

國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系
碩士論文

Department of Agronomy
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis

溫度環境與水稻穀粒產量及品質之相關性

Study on Relationship between Field Temperature and
Rice Yield and Quality



吳以健
Yi-Chien Wu

指導教授：盧虎生 博士
張素貞 博士

Advisor: Dr. Huu-Sheng Lur
Dr. Su-Jeng Chang

中華民國 九十八 年 六 月
June, 2009

目錄

口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
英文摘要.....	iv
壹、前言.....	1
貳、前人研究.....	3
參、研究策略.....	10
肆、材料與方法.....	11
伍、結果.....	14
陸、討論.....	40
柒、結論.....	46
捌、參考文獻.....	48



圖表目錄

表 1、周年栽培與各栽培區之氣溫條件差異·····	20
表 2、各氣溫條件與產量、外觀品質、食味品質之相關性迴歸分析的 P 值·····	22
圖 1、糊化黏度曲線圖及各項參數·····	9
圖 2、1990 至 2008 年台灣地區 5 個稻作生產區之日均溫年變化圖·····	15
圖 3、2007 年苗栗地區氣溫環境與各栽培期·····	16
圖 4、2008 年苗栗地區氣溫環境與各栽培期·····	17
圖 5、2007 年全台灣 7 個稻作栽培區之旬均溫變化圖·····	19
圖 6、單株有效穗數與分蘗期平均氣溫之相關性·····	24
圖 7、稔實率與總生育期及抽穗後超過 26°C 累進積溫之相關性·····	25
圖 8、單株穗重與抽穗後 15 日內平均氣溫及平均單日最低溫之相關性·····	26
圖 9、糙米外觀品質與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性·····	27

圖 10、白米外觀品質與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	29
圖 11、糙米直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	30
圖 12、糙米食味總評分數與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	31
圖 13、白米直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	32
圖 14、白米食味總評分數與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	33
圖 15、白米直鏈澱粉含量與食味總評分數之相關性.....	34
圖 16、Peak viscosity 與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	35
圖 17、Breakdown 與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	36
圖 18、Setback 與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及最低溫之相關性.....	37

圖 19、直鏈澱粉含量與 peak viscosity、breakdown 及 setback 之相關性……38

圖 20、食味總評分數與 peak viscosity、breakdown 及 setback 之相關性……39



誌謝

兩年前，大學畢業，順利推甄進入本系研究所，也如願進入導師—盧虎生老師的實驗室。就這樣開始了研究所的生涯，踏入田間、參與栽培、投入實驗、分析結果。這些日子，歷經田間試驗的甘苦，烈日下的作業、颱風中的搶收、收穫時的辛勞、完成後的喜悅、師長們的肯定與鼓勵。自己親身體驗了農民栽培時的艱苦與辛酸，收穫的那一刻，見到金黃色的稻穗，一切的付出都值得了。

由衷地感謝實驗室的朱鈞老師、盧虎生老師與張孟基老師，三位老師在我學習的過程中耐心地給予我指導、勉勵與關心，使我從一個懵懂的初學者，漸漸學習如何嚴謹地進行研究、如何縝密地思考問題、如何勇敢付諸實行，這些用心的栽培，我一生都會珍惜。論文初稿承蒙陳宗禮老師、張素貞老師與羅正宗老師的細心指正，使我的論文更加的完整。

在試驗過程中，非常感謝張素貞老師在苗栗區農業改良場對我的指導與照顧。特別感謝作物改良課的劉雲霖先生等各位農改場的叔叔阿姨們，幫助我照顧田間試驗的水稻，並給予我寶貴的田間歷程與意見。感謝羅正宗老師協助我收集全台灣各地區的稻米樣本，同時也教導我許多的農藝知識。感謝中央氣象局的楊惠玉小姐，熱心給予我氣象資訊的數據。

感謝實驗室的各位夥伴，佳諭、成玉、雪玉、家愷、芹如、學謙學長姐在課業上、研究時與生活方面對我的照顧與關心。澄如、凡萱、芳瑜、若倩、景雯在我工作量龐大難以應付時伸出援手，一同渡過這些日子。

最後，要感謝我的父母、家人以及三位姑姑，在我求學期間不斷給我支持，同時也是我的心靈導師，帶領我走出低潮與失意。要感謝的人太多了，感謝所有曾經幫助我的人，謝謝你們。

謹以此文，獻給所有幫助過我的人。

中文摘要

粳型水稻適作於溫帶氣候，穀粒有效充實期長，充實期平均氣溫低於 25°C。台灣地處亞熱帶，氣溫高於日本、韓國等其他傳統粳稻栽培地區，有效充實期較短且穀粒充實較快，導致稻米產量與品質皆不盡理想。International Panel on Climate Change (IPCC) 指出目前溫室效應已造成全球氣溫明顯上升，並持續不斷加劇。在此情況下，台灣的水稻栽培面臨更嚴峻的挑戰，如何改善栽培方式以因應暖化的未來，並進一步提升稻米產量及品質，是現今農業重要課題之一。

本研究主要藉由設計不同周年栽培期以及不同栽培地點之水稻栽培，配合各栽培時期所遭遇到之不同氣象條件，進而分析稻米之產量及品質性狀與氣象因素之相關性。2007 與 2008 年在苗栗區農業改良場分別完成 8 個與 9 個栽培期，以及調查分析其氣象條件、產量構成要素與品質性狀。同時收集全國七個農業改良場與農業試驗所樣品，進行品質性狀與氣象條件之相關性分析。結果顯示：苗栗地區各栽培期之抽穗後日均溫以四月下旬插秧者最高，而以八月插秧者最低。各稻作栽培區域則以台南地區為最高，桃園與苗栗地區為最低。抽穗後氣溫影響以抽穗後 15 日內最為顯著，同時影響產量、穀粒外觀與食味品質。抽穗後氣溫上升的趨勢導致單株有效穗數、稔實率與單株穗重的降低，導致單位面積產量之減少。在外觀方面，抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫與糙米之完整米率、白米之正常粒率呈負相關，與未熟米率、粉質狀粒呈正相關，推測原因為高溫使穀粒充實過快，澱粉堆積不緊實所致。食味方面，抽穗後 15 日期間之氣溫上升使直鏈澱粉含量下降，改變了米粉的黏度性質如使 peak viscosity、breakdown 上升及使 setback 下降，進而提高食味品質。

本研究之田間試驗結果可用於歸納影響台灣地區稻作產量與品質之氣溫範圍，並可藉以規劃安全及優質栽培時期，未來將進一步進行生理層面之探討以及其他田間氣候因素之分析。

Abstract

Japonica type rice adapted to temperate climate. Rice has long grain filling period and grain filling temperature below 25°C. However, Taiwan locates in subtropical region and has higher temperature than Japan and Korea. The hot climate of Taiwan made rice yields and quality worse than other traditional Japonica type rice culture regions. International Panel on Climate Change (IPCC) indicated that global warming was apparent and getting severe. In this case, there will be a restrict challenge on rice cultivation in Taiwan. It is important to improve the agricultural practice against the warming future.

To understand the correlation between the rice yields/quality and climate factors, two year-round cultivation experiment with 8 and 9 culture periods were conducted in 2007 and 2008 respectively. In addition, rice samples from 7 rice planting regions were collected for same analysis in 2007. The results revealed that different culture periods or planting regions covered with different accumulated temperature, daily mean temperature, daily maximum temperature and daily minimum temperature. The temperature after heading of one transplanting in April was highest, and of one transplanting in August was lowest in the all culture periods. On the other hand, the temperature after heading of Tainan and Taoyuan/Miaoli were highest and lowest

respectively. The most effective periods of temperature was 15 days after heading.

The temperature of these periods affected yields, looking qualities and eating qualities.

The rising temperature after heading decreased the panicle numbers, grain sterility

and grain weight per hill. For looking qualities, there is negative correlation between

whole kernel proportion and daily mean temperature/maximum temperature/minimum

temperature of 15 days after heading. On the contrary, the correlation of opaque

kernel proportion is positive. For eating qualities, rising of temperature of after 15

days after heading inhibited the synthesis of amylose and changed the viscosity

characteristics of rice flour. Finally, high temperature increased the eating qualities by

rising peak viscosity/breakdown and lowering setback.

The results of this research approved the thesis between high temperature and

rice yields/qualities in previous study. Future works will focus on physiological

research and effects of other field climate factors.

壹、前言

水稻(*Oryza sativa* L.)為全球三大作物之一，絕大部分作為人類糧食用途，供應亞洲地區包括中國大陸、日本、印度、菲律賓、泰國等國家之人民的主食，是世界上極為重要的糧食作物。台灣位處東亞，座落在西太平洋之島嶼，終年季風吹拂，再加上北回歸線通過，為典型的亞熱帶海洋性氣候，終年高溫多雨，適合水稻生長。因此自古以來水稻生產一直是台灣相當重要的糧食來源，稻作在台灣農業扮演一最重要的角色。

台灣水稻栽培歷程中，原種植早期中國大陸或東南亞移民所帶來之秈型(indica type)水稻品種，由於政治及歷史的變遷，在日人統治時期(1900年代)開始有計劃的引入粳型(japonica type)品種，經過學者長久的努力並命名為「蓬萊米」，目前粳型品種佔我國稻米栽培面積90%以上，是目前台灣栽培面積最廣的農藝作物。以生理的觀點而言，台灣之粳型水稻每年兩期作，生育期約120天，一期作生育期為春初至夏初，二期作為夏末至秋末：一期作的生育溫度由低溫逐漸升高，至生殖生長期為生育期之最高氣溫；而二期作則相反，由高溫逐漸下降，至生殖生長期氣溫明顯較一期作為低。由此可見，兩期作之間的生育環境顯然不同。除此之外，台灣位於亞熱帶地區，氣溫較高且日照強度較低。因此台灣的粳型水稻栽培環境與現今國際普遍栽培環境大不相同。然而，不同於秈型水稻，粳型水稻較適作於溫帶栽培環境，在國際上主要之粳型稻生產國家，一年一作，全生育期140日以上，生育期間日射量充足，日夜溫差大，穀粒之有效充實期長，充實期平均氣溫25℃以下，產量高而米質外觀及食味優良。與此相較，台灣位處亞熱帶，全生育期短，生育期間溫度高，日夜溫差小，日射量較低，有效充實期短而穀粒充實速率快，終至各期產量與品質皆未臻理想。換言之，在目前以及未來，台灣蓬萊米栽培之環境壓力皆大於其他溫帶地區。

基於台灣粳型水稻栽培環境上的特殊性，如何提昇栽培技術長期以來一直是

我國稻作研究的主要課題。我國稻作研究可概略以1980年代作為分界：1980年代以前著重於增加產量，已有研究成果歸納出台灣水稻產量與環境之關係及改良策略。1980年代以後則以提升品質為主要目標，稻米品質之組成要素相當複雜，包括外觀品質、碾米品質、食味品質等不同要素，其關連之生理、生化過程易受到栽培環境之影響。除此之外，由於人為過量排放二氧化碳及其他溫室效應氣體至大氣層，使得溫室效應氣體持續增加，全球氣候暖化趨勢日漸明顯，各主要稻作生產國家多已密集進行其因應氣候暖化之稻作生產策略的研究。氣候研究顯示，台灣地區也正面臨暖化的壓力，這對適應溫帶環境的稈稻栽培將是更嚴峻的挑戰。

台灣兩期稻作之氣候環境明顯不同，前人亦指出一期作之碳水化合物積存量與單位面積產量均高於二期作。如此不同之氣溫背景影響產量，再者，穀粒充實期之氣溫條件亦會影響穀粒之品質，所以若調整其栽培時期將會改變氣溫條件，進而使產量與品質有所不同，再者，全台灣各稻作生產區之氣候環境亦大不相同，或許結合不同栽培時期與不同稻作產區之資訊，營造一涵蓋不同氣溫條件之栽培背景，對氣候與產量及品質之相關性獲得更深一層了解，以提供未來氣候變遷趨勢下之稻作栽培對策，這正是本研究的主要目標。

貳、前人研究

一、氣候溫度環境之變化趨勢：

水稻的栽培與氣候環境之間具有密切的關連性，根據 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 於 2007 年提出之第四次評估報告指出：1850 年以後，全球平均氣溫以每年 0.74°C 的幅度增加，近 50 年來的增加幅度更是百年來的 2 倍，顯示全球暖化的趨勢不只明顯更日漸劇烈。因此近年來國際間積極進行暖化之溫度對水稻生產衝擊的研究，且主要著重於溫度對產量及品質的影響。

二、高溫與水稻生育

而高溫環境最主要分為日均溫、日最高溫與日最低溫三方面作探討：

1. 日均溫：日均溫過高，對於水稻產量與品質皆有不良影響。產量方面，抽穗後的高溫處理，將使得多數之稈稻品種花粉活性、花粉產量以及授粉成功率下降(Abiko *et al.*, 2005)，進而降低穀粒稔實率，最後導致收穫指數(harvest index)與單位面積產量(yield)的低落(Prasad *et al.*, 2006)。學者亦指出未來日均溫每上升 1°C ，水稻單位面積產量將會降低 7%(Peng *et al.*, 2004)。品質方面，若松(2007)等人則表示：抽穗後 20 日內平均氣溫超過 27°C 之後，背白、基白、心白、乳白粒均會呈現顯著增加，而完整米比例則會隨著抽穗後 30 日內平均氣溫的上升而明顯減少。
2. 日最高溫：學者指出：在開花時日高溫超過 28°C 時，穀粒胴裂率明顯增加(Nagata *et al.*, 2004)。超過 32°C 時，隨日高溫的上升，花藥開裂率與花粉產量均會下降(Matsui *et al.*, 2000, 2001)，而使稔實率呈現明顯下降(Oh-e *et al.*, 2007 ; Jagadish *et al.*, 2007 ; 長谷川等, 2009)。而超過 30°C 之日高溫即會有明顯乳白粒發生，若穀粒充實期間面對 $35/30^{\circ}\text{C}$ 的日夜溫情況下，將會有超過 50% 白垩質現象(Huang and Lur, 2000)。

3. 日最低溫：日低溫的上升，將會提高作物在夜間的呼吸作用，進而消耗積存之碳水化合物(Long, 1991)。Peng *et al.*(2004)指出高溫將會降低產量，其中夜溫是其中極為重要的因子，日最低溫每上升 1℃，水稻單位面積產量將減少 10%。除此之外，若低於 20/15℃ 的日夜溫，將使未熟粒與青死米粒比例顯著增加(Huang and Lur, 2000)。

二、稻米產量構成要素：

水稻的單位面積產量由以下要素所組成之公式所決定：單位面積產量 = 單位面積株數 * 單株有效分蘗數(或單株有效穗數) * 單穗穎花數(單穗穀粒數) * 稔實率 * 千粒重。除單位面積株數是人為決定之外，氣候對每一要素均有其關鍵影響時期：有效分蘗數為分蘗始期至盛期；穎花數為孕穗期；而稔實率及千粒重則是幼穗形成期與抽穗開花期。其中，對於環境最為敏感的時期為抽穗開花期，其次為孕穗期，因此可推測稔實率與千粒重為產量構成要素中極為重要的一環，稔實率主要受到溫度與降雨的影響，研究顯示高溫將會降低穎花稔實率進而導致產量的減少，其中又以稈型水稻特別明顯(Prasad *et al.*, 2006)。學者進一步推究其原因，發現在氣溫高於 33℃ 時花藥的開裂受到阻礙，花粉難以釋出，造成授粉率之不佳；另外，高溫環境亦造成花粉萌發與花粉管延長的障礙，最後使稔實率降低，充實之穀粒數目不足，使得千粒重下降，導致單株產量與收穫指數的低落。除此之外，在關鍵時期遭遇豪雨或熱帶性低氣壓更是一期稻作稔實率不穩定之主因(花蓮區農業改良場年報，88:12-38)。

三、水稻對高溫之生理反應

以供源(source)與積儲(sink)的觀點而言，高溫對作物的產量之影響主要包括以下三項：

1. 同化與異化作用：作物最主要之同化與異化作用，分別是光合作用與呼吸作用。

光合作用為作物白天進行之最重要生理活動之一，功能為使用太陽的光能來固定二氧化碳與水，產生碳水化合物，作為作物能量及積存之來源，研究結果顯示：在高溫情況下，光合作用之關鍵酵素—RuBPCase受到抑制，使得光合作用速率下降(Makino *et al.*, 1994)。而呼吸作用則會受到高溫的促進，加速消耗碳水化合物，使得乾物質累積速率受限(Long *et al.*, 1991)。光合作用降低使得碳水化合物來源變少，另一方面呼吸作用上升造成碳水化物流失，最後將導致穀粒充實之不佳。

2. 穀粒充實期：前人研究指出：高溫環境將使穀粒充實期提早開始與提早結束，並縮短穀粒充實期(近藤等，2005)，除此之外，也加快了穀粒充實速率(Kobata and Uemuki, 2004)，進而造成穀粒不良影響，諸如稔實率下降(Kobata and Uemuki, 2004)、胴裂率上升(近藤等，2005)、白垩質穀粒增加(森田，2008)等不良後果，最後導致穀粒產量以及品質之低落。
3. 碳水化合物運送與代謝：除了前述之RuBPCase之外，穀粒充實期之高溫環境使莖葉合成之碳水化合物輸送能力下降，累積於莖葉細胞而無法供應穀粒充實之用，穀粒供源缺乏引起粒重低落與白垩質穀粒增加(佐藤與稻葉，1973；小葉田等，2004)。高溫同樣影響澱粉合成酵素，其中以直鏈澱粉合成相關酵素GBSS(granule bound starch synthase)與支鏈澱粉合成相關酵素SSS(soluble starch synthase)最顯著：高溫會降低GBSS活性、促進SSS活性，進而使直鏈澱粉含量下降，支鏈澱粉含量上升(Jiang *et al.*, 2003)。除此之外，Yamakawa等人在2007年之研究藉由DNA microarray，發現相較於對照組之25/20°C，在33/28°C高溫條件下之“日本晴”栽培稻的許多基因受到不同程度之調控：除了前述之GBSS之外，BEIIb之基因表現同樣受到負向調控；另外，分解直鏈澱粉之 α -amylase基因受到正向調控，綜合以上所述，在氣溫上升之情況下，直鏈澱粉以及長鏈支鏈澱粉之含量將顯著降低，此澱粉種類比率的變化，將造成理化性質與食味品質的改變(Zhong *et al.*, 2005；Allahgholipour *et al.*, 2006)。

