同的主要影響氣象變因與權重。為求穩定稻米品質勢必篩檢合適的栽植地區或栽植期，藉由選擇穩定的栽植期氣象環境來減緩氣象變因的負作用或調適氣候變遷的負面影響。

關鍵詞：米質、氣象變因、關鍵生育期、化學組成、物理特性。

前 言

稻米為國人傳統主食，水稻 (*Oryza sativa* L.) 亦為我國主要及栽種面積最廣的糧食作物；行政院農業委員會 2010 年的「農業統計年報」(COA 2010) 顯示，當年稻作栽培面積約 244,000 ha，稻穀年產量 1,450,000 t，每公頃產量近 6 t。隨著社會發展和生活水準提升，國人日常飲食已由吃得飽、吃得好進至吃得健康與安全的境界，因此近年來農政部門及農業試驗研究單位已將水稻的生產目標從高產量轉進為高品質，希望兼顧稻米生產質量的穩定，注重栽培環境的效應並改進相關栽植技術，在氣候快速的變遷及暖化趨勢下力求糧食安全供應。

稻米品質涵括米粒外觀物理特性、內在化學組成及烹調適口性等三大面向，這些因素均將影響米粒品質、米飯口味及營養價值。通常米粒外觀物理特性包括粒形、一致性、光澤亮度的透明度 (transparency) 及白垩值程度 (白度；whiteness) 等，內在化學組成牽涉蛋白質、脂肪酸、澱粉、維生素與礦物質等營養成分及熱量供應，而烹調的適口性則依據味覺、米飯質地、香氣、黏性及光澤等決定 (Kim *et al.* 1994; Hong *et al.* 2000a; Hsu *et al.* 2000; Choi 2002)。一般粒形多指米粒大小 (外貌) 及外觀性狀 (碾米品質)，前者常以粒長、粒寬、粒厚及粒長與粒寬的比例表示，後者區分為死米粒 (dead grains)、完整粒 (head grains) 及非完整粒 (non-head grains) 三大類，而非完整粒又可再

分為青米粒 (green mature grains)、被害粒 (damaged grains)、白垩質粒 (chalky grains)、未熟粒 (immature grains)、變色粒 (discolored grains) 及胴裂粒 (fissure and cracked grains) 等各種類別。米粒的化學組成在糙米及白米並不相同，稻穀去殼後之糙米以直鏈性澱粉 (amylose)、粗蛋白質 (crude protein)、游離脂肪酸 (free fatty acid) 為主要化學成分；糙米碾白除糠後之白米，則以直鏈性澱粉與粗蛋白質為主。研究指出稻米中具有較高食味品質者，其蛋白質含量、膠質黏度 (consistency viscosity) 及回升黏度 (setback viscosity) 較低，而破碎黏度 (breakdown viscosity) 及凝膠展延性 (gel consistency) 較高 (Kim 2009)。

除了遺傳形質之外，水稻生育過程中的肥培、灌溉、溫度及病蟲草害等環境因素都會影響稻米品質，例如水稻穀粒之變色粒形成即可能因為蟲害及黑穗病造成 (Lee *et al.* 1993; Gravois & Bernhardt 2000)。Krishnan & Rao (2005) 研究指出，水稻穀粒之滲透導度、壽命潛力、發芽百分比及變色粒的比例等皆受環境溫度的影響；穀粒成熟時期遭遇高溫時，易使穀粒充實速率變快而縮短有效充實期，因而導致心腹白比例增加、直鏈澱粉含量減少及穀粒重量下降等現象，從顯微構造上可見心腹白米的澱粉粒堆積較為鬆散 (Yamakawa *et al.* 2007)。然而，若處於低溫環境，則未熟粒、青米粒、死米粒及畸形粒的比例將明顯增加，且提高 granule-bound starch synthase (GBSS) 酵素活

性，進而增加胚乳中直鏈澱粉含量 (Huang & Lur 2000; Ahmed *et al.* 2008)。另有研究顯示，夜間溫度上升速率高於白天，將嚴重影響水稻產量，當夜溫增加 1°C 會造成產量下降約 10% (Kukla & Karl 1993; Easterling *et al.* 1997; Peng *et al.* 2004)。亦有文獻資料指出，提高夜間溫度將會降低水稻完整粒的生產量、稻穗的質量及直鏈澱粉含量，長鏈的支鏈澱粉比例則會增加 (Ziska & Manalo 1996; Counce *et al.* 2005; Cooper *et al.* 2006; Cooper *et al.* 2008)。很不幸的，根據大氣循環預測模式的推測資料，2090–2099 年的全球平均溫度將會提高 1.8–4°C (IPCC 2007)，吾人將必須及早針對溫度的升高趨勢進行因應、謀求解決對策。

蛋白質含量係稻米營養價值的重要成分，其含量高低與米飯食味品質密切相關，高蛋白質含量將降低米飯的黏性與彈性，卻增加米粒的硬度。因此，過高的蛋白質含量，將使米飯食味品質轉差 (Zhang *et al.* 2001; Shen *et al.* 2003)。一般稻穀中粗蛋白質含量約占 5–12%，其中 90% 以上為貯藏性蛋白質，組成包含白蛋白 (albumins)、球蛋白 (globulins)、穀蛋白 (glutelins) 及醇溶蛋白 (prolamines) 等。當米粒中的醇溶蛋白含量升高時，米飯的外觀、香味、口感、黏度及食味等將轉差，且不易被人體腸胃所消化 (Ogawa *et al.* 1987; Hong *et al.* 2000b)。Tamaki *et al.* (1989) 研究發現，水稻穀粒成熟期的環境溫度會影響穀粒蛋白質含量，在高溫下蛋白質含量會提高而低溫下則會降低。此外，稻株生育中的氮肥管理亦會影響穀粒蛋白質含量，其中蛋白質含量與糊化溫度 (gelatinization temperature) 會隨氮肥施用量增加而增加 (Akram *et al.* 1985; Petroudi *et al.* 2011)。稻米中約有 80% 蛋白質分布於胚乳外層，且含量由糠層往胚乳內層逐漸遞減，所以碾白程度會影響米粒蛋白質含量 (Zhou *et al.* 2009)，在完全碾白的精米粒蛋白質含量

甚低。

由孕穗至抽穗開花期及隨後的穀粒充實期乃稻株對高溫較為敏感的生育階段，其中穎花會隨發育進展對於溫度環境有著不等的敏感反應，在高夜溫環境下穎花的不稔率 (spikelet sterility) 將會增加，且減少花粉的發芽百分比 (pollen germination percentage) (Zakaria *et al.* 2002; Mohammed & Tarpley 2010)。高溫環境下水稻平均穀粒重量將會減少，肇因於高夜溫加速呼吸作用的耗損，使得葉片及莖桿中的碳水化合物供應至穎花中不足，且暴露於高溫的稻穗易造成不稔現象 (Hirai *et al.* 2003; Morita *et al.* 2004)。環境因子除了溫度之外，光照亦會影響水稻產量與品質。例如，研究顯示水稻於穀粒充實期間之溫度高或低於最適溫度時，稻米的白堊質數量將會增加，若再處於低光照強度，穀粒充實將延緩並降低稻穗下位分支穀粒的充實百分比 (Yoshida & Hara 1977)。Nagarajan *et al.* (2010) 的研究結果也證實，日射量與水稻產量、收穫指數 (harvest index)、穎花稔實率及穀粒重量均呈現正相關。Yang (1994) 之研究亦指出，在無缺水逆境的情況下，稻穀產量與全生育期的累加日射量及累加日均溫之間具有正相關。

