

氣溫對水稻台種9號穀粒成分與食味品質的影響¹

吳以健²、張素貞³、盧虎生⁴

摘 要

跨政府氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第六次評估報告指出，近50年來已升溫超過1°C，且在2040年極可能超過1.5°C，顯示全球暖化趨勢顯著與劇烈。水稻是臺灣最重要的糧食作物，栽培品種主要是粳型稻，前人研究指出高溫將降低水稻產量與外觀品質，且以粳型稻較顯著。臺灣為全球栽培粳稻地區中緯度最低者，意即面對暖化的傷害將是首當其衝，因此高溫對粳稻栽培影響的研究更是刻不容緩。研究已指出影響稻米品質最關鍵的時期為抽穗後15日內，此時期穀粒對高溫最為敏感，臺灣一期作的此時期多半遭遇高溫，導致白垩質粒增加，外觀品質劣化。然而，本研究進行穀粒成分與食味品質的分析，顯示隨著此時期平均溫度的上升，穀粒直鏈澱粉含量降低而粗蛋白質含量不變，進而使米飯的外觀、硬度、黏性、平衡性及食味總評有所增進，與日本過去研究結果呈不同趨勢，可能原因為品種特性與溫度尚未達品質劣化之門檻。在不斷暖化的未來，應持續改善栽培技術，同時評估外觀品質與食味品質之間的平衡點，以規劃因應暖化的稻米生產策略。

關鍵詞：水稻、暖化、氣候變遷、米質、食味、直鏈澱粉

前 言

根據跨政府氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2022年發布的第六次評估報告指出，19世紀下半葉至今，人類活動增加的溫室氣體排放已造成1.07°C的升溫，且以目前發展趨勢，極可能在2040年前跨越1.5°C的升溫警戒線，更可怕的是，北半球高緯度區的變暖速度是全球的2-4倍，顯示全球暖化的趨勢不只明顯更日漸劇烈⁽¹²⁾。

水稻是臺灣最重要的糧食作物，供應臺灣人民的主食，暖化或升溫對水稻的影響，過去已有許多研究成果發表。抽穗後的高溫環境，將顯著降低花粉活性、花粉數量^(7,34)、花藥開裂程度及授粉成功率⁽²¹⁾，進而導致稔實率下降^(17,18,25)，最終造成稻穀產量及收穫指數的降低^(13,24)，其中又以粳稻品種的衝擊更明顯⁽²⁵⁾。除了產量的傷害，高溫顯著對稻米品質造成影響，而影響稻米品質最關鍵

¹行政院農業委員會臺中區農業改良場研究報告第1019號。

²行政院農業委員會臺中區農業改良場作物改良課助理研究員。

³行政院農業委員會苗栗區農業改良場研究員兼秘書。

⁴國立臺灣大學生物資源暨農學院院長。

期，在於抽穗之後的 12-16 日內⁽²⁹⁾，此為穀粒充實期，穀粒鮮重與乾重主要集中此期間累積，在抽穗 15 日後累積速度趨緩⁽¹⁸⁾，也就是說，在此期間遭遇高溫或其他逆境，更容易造成外觀品質方面的劣化⁽²³⁾，尤以對高溫敏感的品種台稉 9 號的白米白堊質(chalky)比例最顯著⁽³²⁾。外觀品質劣化的原因主要來自充實速度的加快與充實時間的縮短⁽¹¹⁾，使澱粉堆積不確實，進而影響胴裂粒(fissure grain)、碎粒(cracked grain)、白堊質粒(chalky grain)、未熟粒(immature grain)等不良穀粒比例的提高^(1,3,30)。高溫除影響外觀品質之外，同時造成白米理化性質的改變，由快速黏度分析(rapid viscosity analysis, RVA)分析結果指出，高溫造成尖峰黏度(peak viscosity)、破裂黏度(breakdown)與回升黏度(setback)的改變，間接推測食味品質極可能受到高溫的影響⁽³²⁾。

因此，延續本場過去之發表⁽³²⁾，藉由周年栽培與收集各地台稉 9 號栽培樣品，分析外觀品質、黏度性質及穀粒充實期氣溫的相關性之趨勢變化，然而，除外觀品質與理化性質之外，稻米品質另包括穀粒成分與食味品質，因此，為評估台稉 9 號在氣溫變化下的整體品質，本研究參照前述發表的田間試驗架構，持續探討氣溫上升對穀粒成分與食味品質之影響，食味之良劣取決於黏性、硬度、平衡性、保水度等，其中，受東亞民眾喜好的稉型米，黏度高、硬度低、平衡性佳及保水度佳，而這些性質由米粒成分所決定，包括直鏈澱粉含量(amylose content)與蛋白質含量(protein content)等。澱粉為白米最主要成分，分為直鏈澱粉(amylose)與支鏈澱粉(amylopectin)，二者影響米飯理化性質，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。因此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^(9,28)。在蛋白質方面，穀粒中粗蛋白質有 90%以上是貯存性蛋白質(storage protein)，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⁽³¹⁾。