四、稻米品質要素與高溫之影響：

稻米品質可分為碾米品質、外觀品質、烹調及食味品質四大類。

1. 碾米品質：所謂碾米是指將水份含量約為 13~14%之稻穀，使用脫殼機脫殼之後得到糙米，再以精米機精白之後得到白米。並去除斷裂四分之三以上之碎米粒，得到白米率。影響白米率之因素最主要為品種及收後調製，慎選品種、控制乾燥與儲藏溫度將可提高碾米品質(宋與劉，1996)。
2. 外觀品質：分為糙米外觀與白米外觀二方面。
 - (1) 糙米外觀：可大略分為完整粒、未熟粒、死米與被害粒等四類，未熟粒包括青米粒、基白粒、腹白粒、心白粒、乳白粒及其他未熟粒；死米包括青死米、白死米；被害粒則包括發芽粒、胴裂粒、畸形粒、著色粒等(洪與宋，1990)。研究結果指出：充實期高溫將造成充實期縮短，充實速率加快，使澱粉堆積不密實，進而導致白垩穀粒的增加，即未熟粒的發生；而死米則主要由於過低之溫度所造成(Huang and Lur, 2000)
 - (2) 白米外觀：分為形狀大小與透明度二大類。形狀包括米粒長寬厚；透明度則取決於米粒白垩質之加深與擴大程度，並依照白垩位於米粒的部位而分為所謂心白粒(米粒中央白垩)、腹白粒(米粒腹側白垩)、背白粒(米粒背側白垩)及乳白粒(米粒大部份白垩)(宋，1986)。一般來說，穀粒白垩質會降低外觀品質，意即降低市場接受程度。研究指出：白垩質是穀粒澱粉排列鬆散的現象(Juliano，1985)，主要由於穀粒發育時期澱粉累積速度過快或養份之轉送受阻所致(小葉田等，2004)，並已經有研究結果顯示穀粒充實期遭遇高溫或低溫，皆會導致白垩質的發生(Huang and Lur, 2000)。Tashiro and Wardlaw (1991b)之研究發現：高溫處理下(36/31℃)確實造成白垩質穀粒的增加，且高溫處理之時機亦為重要因素之一，並指出在抽穗後 12~16 日之間為影響乳白粒率與背白粒率之最重要時期，除此之外，他們更進一步對白垩質穀粒進行掃描式電子顯微鏡之觀察，發現高溫情況下穀粒中澱

粉顆粒較小，排列不整齊，澱粉顆粒之間空隙多，造成光線繞射較多，而形成肉眼所見之白垚現象。

3. 烹調與食味品質：決定此項品質之因素較為複雜，主要可歸類為澱粉糊化溫度、直鏈澱粉含量與蛋白質含量。這些性質直接影響米飯經烹煮後之入口食味，即俗稱之「口感」。

(1) 糊化溫度：澱粉顆粒浸水加熱後，開始吸水膨脹而不能回復原來形狀之臨界溫度稱之。一般稻米之糊化溫度為 55~79℃，通常以糊化溫度低之米飯較受米飯主食者之喜愛。

(2) 直鏈澱粉含量：澱粉占白米乾重的 90%以上，因此澱粉之組成與分子構造對米飯品質具有相當大之影響力(Juliano, 1985)。稻米澱粉主要分為二類：直鏈澱粉(amylose)與支鏈澱粉(amylopectin)，其中直鏈澱粉雖名為「直鏈」，近年已有研究指出其同時具有少量支鏈，約 3 至 4 鏈有一小分支，平均鏈長約 250~320(Champagne, 1996)。直鏈澱粉含量或比例常作為判定稻米理化品質之重要指標之一(Champagne, 1996 ; Sowbhagya, 1987)，而會受到氣候環境影響，如氣溫上升將會降低 GBSS 酵素活性，提高 SSS 活性，進而減少穀粒中直鏈澱粉含量或比例，不同氣溫之間差異可達 6%以上(Champagne, 1996 ; Juliano, 1985)。通常直鏈澱粉含量較高之稻米，烹煮時需水量較多，且米飯粗糙、鬆散，黏性較低；低直鏈澱粉者則相反。然而受消費者喜好程度則因地而異，例如日本、台灣等東亞國家較喜愛低直鏈澱粉稻米；而印度、菲律賓等地之消費者則偏好中等直鏈澱粉含量。

(3) 蛋白質含量：穀粒中粗蛋白質有 90%以上是貯存性蛋白質(storage protein)。水稻穀粒貯存性蛋白質依溶解性質分為四種：水溶性蛋白質(albumins)、鹽溶性蛋白質(globulins)、醇溶性蛋白質(prolamins)與酸或鹼溶性蛋白質(glutelins)(Shotwell and Larkins, 1989)。一般認為穀粒胚乳外層蛋白質會使澱粉粒吸水膨脹受到限制，進而延長烹煮時間，導致食味不佳

(Webb, 1985)。此外，Matsue(1995)指出醇溶性蛋白質含量與食味品質成反比。並有研究顯示：高溫或低溫環境皆會造成穀粒貯藏性蛋白質增加，其中醇溶性蛋白質之相對增加量較高(Nagato *et al.*, 1972)，可推測過高或過低之氣溫均會導致食味品質降低。本研究室在 2000 年之研究亦顯示相同結果—醇溶性蛋白質在高溫情況下顯著增加，而屬於稈型稻的台農 67 號之反應又更甚於屬於秈型稻的台中在來 1 號。顯示稈稻品種對於高溫較秈稻更為敏感(林，2000)。

4. 糊化黏度快速測定(Rapid visco analysis)：簡稱為RVA，為近年來許多學者分析稻米品質之指標之一。RVA圖譜之黏度曲線(如圖 1)受到澱粉與蛋白質含量與種類影響，並顯示穀粒本身黏度特性，可間接代表米飯之食味品質：peak viscosity代表穀粒保水能力，peak viscosity越高，穀粒吸水膨脹能力越佳。breakdown表示穀粒黏流性，breakdown越大，米飯烹煮後冷卻之質地較軟。而setback則與直鏈澱粉含量呈正相關(潘，2005；David *et al.*, 2001)。吳(2001)對 30 個日本型稻品種之白米進行RVA分析，結果顯示peak viscosity、breakdown及setback皆與食味總評呈現顯著相關，相關係數分別為 0.35、0.39 及-0.44，也就是peak viscosity和breakdown與白米食味呈正相關，而setback則是負相關。

綜合以上所回顧之前人研究，國內與國際在高溫對於稻米產量、品質方面均有豐富之研究，但大多數之研究較偏向於實驗室、生長箱或溫室進行，鮮少有在田間進行試驗者。然而田間試驗之氣溫環境較接近農民實際栽培所可能遭遇的情況，換句話說，田間研究結果在應用層面更具有價值。因此本研究將實地於田間進行試驗，同時對於氣象資料與產量品質進行分析，驗證是否與前人研究有相同趨勢，並依研究結果給予農民更為可靠之建議。

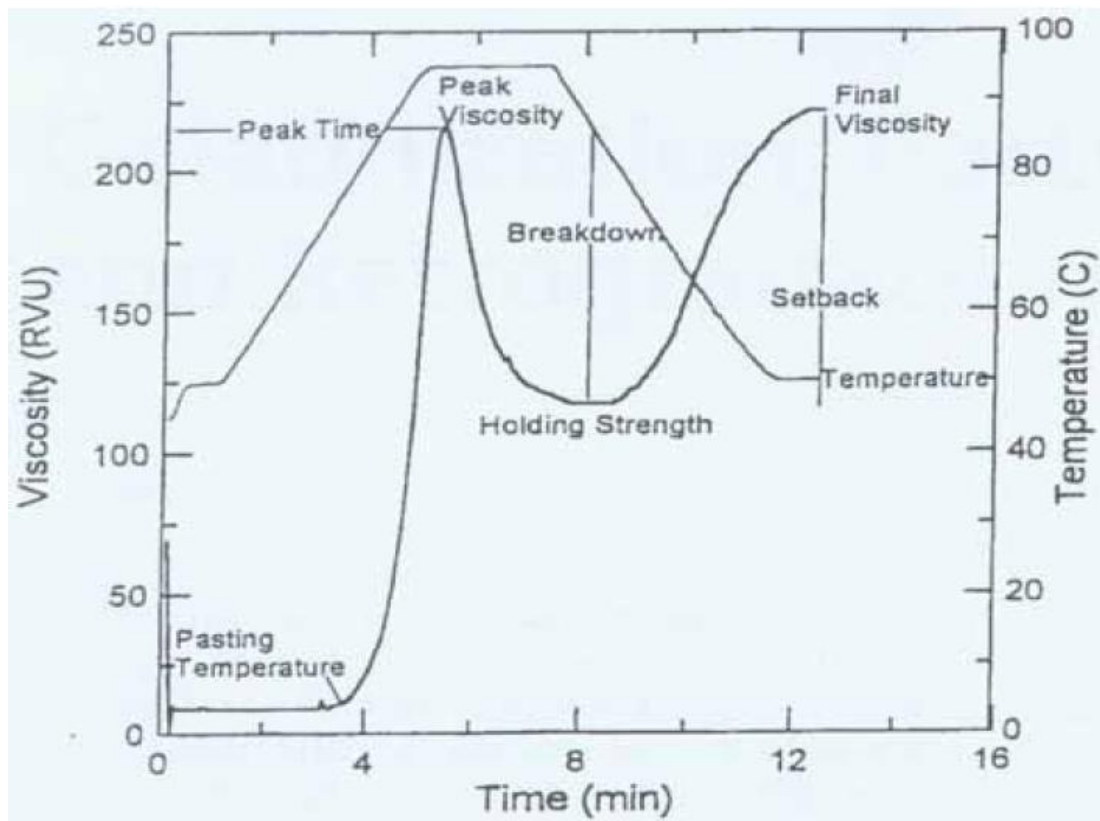


圖 1、糊化黏度曲線圖及各項參數 (David *et al.*, 2001)

1. Peak Viscosity – 糊化黏度曲線第一個高峰
2. Holding Strength – 第一高峰後之最低值
3. Breakdown – Peak Viscosity 與 Holding Strength之間的落差
4. Final Viscosity – 糊化黏度曲線最終值
5. Setback – Holding Strength 與 Final Viscosity之間的差異

參、研究策略

為探討不同氣溫環境下稻米栽培之產量與品質，本研究採用目前台灣良質米推廣品種—台梗 9 號，進行不同栽培期及收集全台灣各稻作栽培區域稻米樣品。於苗栗地區在 2007 與 2008 年分別進行 8 個及 9 個不同栽培時期(包括當地常規一期作與二期作)之試驗；並收集全台灣 7 個農業試驗單位栽培之稻米樣品。首先收集各栽培期與各稻作區域之每日氣溫資訊，包括日平均溫、日最高溫與日最低溫，對照各樣品不同之插秧日、抽穗日與收穫日，計算抽穗前後積溫與均溫條件。接著進行產量、外觀品質與食味品質之分析。產量調查包括單株穗數、稔實率、單株穀粒重，以推測不同條件下之產量構成要素之反應。外觀品質則分別調查糙米與白米之各種穀粒所占比率；食味品質方面則使用食味儀器分析蛋白質含量、直鏈澱粉含量與食味總評分數，並更進一步藉由 RVA 分析(Rapid Visco Analysis)印證食味品質之結果。整合以上之氣候與產量品質資訊，分析最佳之栽培時期之安全溫度環境，作為良質米操作規畫及擬定因應未來氣候變遷之稻作生產技術之依據。

肆、材料與方法

一、參試品種：台梗9號為目前最常用之良質米對照品種，經與各區域改良場研商，決定用此品種進行以下之試驗。

二、試驗地點：1. 苗栗區農業改良場試驗農田，田區方正空曠，附近 100 公尺內無山坡。

2. 各區域改良場(桃園場、苗栗場、台中場、台南場、台東場、農業試驗所本所、嘉義分所計七栽培地點)於常規二期作栽培。

三、試驗方法：1. 苗栗區農業改良場之周年栽培：

苗栗區農業改良場之試驗於 2007 及 2008 年進行周年栽培，於常規正期作(包括一期作與二期作)提前或延後之不同栽培期，各栽培期間隔 10 至 20 日不等，2007 年分別為 3/8、3/27、4/2、4/12、4/30、6/15、8/2、8/21 插秧等 8 個栽培期，2008 年則分別是 2/28、3/7、3/18、3/28、4/7、4/17、5/7、7/19、8/7 等 9 個栽培期。各栽培期種植於同一田區，每一栽培期面積為 4 m * 15 m，並依南北向分隔三重複。插秧前 20 至 30 日準備種子與育苗，同時在田區進行整地。插秧前 3 天完成施用基肥(台肥 39 號 400 kg/ha—氮：磷：鉀 = 2：3：2)、除草劑與福壽螺防治(苦茶粕 50~100 kg/ha)後，進行插秧(單本植，行株距 30 cm * 15 cm)及湛水。追肥分為第一次(硫酸銨 200 kg/ha)及第二次(硫酸銨 100 kg/ha)，分別於插秧後 20 天與 40 天施加。約於插秧後 20 至 30 天(視分蘖情況而定)，排水晒田。大約在插秧後 60~70 天，幼穗分化期時施加穗肥(硫酸銨 100 kg/ha)。抽穗期保存田水，齊穗後五天輪灌一次。至稻穗基部僅 2~3 青粒進行收穫。每一重複收穫 18 株進行產量與品質調查。

2. 收集各稻作區域稻米樣品：

與桃園、苗栗、台中、台南、台東等五農業改良場及農業試驗所、農業試驗所嘉義分所於 2007 年常規二期作栽培，每地區各依三區集收穫適量樣品，進行品質調查分析。

四、測量項目：1. 氣象資料：由中央氣象局收集苗栗農改場與各區域改良場之每日日均溫、日最高溫與日最低溫。經過計算可得各樣本各生育時期之積溫及超過良質米栽培臨界溫度—日均溫 26°C (近藤等，2005)之累進積溫。將插秧後14日至幼穗分化為止之期間定為分蘖期，換算分蘖期之平均氣溫。並觀測單株50%穗抽出日，定為抽穗日，換算抽穗後積溫以及穀粒充實期(抽穗後15日內)之積溫。

2. 產量調查：收穫後先以手工脫粒，自然風乾至穀粒水份含量13.5~14.5%，秤取穗重與稈重以計算單位面積產量與收穫指數。依行株距得 22.2 株為 1 平方公尺，22.2 株總產量為單位面積產量。收穫指數則依照“穗重/(穗重+稈重)”方式計算。完成之後穀粒以風選機調至適當風速風選後測量稈實粒數與不稈粒數，以計算稈實率： $\text{稈實率} = \text{稈實粒數} / (\text{稈實粒數} + \text{不稈粒數})$ 。

3. 品質調查：

(1) 外觀品質：風選過之稈實粒經脫殼機脫殼之後，使用米質判別機 Single-grain Rice Inspector (RN-600, Kett, Japan)依照粒數比例得到千粒糙米之完整米率、未熟米率及死米率。精白後(精白程度 85%)，使用相同米質判別機依粒數比例得到千粒白米之正常粒率、粉狀質粒率及碎粒率。

(2) 食味品質：風選過之稈實粒經脫殼機脫殼之後，使用食味分析計(PS-500, Fujiwara, Japan)得到糙米之蛋白質含量、直鏈澱粉

含量與食味分數。精白後(精白程度 85%)，使用相同食味計得到白米之蛋白質含量、直鏈澱粉含量與食味分數。

(3) 糊化黏度快速測定：取前述精白米，秤取 3 g 乾重於 RVA 量筒中，加入 25 ml 的蒸餾水，置入經校正後之 RVA 測定器中(Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific Pty. Ltd, Warriewood, NSW, Australia)，得到糊化數據(peak viscosity、breakdown 與 setback)及曲線。

五、統計分析：產量和品質性狀與溫度條件之相關性，使用二項式模式進行迴歸模式建立，使用統計軟體「R」分析迴歸係數之 P 值，並將各 P 值中小於 0.05 者定為顯著相關，小於 0.01 者定為高度顯著相關，而小於 0.001 者定為極顯著相關。



伍、結果

下述結果說明不同栽培期或不同栽培地點樣本有其不同之氣溫條件，並分析氣溫條件(包括總生育積溫、總生育期超過 26°C 之累進積溫、抽穗後積溫、抽穗後超過 26°C 之累進積溫、抽穗後 15 日內積溫、抽穗後 15 日內超過 26°C 累進積溫)與單株穗數、稔實率、單株穗重、完整米率、未熟米率、死米率、正常粒率、粉狀質粒率、碎粒率、米粉黏度、穀粒蛋白質含量、穀粒直鏈澱粉含量及食味總評分數等產量品質要素之相關性分析。

一、氣溫環境資料：

1. 台灣地區近年溫度環境：收集整理台灣 5 個農業改良場(包括桃園場、苗栗場、台中場、台南場及台東場)記錄之氣象資料，將旬之日均溫表示如圖 2，由圖 2 顯示，台灣地區之日均溫介於一月、二月之 15°C 與七月、八月之 28°C 之間。一期稻作之環境以南部之台南地區較高，桃園苗栗地區較低(五月以前)，二期作之差異則較不明顯。

2. 苗栗地區周年栽培之氣候環境：整理苗栗地區旬均溫資料與周年栽培期，2007 與 2008 年分別表示如圖 3 及圖 4。由圖 3 所示，3/8 插秧與 8/2 插秧分別是當年苗栗地區之常規一期作與二期作，在其中提前或延後插秧，加入了 6 個栽培期，各別遭遇不同之氣溫環境。圖 4 顯示之結果與圖 3 相類似，當年苗栗地區常規一期作與二期作分別是 3/7 插秧與 8/7 插秧，同樣在其中經由插秧日之調整，產生 7 個不同栽培時期，且各自遭遇不同之氣溫環境。