綜合前述文獻報告，可歸結出稻米品質將會受到氣象環境的影響，尤其在抽穗至收穫之間的穀粒充實時期更是決定產量與米質的關鍵時期。本文研究遂在近三年期間內進行 41 個水稻栽植期試驗，以探討此一穀粒充實期間氣象環境變化對稻米品質的效應，並以釐清影響米質的關鍵生育期主要氣象變因之作用及其影響。

材料與方法

田間栽培及各栽植期

本研究於台中市霧峰區之行政院農業委員會農業試驗所農場實施田間栽培試驗，試

驗期間自 2006 年 12 月起至 2009 年 8 月止共計進行 41 個栽植期 (作季)，參見表 1。由抽穗至收穫所經歷的穀粒充實日數從最短的 37 日至最長的 99 日，平均 50.3 日。選用良質稻種台農 71 號 (TNG 71) 為試材，並於水稻抽穗至收穫之間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) 等五項氣象因子之測值，並計算 41 個栽植期之每個栽植期在此期間累加測值，獲得累加日均溫 (ADMAT)、累加日最高溫 (ADMAXAT)、累加日最低溫 (ADMINAT)、累加日照時數 (ADSH) 及累加日射量 (ADIR) 等五項氣象變因。總此 41 個栽植期當中，屬於 1 月至 6 月的上半年計有 22 個移植期，屬於 7 月至 12 月的下半年移植期則共有 19 個栽植期。惟 2007 年 9 月、10 月及 2008 年 9 月栽植期，由於生殖生長期間遭受低溫危害，導致抽穗異常及穀粒不稔而未有產量收穫。

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機插於試驗田區，每田區面積為 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%，各栽植期皆施予 4 次化學肥料。基肥施用於插秧前，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⁻¹；第二次肥料施用於插秧後 1-2 週，以台肥硫銨 (粒劑，21% N) 用量 200 kg ha⁻¹；第三次肥料施用於插秧後 3-5 週，以台肥硫銨用量 200 kg ha⁻¹；第四次為穗肥，施用於抽穗前 1-2 週，以台肥 39 號複合肥料用量 200 kg ha⁻¹。在雜草管理方面，插秧後即施用 30 kg ha⁻¹ 的 8% 丁拉殺丹粒劑，又於插秧後 3-4 週於第二次肥料施用前實施人工除草一次。病蟲害管理視田間發生情況而定，福壽螺防治以 100 kg ha⁻¹ 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⁻¹ 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⁻¹ 千倍稀釋液。

米質分析

各栽植期皆在達收穫時割取 3 個逢機位置的各 10 m² 小區產量，以平均值表示。割取的穀粒經 40°C 烘乾超過 72 小時，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 (Hong *et al.* 2000a; Hsiao *et al.* 2009)。穀粒形態之調查，係逢機選取 40 顆穀粒並以 5 倍放大測量器 (model 66-SII enlarger, LPL Co. Ltd., Japan) 來量測穀粒之粒長 (grain length) 與粒寬 (grain width)，粒厚 (grain thickness) 乃以標度盤式厚薄計 (model SM540 dial thickness gauge, TECLOCK Co., Japan) 測定。又逢機選取 1000 顆米粒調查米粒外觀性狀，以米粒顏色辨別機 (model RGQ-120A grain color sorter, Satake Co., Japan) 區分為死米粒 (dead rice)、完整粒 (head rice) 及非完整粒 (non-head rice；包含青米粒、被害粒、白垩質粒、未熟粒、變色粒及胴裂粒等) 等類別，計算其等之數量及百分比。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。米粒之化學組成，以近紅外光米粒測計 (model AN-820 near infrared grain tester, Kett Co., Japan) 分析，經由內建校正曲線估測 型稻糙米之粗蛋白質、直鏈性澱粉及游離脂肪酸和白米之粗蛋白質、直鏈性澱粉等含量。

上列量測性狀皆以平均值表示，其餘試驗資料之統計分析，則利用 SAS 統計軟體 (version 9.1)，本試驗利用相關矩陣分析台農 71 號水稻於抽穗至收穫期間之氣象變數兩兩相關性，且將本試驗收穫米粒/稻穀碾製而成之糙米與白米的化學組成及物理特性與關鍵生育期氣象變因進行相關性分析，以瞭解氣象變因對

表 1. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 41 個栽植期之移植日期、抽穗日期、收穫日期及抽穗至收穫天數
Table 1. Dates of transplanting, heading and harvest and days required from heading to harvest of 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009

Crop	Date of transplanting	Date of heading	Date of harvest	Days from heading to harvest
2 nd crop, 2006	12/26/2006	03/27/2007	05/27/2007	62
1 st crop, 2007	01/30/2007	04/11/2007	06/03/2007	54
	02/27/2007	05/04/2007	06/19/2007	47
	03/28/2007	05/22/2007	07/09/2007	49
	04/27/2007	06/30/2007	08/12/2007	44
	05/25/2007	07/22/2007	09/09/2007	50
2 nd crop, 2007	06/25/2007	08/19/2007	10/11/2007	54
	07/27/2007	09/18/2007	11/06/2007	50
	08/21/2007	10/09/2007	11/29/2007	52
	11/26/2007	03/15/2008	05/12/2008	59
1 st crop, 2008	12/21/2007	04/09/2008	05/20/2008	42
	01/16/2008	04/21/2008	06/03/2008	44
	02/04/2008	04/24/2008	06/05/2008	43
	02/19/2008	05/06/2008	06/11/2008	37
	03/06/2008	05/08/2008	06/18/2008	42
2 nd crop, 2008	06/19/2008	08/18/2008	10/07/2008	51
	07/08/2008	09/02/2008	10/21/2008	50
	07/23/2008	09/17/2008	11/03/2008	48
	07/23/2008	09/17/2008	11/04/2008	49
	08/06/2008	09/26/2008	11/10/2008	46
	08/21/2008	10/13/2008	12/03/2008	51
	08/21/2007	10/09/2007	11/29/2007	52
	10/21/2008	02/16/2009	05/25/2009	99
	11/26/2008	03/24/2009	05/26/2009	64
	12/24/2008	04/06/2009	05/20/2009	45
1 st crop, 2009	12/24/2008	04/10/2009	06/02/2009	54
	01/20/2009	04/17/2009	06/03/2009	48
	01/20/2009	04/17/2009	06/07/2009	52
	02/09/2009	04/23/2009	06/09/2009	48
	02/19/2009	05/05/2009	06/14/2009	41
	02/25/2009	05/09/2009	06/16/2009	39
	03/05/2009	05/14/2009	06/23/2009	41
	03/25/2009	05/28/2009	07/09/2009	43
	04/24/2009	06/22/2009	08/10/2009	50
	05/26/2009	07/21/2009	09/27/2009	69
	06/23/2009	08/17/2009	10/12/2009	57
	06/23/2009	08/19/2009	10/13/2009	56
	2 nd crop, 2009	07/07/2009	08/28/2009	10/22/2009
07/23/2009		09/15/2009	10/29/2009	45
08/10/2009		09/27/2009	11/12/2009	47
08/20/2009		10/07/2009	11/18/2009	43

米質特性的相關性。本試驗亦利用多元線性複迴歸分析所計算的 5 個氣象變因對米質的化學組成及物理特性的影響及其顯著性，以提供變化趨勢之參考。統計繪圖，則使用 SPSS 公司之 SigmaPlot 軟體 (version 10.0)。