高溫對水稻產量與品質之研究相當豐富，不同之氣溫背景影響產量與品質，但大多數之研究較偏向於實驗室、生長箱或溫室進行，在田間試驗由於變因多不易掌握，相關研究較少。臺灣為亞熱帶氣候，相較於國際上主要之稉稻生產國家，臺灣的生育期間溫度高，有效充實期短而穀粒充實速率快，在目前與未來，臺灣之稉稻栽培所面對之環境溫度壓力皆大於其他溫帶地區。換言之，臺灣可作為稉稻在未來暖化趨勢下的先驅者。本研究在臺灣進行田間實地試驗，利用調整栽培時期與分析全臺灣各稻作栽培區域稻米樣品之策略，藉由不同生育期與不同地區之氣溫環境分析，探討穀粒成分、食味品質與氣溫環境之相關性，藉此評估最佳栽培時期之氣溫環境，作為未來良質米操作規畫與擬定因應未來氣候變遷之稻作生產調適技術之依據。

材料與方法

一、水稻試驗品種

為探討氣候環境對臺灣稉稻品種之產量與品質之影響，選擇稻米品質優良與氣候變化敏感的台稉 9 號(*Oryza sativa* L., Taikeng 9)為標的品種，且台稉 9 號為國內目前之良質米對照品種，具有指

標之意義。

二、氣溫環境條件

依筆者過去研究之架構⁽³²⁾，分別以栽培時期與栽培地點作為變因，探討栽培過程遭遇不同溫度對食味品質的影響，與本研究相似之試驗設計已有許多⁽²²⁾。不同栽培時期處理方面，2007 與 2008 年，於苗栗公館(N24.49°, E120.83°)進行不同栽培期的試驗，自 2 月至 8 月，本試驗根據預估栽培期之均溫，依各栽培期均溫差異決定每間隔 10-30 天進行一次插秧，每年各 7 次與 9 次不同之栽培期試驗，分述如表一。不同栽培地點處理方面，於 2007 年自 6 個農業試驗單位收集 6 個不同栽培地點二期作的稻米樣品，其分別的經緯度位置如表二。

表一、苗栗公館不同栽培期的插秧日期、收穫日期、全栽培期均溫、栽培期均溫範圍

Table 1. Transplanting date, harvest date, mean temperature (Mean T) and range of mean temperature (T range) of different cultivation periods in Gongguan, Miaoli

	Transplanting date	Harvest date	Growth days	Mean T (°C)	T range (°C)
2007	03/08	07/20	134	24.4	12.3-30.7
	03/27	07/25	120	25.6	12.3-30.7
	04/02	07/31	120	25.9	12.3-30.7
	04/12	08/07	117	26.8	16.2-30.7
	04/30	08/27	119	27.5	22.3-30.7
	06/15	10/07	114	27.8	23.3-30.7
	08/02	11/30	120	24.3	13.9-29.8
2008	02/28	07/11	134	23.1	12.2-30.5
	03/07	07/15	130	23.8	13.7-30.5
	03/18	07/23	127	24.6	13.7-30.5
	03/28	07/26	120	25.2	13.7-30.5
	04/07	08/05	120	25.9	17.3-30.5
	04/17	08/16	121	26.3	17.3-30.5
	05/07	09/10	126	27.3	19.4-30.5
	07/19	11/11	115	26.7	17.9-29.7
	08/07	11/28	113	25.3	13.5-29.7

三、栽培管理

不同栽培期試驗與不同栽培地點試驗採用相同栽培管理。插秧前 20-30 日準備稻種與育苗，並同時於田間進行乾整地，插秧前 3 日進行濕整地、施用基肥(台肥 39 號 333 kg/ha)、萌前除草劑與苦茶粕或耐克螺以防治福壽螺，行株距 30 cm * 15 cm 的單本植插秧，並於插秧隔天澆水，接著在插秧後的 10、25、60 日後分別施用一次追肥(硫酸銨 100 kg/ha)、二次追肥(硫酸銨 67 kg/ha)、穗肥(硫酸銨 42 kg/ha)。抽穗期保持田間澆水，於齊穗後進行間歇澆水，至稻穗基部僅 2-3 粒青粒時進行樣品收割，每一處理割取 3 重複，每一重複收穫 18 株。

四、溫度參數計算方式

上述試驗的栽培時期溫度，皆來自於各栽培地點的農業氣象測站之紀錄，並依插秧、抽穗、收穫日期進行全生育期積溫、抽穗後積溫、抽穗後 15 日均溫、抽穗後 15 日均最高溫、抽穗後 15 日均最低溫的計算。積溫的計算使用日均溫並扣除水稻生育基礎溫度 10°C 進行累加計算⁽⁶⁾，抽穗日則定義為全田區 50 % 稻穗抽出日。