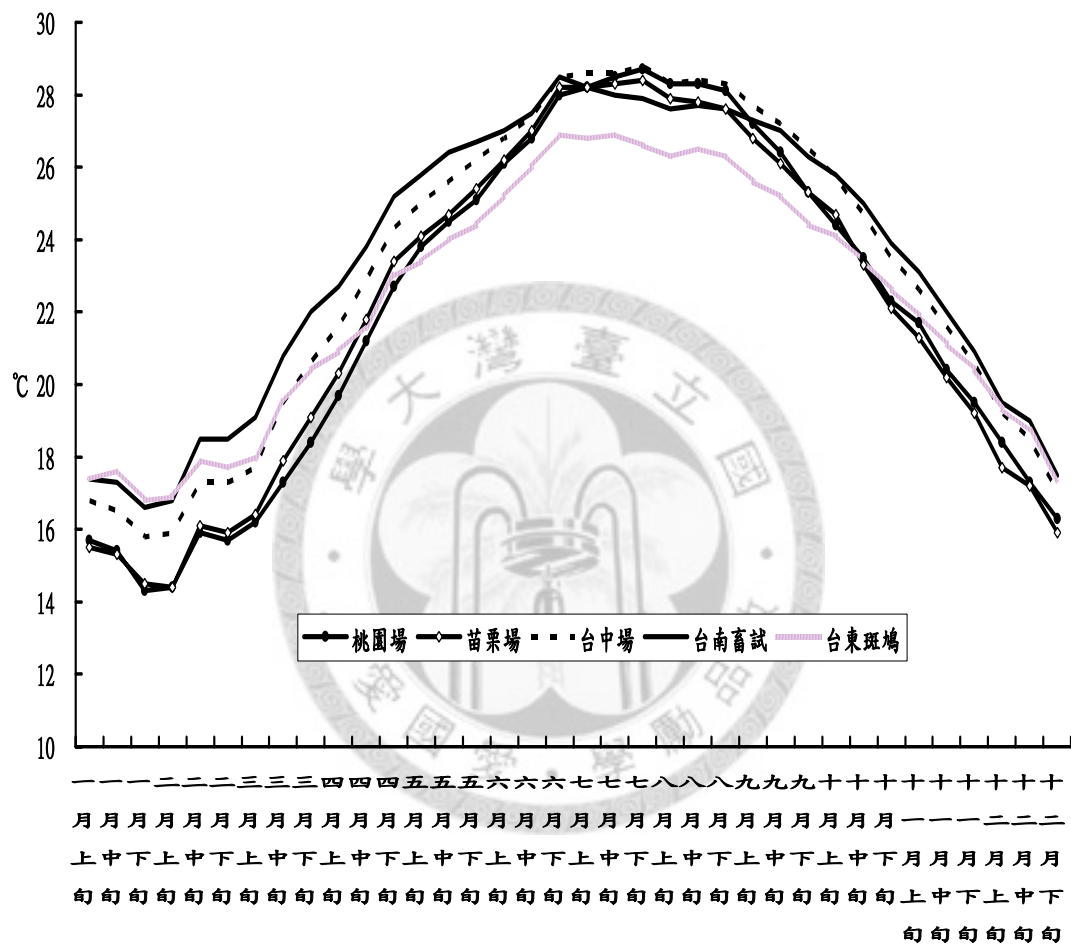


圖 2、1990 至 2008 年台灣地區 5 個稻作生產區之旬均溫年變化圖

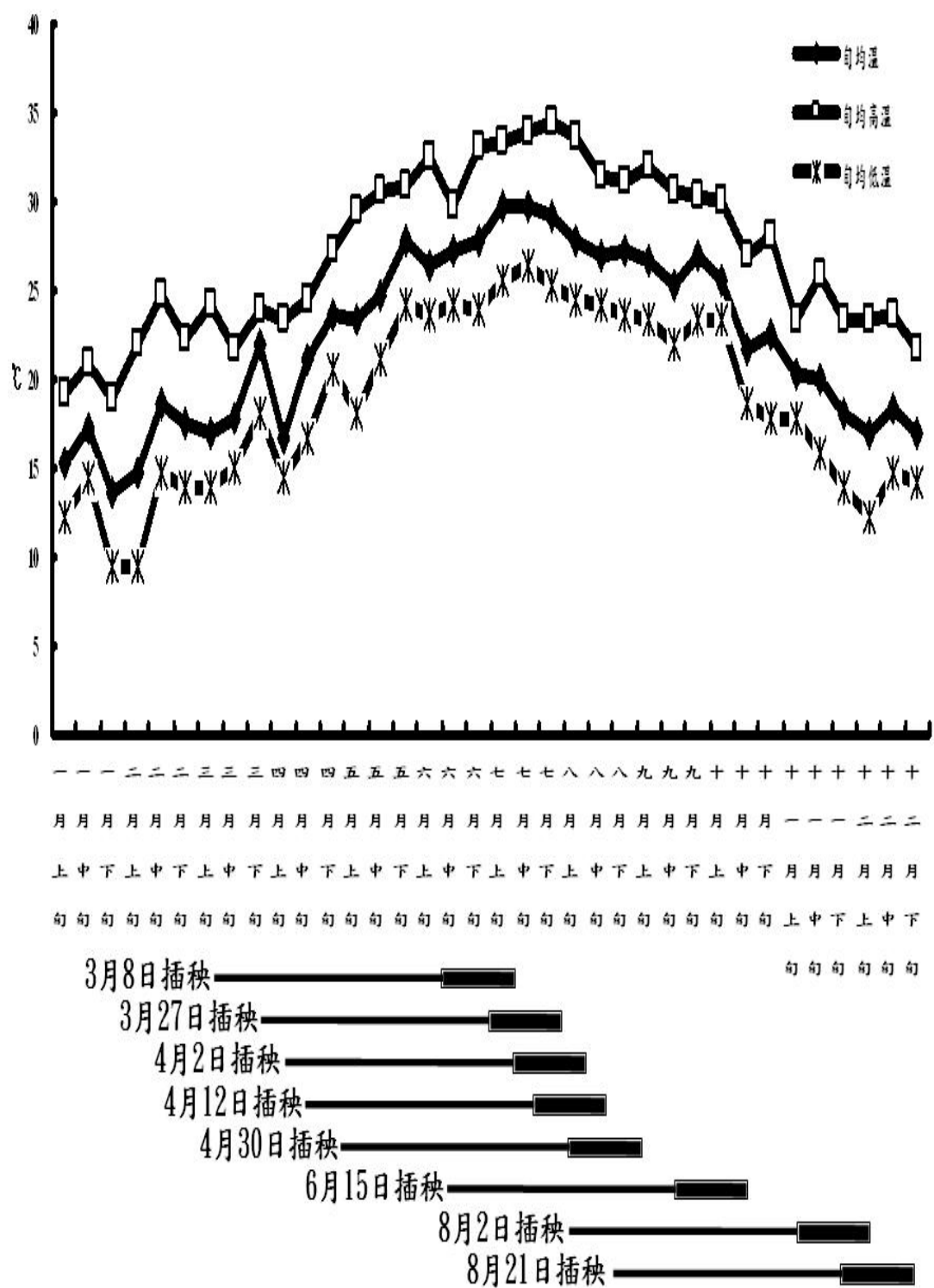
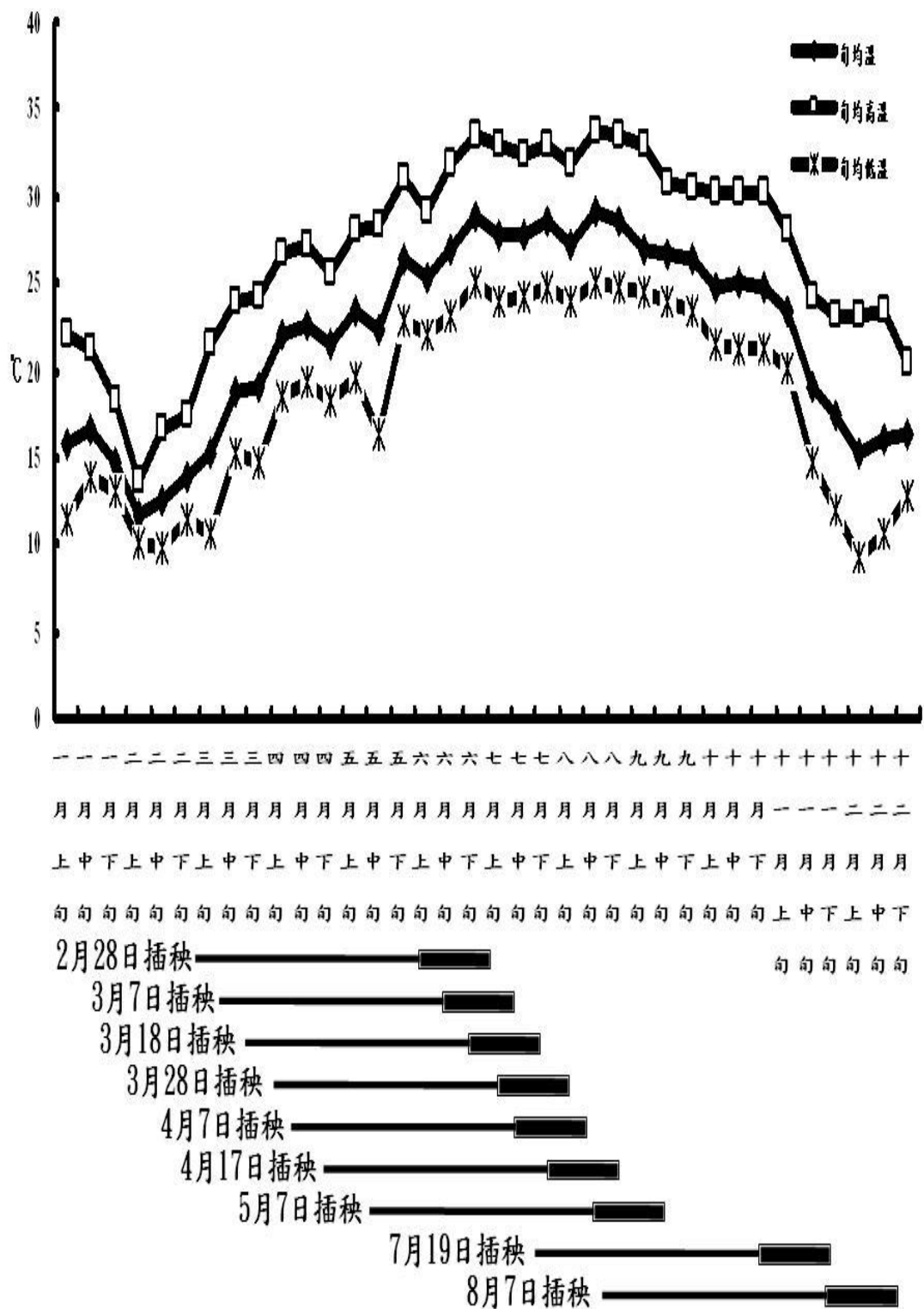


圖 3、2007 年苗栗地區氣溫環境與各栽培期。栽培期前段為抽穗前生長期，後段粗體者為抽穗後生長期。



3. 96年台灣各稻作區域之氣候環境：

除周年栽培設計外，本試驗另收集各區域農試單位之稻米樣品，並整理2007年桃園、苗栗、台中、台南、台東等五農業改良場及農業試驗所、農業試驗所嘉義分所，共計7個農試單位之旬均溫資料分別代表台灣不同稻作生產區。如圖 5所示，7地區以台南場之均溫為最高，最高均溫接近30°C。而以桃園場與苗栗場均溫最低，最低均溫低於15°C。年變化則是以台東場為最小。

4. 周年栽培與各栽培區之氣溫環境分析：

整理上述之日均溫、日最高溫與日最低溫資料，列於表 1。表 1 表示苗栗地區周年栽培計 17 個栽培期與各栽培區域計 7 個農試單位之氣溫環境。分別以總生育期積溫(T)、總生育期超過 26°C 累進積溫(T-26)、抽穗後積溫(H)、抽穗後超過 26°C 累進積溫(H-26)、抽穗後 15 日內平均氣溫(H15-mean)、抽穗後 15 日內超過 26°C 累進積溫(H15-26)、抽穗後平均日最高溫(H-max)及抽穗後平均日最低溫(H-min)。積溫為該期間每日日均溫之總和。超過 26°C 累進積溫則是將每日日均溫減去 26°C 後之總和，未滿 26°C 者以 0 計算之。抽穗後平均日最高溫與日最低溫則是抽穗至收穫期間每日之最高溫或最低溫平均值。總生育期積溫顯示從插秧至收穫之總合氣溫環境，其餘諸如抽穗後、抽穗後 15 日內等分別表示不同時期之氣溫環境。由表 1 顯示：周年栽培及不同栽培地區結果涵蓋了 2607.6~3435.3°C 之總生育期積溫、20.1~29.8°C、23.9~33.8°C 與 15~25.4°C 之抽穗後 15 日內平均氣溫、平均日最高溫與平均日最低溫，顯示周年栽培與各栽培區不同之氣溫環境：

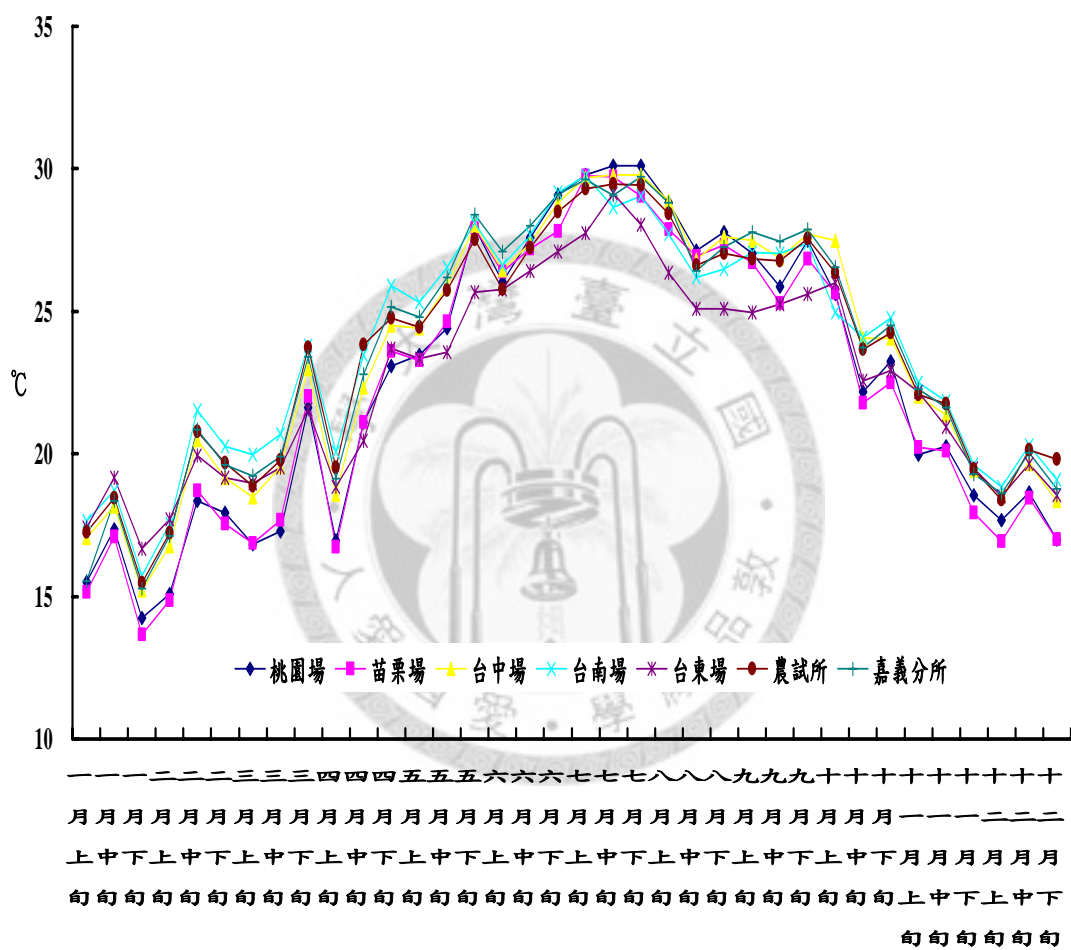


圖 5、2007 年全台灣 7 個稻作栽培區之旬均溫變化圖

表 1、周年栽培與各栽培區之氣溫條件差異（單位℃）。T：總生育期積溫。T-26：總生育期超過 26℃ 累進積溫。H：抽穗後積溫。H-26：抽穗後超過 26℃ 累進積溫。H15-mean：抽穗後 15 日內平均氣溫。H15-26：抽穗後 15 日內超過 26 度累進積溫。H15-Max：抽穗後 15 日內平均單日最高溫。H15-min：抽穗後 15 日內平均單日最低溫。

周年栽培 插秧日	T	T-26	H	H-26	H15-mean	H15-26	H15-max	H15-min
03/08/07	3275.2	141.2	1091.8	104.7	27.6	25.5	32.8	25.1
03/27/07	3077.7	159.8	1154.9	115.8	27.5	22.6	33.3	25.2
04/02/07	3103.5	174.7	1192.3	126.3	28.4	36.4	33.6	25.3
04/12/07	3140.5	189.9	1139.3	125.8	29.5	52.5	33.8	25.4
04/30/07	3275.4	210.2	1266.9	99.2	29.8	56.3	32.9	24.8
06/15/07	3175.4	201.3	1140.8	35.5	27.2	19.1	31.3	23.2
08/02/07	2912.5	65.7	977.8	0	21.7	0	25.4	16.6
08/21/07	2894.5	39.9	1083.6	0	20.1	0	23.9	15.0
02/28/08	3100.3	77.4	946.4	65.6	27.2	21.6	32.7	23.9
03/07/08	3097	83.9	1056.9	72.1	27.2	21.6	32.7	23.9
03/18/08	3126.6	101.3	1169.7	81.5	27.6	27.3	32.7	24.1
03/28/08	3024.7	111.7	1156.1	90.7	28.4	35.9	33.0	24.4
04/07/08	3106.7	125.4	1003.9	68.5	27.8	27	32.6	24.3
04/17/08	3182.2	150.3	1200.1	82.7	27.3	20.8	32.6	24.4
05/07/08	3435.3	202	1315.4	93.7	27.5	22.4	32.9	24.6
07/19/08	3070.9	136.2	1118.2	1.2	24.6	0.3	29.2	21.0
08/07/08	2854.5	95.9	1092.7	0.9	25.1	0.9	27.4	18.4
2007 年二期作 各栽培區域	T	T-26	H	H-26	H15-Mean	H15-26	H15-Max	H15-Min
桃園場	2786.4	95.1	906.2	0	22.3	0	24.4	19.3
苗栗場	2912.5	65.7	977.8	0	21.7	0	25.4	16.6
台中場	2628.3	100.5	661.5	0	23.5	0	27.8	19.5
台南場	2856.4	86.2	907.4	0	24.4	0	29.0	20.6
台東場	2995.9	16.7	1288.9	0.7	22.9	0.7	25.8	18.3
農試所	2607.6	65.6	726.9	0	23.7	0	27.4	18.1
嘉義分所	2864.8	106.2	996.2	0	23.9	0	28.8	19.6