結 果

將自 2006 年 12 月至 2009 年 8 月進行之 41 個栽植期氣象資料整理，計算由抽穗至收穫之間量測的 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT、ADSH 及 ADIR 等 5 項氣象變因，其等之相關性如相關矩陣分析結果 (表 2)，此 5 項氣象變因兩兩之間皆呈顯著相關。

將本試驗收穫米粒/稻穀碾製而成之糙米與白米的化學組成與穀粒充實期氣象變因進行

相關性分析，發現糙米的粗蛋白質含量與此 5 項氣象變因均呈顯著正相關，其游離脂肪酸含量與 ADSH、ADMAXAT 亦達顯著正相關。白米的粗蛋白質含量與 ADSH、ADMAT 及 ADMAXAT 達顯著正相關，其直鏈性澱粉含量與 ADMINAT 則呈負相關 (表 3)。進一步分析上、下半年資料，以上半年有較多的化學組成與此 5 項氣象變因有關，即上半年氣象環境較可歸納出氣象變因與化學組成之間的連結。

在米粒物理特性方面 (白米之白度、透明度、外觀形狀及米粒大小等)，經由 41 個栽植期及上、下半年之 5 項氣象變數進行相關性分析，發現白米之白度與 ADMAT、ADMAXAT 及 ADIR 之間顯著負相關，與 ADSH 為極顯著負相關，而透明度則與此 5 項氣象變因均呈

表 2. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期)、19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期由抽穗至收穫期間的 5 個氣象變因之相關矩陣分析結果

Table 2. Correlation matrix for five climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Climatic variable	ADMAT ^z	ADMAXAT	ADMINAT	ADSH	ADIR
Pooled data (<i>n</i> = 41)					
ADMAT	–	0.992***	0.991***	0.765***	0.890***
ADMAXAT		–	0.968***	0.798***	0.900***
ADMINAT			–	0.728***	0.845***
ADSH				–	0.681***
ADIR					–
Data from crops in the first half year (<i>n</i> = 22)					
ADMAT	–	0.998***	0.997***	0.909***	0.862***
ADMAXAT		–	0.992***	0.919***	0.881***
ADMINAT			–	0.892***	0.824***
ADSH				–	0.887***
ADIR					–
Data from crops in the second half year (<i>n</i> = 19)					
ADMAT	–	0.994***	0.992***	0.751***	0.932***
ADMAXAT		–	0.974***	0.760***	0.935***
ADMINAT			–	0.738***	0.900***
ADSH				–	0.696***
ADIR					–

^z 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 0.001 probability level.

表 3. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期), 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 5 個氣象變因與糙米及白米化學組成之相關係數

Table 3. Correlation coefficients between different chemical compositions, in brown rice and milled rice, and 5 climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Chemical component	ADMAT ^z	ADMAXAT	ADMINAT	ADSH	ADIR
Pooled data (<i>n</i> = 41)					
Crude protein _{br} ^y	0.497***	0.486**	0.512***	0.456**	0.352*
Free fatty acid _{br}	0.293	0.325*	0.270	0.423**	0.144
Crude protein _{mr}	0.336*	0.387*	0.305	0.576***	0.171
Amylose _{mr}	-0.279	-0.202	-0.354*	-0.059	-0.169
Data from crops in the first half year (<i>n</i> = 22)					
Crude protein _{br}	0.600**	0.589**	0.628**	0.593**	0.335
Free fatty acid _{br}	0.476*	0.488*	0.468*	0.350	0.374
Crude protein _{mr}	0.415	0.410	0.439*	0.371	0.146
Amylose _{mr}	-0.447*	-0.426*	-0.476*	-0.463*	-0.262
Data from crops in the second half year (<i>n</i> = 19)					
Crude protein _{br}	0.397	0.384	0.405	0.314	0.373
Free fatty acid _{br}	0.079	0.078	0.088	0.138	-0.041
Crude protein _{mr}	0.488*	0.475*	0.519*	0.467*	0.318
Amylose _{mr}	-0.245	-0.189	-0.303	-0.227	-0.216

^z 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.

^y br: brown rice; mr: milled rice.

* significant at 0.05 probability level; ** significant at 0.01 probability level; *** significant at 0.001 probability level.

現極顯著負相關 (表 4)。完整米粒百分比係與 ADMAT、ADMAXAT 及 ADSH 為顯著負相關, 與 ADMINAT 為極顯著負相關; 非完整米粒與 ADMINAT 達極顯著正相關, 與 ADMAT 則顯著正相關。白米之粒長與 ADIR 呈顯著負相關, 粒厚與 ADIR 顯著正相關。至於上、下半年分開之資料分析結果, 在上半年有較多的米質性狀明顯受到氣象變因影響。下半年資料中僅白米之透明度與 ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT 呈現顯著負相關, 粒厚與 ADIR 為顯著相關 (表 4)。

藉由多元線性複迴歸分析, 從 5 項氣象變因中選入 ADMINAT、ADSH 及 ADIR 等 3 項構成對米質的化學組成及物理特性等的各項三元線性迴歸方程式 (表 5)。由表 5 可見, 在 41 個栽植期資料中此三個氣象變因與糙米、白米的粗蛋白質含量達極顯著水準 ($P < 0.001$), 與

糙米的游離脂肪酸及白米的直鏈性澱粉亦達顯著性水準 ($P < 0.050$)。上半年資料中, 此 3 項氣象變因可解釋糙米的粗蛋白質含量 ($R^2 = 0.606$, $P < 0.001$)、白米的粗蛋白質含量 ($R^2 = 0.388$, $P = 0.028$) 及直鏈性澱粉 ($R^2 = 0.355$, $P = 0.044$), 下半年資料則僅有白米的粗蛋白質含量達顯著性水準 ($R^2 = 0.412$, $P = 0.042$)。

另 41 個栽植期及上半年 22 個栽植期之此 3 項氣象變因, 亦可建構評估白米白度及透明度之三元線性迴歸方程式 (表 6), 下半年 19 個栽植期則無此顯著關係 (表 6)。在米粒外觀形狀上, 合併栽植期及上半年栽植期資料, 此 3 個氣象變因可建構估算完整米粒百分比及非完整米粒百分比之三元線性迴歸方程式 (表 7), 下半年資料則無此效果 (表 7)。在米粒大小部分, 僅有合併 41 個栽植期的白米粒長與此 3 項氣象變因可建構三元線性迴歸方程式,

表 4. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期), 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 5 個氣象變因與白米物理特性之相關係數