表二、不同栽培地點經緯度位置、全栽培期均溫及栽培期均溫範圍

Table 2. Latitude, longitude, mean temperature (Mean T) and range of mean temperature (T range) of different cultivation districts

Districts	Latitude	Longitude	Mean T (°C)	T range (°C)
Taoyuan DARES	N24.95°	E121.03°	24.9	18.6-30.6
Miaoli DARES	N24.49°	E120.83°	24.3	13.9-29.8
Taichung DARES	N24.00°	E120.53°	26.0	20.9-29.9
TARI Chiayi branch	N23.48°	E120.47°	25.8	20.6-30.3
Tainan DARES	N23.06°	E120.34°	26.2	21.8-29.7
Taitung DARES	N22.75°	E121.15°	23.6	17.4-27.5

五、收穫後處理

收穫並完成脫粒後，將穀粒裝入網袋平鋪於陰涼通風處自然風乾，直至穀粒水分含量 13.5-14.5 %。接著以風選機將不充實穀粒篩選掉後，將充實穀粒進行碾製後，供後續品質調查。

六、調查項目

(一) 穀粒成分

將前述樣品使用食味分析計(PS-500, Fujiwara, Japan)進行蛋白質含量與直鏈澱粉含量分析。

(二) 食味品質

將白米樣品蒸煮熟後，以熟飯食味計(STA1A, SATAKE, Japan)進行米飯食味品質之測定，該

食味計已有前人研究證實與實際感官品評有高度相關性⁽⁵⁾，故可作為食味品質之可信賴測定。測定項目為米飯外觀、硬度、黏性、平衡度以及食味總評。外觀數值表示米飯表面的保水膜之完整性；硬度則是米飯入口後的軟硬度；黏性則是在咀嚼時米飯的黏度；平衡度為黏性值與硬度值的比值。

七、相關性分析

將上述調查分析之溫度參數，與品質調查結果以統計軟體「R」(The R Foundation, US)⁽²⁶⁾進行線性迴歸或二次式迴歸相關性分析，再依照各自分析之 adjusted R^2 值決定採用線性迴歸或二次式迴歸，並計算其迴歸相關性的 P 值，將 P 值小於 0.05 而大於 0.01 者定為顯著相關；小於 0.01 而大於 0.001 者定為高度顯著相關；小於 0.001 者定為極顯著相關。

結果與討論

一、溫度條件背景

由筆者發表文獻整理之資料⁽³²⁾，收集苗栗各栽培期與各地二期作之氣溫資料，並整理成全生育期積溫、抽穗後積溫、穀粒充實期均溫、穀粒充實期均高溫與穀粒充實期均低溫(表三與表四)。全生育期積溫為插秧至收穫每日日均溫扣除基礎溫度(10°C)之總和。抽穗後積溫為抽穗日至收穫每日日均溫扣除基礎溫度(10°C)之總和。穀粒充實期均溫則是抽穗後 0-15 日內平均氣溫，均高溫與均低溫亦同。總積溫與抽穗後積溫方面分別涵蓋 1618.3-2165.3°C-day 與 371.5-845.4°C-day，以 2008 年 05/07 插秧者最高(2165.3 與 845.4°C-day)，臺中農改場所在之大村地區插秧者最低(1618.3 與 371.5°C-day)；穀粒充實期均溫範圍從 21.7 至 29.8°C，以 2007 年 04/30 插秧者為最高(29.8°C)，2007 年 08/07 插秧者最低(21.7°C)；穀粒充實期均高溫與均低溫則為 25.4-33.8°C 與 16.6-25.4°C，其中以 2007 年 04/12 插秧者為最高(33.8 與 25.4°C)，2007 年 08/02 插秧者為最低(25.4 與 16.6°C)。顯示以栽培期處理或栽培地區處理之氣溫環境並不相同。

二、品質性狀與溫度之相關性

將各樣品氣溫資訊對穀粒成分分析結果如直鏈澱粉含量、粗蛋白質含量，以及熟飯食味計分析結果如外觀、硬度、黏性、平衡度、食味分數等進行相關性分析，以二項式作迴歸相關之各別 P 值列於表五。結果顯示：成分要素方面，直鏈澱粉含量與穀粒充實期均溫、均高溫、均低溫呈現極顯著相關($P<0.001$)，但蛋白質含量之相關性並不明顯。熟飯食味要素方面，外觀、硬度、黏性、平衡度、食味分數皆與穀粒充實期均溫、均高溫、均低溫呈現極顯著相關($P<0.001$)。

表三、苗栗公館地區不同栽培期的溫度條件

Table 3. Temperature conditions for the different transplanting time in Gongguan, Miaoli