5. 氣象環境與產量及品質性狀之綜合相關分析

並將上述氣溫資訊對產量要素如單株穗數、稔實率、單株穗重、收穫指數，外觀品質要素如糙米完整米率、未熟米率、死米率、白米正常粒率、粉狀質粒率、碎粒率，食味品質要素如蛋白質含量、直鏈澱粉含量、米粉黏度特性、食味總評分數等進行相關性分析，以二項式作迴歸相關之個別 P 值列於表 2。結果顯示：產量性狀方面，單株穗數與分蘗期平均氣溫呈現顯著相關(P 值 < 0.05)(未顯示於表 2)；稔實率與總生育期及抽穗後超過 26°C 累進積溫較有關聯(P 值 < 0.05)；而單株穗重則與抽穗後 15 日內之平均氣溫及平均單日最低溫相關較高(P 值 < 0.05)；收穫指數與氣溫之關聯性則不顯著。外觀品質方面，糙米之完整米率和白米之正常粒率皆與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫有高度顯著相關(P 值 < 0.05)；同樣的，糙米之未熟米率和白米之粉狀質粒率也與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現極顯著相關(P 值 < 0.001)；而糙米之死米率及白米之碎粒率對氣溫之關聯性則較不明顯。

食味品質方面，與食味相關較大之蛋白質含量與直鏈澱粉含量之中，蛋白質含量與氣溫相關性不顯著；而直鏈澱粉含量則與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現極顯著相關(P 值 < 0.001)；同樣的，食味總評分數與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫有高度顯著相關(P 值 < 0.05)。在米粉黏度特性方面，選取與米飯食味相關性高之 peak viscosity、breakdown 與 setback 三項特性進行分析，結果顯示三者亦與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫有極明顯相關性，除 peak viscosity 與抽穗後 15 日內平均氣溫、抽穗後 15 日內平均氣溫相關之 P 值分別僅達 0.05、0.01 顯著水準之外，其餘相關性之 P 值均達到 0.001 顯著水準。

以下則就表 2 中呈現顯著性者進一步分析其間的各別相關趨勢。

表 2、各氣溫條件與產量、外觀品質、食味品質之相關性二項式迴歸分析的 P 值
T：總生育期積溫。T-26：總生育期超過 26°C 累進積溫。H：抽穗後積溫。H-26：抽穗後超過 26°C 累進積溫。H15-mean：抽穗後 15 日內平均氣溫。H15-26：抽穗後 15 日內超過 26 度累進積溫。H15-Max：抽穗後 15 日內平均單日最高溫。H15-min：抽穗後 15 日內平均單日最低溫。*： P 值 < 0.05 。**： P 值 < 0.01 。***： P 值 < 0.001 。

		T	T-26	H	H-26	H15-mean	H15-26	H15-max	H15-min
產 量 性 狀	單株穗數	**	0.152	0.059	0.115	*	*	**	**
	稔實率	0.612	**	0.142	*	0.064	0.062	0.119	0.060
	單株穗重	0.300	**	0.090	0.095	**	**	0.060	*
	收穫指數	0.094	0.648	0.506	0.162	0.268	0.289	0.159	0.246
外 觀 品 質 性 狀	糙 米	完整米率	0.112	0.102	0.268	*	**	**	*
		未熟米率	**	*	0.138	***	***	***	***
		死米率	0.066	0.134	**	0.140	0.059	0.176	*
	白 米	正常粒率	**	0.218	0.386	***	***	***	***
		粉狀質率	*	0.459	0.294	***	***	***	***
		碎粒率	0.155	0.304	0.588	0.079	0.135	0.150	0.186
食 味 品 質 性 狀	糙 米	蛋白質	0.342	0.427	0.09	0.329	0.341	0.384	0.123
		直鏈澱粉	**	0.06	0.07	***	***	***	***
		食味總評	0.186	0.531	0.186	**	**	**	**
	白 米	蛋白質	0.749	0.349	0.436	0.198	0.182	0.181	0.116
		直鏈澱粉	*	0.273	0.148	***	***	***	***
		食味總評	0.393	0.651	0.761	*	*	*	0.065
R V A	Peak viscosity	*	0.058	*	***	*	***	**	***
	Breakdown	*	0.100	0.193	***	***	***	***	***
	Setback	***	**	*	***	***	***	***	***

二、產量性狀與氣溫環境之相關趨勢：

1. 單株穗數：單株穗數會隨分蘗期平均氣溫之上升而呈現減少的情況(如圖 6)。由相關曲線之趨勢顯示在分蘗期平均氣溫在 23℃ 時，單株穗數為最多(約 13 穗)，高於此氣溫之情況，單株穗數將會減少。

2. 稔實率：稔實率與總生育期及抽穗後超過 26℃ 累進積溫呈現顯著負相關(如圖 7)。顯示稔實率在總生育期及抽穗後超過 26℃ 之累進積溫分別在 90℃ 與 70℃ 之下時為最高(高於 70%)，並隨累進積溫之增加而降低，至總生育期及抽穗後超過 26℃ 之累進積溫分別達 190℃ 與 120℃ 以上時稔實率為最低(低於 50%)。

3. 單株穗重：單株穗重與抽穗後 15 日內平均氣溫及平均單日最低溫呈現負相關(如圖 8)。抽穗後 15 日內平均氣溫及平均單日最低溫分別低於 26.5℃ 與 22.5℃ 時，單株穗重為最高(約 26 g/株)，而超過此溫度之後，單株穗重隨氣溫之上升而顯著減少。

三、穀粒外觀品質與氣溫環境之相關趨勢：

1. 糙米外觀品質：圖 9 說明糙米之完整粒率及未熟粒率均與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現顯著相關。其趨勢顯示：完整粒率隨氣溫上升而降低，均溫、最高溫及最低溫分別每上升 1℃ 時，完整粒率將下降約 1.3%。而未熟粒率則與氣溫呈現顯著正相關，均溫、最高溫及最低溫分別每上升 1℃ 時，未熟粒率將增加約 4.5%。

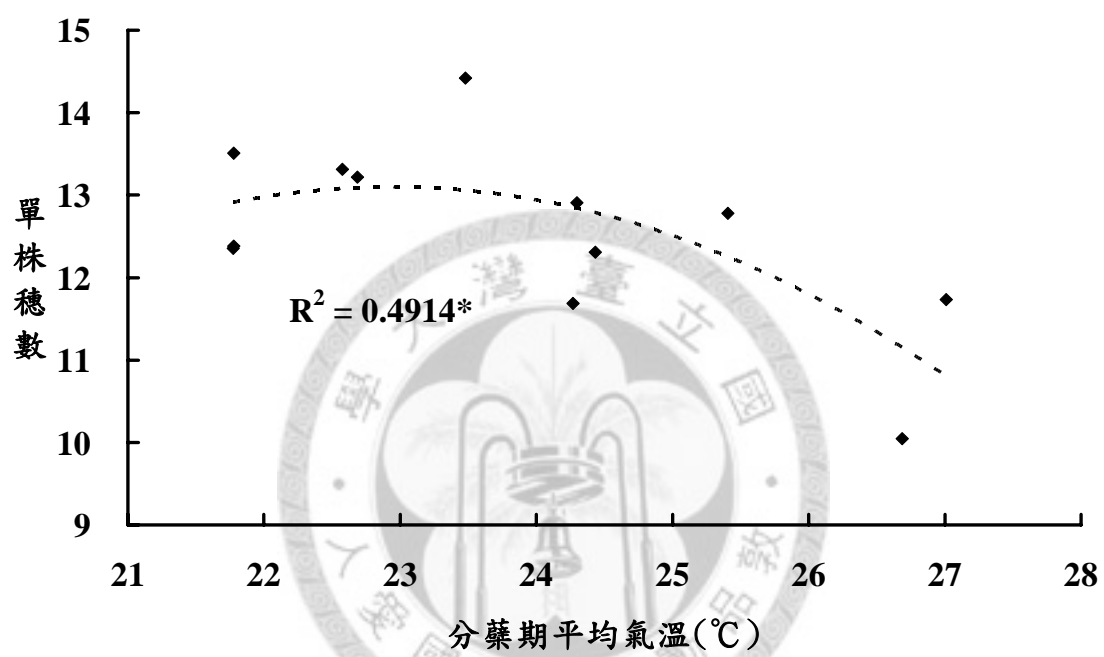
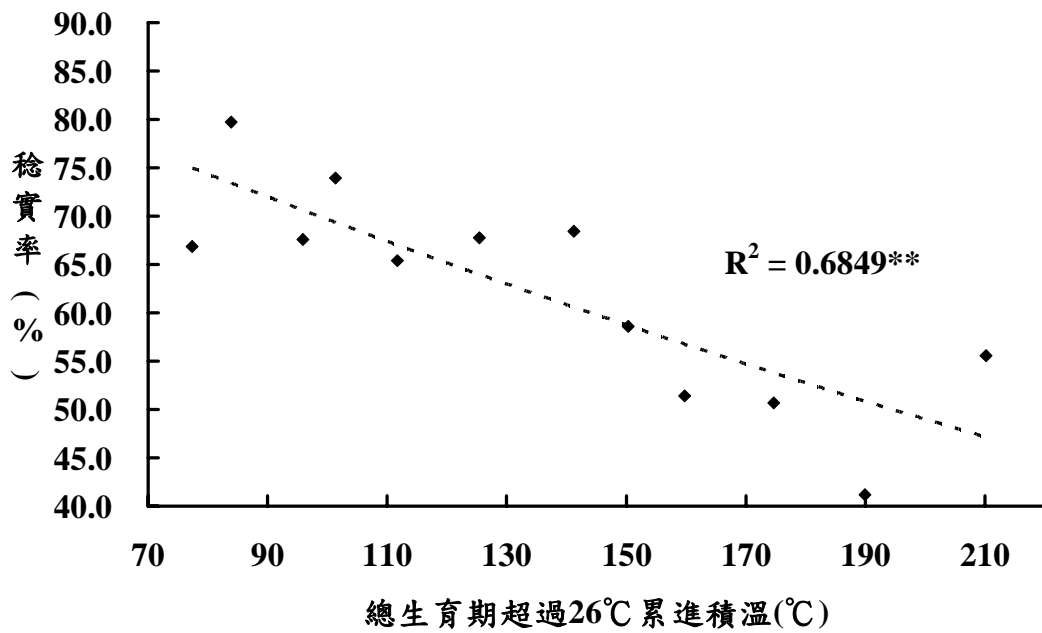


圖 6、單株有效穗數與分藥期平均氣溫之相關性。 $*$ ： P 值 < 0.05 。

(A)



(B)

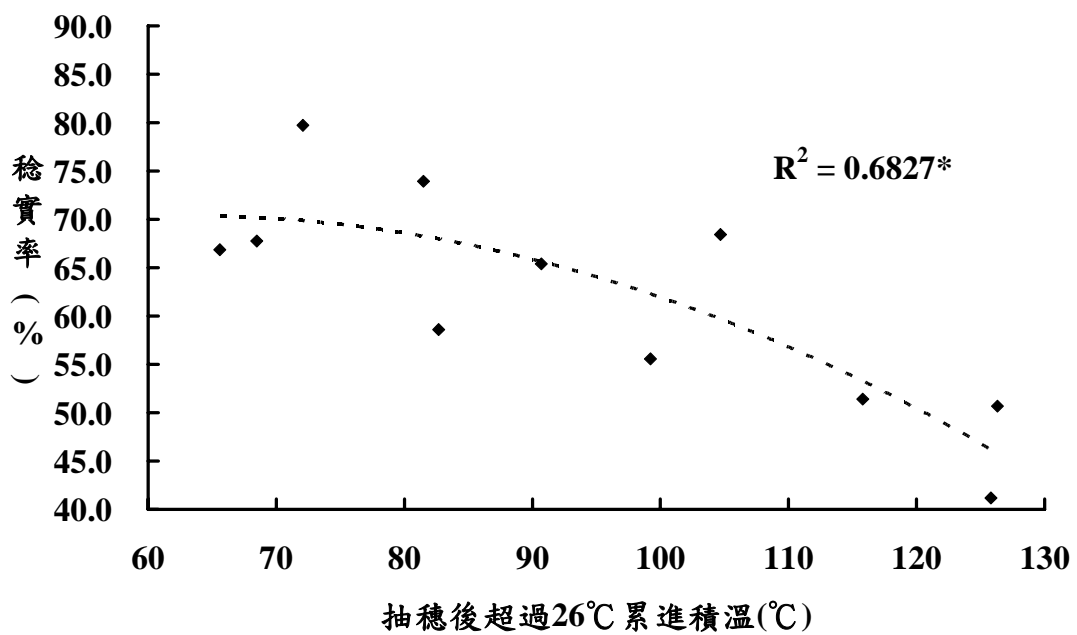
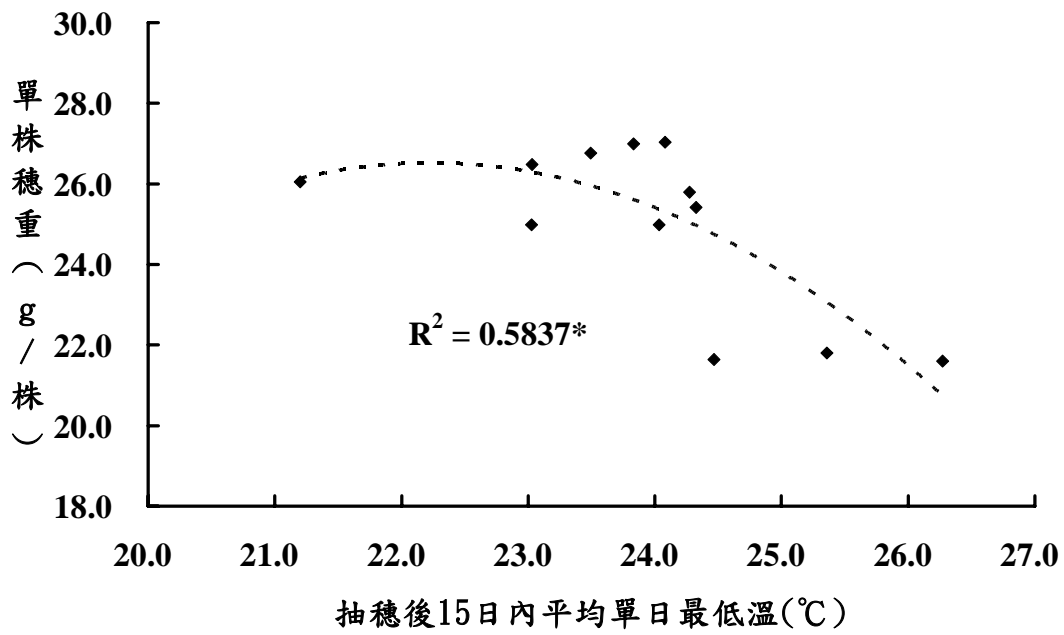


圖 7、稔實率與總生育期(A)及抽穗後超過 26°C 累進積溫(B)之相關性。*：P 值 < 0.05。**：P 值 < 0.01。

(A)



(B)

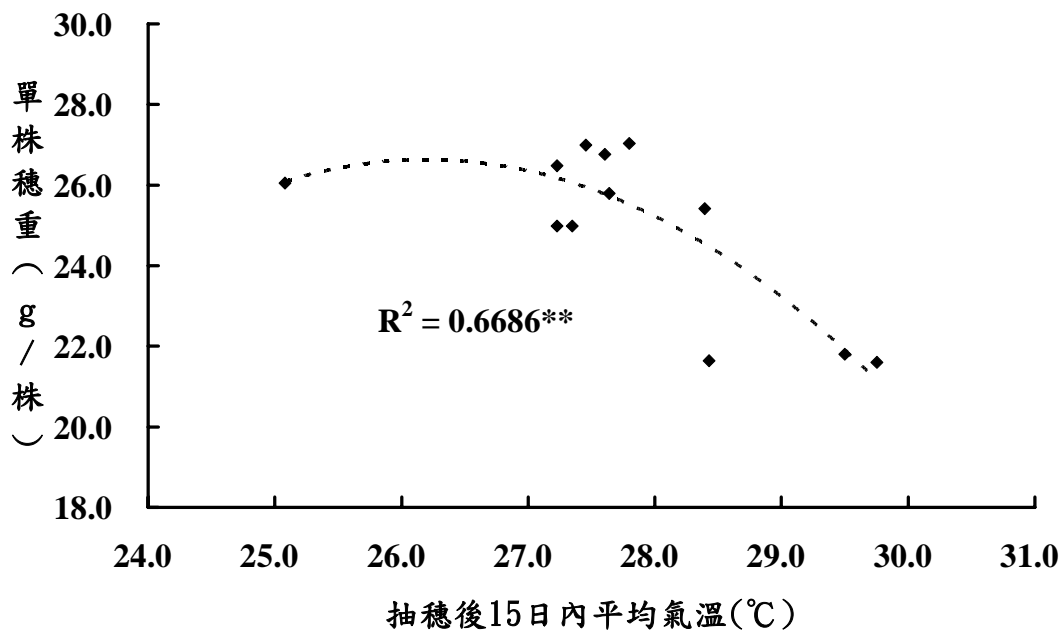


圖 8、單株穗重與抽穗後 15 日內平均單日最低溫(A)及平均氣溫(B)之相關性。

*：P 值 < 0.05。 **：P 值 < 0.01。

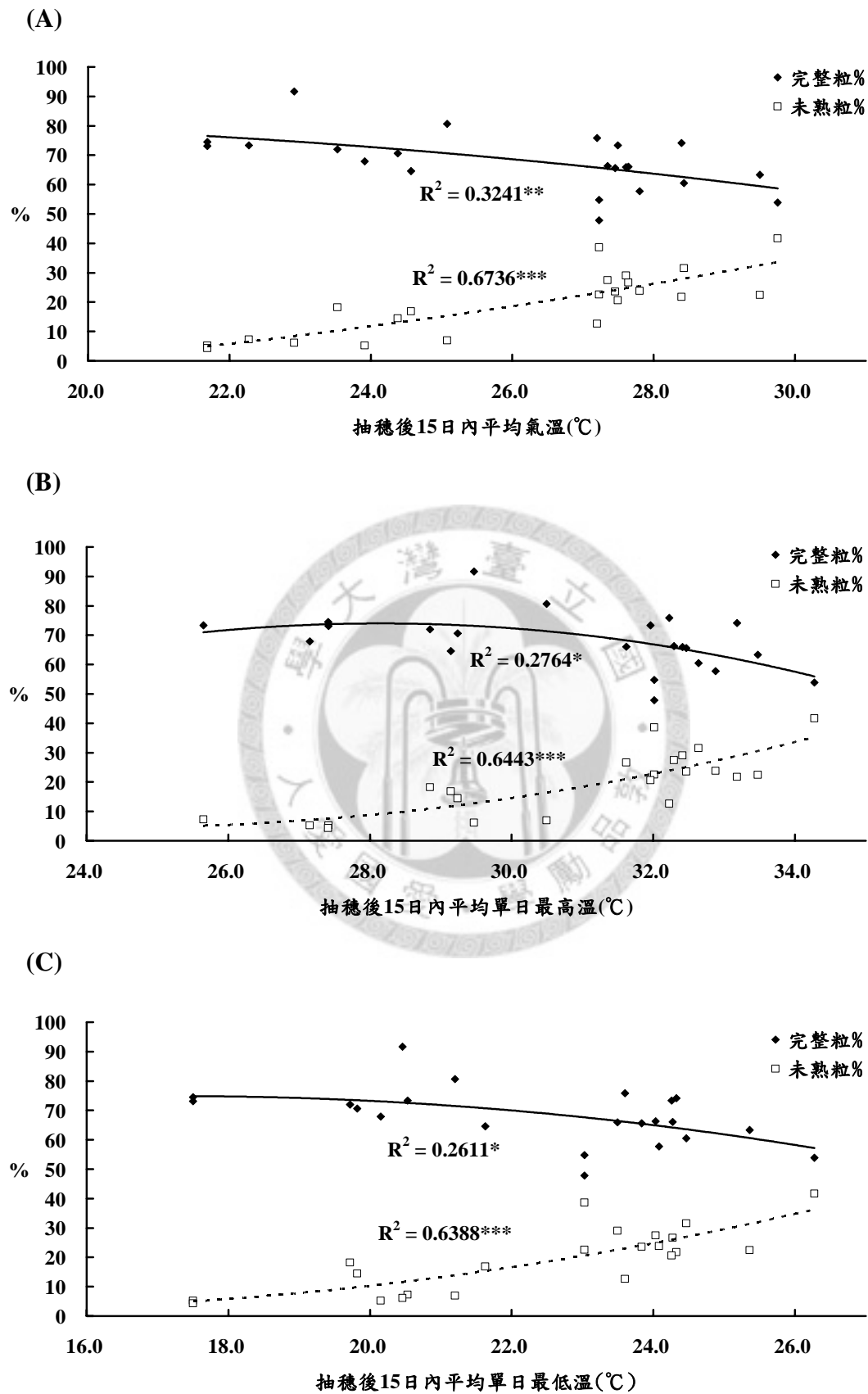


圖 9、糙米外觀品質與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。*：P 值 < 0.05。**：P 值 < 0.01。***：P 值 < 0.001。