Table 4. Correlation coefficients between different physical characteristics of milled rice and 5 climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Physical characteristic	ADMAT ^z	ADMAXAT	ADMINAT	ADSH	ADIR
Pooled data (<i>n</i> = 41)					
Whiteness	-0.342*	-0.390*	-0.289	-0.454**	-0.327*
Transparency	-0.626***	-0.587***	-0.665***	-0.478**	-0.437**
Ratio of head rice	-0.376*	-0.312*	-0.444**	-0.310*	-0.188
Ratio of non-head rice	0.363*	0.300	0.429**	0.306	0.184
Ratio of dead rice	0.244	0.206	0.290	0.176	0.112
Grain length	-0.198	-0.195	-0.176	-0.011	-0.323*
Grain width	-0.200	-0.190	-0.196	-0.209	-0.272
Grain thickness	0.295	0.283	0.285	0.244	0.394*
Grain length/Grain width	-0.006	-0.013	0.014	0.212	-0.081
Data from crops in the first half year (<i>n</i> = 22)					
Whiteness _{mr}	-0.445*	-0.444*	-0.423*	-0.354	-0.555**
Transparency _{mr}	-0.730***	-0.710***	-0.750***	-0.669***	-0.562**
Ratio of head rice _{mr}	-0.688***	-0.664***	-0.715***	-0.642**	-0.458*
Ratio of non-head rice _{mr}	0.715***	0.694***	0.737***	0.691***	0.502*
Ratio of dead rice _{mr}	0.261	0.240	0.291	0.156	0.085
Grain length	-0.087	-0.091	-0.068	-0.002	-0.173
Grain width	-0.236	-0.254	-0.210	-0.347	-0.339
Grain thickness	0.336	0.346	0.308	0.371	0.462*
Grain length/Grain width	0.123	0.133	0.120	0.283	0.118
Data from crops in the second half year (<i>n</i> = 19)					
Whiteness	-0.317	-0.343	-0.292	-0.153	-0.279
Transparency	-0.545*	-0.523*	-0.572*	-0.356	-0.428
Ratio of head rice	-0.027	0.013	-0.078	-0.185	0.014
Ratio of non-head rice	-0.037	-0.072	0.008	0.119	-0.064
Ratio of dead rice	0.237	0.194	0.291	0.356	0.147
Grain length	-0.310	-0.302	-0.290	-0.072	-0.434
Grain width	-0.178	-0.162	-0.179	-0.215	-0.242
Grain thickness	0.300	0.299	0.276	0.322	0.461*
Grain length/Grain width	-0.204	-0.215	-0.170	0.208	-0.309

^z 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; *** significant at 0.001 probability level.

以及下半年資料白米粒長/粒寬比值的迴歸方程式達顯著性水準, 其他均無顯著關係 (表 8)。

其次, 為釐清 ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT 對米粒化學組成之影響走勢, 乃繪製糙米粗蛋白質含量、白米直鏈性澱粉含量與其等之迴歸分布圖 (圖 1)。由圖 1 可知, 3 項溫度變因皆與糙米粗蛋白質呈極顯性二次曲線

正相關, 累加溫度的增加促使糙米粗蛋白質含量上升。惟比較此關鍵時期的溫度平均值, 僅平均最高氣溫達顯著水準。白米的直鏈性澱粉則與 ADMINAT 呈現顯著二次曲線關係, 但是分別與平均日均溫、平均日最高溫及平均日最低溫關係極顯著 (圖 1)。

另一方面, 白米白度與 ADSH 為顯著曲

表 5. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期) , 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 3 個氣象變因與糙米及白米化學組成之三元線性迴歸模式

Table 5. The three-variable linear regression models for different chemical compositions of brown rice and milled rice with three climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Chemical component	$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3^z$				R^2	P
	a	b	c	d		
Pooled data ($n = 41$)						
Crude protein _{br} ^y	4.737	0.003	0.003	-0.003	0.308	0.003
Free fatty acid _{br}	19.090	0.001	0.007	-0.004	0.230	0.020
Crude protein _{mr}	4.878	6.23×10^{-4}	0.010	-0.004	0.426	< 0.001
Amylose _{mr}	19.599	-0.002	0.002	0.002	0.248	0.014
Data from crops in the first half year ($n = 22$)						
Crude protein _{br}	6.821	0.003	0.011	-0.010	0.606	< 0.001
Free fatty acid _{br}	16.319	0.004	-0.006	0.002	0.247	0.155
Crude protein _{mr}	5.645	0.002	0.006	-0.007	0.388	0.028
Amylose _{mr}	18.472	-0.001	-0.006	0.005	0.355	0.044
Data from crops in the second half year ($n = 19$)						
Crude protein _{br}	5.314	0.002	4.68×10^{-4}	2.71×10^{-4}	0.165	0.425
Free fatty acid _{br}	20.057	0.002	0.002	-0.003	0.103	0.643
Crude protein _{mr}	4.659	0.004	0.002	-0.004	0.412	0.042
Amylose _{mr}	19.437	-7.98×10^{-4}	-1.15×10^{-4}	5.84×10^{-4}	0.110	0.615

^z X_1 : accumulated daily minimum air temperature; X_2 : accumulated daily sunshine hours; X_3 : accumulated daily irradiance.

^y br: brown rice; mr: milled rice.

表 6. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期) , 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 3 個氣象變因與白米白度及透明度組成之三元線性迴歸模式

Table 6. The three-variable linear regression models for whiteness and transparency of milled rice with three climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Appearance of milled rice	$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3^z$				R^2	P
	a	b	c	d		
Pooled data ($n = 41$)						
Whiteness	48.002	0.005	-0.027	-0.006	0.218	0.026
Transparency	5.087	-0.003	-3.96×10^{-4}	0.002	0.498	< 0.001
Data from crops in the first half year ($n = 22$)						
Whiteness	64.750	-0.007	0.047	-0.045	0.421	0.018
Transparency	5.456	-0.003	-0.002	0.002	0.579	0.002
Data from crops in the second half year ($n = 19$)						
Whiteness	42.719	-0.005	0.007	-0.002	0.096	0.669
Transparency	4.217	-0.002	7.27×10^{-4}	0.001	0.373	0.066

^z X_1 : accumulated daily minimum air temperature; X_2 : accumulated daily sunshine hours; X_3 : accumulated daily irradiance.

線負相關，與 ADMAT、ADIR 及其等平均值之間則無顯著迴歸關係 (圖 2)。除了 ADMAXAT 之外，完整米粒百分比與 ADMAT 及

ADMINAT 為二次曲線關係，而與 ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT 之平均值皆為二次曲線變化趨勢 (圖 3)。

表 7. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期) , 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 3 個氣象變因與白米完整米粒、非完整米粒和死米粒組成之三元線性迴歸模式

Table 7. The three-variable linear regression models for head, non-head and dead rice of milled rice with three climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Integrity of milled rice	Y = a + bX ₁ + cX ₂ + dX ₃ ^z				R ²	P
	a	b	c	d		
Pooled data (n = 41)						
Ratio of head rice	0.942	-8.4 × 10 ⁻⁴	-1.39 × 10 ⁻⁴	9.53 × 10 ⁻⁴	0.323	0.002
Ratio of non-head rice	0.075	7.07 × 10 ⁻⁴	1.42 × 10 ⁻⁴	-8.03 × 10 ⁻⁴	0.299	0.004
Ratio of dead rice	-0.016	1.39 × 10 ⁻⁴	-5.01 × 10 ⁻⁶	1.51 × 10 ⁻⁴	0.146	0.117
Data from crops in the first half year (n = 22)						
Ratio of head rice	0.904	-7.49 × 10 ⁻⁴	-0.001	0.001	0.600	< 0.001
Ratio of non-head rice	0.099	5.71 × 10 ⁻⁴	0.001	-0.001	0.632	< 0.001
Ratio of dead rice	-0.008	1.77 × 10 ⁻⁴	-1.32 × 10 ⁻⁴	-1.77 × 10 ⁻⁴	0.167	0.338
Data from crops in the second half year (n = 19)						
Ratio of head rice	0.752	-2.18 × 10 ⁻⁴	-6.73 × 10 ⁻⁴	4.89 × 10 ⁻⁴	0.087	0.703
Ratio of non-head rice	0.294	1.16 × 10 ⁻⁴	5.19 × 10 ⁻⁴	-3.60 × 10 ⁻⁴	0.062	0.805
Ratio of dead rice	-0.050	1.11 × 10 ⁻⁴	1.82 × 10 ⁻⁴	-1.56 × 10 ⁻⁴	0.211	0.299

^z X₁: accumulated daily minimum air temperature; X₂: accumulated daily sunshine hours; X₃: accumulated daily irradiance.