Transplanting date	T ^a (°C-day)	H ^b (°C-day)	H15-ave ^c (°C)	H15-max ^d (°C)	H15-min ^e (°C)	
2007	03/08	1925.2	711.8	27.6	32.8	25.1
	03/27	1867.7	754.9	27.5	33.3	25.2
	04/02	1893.5	782.3	28.4	33.6	25.3
	04/12	1960.5	749.3	29.5	33.8	25.4
	04/30	2075.4	816.9	29.8	32.9	24.8
	06/15	2025.4	710.8	27.2	31.3	23.2
	08/02	1702.5	497.8	21.7	25.4	16.6
2008	02/28	1750.3	606.4	27.2	32.7	23.9
	03/07	1787.0	676.9	27.2	32.7	23.9
	03/18	1846.6	749.7	27.6	32.7	24.1
	03/28	1814.7	746.1	28.4	33.0	24.4
	04/07	1896.7	643.9	27.8	32.6	24.3
	04/17	1962.2	770.1	27.3	32.6	24.4
	05/07	2165.3	845.4	27.5	32.9	24.6
	07/19	1910.9	658.2	24.6	29.2	21.0
08/07	1714.5	602.7	25.1	27.4	18.4	

^aT: 全生育期積溫; ^bH: 抽穗後積溫; ^cH15-ave: 抽穗後 15 日均溫; ^dH15-max: 抽穗後 15 日均高溫; ^eH15-min: 抽穗後 15 日均低溫。

^aT: accumulated temperature of whole cultivation period; ^bH: accumulated temperature after heading; ^cH15-ave: average temperature from 0-15 days after heading; ^dH15-max: average daily maximum temperature from 0-15 days after heading; ^eH15-min: average daily minimum temperature from 0-15 days after heading.

表四、2007 年二期作各不同栽培地區的溫度條件

Table 4. Temperature conditions of 2007 2nd cropping season in different districts

District	T ^a (°C-day)	H ^b (°C-day)	H15-ave ^c (°C)	H15-max ^d (°C)	H15-min ^e (°C)
Taoyuan DARES ^f	1676.4	506.2	22.3	25.4	19.3
Miaoli DARES	1702.5	497.8	21.7	25.4	16.6
Taichung DARES	1618.3	371.5	23.5	27.8	19.5
TARI ^g Chiayi branch	1764.8	566.2	23.9	28.8	19.6
Tainan DARES	1756.4	517.4	24.4	29.0	20.6
Taitung DARES	1725.9	688.9	22.9	25.8	18.3

^aT: 全生育期積溫; ^bH: 抽穗後積溫; ^cH15-ave: 抽穗後 15 日均溫; ^dH15-max: 抽穗後 15 日均高溫; ^eH15-min: 抽穗後 15 日均低溫; ^fDARES: 區域農業改良場; ^gTARI: 農業試驗所。

^aT: accumulated temperature of whole cultivation period; ^bH: accumulated temperature after heading; ^cH15-ave: average temperature from 0-15 days after heading; ^dH15-max: average daily maximum temperature from 0-15 days after heading; ^eH15-min: average daily minimum temperature from 0-15 days after heading;

^fDARES: district agricultural research and extension station; ^gTARI: Taiwan agricultural research institute.

表五、穀粒成分分析、熟飯食味計分析結果與溫度參數之迴歸相關分析的 *P* 值

Table 5. *P* value of correlation analysis between grain chemicals content, palatability and temperature parameters

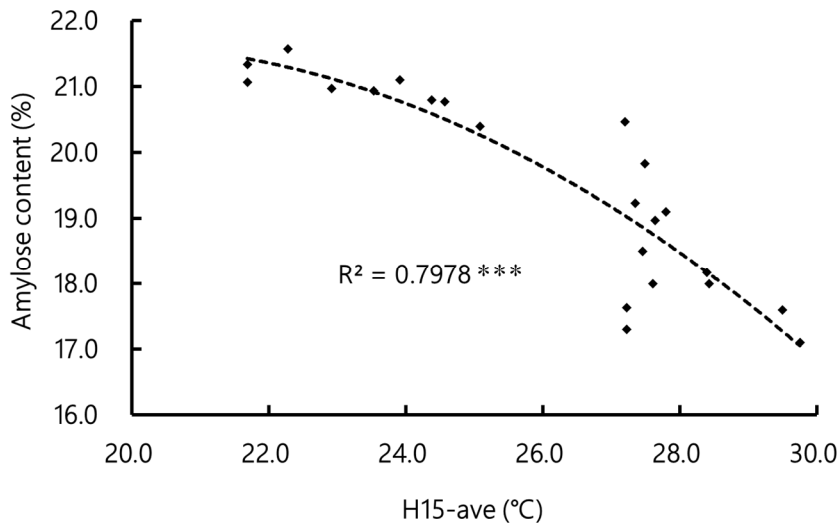
	Characters	T ^a	H ^b	H15-ave ^c	H15-max ^d	H15-min ^e
Grain chemicals	Amylose content	*	0.148	***	***	***
	Protein content	0.948	0.720	0.398	0.257	0.632
Palatability traits	Appearance	***	*	***	***	***
	Hardness	***	**	***	***	***
	Viscosity	***	0.101	***	***	***
	Balance	***	*	***	***	***
	Palatability Score	***	*	***	***	***