2. 白米外觀品質：白米之正常粒率及粉狀質粒率均與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現高度顯著相關(如圖 10)。。正常粒率隨氣溫上升而降低，均溫、最高溫及最低溫分別每上升 1℃ 時，正常粒率將下降約 4%。粉狀質粒率方面，則明顯隨氣溫上升而增加，當均溫、最高溫及最低溫分別每上升 1℃ 時，粉狀質粒率增加約 5%。

四、穀粒食味品質與氣溫環境之相關性：

1. 糙米直鏈澱粉含量與食味總評：糙米之直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現極顯著負相關(如圖 11)，氣溫每上升 1℃ 將使直鏈澱粉含量降低約 0.5%。而糙米食味總評分數則與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現明顯正相關(如圖 12)，氣溫每上升 1℃ 將使食味總評分數增加約 2 分。

2. 白米直鏈澱粉含量與食味總評：與糙米之結果相類似。白米之直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現極顯著負相關(如圖 13)，氣溫每上升 1℃ 將使直鏈澱粉含量降低約 0.5%。而白米食味總評分數則與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現顯著正相關(如圖 14)，氣溫每上升 1℃ 將使食味總評分數增加約 3 分。統整以上資料，分析直鏈澱粉含量與食味總評分數之相關性如圖 15，顯示直鏈澱粉含量與食味總評分數之間存在顯著負相關。

3. 米粉黏度特性：peak viscosity及breakdown均與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現顯著正相關(如圖 16、圖 17)。setback則與抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫呈現極顯著負相關(如圖 18)。而peak viscosity及breakdown同時與食味總評分數存在顯著正相關，與直鏈澱粉含量存在顯著負相關；setback則與食味總評分數存在明顯負相關，與直鏈澱粉含量存在明顯正相關(如圖 19、圖 20)。

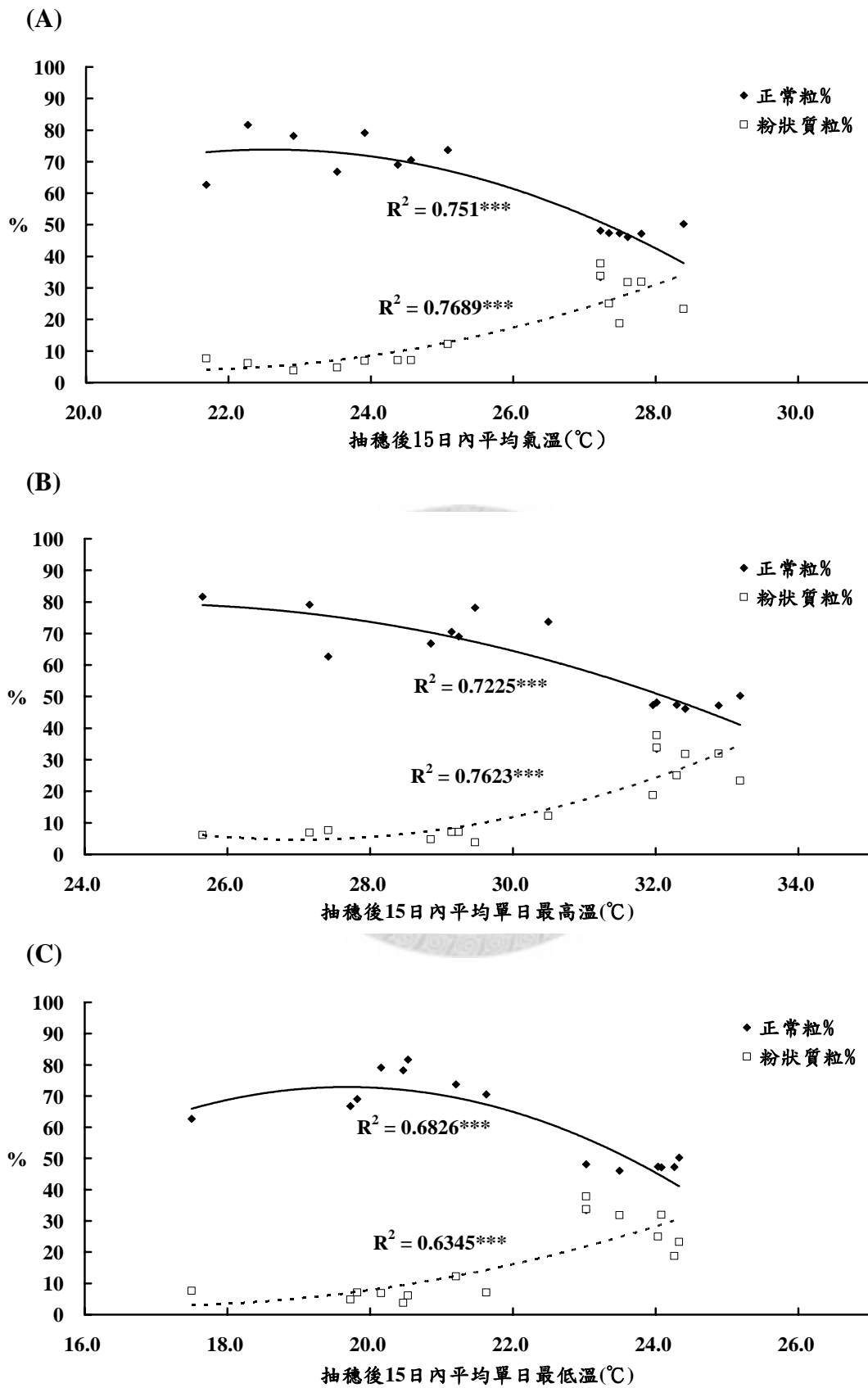


圖 10、白米外觀品質與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。***：P 值 < 0.001。

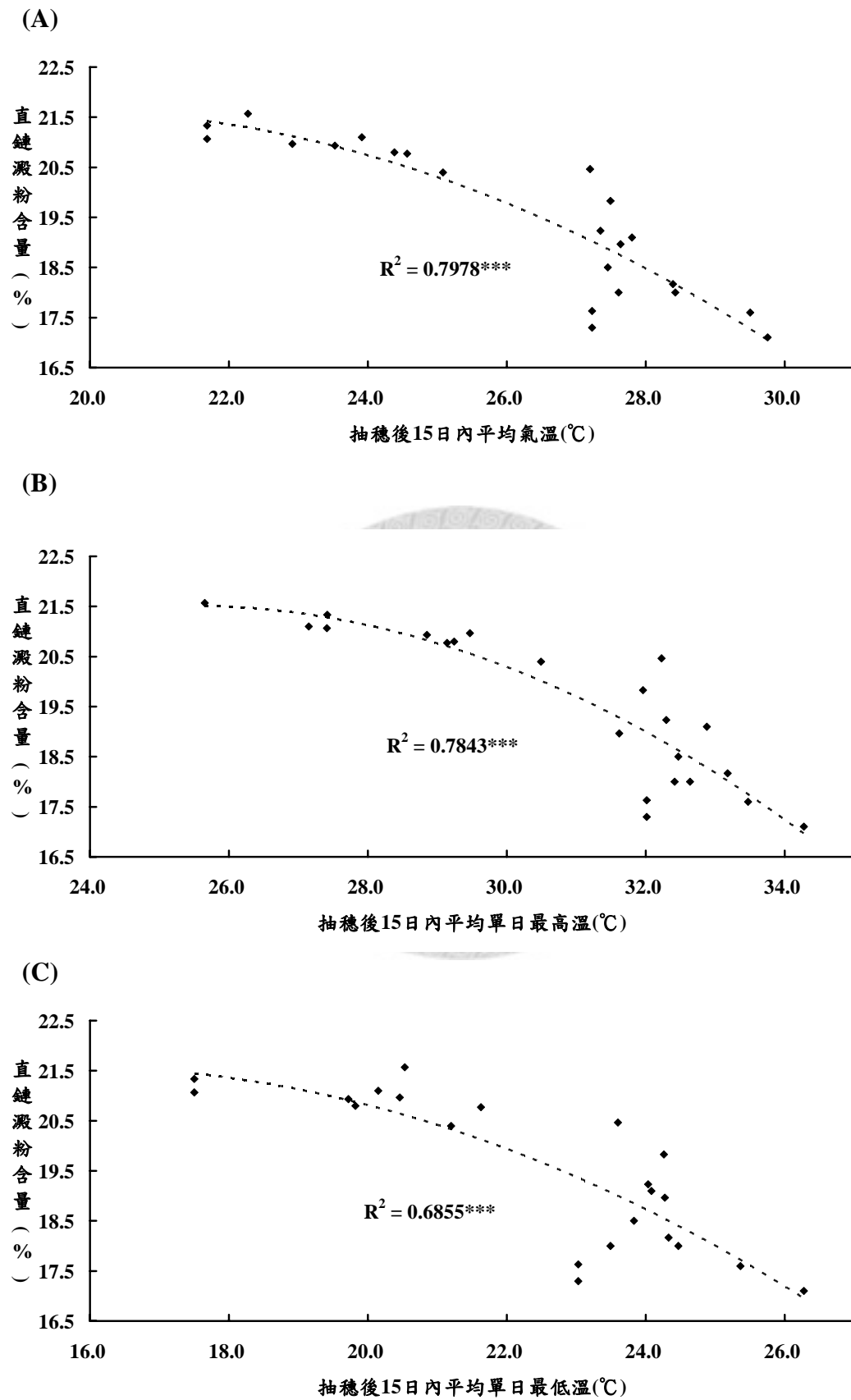


圖 11、糙米直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。***：P 值 < 0.001。

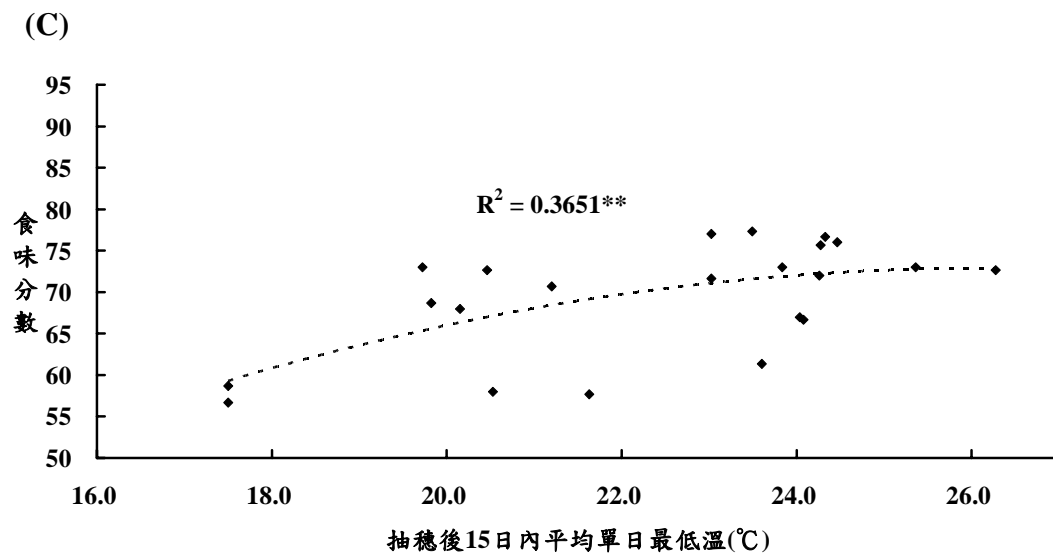
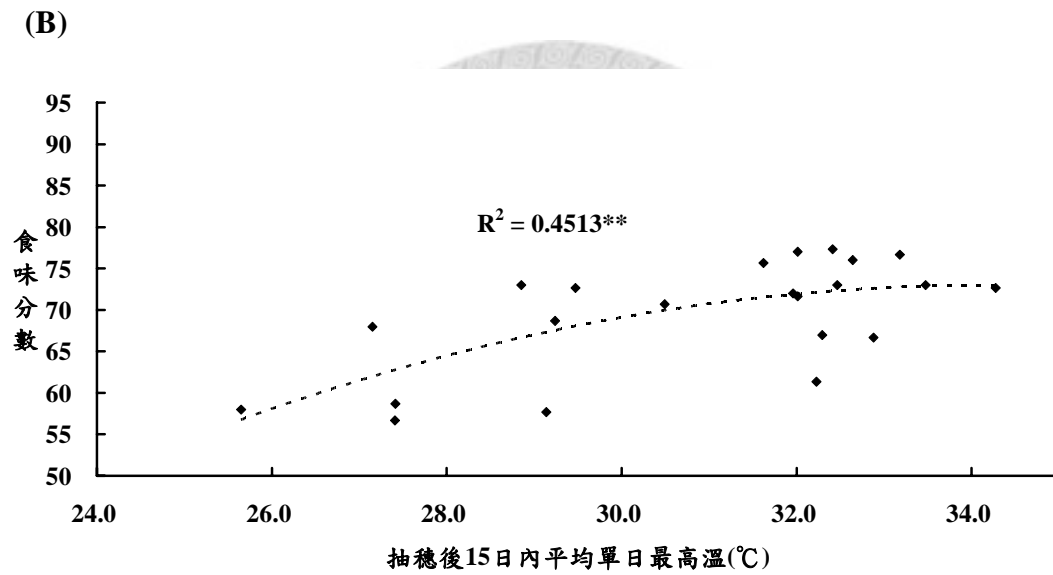
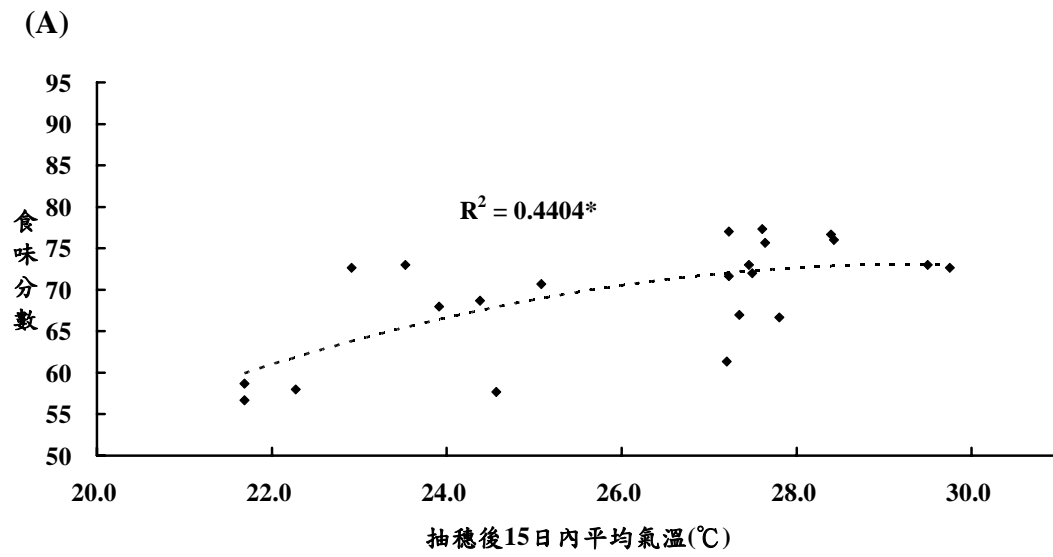


圖 12、糙米食味總評分數與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。*：P 值 < 0.05。**：P 值 < 0.01。