表 8. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 22 個 (上半年栽植期) , 19 個 (下半年栽植期) 及 41 個 (全年栽植期) 栽植期之抽穗至收穫期間的 3 個氣象變因與白米粒長、粒寬、粒厚和粒長 / 粒寬比值組成之三元線性迴歸模式

Table 8. The three-variable linear regression models for grain size (length, width and thickness) and grain length/grain with ratio of milled rice with three climatic variables calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009, including 22 crops in the first half year and 19 crops in the second half year

Shape of milled rice	Y = a + bX ₁ + cX ₂ + dX ₃ ^z				R ²	P
	a	b	c	d		
Pooled data (n = 41)						
Grain length	7.541	1.26 × 10 ⁻⁴	7.08 × 10 ⁻⁴	-9.19 × 10 ⁻⁴	0.191	0.047
Grain width	3.452	5.55 × 10 ⁻⁵	-7.61 × 10 ⁻⁵	-1.88 × 10 ⁻⁴	0.082	0.362
Grain thickness	2.128	-6.38 × 10 ⁻⁵	3.90 × 10 ⁻⁶	3.27 × 10 ⁻⁴	0.163	0.083
Grain length/Grain width	2.181	5.92 × 10 ⁻⁶	2.70 × 10 ⁻⁴	-1.57 × 10 ⁻⁴	0.139	0.133
Data from crops in the first half year (n = 22)						
Grain length	7.799	1.58 × 10 ⁻⁴	0.002	-0.001	0.146	0.406
Grain width	3.420	1.64 × 10 ⁻⁴	-5.09 × 10 ⁻⁴	-1.53 × 10 ⁻⁴	0.178	0.305
Grain thickness	1.998	-1.00 × 10 ⁻⁴	-2.63 × 10 ⁻⁵	6.48 × 10 ⁻⁴	0.230	0.184
Grain length/Grain width	2.278	-1.44 × 10 ⁻⁴	8.65 × 10 ⁻⁴	-2.96 × 10 ⁻⁴	0.225	0.195
Data from crops in the second half year (n = 19)						
Grain length	7.401	2.66 × 10 ⁻⁴	9.38 × 10 ⁻⁴	-0.001	0.306	0.130
Grain width	3.438	1.01 × 10 ⁻⁴	-1.55 × 10 ⁻⁴	-1.82 × 10 ⁻⁴	0.077	0.744
Grain thickness	2.211	-2.06 × 10 ⁻⁴	1.32 × 10 ⁻⁴	3.54 × 10 ⁻⁴	0.330	0.102
Grain length/Grain width	2.147	1.78 × 10 ⁻⁵	3.98 × 10 ⁻⁴	-2.19 × 10 ⁻⁴	0.445	0.028

^z X₁: accumulated daily minimum air temperature; X₂: accumulated daily sunshine hours; X₃: accumulated daily irradiance.

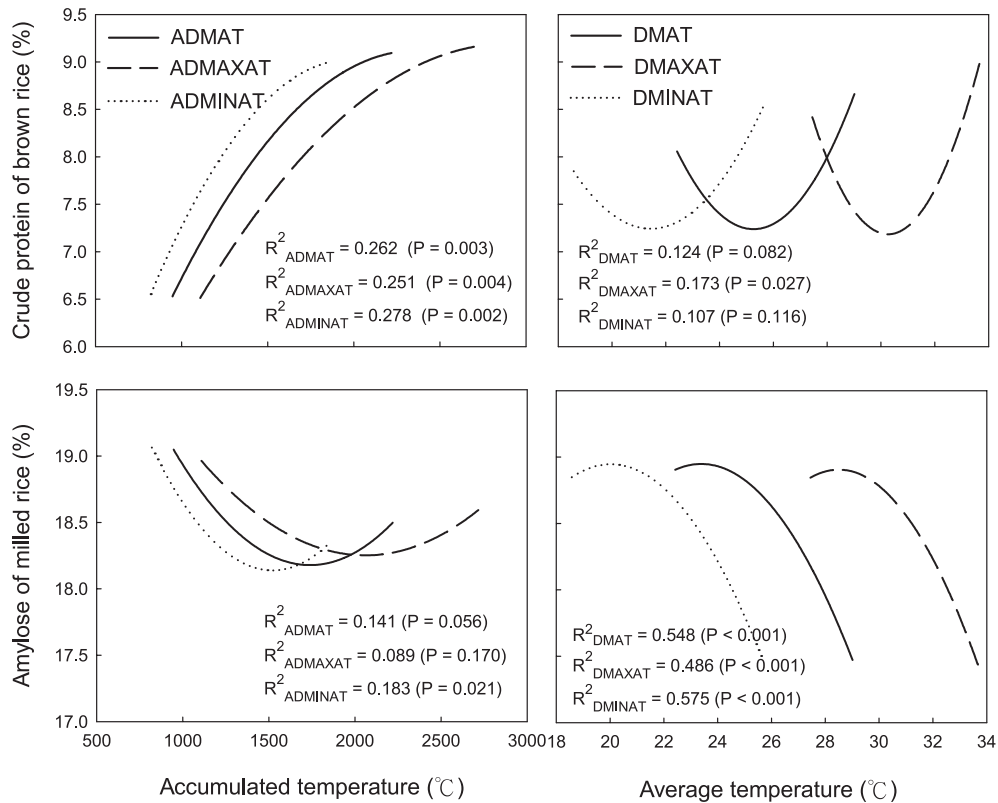


圖 1. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 41 個栽植期之抽穗至收穫期間的累加和平均日均溫、日最高溫及日最低溫與糙米粗蛋白質、白米直鏈性澱粉之迴歸關係。

Fig. 1. Changes of crude protein of brown rice and amylose of milled rice to the accumulated values of daily mean air temperature (ADMAT), daily maximum air temperature (ADMAXAT), and daily minimum air temperature (ADMINAT) and their average values calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009.

討 論

本項研究自 2006 年 12 月起至 2009 年 8 月止總計進行 41 個栽植期的田間試驗，每個栽植期均估算由抽穗至收穫之間穀粒充實期的日數，同時計算 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT、ADSH 及 ADIR 等 5 項氣象變因，並分析各栽植期收穫米粒/穀粒之米質。經由相關矩陣分析結果，由於兩兩氣象變因之間皆顯著相關，顯示氣象變因之間連結緊密。若區分為上、下半年再予分析，以上半年栽植期的氣象變因之間的相關性較高於下半年，可知上半

年的氣象環境又較下半年穩定，使得氣象變因之間具有較密切的相關。由於國內一期作產量及品質多優於二期作 (Hsiao *et al.* 2009; Lee *et al.* 2009)，可能較為穩定與規律的氣象環境有其重要與必要性，再對照本試驗米質性狀與氣象變因的關係，可證實穩定氣象環境與水稻米質之間具有較強連結的推測。

繼而將本試驗米粒的化學組成與穀粒充實期之氣象變因進行相關性分析，發現氣象變因確實影響米粒化學組成，一如其他試驗結果 (Tamaki *et al.* 1989)。其中，糙米的粗蛋白