*表示 0.01<*P*<0.05；**表示 0.001<*P*<0.01；***表示 *P*<0.001。

^aT: 全生育期積溫；^bH: 抽穗後積溫；^cH15-ave: 抽穗後 15 日均溫；^dH15-max: 抽穗後 15 日均高溫；^eH15-min: 抽穗後 15 日均低溫。

* : *P* value<0.05 ; ** : *P* value<0.01 ; *** : *P* value<0.001.

^aT: accumulated temperature of whole cultivation period ; ^bH: accumulated temperature after heading ; ^cH15-ave: average temperature from 0-15 days after heading ; ^dH15-max: average daily maximum temperature from 0-15 days after heading ; ^eH15-min: average daily minimum temperature from 0-15 days after heading.

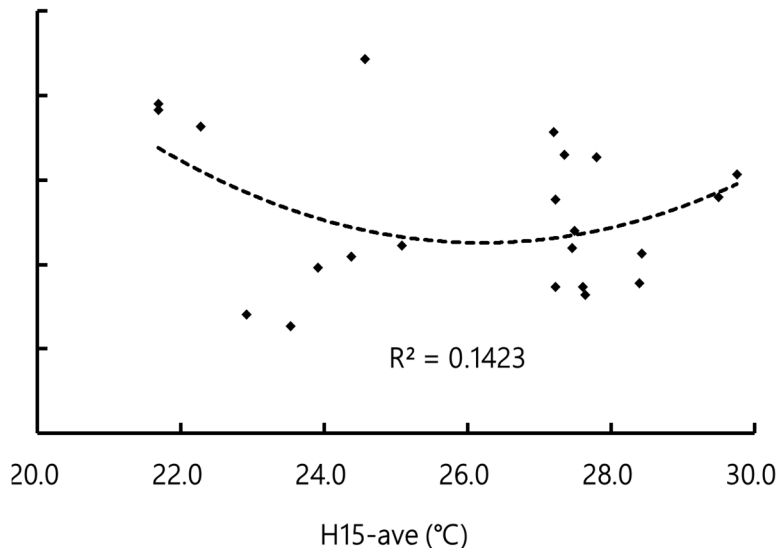


圖一、穀粒直鏈澱粉含量與抽穗後 15 日均溫之相關性。***: *P*<0.001。

Fig. 1. Correlation between grain amylose content and average temperature from 0-15 days after heading. ***: *P* value<0.001。

三、成分分析

穀粒之直鏈澱粉含量與穀粒充實期均溫呈極顯著負相關(圖一)，最高溫與最低溫皆與均溫呈現類似之趨勢(表五)。顯示直鏈澱粉含量隨著此時期溫度上升而減少，均溫每上升 1°C，直鏈澱粉含量將減少 0.5%。粗蛋白質含量則較不隨著溫度上升而有明顯改變趨勢(圖二)。因此顯示直鏈澱粉含量受到穀粒充實期均溫影響較大，而粗蛋白質含量較不受此時期均溫影響。溫度影響直鏈澱粉含量的酵素主要是 granule-bound starch synthase (GBSS)、soluble starch synthase (SSS)、starch branch enzyme(BE)，高溫分別會降低負責合成直鏈澱粉的 GBSS、SSS 及 BE 之基因表現及酵素活性^(14,33)，因此在本研究所涵蓋之溫度範圍(均溫22-30°C)，溫度上升情況將降低直鏈澱粉含量，而當穀粒之直鏈澱粉含量降低時，將使米飯烹煮時之黏度增加，米粒變軟，進而可能增進食味口感。