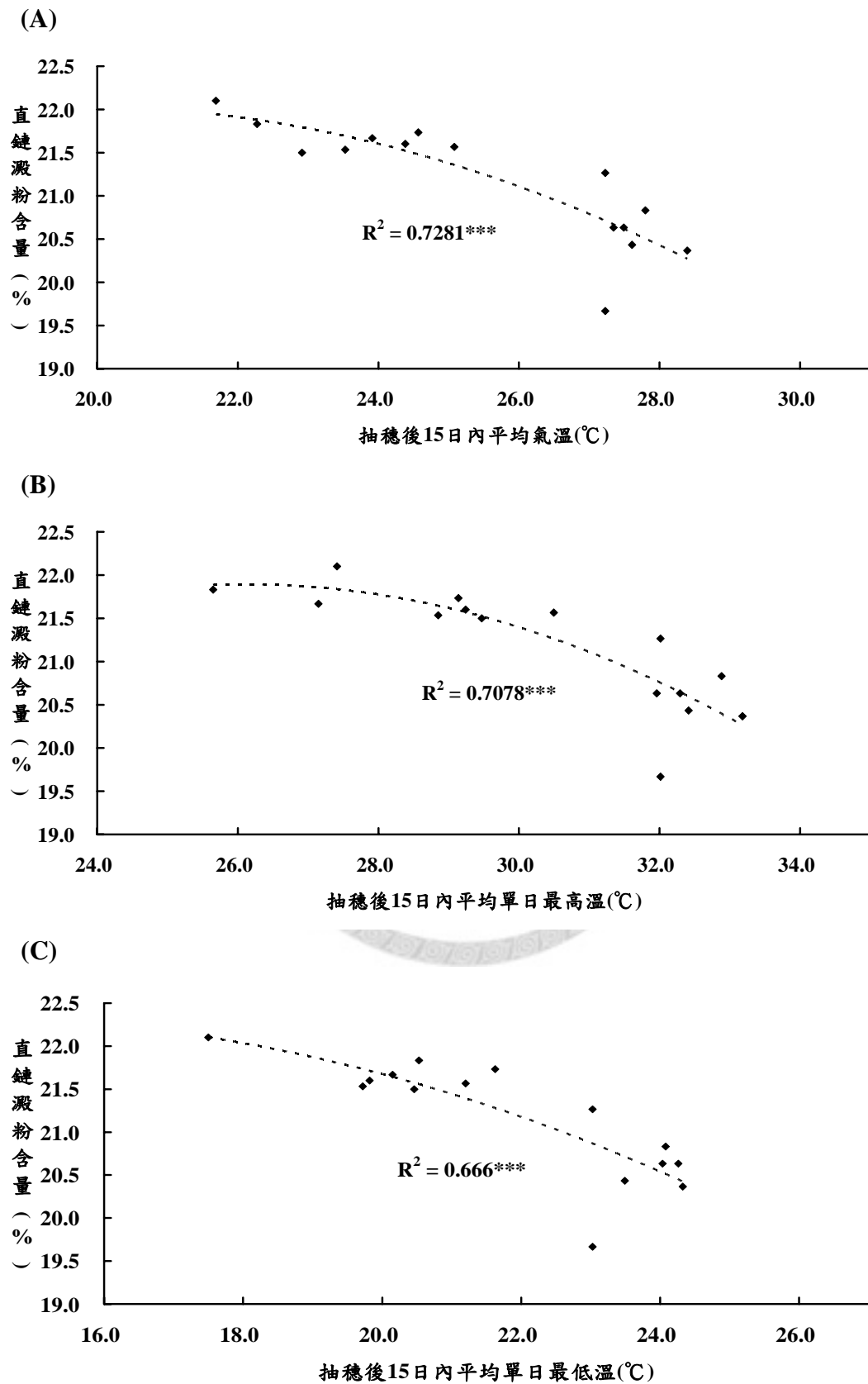
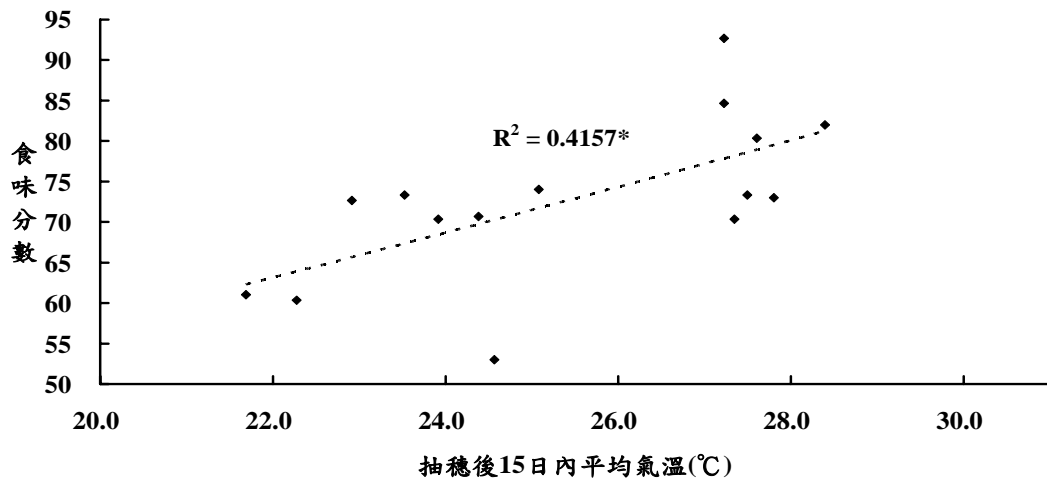
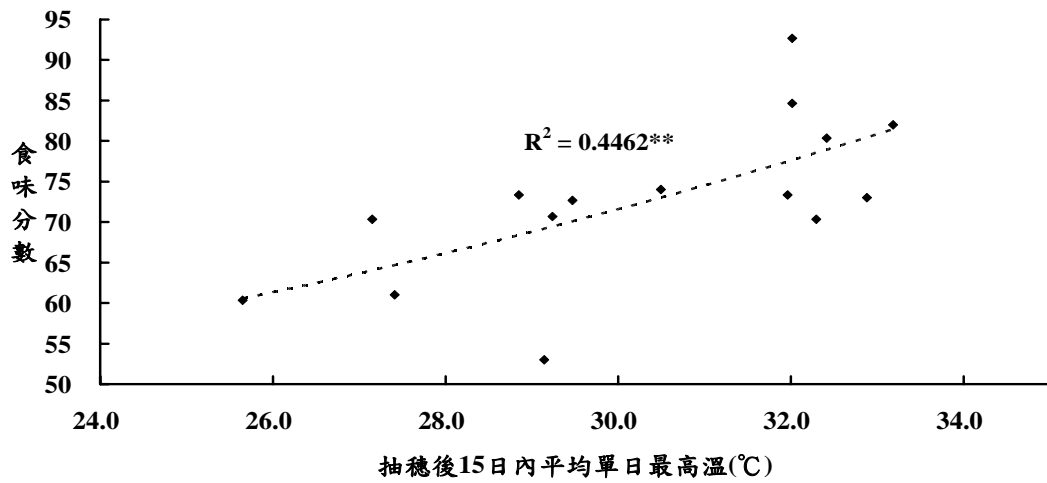


圖 13、白米直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。***：P 值 < 0.001。

(A)



(B)



(C)

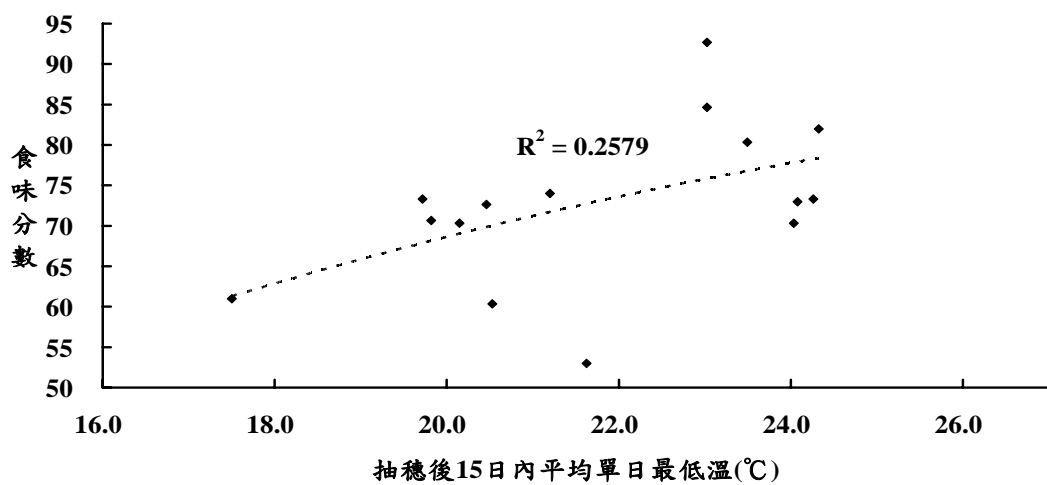


圖 14、白米食味總評分數與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。*：P 值 < 0.05。**：P 值 < 0.01。

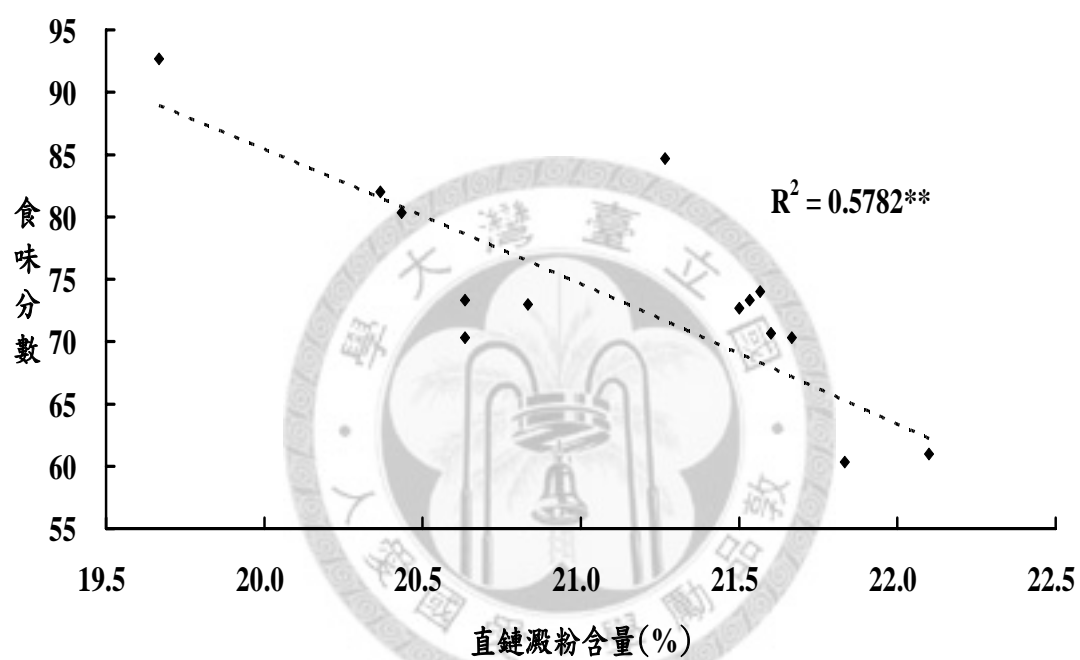
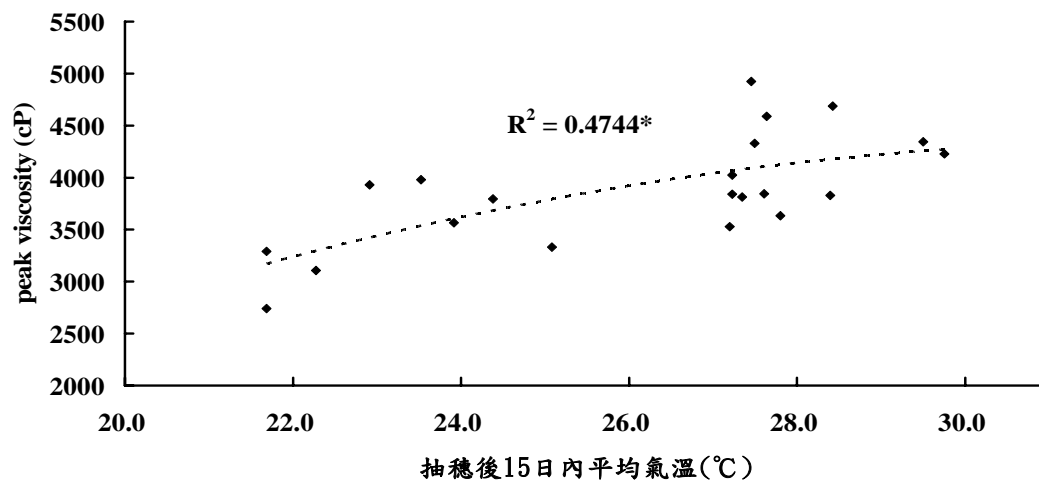
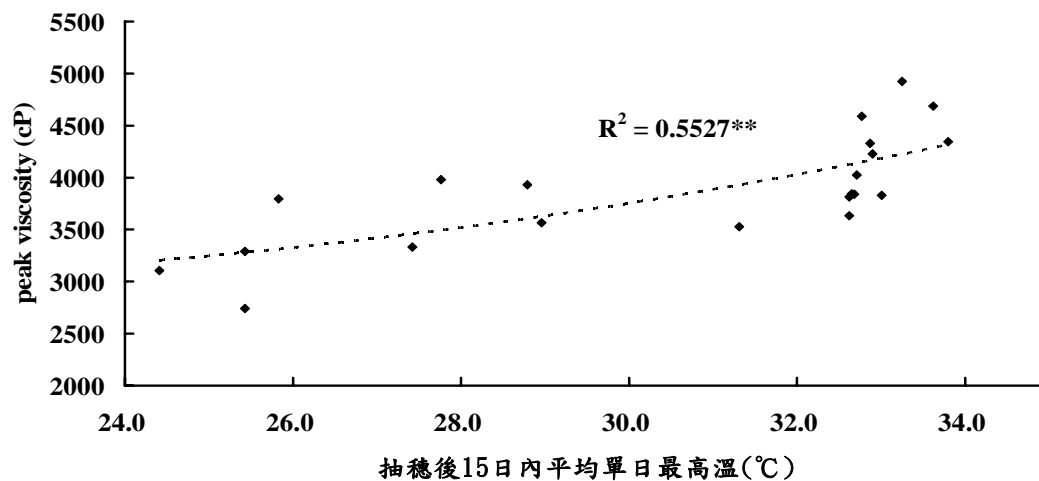


圖 15、白米直鏈澱粉含量與食味總評分數之相關性。 $**$ ： P 值 < 0.01

(A)



(B)



(C)

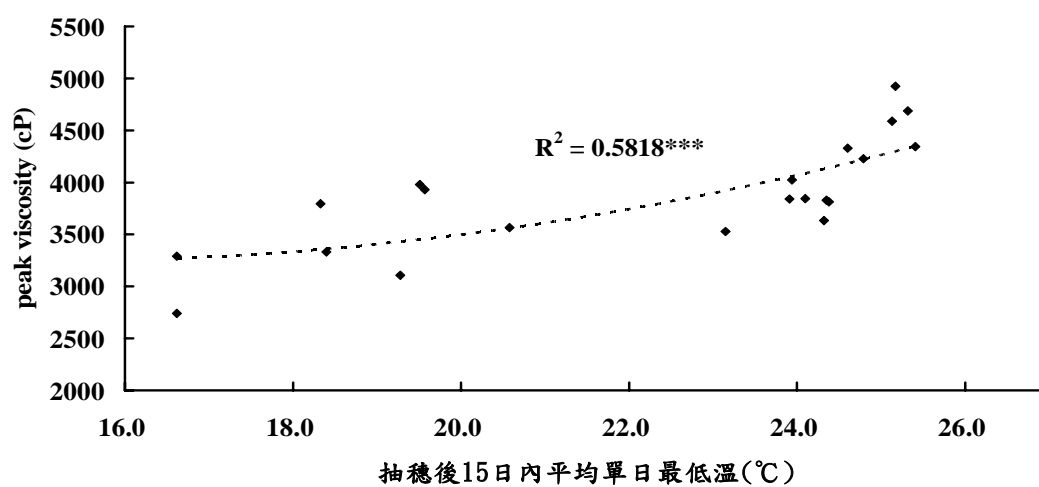


圖 16、Peak viscosity 與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。*：P 值 < 0.05。**：P 值 < 0.01。***：P 值 < 0.001。

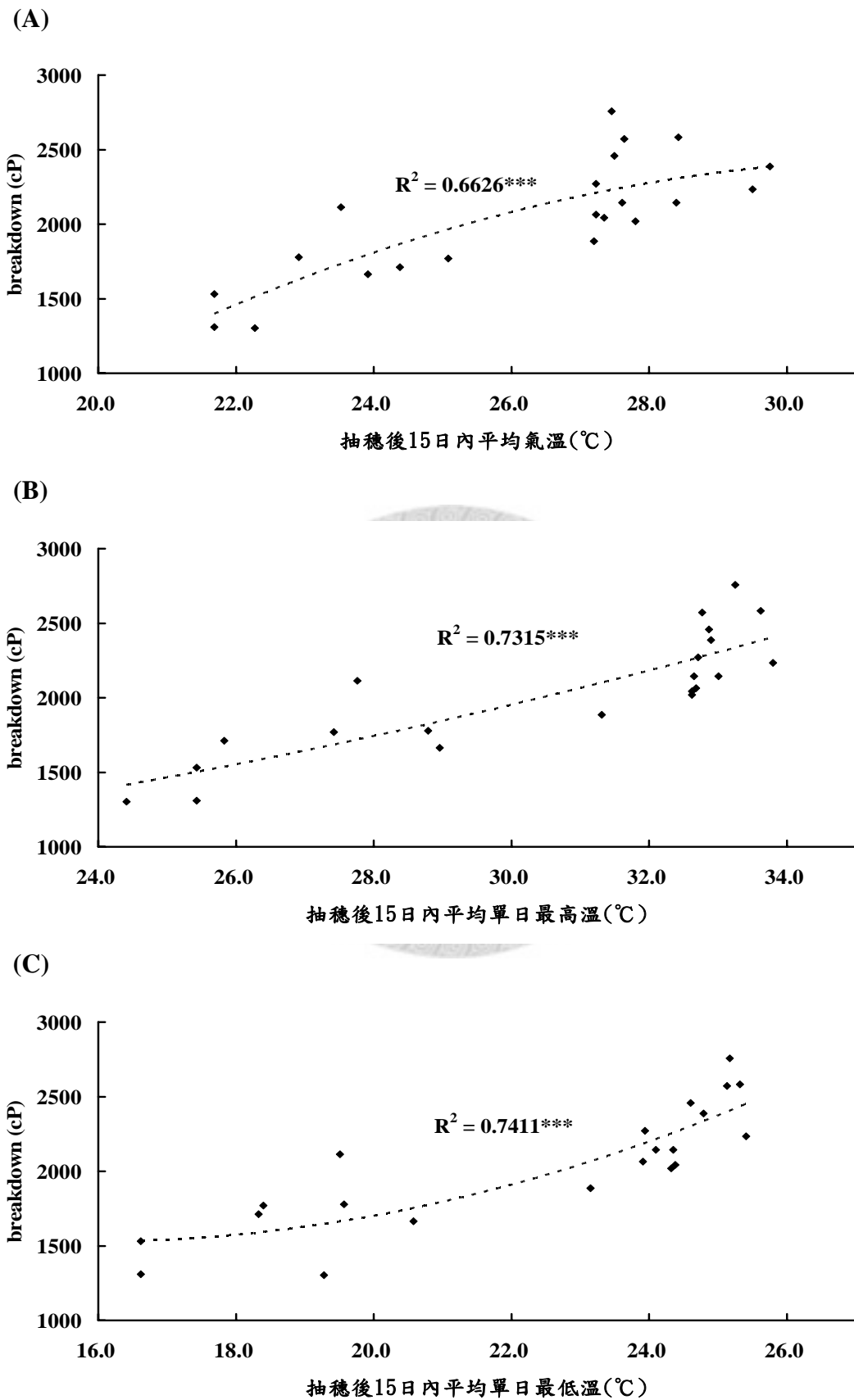


圖 17、Breakdown 與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。***：P 值 < 0.001。