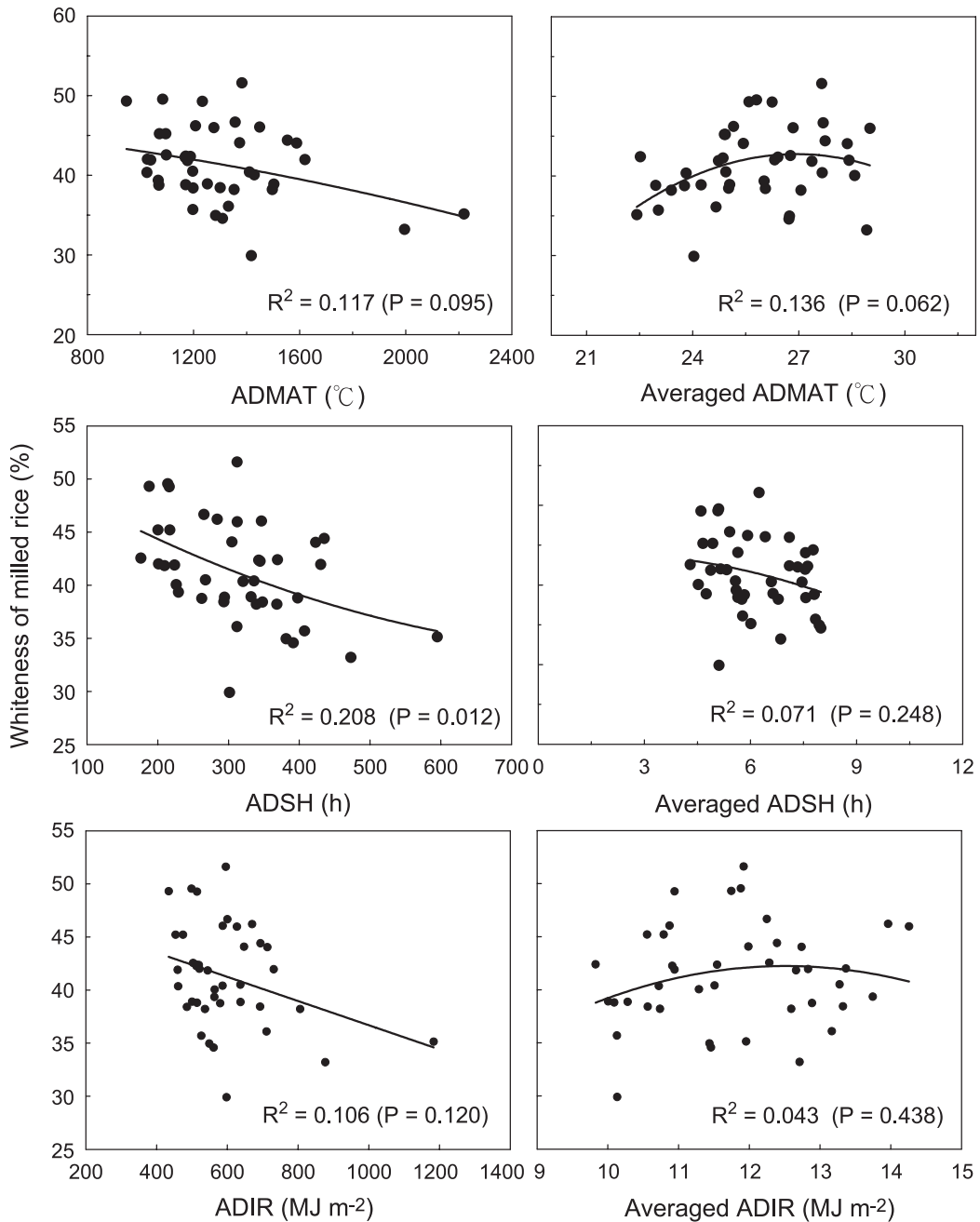


圖 2. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 41 個栽植期之抽穗至收穫期間的累加和平均日均溫、日照時數及日射量與白米白度之迴歸關係。

Fig. 2. Changes of whiteness of milled rice to the accumulated values of daily mean air temperature (ADMAT), daily sunshine hours (ADSH), and daily irradiance (ADIR) calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009.

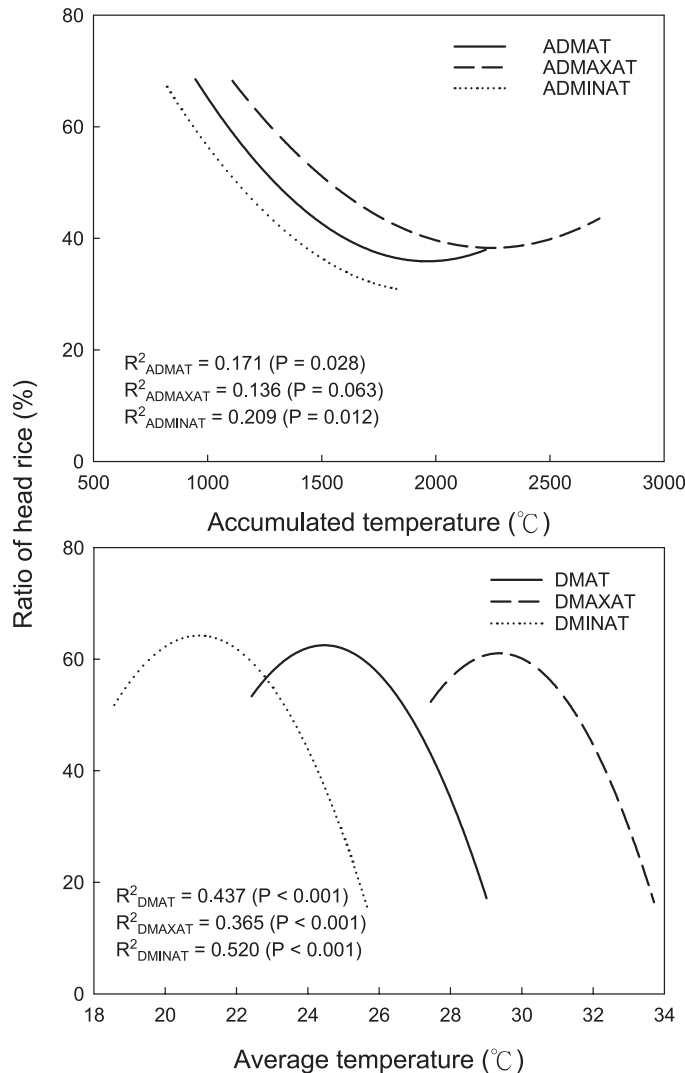


圖 3. 台農 71 號於 2006–2009 年期間合計 41 個栽植期之抽穗至收穫期間的累加和平均日均溫、日最高溫及日最低溫與白米完整粒比率之迴歸關係。

Fig. 3. Changes of head rice of milled rice to the accumulated values of daily mean air temperature (ADMAT), daily maximum air temperature (ADMAXAT), and daily minimum air temperature (ADMINAT) and their average values calculated from heading to harvest in 41 crops of rice cultivar TNG 71 grown in 2006–2009.