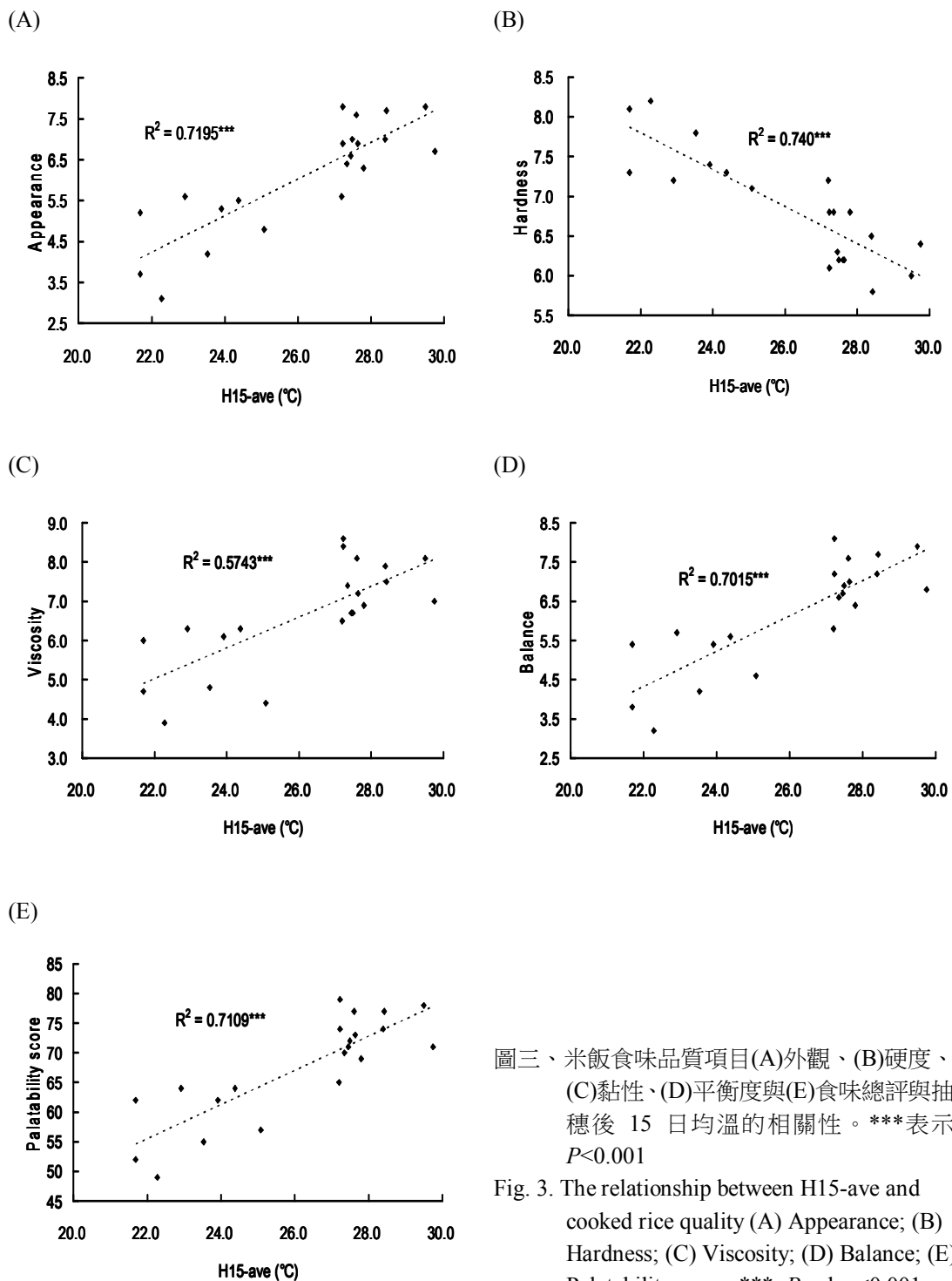
圖二、穀粒粗蛋白質含量與抽穗後 15 日均溫之相關性。

Fig. 2. Correlation between grain protein content and average temperature from 0-15 days after heading.

四、熟飯食味分析

烹煮後熟飯食味分為五方面探討，包含外觀、硬度、黏度、平衡度及食味總評。五方面皆與穀粒充實期均溫呈極顯著相關(P 值 <0.001)。其中除了硬度之外，其餘四者皆隨此時期溫度上升而增加。硬度則隨溫度上升而降低(圖三)。顯示穀粒充實期溫度上升將改變熟飯物理性質，米飯外觀較佳、黏性較大、硬度較軟及平衡度佳，以及食味總評分數優良，推測是由於直鏈澱粉含量的降低，Liu 等人研究亦提出相似之結果，然而此食味品質之提升僅限於蛋白質含量不變的前提下⁽¹⁹⁾。前人研究指出，穀粒充實期的平均溫度由22°C 提高到 26°C 時，食味品質(硬度、黏性及食味總評)將顯

著提升，且提升的食味品質是來自直鏈澱粉含量比例的降低，而非蛋白質含量的變化⁽¹⁰⁾，與本研究結果相吻合，推測在均溫不高(未達 30°C)之下，升溫造成的直鏈澱粉含量降低，有助提升食味品質。然而，日本研究指出，針對 2 種日本梗稻品種，穀粒充實期溫度超過 26°C 將傷害米飯食味品質⁽²⁾，高溫所降低的米粒直鏈澱粉含量，未必有助促進米飯食味，由於高溫同時影響支鏈澱粉 (Amylopectin) 的支鏈結構，改變的支鏈結構反而使食味品質劣化⁽¹⁶⁾，但此趨勢並未見於本研究結果，可能原因在於，日本梗稻品種生長於溫帶地區，對於高溫的敏感度較高，而臺灣水稻品種為亞熱帶氣候下育成，且台梗 9 號為秈稻與梗稻品系的雜交後代，其高溫耐受性可能較典型日本品種高⁽²⁷⁾，本研究此次僅涵蓋 22-30°C 的穀粒充實期均溫，無法證實均溫在 30°C 以上仍具此趨勢。推測在超過 30°C 之後，臺灣品種的食味品質亦有可能隨溫度的上升而劣化，然仍需進一步研究證實。前人研究指出，未來升溫的狀態將更顯著，且因降雨不穩所造成的缺水逆境、日射量不足的趨勢導致稻株生理抑制等，顯示水稻的高溫逆境與複合逆境更為險峻⁽⁴⁾。再者，高溫造成白堊質粒率的上升⁽³²⁾，可能間接引起碎粒率的提高⁽⁸⁾，進而導致吸水不均及米飯軟硬不均，影響食味表現。因此，高溫與食味品質的關聯性，尚須考慮品種、碾米操作及烹飯作業等因素。