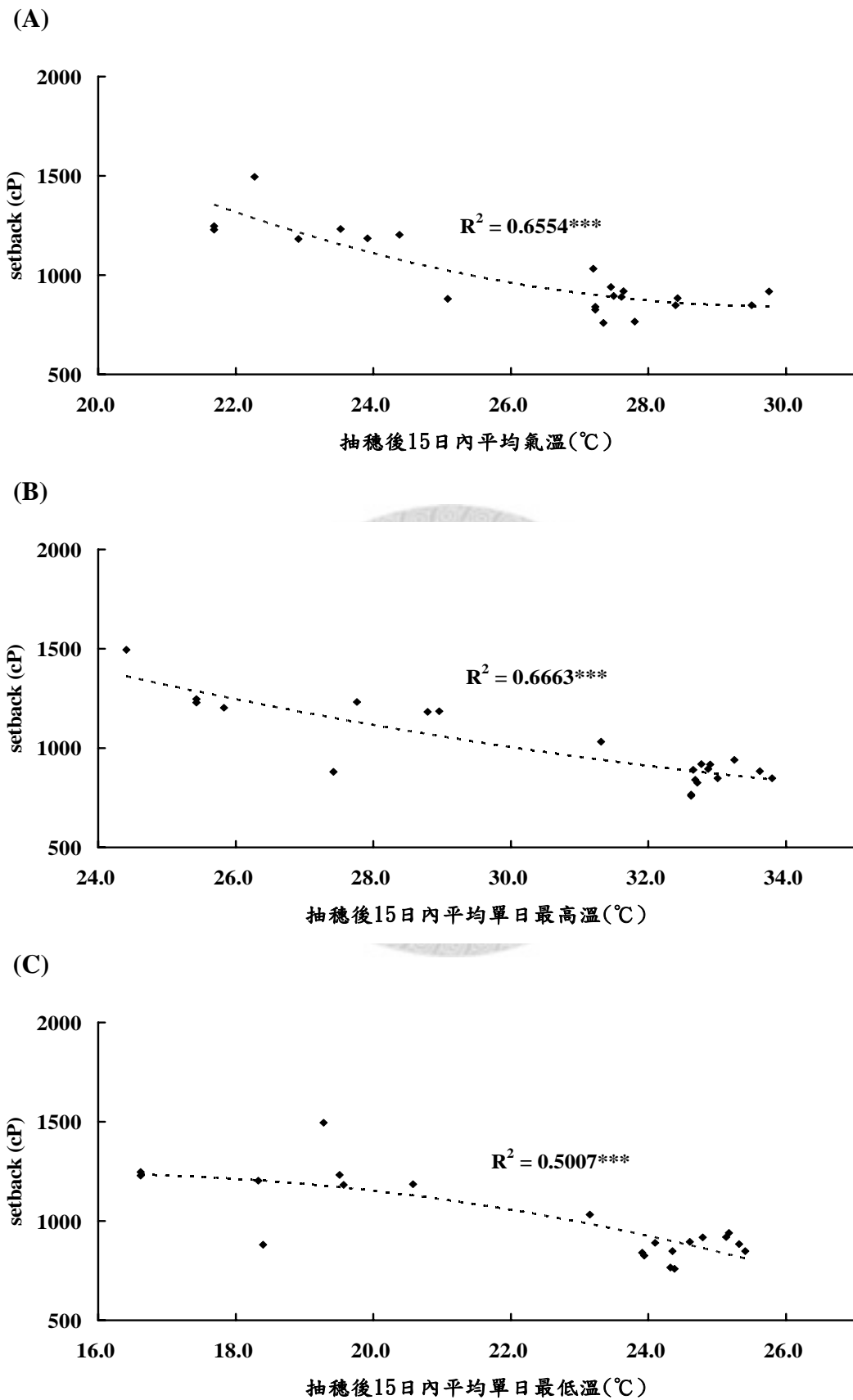


圖 18、Setback 與抽穗後 15 日內平均氣溫(A)、平均單日最高溫(B)及最低溫(C)之相關性。***：P 值 < 0.001。

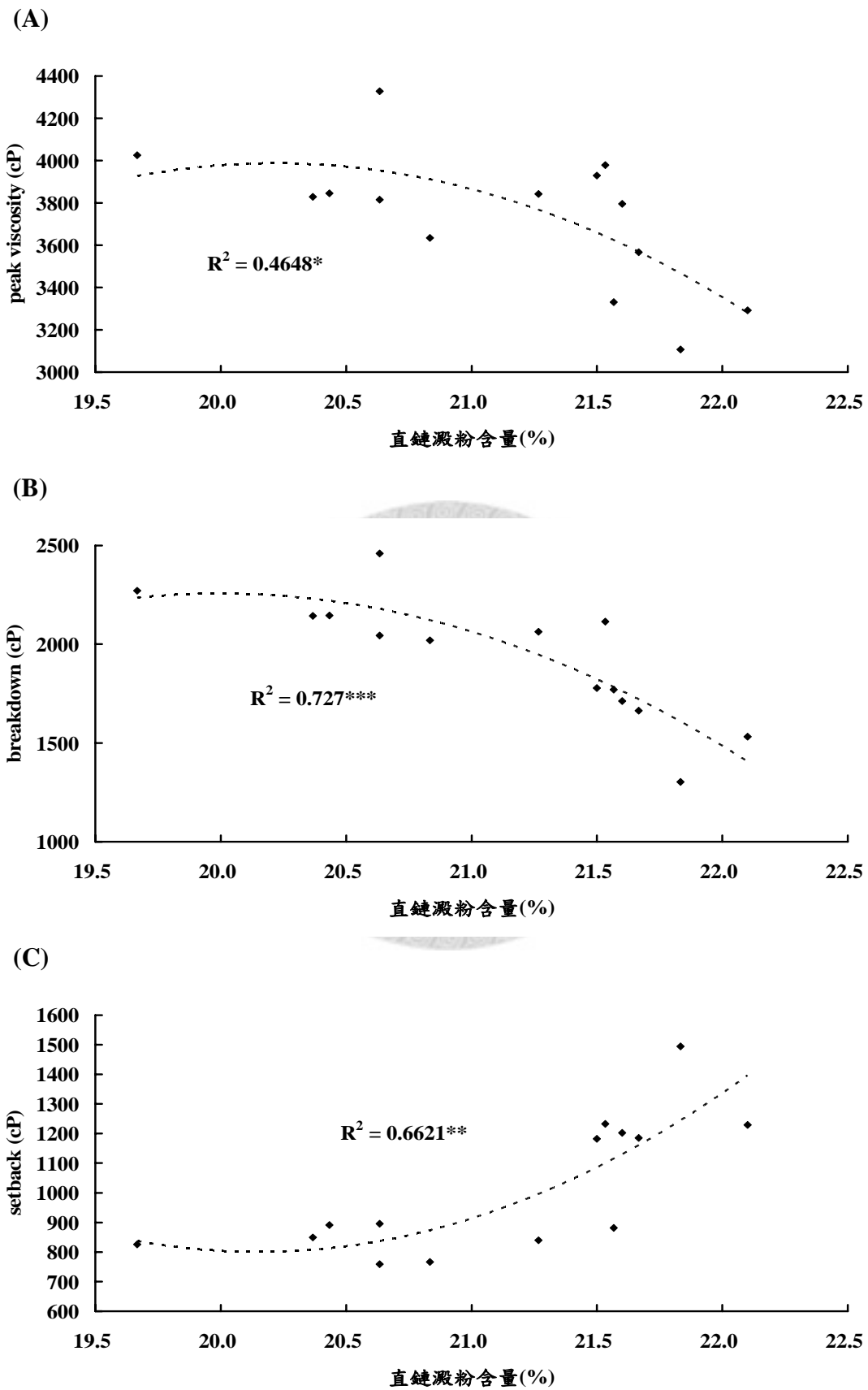


圖 19、直鏈澱粉含量與 peak viscosity(A)、breakdown(B)及 setback(C)之相關性。*： P 值 < 0.05 。**： P 值 < 0.01 。***： P 值 < 0.001 。

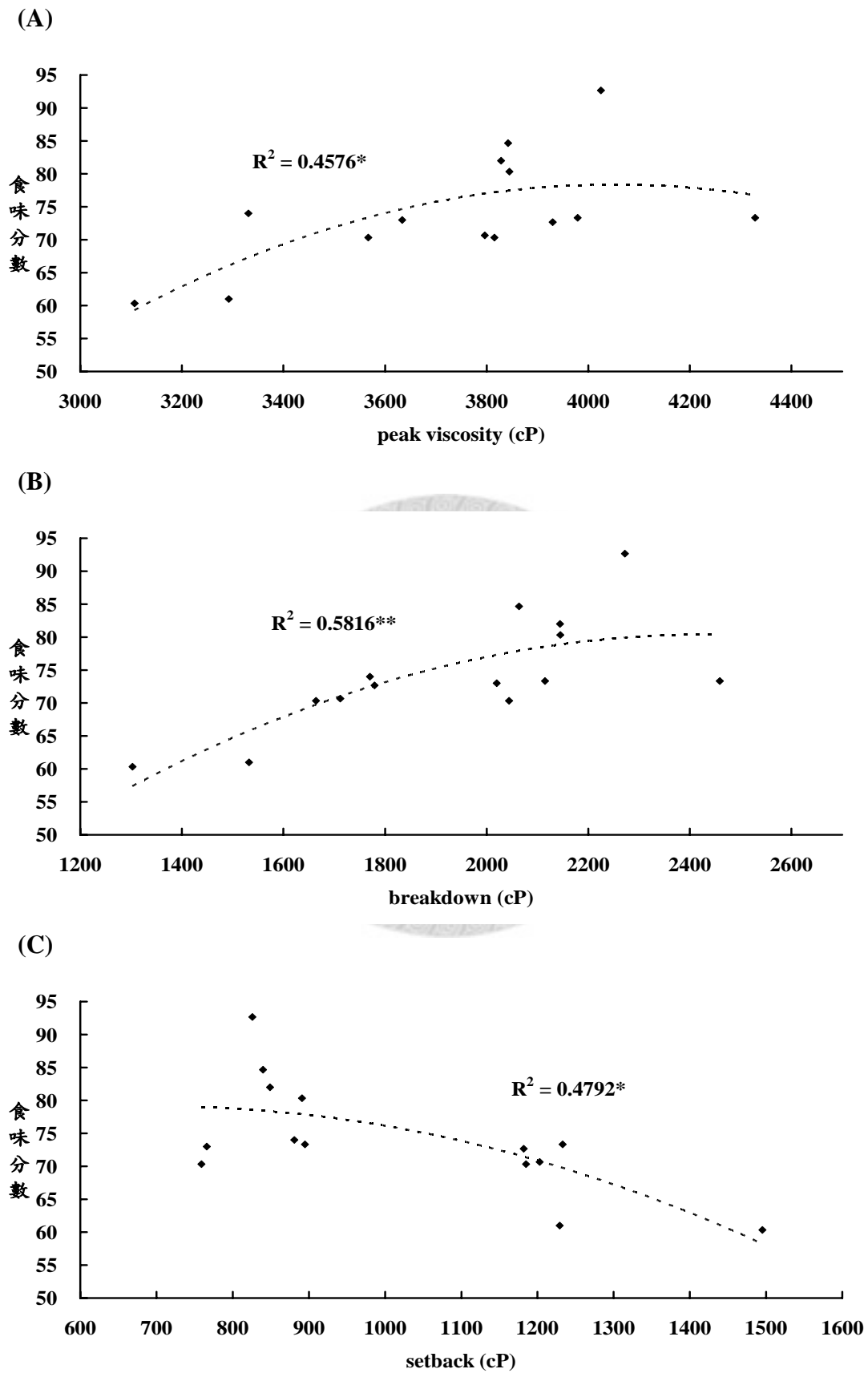


圖 20、食味總評分數與 peak viscosity(A)、breakdown(B)及 setback(C)之相關性。*： P 值 < 0.05 。**： P 值 < 0.01 。

陸、討論

一、苗栗周年栽培之氣溫環境：

1. 一期稻作與二期稻作

台灣之氣溫環境，由一月之低溫開始上升，至七月、八月氣溫最高，而後開始下降，至十二月為最低，再進入隔年的一月。每個月之氣溫環境不盡相同，慣行之一期稻作與二期稻作所遭遇氣溫大不相同(如圖 2)。一期作的生育溫度由低溫逐漸升高，至生殖生長期為生育期之最高氣溫；而二期作則相反，由高溫逐漸下降，至生殖生長期氣溫明顯較一期作為低。由於如此不同的氣溫環境，導致一期作與二期作之產量與品質均有顯著不同。產量方面，以農糧署由 1998 年至 2007 年之產量統計，全台灣近 10 年之一期作平均稻穀產量為每公頃 6224 公噸，二期作為每公頃 4752 公噸，差異約每公頃 1500 公噸。品質方面，以本研究 2007 年與 2008 年於苗栗地區之試驗結果為例：常規一期作(3/8/2007 與 3/7/2008 插秧)之完整米率為 66%與 55%，未熟米率為 27%與 39%；而常規二期作(8/2/2007 與 8/7/2008 插秧)之完整米率為 73%與 81%，未熟米率則為 5%與 7%。顯示二期稻作外觀品質顯著較一期稻作為佳。然而兩年常規一期作之食味分數分別為 76 分與 77 分；常規二期作則分別為 59 分與 70 分，表示一期稻作之食味品質較二期作優良，外觀品質與食味品質似乎呈現不同趨勢。

2. 低溫的阻礙

本研究在 2007 年試圖延後常規二期作栽培期(8/21/2007 插秧)，以期能更進一步提升品質，然而由於穀粒充實期(11 月及 12 月)氣溫過低，平均氣溫僅 15~20°C(如圖 3)，導致青死米率激增至 70%，相對的完整米率遽降至不滿 10%(資料未顯示)，此結果與 Huang and Lur (2000)提出：低於 20/15°C 之日/夜溫將使青死米率顯著上

升結果相符，顯示延後常規二期作栽培期將遭遇寒冷逆境，無法達到提升品質之預期效果。而本研究在 2008 年提前常規一期作栽培期(2/28/2008 插秧)，試圖降低常規一期作穀粒充實期之高溫影響，然而由於插秧後氣溫過低，平均氣溫低於 15°C，如同葉於 2002 年之研究結果：低溫將會抑制植物生長。本批稻株於插秧後一週內生長停滯，株高、葉齡均無生長(資料未顯示)，導致生長期反而與常規一期作同步，無法達到改善常規一期稻作品質之效果。

3. 颱風的阻礙

台灣水稻栽培制度不同於傳統稞稻栽培之溫帶國家(如日本、韓國)，日本、韓國地區一年一期作，而台灣則由於夏季颱風侵襲頻繁，為了躲避夏季颱風危害，每年稻作分為兩期。颱風最主要危害為強風及豪雨，由於水稻栽培較耐湛水，營養生長期之強風與豪雨影響較小，然而若在開花授粉期遭遇颱風，將使穀粒授粉失敗進而導致無法構成產量；若在成熟期遭遇颱風，則重心集中在頂端稻穗之稻株將容易倒伏。本研究於 2007 年苗栗周年栽培中，4/12 插秧、6/15 插秧及 8/2 插秧者分別於採收適期前遭遇梧提/帕布、柯羅莎及米塔颱風，被迫必須進行搶收。而 2008 年周年栽培中，5/27 插秧及 6/27 插秧者(資料未顯示)皆於抽穗開花期分別遭遇如麗及辛樂克颱風，導致穀粒全數不稔。因此周年栽培之中，於 4 月、5 月及 6 月插秧者易遭遇颱風侵襲之風險，而常規二期作(8 月初插秧者)在氣候變遷的未來，亦需要提防秋颱、冬颱之發生。

二、臺灣栽培區域之氣溫環境：

為涵蓋更廣的樣品來源，本研究亦收集了全台灣七個稻作區域之 2007 年二期稻作樣品。由圖 2 顯示，台南場全年日均溫高於其他地區，桃園及苗栗場則是冬季低溫，台東場則是冬季溫暖、夏季涼爽。對照各別栽培期，計算各別之氣溫條

件列(如表 1)，台東場之總生育積溫與抽穗後積溫最高，然而其水稻生育期較長(127 天)，因此平均氣溫仍然不高，盧與劉(2006)指出：台東地區日照較低，低日照可能導致生育期之延長，同時延長穀粒充實期，降低高溫引起穀粒充實過快的危害，同時台東場之充實期氣溫低，低溫低日照之環境使得台東場稻米樣品之外觀品質顯著高於其他地區(完整米率 > 90%)。抽穗後 15 日內平均氣溫、平均單日最高溫及平均單日最低溫以台南場為最高，苗栗場為最低；而台南場之外觀品質也較苗栗場為差(未熟米率 14.5% > 4.3%)，食味分數則是台南場與台東場優於桃園場與苗栗場。證實穀粒充實期之氣溫環境確實影響稻米之外觀與食味品質。值得注意的是台東場之氣溫環境近似於桃園場與苗栗場，其產出之稻米一方面具有良好外觀品質，另一方面其食味品質卻明顯優於桃園場及苗栗場，推測台東地區稻米食味品質應同時受其他因子所影響，需要後續研究更進一步探討。

三、氣溫環境與產量性狀：

1. 單株穗數

李(1999)指出生育初期高溫，即稻株分蘗期遭遇高溫將會造成有效穗數減少。此外，抽穗後授粉期之高溫亦會使穀粒不稔(Abiko *et al.*, 2005)，甚至全穗不稔形成無效稻穗。而由圖 6 顯示，隨分蘗期平均氣溫的變化，過高之氣溫會對單株有效穗數有不良影響，證實上述前人研究結果。結果表示苗栗地區稻作在相關曲線之趨勢顯示在分蘗期平均氣溫在 23°C 時，單株穗數為最多(約 13 穗)，過高之氣溫會降低單株有效穗數，而可能導致產量的下降。