質及游離脂肪酸含量與此 5 項氣象變因多存在正向關係，白米的粗蛋白質含量與 ADSh、ADMAT 及 ADMAXAT 為正相關，其直鏈性澱粉含量則與 ADMINAT 為負相關。進一步分析上、下半年資料，顯示化學組成在上半年與

此 5 項氣象變因有較高的相關性，驗證了由相對較為穩定的上半年氣象環境較可歸納出氣象變因與米粒化學組成之間的連結；換言之，在穩定的氣象環境中孕育的米粒化學組成和氣象變因之間具有較為規律而緊密的互動關係。

比較米粒物理特性，發現白米的白度及透明度與 ADMAT、ADMAXAT、ADSH 及 ADIR 之間為負相關，完整米粒百分比亦與 ADMAT、ADMAXAT、ADMINAT 及 ADSH 為負相關，而非完整米粒與 ADMAT、ADMINAT 則為正相關。白米的粒長與 ADIR 負相關，粒厚卻為正相關。同樣的，在上半年的栽植期有較多的米質性狀明顯受到氣象變因影響，相關性普遍高於下半年者。文獻報告指出，低溫環境下將延長水稻成熟期，且增加未熟粒、青米粒、青死米粒及畸形粒的比例 (Huang & Lur 2000; Ahmed *et al.* 2008)，一如本試驗負相關的不利結果及過高溫度的負面作用。事實上台灣的上、下半年的氣象環境確有明顯的差異，上半年由低溫到高溫，栽植期會有陰雨連綿的梅雨季，下半年則為高溫到低溫更有颱風、乾旱及秋冬低溫寡日照。本試驗於 2007 年 9 月、10 月及 2008 年 9 月栽植期於生殖生長期受到低溫危害，導致抽穗異常及穀粒不稔而未有產量收穫即是負面案例。

此外，由文獻可知稻株在穀粒充實期間的溫度變化會影響米質特性，如提高夜間溫度會降低完整粒的產量、稻穗的質量及直鏈澱粉含量 (Ziska & Manalo 1996; Counce *et al.* 2005; Cooper *et al.* 2006; Cooper *et al.* 2008)。Nagarajan *et al.* (2010) 的研究指出，日射量與水稻產量、收穫指數、穎花稔實率及穀粒重量等具有正相關。本研究的試驗結果，也反應了氣象變因對於米粒化學組成與物理性狀的潛在影響，由抽穗至收穫之間的穀粒充實期確為改變米質的關鍵時期。另一方面，米粒化學組成及物理特性與氣象變因之兩兩相關性分析達顯著時，相關係數多近於 0.5 以上，惟仍有少部分相關係數較低 ($| > 0.31 |$)。由此可知，以 37–99 日穀粒充實期的累加氣象變因分析其等與米質參數之相關性，確實存在相當的變異與差異，顯示氣象因子的複雜變化及充實期長短帶來的變

異，而且單一氣象變因的影響力有其限度。然而試驗結果至少提供氣象變因對穀粒充實期的影響證據，以及說明此一關鍵時期氣象變化確實與米質有關的佐證。

本研究進一步在計算的氣象變因當中，發現無論是米質的化學組成及物理特性，概可由 ADMINAT、ADSH 及 ADIR 等 3 項氣象變因組成三元線性迴歸方程式予以評估。可知這 3 個氣象變因在 5 項選用變因當中，乃本試驗期間最主要的決定因子，包括糙米與白米的粗蛋白質含量、糙米的游離脂肪酸及白米的直鏈性澱粉均受其等顯著影響。而白米白度與透明度、完整米粒與非完整米粒百分比、白米粒長及白米粒長/粒寬比值等，也可能由此 3 項氣象變因共同解釋。本研究又發現，糙米粗蛋白質含量與這些溫度有關的 3 個變因 (ADMAT、ADMAXAT 及 ADMINAT) 均為二次曲線關係，溫度的累加將會促使糙米粗蛋白質含量上升。白米的直鏈性澱粉與累加日最低溫呈現二次曲線關係，在高溫的栽植期環境下直鏈性澱粉含量將會下降，經直接由關鍵生育期的溫度平均值來看，無論採用何種溫度參數，皆顯示高溫不利於直鏈性澱粉生成 (Krishnan & Rao 2005; Yamakawa *et al.* 2007)。又米粒的白堊質在低溫、弱光照及寡日照時數下似乎有增加趨勢，使得白度上升，尤以日照時數的不足更為明顯 (Yoshida & Hara 1977; Nagarajan *et al.* 2010)，而本研究更發現過高溫度亦將提高白米的白度。再者，由於高溫不利於穀粒充實，本研究亦顯示完整米粒百分比隨著穀粒充實的關鍵生育期溫度上升而降低的現象，一如文獻報告 (Counce *et al.* 2005; Cooper *et al.* 2006; Cooper *et al.* 2008)，而且本研究發現無論由日均溫、日最高溫及日最低溫來觀察皆會有相同結果。

由多元線性複迴歸分析結果，達顯著水準之決定係數 (R^2) 有 9 項 $R^2 < 0.4$ ，有 9 項 $R^2 >$

0.4。由此可見，決定米質性狀的氣象環境十分複雜，各米質參數可能由超過 3 個以上的氣象變因共同影響，或其他非本文採用之氣象變因亦影響米質。本文研究僅選用 5 項氣象變因，其他變因對於特定米質參數有其特定影響程度，這些非本文研究使用的氣象變因決定特定米質參數的效應可能更高。對於擬利用本文結果推估依變數者，應有認知低 R^2 值代表的意義。其次，即使達顯著之 R^2 不高，至少提供變化趨勢之參考，自有其生理意義。本文研究先以相關分析說明單一氣象變因與米質參數之關係，主要選用與氣溫有關的氣象變因，以初步瞭解溫暖化的潛在影響。另以多元線性迴歸分析來探討這些與氣溫有關氣象變因之綜合影響，可以初探多變因的加成效應。

當前由於氣候的快速變遷及全球暖化趨勢，國人十分重視不同產業受到的各種衝擊，農業部門亦不例外。台灣在過去百年之間氣溫幾乎升高了近 1.4°C ，勢將影響國內水稻的生產及稻米的質量，吾人應當更積極探討升溫所帶來各面向的問題。本文研究除了證實關鍵的穀粒充實期間氣象環境對米質的影響之外，更提供溫暖化對米粒化學組成與物理性狀影響機制的實證結果。因此，欲穩定水稻的米質，在選擇合適的栽植稻種及提高稻種的耐逆境能力之外，慎選栽植季節或栽培環境的選項，亦是調適環境變異及氣候變遷的妥適對策。

誌 謝

本研究承蒙行政院農業委員會科技計畫經費補助 [98 農科-4.2.1-農-C2(1)]，另對於農業試驗所作物組生物統計與生物資訊研究室呂椿棠博士提供統計分析諮詢，作物生理與逆境研究室技工邱顯泉先生協助計畫田間工作執行，特致以由衷謝忱。

引用文獻 (Literature cited)