圖三、米飯食味品質項目(A)外觀、(B)硬度、(C)黏性、(D)平衡度與(E)食味總評與抽穗後 15 日均溫的相關性。***表示 $P < 0.001$

Fig. 3. The relationship between H15-ave and cooked rice quality (A) Appearance; (B) Hardness; (C) Viscosity; (D) Balance; (E) Palatability score. ***: P value < 0.001 .

結 論

氣候變遷與全球暖化是世界各地共同面對的挑戰，水稻是全球三大作物之一，同時也是臺灣最重要的農作物，必須及早評估暖化趨勢對水稻生產的影響，尤其是對升溫較敏感的梗稻品種。過去研究指出，水稻的產量構成要素與外觀品質會隨著氣溫上升而有劣化的現象，而本研究結果則持續就成分與食味品質進行探討，在溫度較高的環境之下，水稻台梗9號的直鏈澱粉含量下降，而粗蛋白質含量不變，間接使食味品質上升，包括米飯外觀、黏性、硬度、平衡度及食味總評都有增進，然而此增進趨勢僅止於日均溫 30°C 以下。IPCC 第六次評估報告指出，2040 年後的暖化狀況更加嚴重，在日均溫高於30°C 之後，澱粉結構的改變與粗蛋白質含量的顯著增加，都可能導致食味品質的急轉直下，再加上受損的產量與外觀品質，將對稻作產業帶來嚴重衝擊。為因應暖化的衝擊，可採用多重策略強化水稻的耐熱性，例如育成耐熱品種、改變栽培期、改善灌溉管理及調整行株距等。氣候變遷與平均溫度上升的趨勢是進行式，稻作生產研究亦需要時時不斷精進，作為未來動態因應方針擬定的基礎，以確保臺灣稻米的永續生產。

參考文獻

1. 近藤始彥、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。
2. 松江勇次 2007 栽培條件對食味的影響 In. 崔晶、森田茂紀 主編。水稻食味學。天津教育出版社，中國。
3. 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。
4. 盧孟明、陳雲蘭、陳圭宏 2008 全球暖化趨勢對臺灣水稻栽培環境之影響 作物、環境與生物資訊 5: 60-72。
5. 賴穗春、河野元信、王志東、三上隆司、黃道強、李宏、盧德城、周德貴、周少川 2011 米飯食味計評價華南秈稻食味品質 中國水稻科學 25: 435-438。
6. 羅正宗、陳榮坤、張素貞 2008 苗栗地區水稻生育積溫度數與生育時期之關係 苗栗區農業專訊 42: 5-8。
7. 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.
8. Bhattacharya, K. R. 1969. Breakage of rice during milling, and effect of parboiling. Cereal Chemistry. 46: 478-485.

9. Champagne, E. T. 1996. Rice starch composition and characteristics. *Cereal Foods World*. 41: 833-837.
10. Hu, Y., L. Li, J. Tian, C. Zhang, J. Wang, E. Yu, Z. Xing, B. Guo, H. Wei, Z. Huo and H. Zhang. 2020. Effects of dynamic low temperature during the grain filling stage on starch morphological structure, physicochemical properties, and eating quality of soft japonica rice. *Cereal Chemistry*. 97: 540-550.
11. 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) *Journal of Agricultural Association China*. 1: 370-389.
12. IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
13. Jagadish, S., P. Craufurd and T. Wheeler, T. 2007. High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Experimental Botany*. 58: 1627-1635.
14. 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.
15. Juliano, B. O. 1985. Biochemical property of rice. In: B.O. Juliano. (ed.) *Rice: Chemistry and technology*. US: American Association of Cereal Chemistry.
16. Kato, K., Y. Suzuki, Y. Hosaka, R. Takahashi, I. Kodama, K. Sato, T. Kawamoto, T. Kumamaru and N. Fujita. 2019. Effect of high temperature on starch biosynthetic enzymes and starch structure in japonica rice cultivar 'Akitakomachi' (*Oryza sativa* L.) endosperm and palatability of cooked rice. *Journal of Cereal Science*. 87: 209-214.
17. 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.
18. Lan, Y., N. Su, Y. Shen, R. Zhang, F. Wu, Z. Cheng, J. Wang, X. Zhang, X. Guo, C. Lei, J. Wang, L. Jiang, L. Mao and J. Wan. 2012. Identification of novel MiRNAs and MiRNA expression profiling during grain development in indica rice. *BMC genomics*. 13: 264.
19. 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. *Agronomy Journal*. 105: 446.
20. Lur, H. S. 2009. Effects of high temperature on yield and grain quality of rice in Taiwan. In MARCO Symposium 2009—Challenges for Agro-Environmental Research in Monsoon Asia. National Institute for Agro-Environmental Science, Japan. Retrieved from