2. 稔實率

Prasad (2006)等發現在高溫情況下，小孢子母細胞功能下降，使花粉產量減少，高溫同時也阻礙了花藥的開裂以及花粉管的發育，進而降低稔實率，最後導致產量與收穫指數的降低。本研究中也發現高溫確實使稔實率下降(如圖 7)，發現超過 26°C 累進積溫越高，其稔實率越低。可推測影響稔實率之高溫臨界溫度在 26°C 以上，26°C 或許可以作為稔實率較為保守之安全日均溫。至於此高溫與花粉母細胞發育或花藥開裂之關係值得進一步調查。

3. 單株穗重

Peng (2004)等提出高溫環境將會降低產量，單位面積產量隨日均溫與日最低溫的上升而呈現明顯減產。本研究亦呈現相同趨勢(如圖 8)，由本研究分析似可歸納出在超過 26~27°C 之日均溫或超過 22~23°C 之日最低溫環境下，每上升 1°C 之日均溫或日最低溫，將可能減產 6%。因此可將 26~27°C 之日均溫、22~23°C 之日最低溫作為產量面對高溫環境之安全氣溫，而 Tashiro and Wardlaw (1991a)指出在日均溫低於 26.7°C 之情況，高溫造成穀粒產量之減少趨勢並不明顯，恰好與本研究推論相符。而高溫造成減產之生理原因可能為前述之有效穗數減少與稔實率降低。從生理層面來看，過高之日最低溫可能促進的呼吸作用(Ziska and Bunce, 1998；Gifford, 1995)、高溫阻礙的碳水化合物輸送(佐藤與稻葉，1973；小葉田等，2004)或降低光合作用酵素之效率(Makino *et al.*, 1994)，造成供源的不足，進而導致千粒重降低。

四、氣溫環境與外觀品質：

1. 糙米外觀品質

Tashiro and Wardlaw (1991b)指出：高溫影響外觀品質最關鍵時期在抽穗後 12

至 16 日時，此時水稻若遭遇高溫，其乳白粒率與背白粒率均會顯著上升。由本研究結果可推估：抽穗後 15 日內日均溫、日最高溫與日最低溫分別超過 22°C、26°C 與 18°C 時，每上升 1°C，完整粒率約下降 1.3%，未熟粒率約上升 4.5% (如圖 9)。表示抽穗後 15 日內之氣溫環境顯著影響糙米外觀品質，此時期氣溫上升將導致外觀品質的不佳。除此之外，以 8/21/2007 插秧者為例，本栽培期於抽穗後遭遇極端低溫，日最低溫低於 15°C，使青死米率極顯著高於其他栽培期。

2. 白米外觀品質

類似於糙米外觀品質分析結果，白米外觀品質主要在正常粒率及粉狀質粒率與抽穗後 15 日內氣溫呈極顯著相關 (如圖 10)。正常粒為透明、渾圓飽滿的穀粒，粉狀質粒則是穀粒有部份或全粒是白垩質者。結果顯示：抽穗後 15 日內之日均溫、日最高溫與日最低溫分別超過 22°C、26°C 與 18°C 時，每上升 1°C，正常粒率約下降 4%，粉狀質粒約上升 5%。相對於糙米外觀品質，白米外觀品質對溫度之敏感性較高，而白米外觀品質為市售白米價格決定的標準之一，若因氣溫過高導致粉狀質粒等不良白米偏多時，則經濟價值也將隨之降低。

五、氣溫環境與食味品質：

Chrastil (1994) 等指出：當穀粒之直鏈澱粉含量增加時，將使米飯烹煮時之黏度降低，米粒變硬，進而導致食味口感的不佳。由本研究結果進行相關性分析，確實發現直鏈澱粉含量與食味總評分數之間存在顯著負相關 (如圖 15)。本研究結果顯示：糙米與白米之直鏈澱粉含量隨著抽穗後 15 日內氣溫的上升而有顯著降低，每上升 1°C，直鏈澱粉含量約下降 0.5% (如圖 11 與圖 13)。另一方面，隨著抽穗後 15 日內氣溫的上升，食味總評分數亦呈現明顯提高，每上升 1°C，食味分數約可增加 2~3 分 (如圖 12 與圖 14)，唯糙米食味總評方面，在抽穗後 15 日內之日

均溫、日高溫與日低溫分別高於 29.5℃、34℃與 26℃以上時，食味分數不再增加。然而在本次研究，蛋白質含量與氣溫環境或食味總評之間相關性並不顯著，僅有台東場之樣品食味總評分數優良之原因可能來自低蛋白質含量。因此可推測西部地區稻米樣品之直鏈澱粉含量受抽穗後 15 日內氣溫環境影響頗大，而直鏈澱粉含量的改變則影響了食味的評分，進而決定了稻米食味的品質。

進一步以米粉黏度性質探討食味口感，吳(2001)指出 RVA 結果中，peak viscosity 及 breakdown 與食味總評呈現正相關；而 setback 則與食味總評呈現負相關。本研究以周年栽培及各栽培地區之稻米樣品進行相關性分析，結果趨勢近似於吳(2001)之結果(如圖 20)。而觀察上述三者與氣溫之關聯性，發現皆與抽穗後 15 日內之氣溫環境存在高度相關性：peak viscosity 及 breakdown 為正相關，setback 為負相關(如圖 16、圖 17、圖 18)。此趨勢與直鏈澱粉含量之趨勢相呼應，進一步將三者與直鏈澱粉含量作迴歸分析，同樣得到顯著相關(如圖 19)。因此可以推測：抽穗後 15 日內氣溫的上升，造成直鏈澱粉含量的減少，進而使 1. peak viscosity 增加，提高穀粒保水能力。2. breakdown 增大，米飯烹煮後冷卻之質地較軟。3. setback 縮小，提高食味口感。並且由以上黏度性質，推測將提高食味之評分。需要注意的是，上述高溫對米質的影響是由儀器分析所得，雖然顯示高溫可導致直鏈澱粉含量下降及米粉黏性性質改變，由於高溫同時影響穎果中其它成份之含量，因此高溫否確實造成口感品質上升，可能須要進一步以”食味”品嘗予以證實。

柒、結論

本研究主要著重於田間試驗之應用，藉由栽培期之微調，以期能找到最佳產量與品質之栽培期。然而提前或延後栽培期也可能遭遇諸如寒害、颱風甚至鳥害等等之不良影響，未來若需要調整栽培期進行試驗，事前宜仔細評估不良氣候發生之機率，以避免嚴重損失。

綜合本研究結果，本論文提出一模式說明氣溫環境影響台灣梗稻之產量與品質之可能途徑。栽培期氣溫的上升造成有效穗數與稔實率的降低、進而導致單株產量的低落，結果可依行株距換算得到單位面積產量之相同趨勢。在品質方面以抽穗後 15 日內之氣溫條件影響最為顯著。外觀品質方面，氣溫之上升將會造成正常米率降低、白垩質米率提高，導致外觀品質不佳。食味品質方面，氣溫上升使穀粒中直鏈澱粉含量下降，改變了米粉之黏度特性諸如保水性、冷卻後質地、口感等等，進而提高了整體食味口感。總合來說，氣溫上升的情況下，將會降低產量與外觀品質，然而卻會提高食味品質，如何在產量、外觀品質與食味品質三者之間取得一平衡點，以達到稻米生產最高價值，應審慎進行評估。

綜合本研究結果，本論文提出一模式說明氣溫環境影響台灣梗稻之產量與品質之可能途徑(如圖 21)。

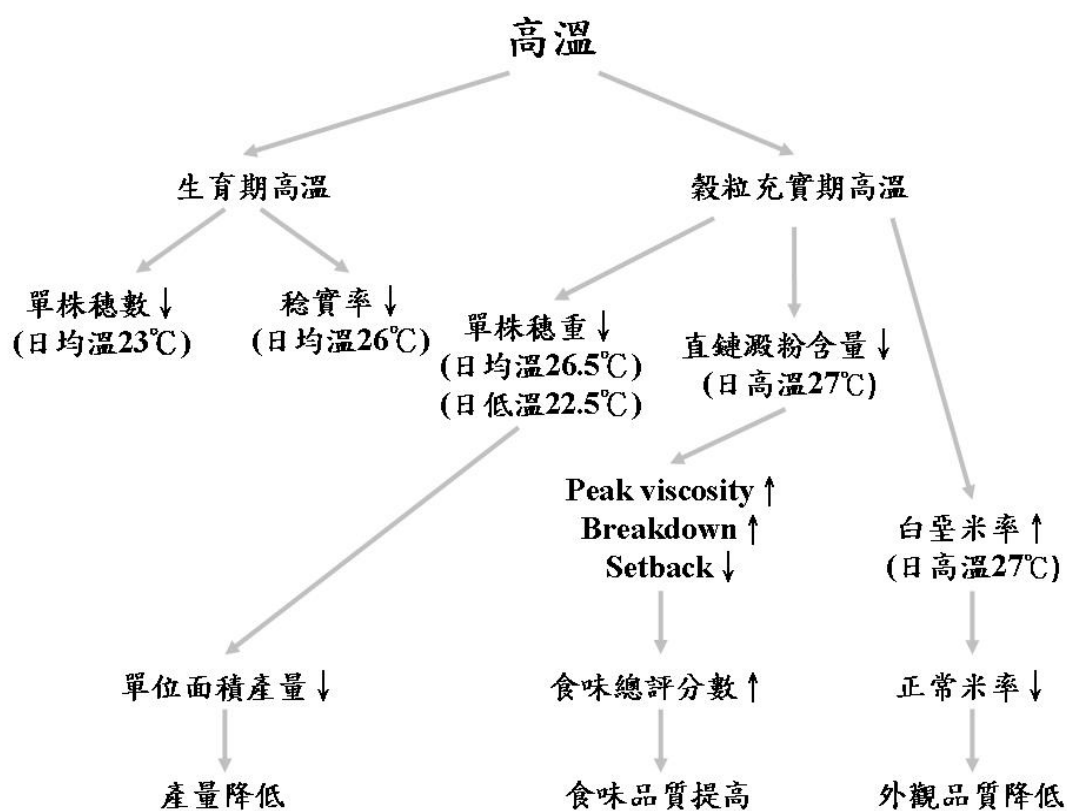


圖 21、氣溫環境影響稉稻之產量與品質之可能途徑的模式圖。圖中標示氣溫為推估之產量品質性狀增加或減少之臨界氣溫。

玖、參考文獻

吳永培。2001。影響米食味良劣之因素及利用近紅外線光譜儀分析米質之研究。

博士論文。台北，台灣：國立台灣大學農藝學研究所。

李祿豐。1999。氣象因素對宜蘭地區水稻產量之影響。花蓮區研究彙報 17: 93-102。

宋勳。1986。四十年來台灣地區稻作生產改進專輯。pp.109-125。

宋勳、劉瑋婷。1996。稻米品質的影響因素與分級。台灣省農業試驗所專刊 59: 133-154。

林韶凱。2000。充實期溫度對水稻穀粒蛋白質表現之影響。碩士論文。台北，台灣：國立台灣大學農藝學研究所。

花蓮區農業改良場年報。1999。88: 12-38。

洪梅珠、宋勳。1990。糙米外觀檢定手冊。

郭金條，良質米品種台梗 9 號第一期作栽培管理技術田間作業曆，台南區農業改良場。

葉振福。2002。低溫對發芽稻米芽鞘蛋白質之影響。碩士論文。台南，台灣：國立成功大學化學研究所。

潘成玉。2005。氮素對水稻穀粒蛋白質表現及品質形成之影響。碩士論文。台北，
台灣：國立台灣大學農藝學研究所。

盧虎生、劉韻華、中央氣象局。2006。臺灣優質水稻栽培之環境挑戰與因應措施。
作物、環境與生物資訊 3: 297 - 306。

小葉田亨、植向直哉、稻村達也、加賀田恒。2004。子実への同化産物供給不足
による高温下の乳白米発生。日作紀 73: 315-322。

佐藤庚、稻葉健五。1973。高温による水稻の稔実障害に関する研究：第2報 穂
と茎葉を別々の温度環境下においた場合の稔実。日作紀 42: 214-219。

長谷川利弘、吉本真由美、桑形恒男、石郷岡康史、近藤始彦、石丸努。2009。
2007年夏季の水稻の高温不稔調査について。農業および園芸 84: 42-45。

近藤始彦、石丸努、三王裕見子、梅本貴之。2005。イネの高温登熟研究の今後
の方向。農業技術 60: 462-470。

若松謙一、佐々木修、上藺一郎、田中明男。2007。暖地水稻の登熟期間の高温
か玄米品質に及ぼす影響。日作紀 76: 71-78。

森田敏。2008。イネの高温登熟障害の克服に向けて。日作紀 77: 1-12。

Abiko, M., K. Akibayashi, T. Sakata, M. Kimura, M. Kihara, K. Itoh, E. Asamizu, S.
Sato, H. Takahashi, and A. Higashitani. 2005. High-temperature induction of male
sterility during barley (*Hordeum vulgare* L.) anther development is mediated by

transcriptional inhibition. Sexual Plant Reproduction. 18:91-100.

Allahgholipour, M., A.J. Ali, F. Alinia, T. Nagamine, and Y. Kojima. 2006. Relationship between rice grain amylase and pasting properties for breeding better quality rice varieties. Plant Breeding. 125:357-362.

Champagne E.T. 1996. Rice starch composition and characteristics. Cereal Foods World. 41:833-837.

Chrastil, J. 1994. Stickiness of oryzenin and starch mixtures form preharvest and postharvest rice grains. Journal of Agricultural Food Chemistry. 42:2147-2151.

David, J.T. and A.A. William (2001) Starches. In J.T. David et al. (ed.) AACC:Minesota. <http://www.foodsource.com/ContIng/starches.asp>

Gifford, R.M. 1995. Whole plant respiration and photosynthesis of wheat under increased CO₂ concentration and temperature: long-term vs. short-term distinctions for modeling. Global Change Biology. 1:385-396.

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. (in Chinese with English summary) Journal of Agricultural Association China 1:370-389.

IPCC (2007) Climate change 2007: The physical basis. Summary for policymakers.

Contribution of Working Group I to the 4th Assessment Report of the IPCC. IPCC

Secretariat, Geneva. 24p.

Jagadish, S.V.K., P.Q. Craufurd, and T.R. Wheeler. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*. 58:1627-1635.

Jiang, H., W. Dian, and P. Wu. 2003. Effect of high temperature on fine structure of amylopectin in rice endosperm by reducing the activity of the starch branching enzyme. *Phytochemistry* 63:53-59.

Juliano, B.O. 1985. Biochemical property of rice. In B.O. Juliano. (ed.) *Rice: Chemistry and Technology*. American Association of Cereal Chemistry. USA.

Kobata, T., and N. Uemuki. 2004. High temperatures during the grain-filling period do not reduce the potential grain dry matter increase of rice. *Agronomy Journal*. 96:406-414.

Long S.P. 1991. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant Cell and Environment*. 14:729-739.

Makino A., H. Nakano, and T. Mae. 1994. Effects of growth temperature on the responses of ribulose-1,5-biphosphate carboxylase, electron transport components, and sucrose synthesis enzymes to leaf nitrogen in rice, and their relationships to photosynthesis. *Plant Physiology*. 105:1231-1238.

Matsue, Y., K. Odahara, and M. Hiramatsu. 1995. Differences in amylase content, amylographic characteristics and storage proteins of grains on primary and secondary rachis branches in rice. *Japanese Journal of Crop Science*. 64:601-606.

Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 2000. High temperature at flowering inhibits swelling of pollen grains, a driving force for thecae dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*. 3:430-434.

Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 2001a. Comparison between anthers of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with tolerance to high temperatures at flowering or susceptibility. *Plant Production Science*. 4:36-40.

Matsui, T., K. Omasa, and T. Horie. 2001b. The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among Japonica-rice varieties. *Plant Production Science*. 4:90-93.

Nagata, K., T. Takita, S. Yoshinaga, K. Terashima, and A. Fukuda. 2004. Effect of air temperature during the early grain-filling stage on grain fissuring in rice. *Japanese Journal of Crop Science*. 73:336-342.

Nagato, K., M. Ebata, and M. Ishikawa. 1972. Protein content of developing and mature rice grain. *Japanese Journal of Crop Science*. 41:472-479.

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 Production Science*. 10:412-422.

Peng, S.B., J.L. Huang, J.E. Sheehy, R.C. Laza, R.M. Visperas, X. Zhong, G.S. Centeno, G.S. Khush, and K.G. Cassman. 2004. Rice yield decline with higher night temperature from global warming. *PNAS*. 101:9971-9975.

Prasad, P.V.V., K.J. Boote, L.H. Allen, J.E. Sheehy, and J.M.G. Thomas. 2006. Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. *Field Crops Research* 95: 398-411.

Shotwell, M.A. and B.A. Larkins. 1989. The biochemistry and molecular biology of seed storage proteins. In A. Marcus (ed.) *The Biochemistry of Plants: a Comprehensive Treatise*. Academic Press, Orlando, FL.

Sowbhagya, C.M., B.S. Ramesh, and K.R. Bhattacharya. 1987. The relationship between cooked rice texture and the physicochemical properties of rice. *Journal of Cereal Science*. 5:287-297.

Tashiro, T. and I.F. Wardlaw. 1991a. The effect of high temperature on the accumulation of dry matter, carbon and nitrogen in the kernel of rice. *Australian Journal of Plant Physiology*. 18:259-265.

Tashiro, T. and I.F. Wardlaw. 1991b. The effect of high temperature on kernel dimensions and the type and occurrence of kernel damage in rice. *Australian Journal of Plant Physiology*. 42:485-496.

Webb, B.D. 1985. Criteria of rice quality in the United State. In B.O. Juliano (ed.) *Rice: Chemistry and technology*. American Association of Cereal Chemistry. USA.

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 Physiology*. 144:258-277.

Ziska, L.H. and J.A. Bunce. 1998. The influence of increasing growth temperature and CO₂ concentration on the ratio of respiration to photosynthesis in soybean seedlings. *Global Change Biology*. 4:637-643.

Zhong, L.J., F.M. Cheng, X. Wen, Z.X. Sun, and G.P. Zhang. 2005. The deterioration of eating and cooking quality caused by high temperature during grain filling in early-season indica rice cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 191:218-225.