- Ahmed, N., M. Maekawa, and I. J. Tetlow. 2008. Effects of low temperature on grain filling, amylose content, and activity of starch biosynthesis enzymes in endosperm of basmati rice. *Aust. J. Agric. Res.* 59:599–604.
- 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.
- 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.
- Cooper, N. T. W., T. J. Siebenmorgen, P. A. Counce, and J. F. Meullenet. 2006. Explaining rice milling quality variation using historical weather data analysis. *Cereal Chem.* 83:447–450.
- Counce, P. A., R. J. Bryant, C. J. Bergman, R. C. Bautista, Y. J. Wang, T. J. Siebenmorgen, K. A. K. Moldenhauer, and J. F. Meullenet. 2005. Rice milling quality, grain dimensions, and starch branching affected by high night temperatures. *Cereal Chem.* 82:645–648.
- COA, Executive Yuan. 2010. Rice. p.24–35. *in: Agricultural Statistics Yearbook*. COA Pub. Taiwan. 336 pp.
- Easterling, D. R., B. Horton, P. D. Jones, T. C. Peterson, T. R. Karl, D. E. Parker, M. J. Salinger, V. Razuvayev, N. Plummer, P. Jamason, and C. K. Folland. 1997. Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science* 277:364–367.
- Gravois, K. A. and J. L. Bernhardt. 2000. Heritability and genotype environment interactions for discolored rice kernels. *Crop Sci.* 40:314–318.
- Hirai, Y., T. Yamadu, and M. Tsuda. 2003. Effects of temperature at ripening period on dark respiration percentage and dry matter production in rice—comparison of the effects in the plants sown in pot at different times. *Jpn. J. Crop Sci.* 72:436–442. (in Japanese with English abstract)
- Hong, M. C., A. N. Hsu, and C. F. Li. 2000a. 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)
- Hong, M. C., P. J. Chien, and H. S. Lur. 2000b. The relation between palatability characteristics and glutenin and prolamin contents of rice grains. *Bull. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn.* 67:1–10. (in Chinese with English abstract)
- 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.
- 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)
- Huang, J. J. and H. S. Lur. 2000. Influences of temperature during grain filling stages on grain quality in rice (*Oryza sativa* L.) 1. Effects of temperature on yield components, milling quality, and grain physico-chemical properties. *J. Agric. Assoc. China* 1:370–389. (in Chinese with English abstract)
- IPCC. 2007. Summary for policymakers. *In*: climate change 2007: the physical science basis. p.1–18. *in*: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller, eds.) Cambridge University Press. Cambridge. 996 pp.
- Kim, K. H. 2009. Grain quality improvement in japonica rice: achievements and prospects. *J. Agron. Indonesia* 37:183–187.
- 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.
- Krishnan, P. and S. A. V. Rao. 2005. Effects of genotype and environment on seed yield and quality of rice. *J. Agric. Sci.* 143:283–292.
- Kukla, G. and T. R. Karl. 1993. Night time warming and the greenhouse effect. *Environ. Sci. Technol.* 27:1768–1474.
- Lee, F. N., N. P. Tugwell, S. J. Fannah, and G. J. Weidemann. 1993. Role of fungi vectored by rice stink bug (*Heteroptera: Pentatomidae*) in discoloration of rice kernels. *J. Econ. Ent.* 86:549–556.
- 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.
- 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. *Europ. J. Agron.* 33:117–123.
- Morita, S., H. Shiratsuchi, J. Takanashi, and K. Fujita. 2004. Effect of high temperature on ripening in rice plant- analysis of the effects of high night and high day temperatures applied to the panicle and other parts of the plant. *Jpn. J. Crop Sci.* 73:77–83. (in Japanese with English abstract)
- Nagarajan, S., S. V. K. Jagadish, A. S. H. Prasad, A. K. Thomar, A. Anand, M. Pal, and P. K. Agarwal. 2010. Local climate affects growth, yield and grain quality of aromatic and non-aromatic rice in northwestern India. *Agric. Ecosyst. Environ.* 138:274–281.
- Ogawa, M., T. Kumamaru, H. Satoh, N. Iwata, T. Omura, Z. Kasai, and K. Tanaka. 1987. Purification of protein body-I of rice seed and its polypeptide composition. *Plant Cell Physiol.* 28:1517–1527.
- 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.
- 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.
- Tamaki, M., M. Ebata, and T. Tashiro. 1989. Physico-ecological studies on quality formation of rice kernel. I. Effects of nitrogen top-dressed at full heading time and air temperature during ripening period on quality of rice kernel. *Jpn. J. Crop Sci.* 58:653–658.
- Yamakawa, H., T. Hirose, M. Kuroda, and T. Yamagu-

- chi. 2007. Comprehensive expression profiling of rice grain filling-related genes under high temperature using DNA microarray. *Plant Physiol.* 144:258–277.
- 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.
- Yoshida, S. and T. Hara. 1977. Effects of air temperature and light on grain filling of an indica and a japonica rice (*Oryza sativa* L.) under controlled environmental conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* 23:93–107.
- 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.
- Zhou, L. H., Q. Q. Liu, and M. H. Gu. 2009. Milling characteristics and distribution of seed storage proteins in rice with various grain shapes. *Acta Agron. Sin.* 35:317–323. (in Chinese with English abstract)
- Ziska, L. H. and P. A. Manalo. 1996. Increasing night temperature can reduce seed set and potential yield of tropical rice. *J. Plant Physiol.* 23:791–794.

Effect of Climatic Conditions during Heading to Harvest Stage on Quality of Rice Cultivar TNG 71¹

Chia-Hsun Ho², Chwen-Ming Yang^{2,3}, Chiao-Ling Hsiao², and Ming-Hsing Lai²

Abstract

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.

Climatic conditions during heading to harvest stage are important factors affecting quality of rice (*Oryza sativa*). The objective of this study was to determine effects of major climatic variables during the key growth stage from heading to harvest on quality of rice by conducting multiple-year field experiments at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute at Wufeng, Taichung, Taiwan, using a widely cultivated variety TNG 71. The variety TNG 71 was grown for a total of 41 crops from December 2006 to August 2009 with 22 crops produced in the first half year and 19 crops produced in the second half year. For each crop season, accumulated values of daily mean air temperature (ADMAT), daily maximum air temperature (ADMAXAT), daily minimum air temperature (ADMINAT), daily sunshine hours (ADSH), and daily irradiance (ADIR) were collected during heading to harvest stage. These five climatic variables were used for analysis of quality traits of rice. Results of correlation matrix analyses showed that correlation coefficients among climatic variables were generally higher in the crop of first half year than those in the crop of second half year, suggesting a more stable climatic environment and hence a closer link between variables in the first half year during the experimental period of 2006–2009. From pooled data, crude protein of brown rice was correlated with all the five climatic variables and free fatty acid content was positively correlated with ADMAXAT and ADSH. In milled rice, crude protein was positively correlated with ADMAT, ADMAXAT and ADSH, while amylose was negatively correlated with ADMINAT. The whiteness of milled rice was negatively correlated with ADMAT, ADMAXAT, ADSH and ADIR, and the transparency of grain kernel was negatively correlated with all the climatic variables. The ratio of head rice was negatively correlated with ADMAT, ADMAXAT, ADMINAT and ADSH, while the ratio of non-head rice was positively correlated with ADMAT and ADMINAT. The grain length was negatively correlated with ADIR, whereas grain thickness was positively correlated with ADIR. Except crude protein, the correlations of length and length width ratio of grains with climatic variables were generally higher in the crop of first half year than in the crop of second half year. Results of multiple linear regression analyses showed that, ADMINAT, ADSH and ADIR were the three major climatic variables accounted for

-
1. Contribution No. 2686 from Taiwan Agricultural Research Institute (TARI), Council of Agriculture. Accepted: June 28, 2012.
 2. Respectively, Assistant Researcher, Researcher, Assistant Researcher, and Associate Researcher, Crop Science Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.
 3. Corresponding author, e-mail: cmyang@tari.gov.tw; Fax: (04)23317118.

variations of chemical and physical components of rice. This study indicates that changes in climatic conditions during the period of heading to harvest are important factors affecting chemical components and physical characteristics of rice grains. Thus, selection of suitable location for cultivation of rice and planting season are some strategies for minimizing negative impacts of climatic factors on rice quality.

Key words: Rice quality, Climatic variable, Key growth stage, Chemical composition, Physical characteristics.