- <http://www.niaes.affrc.go.jp/marco/marco2009/english/W2-06Huu-ShengLurP.pdf>
21. 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 Production Science*. 4: 90-93.
 22. Nagarajan, S., S. V. K. Jagadish, A. S. Hari Prasad, A. K. Thomar, Anjali Anand, Madan Pal and P. K. Agarwal. 2010. Local climate affects growth, yield and grain quality of aromatic and non-aromatic rice in northwestern India. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 138: 274-281
 23. 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.
 24. Peng, S., J. Huang, J. E. Sheehy, R. C. Laza, R. M. Visperas, X. Zhong, G. S. Centeno, G. S. Khush and K. G. Cassman. 2004. Rice yields decline with higher night temperature from global warming. *PNAS*. 101: 9971-9975
 25. 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.
 26. R Development Core Team. 2007. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org>.
 27. Sarsu, F., A. M. A. Ghanim, P. Das, R. N. Bahuguna, P. M. Kusolwa, M. Ashraf, S. L. Singla-Pareek, A. Pareek, B. P. Forster and I. Ingelbrecht. 2018. Pre-field screening protocols for heat-tolerant mutants in rice. pp. 1-7.
 28. Sowbhagya, C. M., B. S. Ramesh and K. R. Bhattacharya. 1987. The relationship between cooked-rice texture and the physicochemical characteristics of rice. *Journal of Cereal Science*. 5: 287-297.
 29. Tashiro, T. and I. F. Wardlaw. 1991. 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.
 30. Tsukaguchi, T. and Y. Iida. 2008. Effects of assimilate supply and High temperature during grain-filling period on the occurrence of various types of chalky kernels in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*. 11: 203-210.
 31. 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.
 32. Wu, Y. C., S. J. Chang and H. S. Lur. 2016. Effects of field high temperature on grain yield and quality of a subtropical type japonica rice—Pon-Lai rice. *Plant Production Science*. 19: 145-153.
 33. 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.

34. Zhao, L., K. Kobayasi, T. Hasegawa, C. L. Wang, M. Yoshimoto, J. M. Wan and T. Matsui. 2010. Traits responsible for variation in pollination and seed set among six rice cultivars grown in a miniature paddy field with free air at a hot, humid spot in China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 139: 110–115.

Effects of Temperature on Grain Contents and Palatability Quality of Rice Variety “Taikeng 9”¹

Yi-Chien Wu ², Su-Jein Chang ³ and Hsu-Sheng Lur ⁴

ABSTRACT

6th Assessment Report (AR6) of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) indicated that the temperature has elevated over 1°C in recent 50 years. It's very likely above 1.5°C in 2040. Trends of global warming is significant and severe. Rice is the staple crop in Taiwan. The major variety is japonica type in Taiwan. Previous study indicated that high temperature would damage grain yield and appearance quality of rice, especially japonica type rice. Taiwan is the district of japonica type rice with lowest latitude. That is, Taiwan rice would face warming damages earliest. Research of rice about warming is pressing. Previous study showed that the key time of formation of rice quality is 0-15 days after heading. If it is hot in these 15 days, chalky grain would increase and appearance quality would be worse. However, this research analyzed grain contents and palatability quality. Amylose content decreased and crude protein content didn't change with elevated temperature in 0-15 days after heading. Low amylose might enhance cooked rice palatability traits such as appearance, stickiness, hardness, balance and overall score. This results were different from previous study in Japan. It might due to different varieties and not reaching the threshold of temperature damage yet. In the warming future, we should continuously develop technologies of cultivation against high temperature. On the other hand, we also should assess balancing between appearance quality and palatability quality. Finally, warming resistant strategies of rice production could be developed.

Key words: paddy rice, warming, climate change, grain quality, palatability, amylose

¹ Contribution No.1019 from Taichung DARES,COA.

² Assistant Researcher of Crop Improvement Division, Taichung DARES, Changhua, Taiwan, ROC.

³ Researcher and senior secretary of Miaoli DARES, Miaoli, Taiwan, ROC.

⁴ Chief of College of Bioresources and Agriculture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan, ROC.