

臺灣優質水稻栽培之環境挑戰與因應措施

盧虎生^{1*}、劉韻華¹、中央氣象局第三組農業氣象科²

¹ 國立臺灣大學農藝學系

² 交通部中央氣象局第三組農業氣象科

摘要

自從1900年代初期日本有計畫引進粳型水稻栽培後，至今臺灣地區水稻栽培90%以上為粳型品種。一般而言，粳型水稻適應於溫帶環境，一年一作，全生育期140日以上，生育期間以日射量充足、日夜溫差大之環境為佳。其穀粒之有效充實期長，充實期平均氣溫25度以下，產量高而米質外觀及食味優良。與此等條件相較，臺灣位處亞熱帶，受夏季颱風季節影響，每年分兩季栽培，一、二期稻作生育環境迥然不同，但栽培相同類型品種，生育期間溫度高，日夜溫差不大，日射量不高，穀粒充實速率快而有效充實期相對縮短，終至各期產量與品質皆未臻理想。文獻預估未來臺灣地區更將遭遇夜溫上昇、溫差縮小、日射量下降之不利趨勢。臺灣大學農藝學系植物生理研究室整理臺灣各地區1990年以來16年之氣象環境特性，分析出各地區一、二期稻作之栽培環境特質，並據以推論其對各區域水稻品質之影響。又基於溫度及日照強度對水稻栽培的重要影響，本報告進一步以近年來生理及分子生物之研究結果，分析溫度及日照強度對稻米品質形成的影響，說明低白垩質良質稻米形成的安全環境。文中並歸納臺灣各栽培區域面臨的環境挑戰並提出栽培及育種上可能的因

應策略。

關鍵詞：水稻、品質、環境。

Environmental Challenge and Strategy for Quality Rice Culture in Taiwan

Huu-Sheng Lur^{1*}, Yun-Hwa Liu¹ and Agrometeorology Section of Central Weather Bureau²

¹ Department of Agronomy, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan ROC

² Agrometeorology Section, Central Weather Bureau, Taipei 10048, Taiwan ROC

ABSTRACT

Japonica type rice has been cultivated more than 90% of the rice planting area in Taiwan, since it was introduced to the Island in the early 1900's. Geographically japonica type rice distributes mostly in temperate zones, and is physiologically adapted to the temperate climate. With tropical cancer across its southern area Taiwan locates in the subtropical region. And it is the lowest latitude area where japonica type rice is dominantly cultivated. Thus, the subtropical climate is challengeable for the cultivation of japonica type rice in Taiwan. In addition the subtropical warm climate is also detrimental to the quality of japonica type rice. Improvement of rice grain quality is the primary focus in Taiwan. In the current report, we reviewed climate conditions which are suitable for the culture of good grain quality, including temperature and radiation. Based on the climate data from 1990 to 2005, we analyzed annual fluctuation of temperature and radiation for seven regions of Taiwan, and summarized potential climate challenges for growing quality rice in these

* 通信作者, lurhs@ntu.edu.tw

投稿日期：2006年9月27日

接受日期：2006年10月4日

作物、環境與生物資訊 3:297-306 (2006)

Crop, Environment & Bioinformatics 3:297-306 (2006)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC



regions. Possible strategy in cultural practice management and breeding are also proposed.

Key words: Rice, Quality, Environment.

前言

臺灣水稻栽培歷程中，由於政治及社會歷史的變遷，在 1900 年代開始有計畫的引入粳型(日本型)品種，經學者的努力下，1920 年代成功發展出並命名為蓬萊米，目前蓬萊米類品種佔我國稻米栽培面積 90% 以上，可說是目前臺灣栽培面積最廣的農藝作物。以生理的觀點而言，臺灣之蓬萊米栽培於亞熱帶，每年兩期作，兩期作生育期約 120 天，且環境顯然不同。這種栽培環境與現今國際粳型稻普遍栽培地區之溫帶環境大不相同，臺灣大概是世界上栽培粳型稻緯度最低的區域之一，也反應出臺灣蓬萊米栽培之環境壓力大於其他溫帶地區(Lur 2004)。

基於臺灣栽培粳型稻環境上的特殊性，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。1980 年代以前以提昇產量為最主要目標，且已有回顧性報告歸納臺灣地區水稻產量與環境間之關係及其改良之策略(Liu and Hsieh 1984)。1980 年代後則以提昇品質為主要的焦點，由於品質所關係之生理生化過程複雜，更容易受環境影響，雖然在育種上陸續推出所謂良質米品種，但在品質形成與我國環境關係上之研究報導並不多。本報告以臺灣氣象環境為中心，先回顧近 1990 至 2005 之 16 年來臺灣各稻作生產區域的氣象環境特色，討論一般優質粳米所需的生育環境，期望歸納出臺灣地區優質米栽培的環境挑戰，再推論其可能的改善策略。

優質粳米品質形成之氣象環境

一、區域分布

臺灣之蓬萊米品種是由日本引進改良，源自於日本型品種(japonica type)，分類上應仍屬於 japonica 亞種，其生理上對環境之適應性大致與日本型品種相似(雖然此點可能

仍有待證明)，屬於溫帶型品種。依品質生理的觀點而言，日韓學者曾經歸納出適合於良好米質的溫度範圍為穀粒發育期間 21-23°C 之環境，並以此規劃出北緯 36-38° 區域(zone) 為優良米質潛力栽培區。如以此點為依據，則此區域橫跨包括新潟之日本本州、全部之大韓民國、大陸山東以西之區域、美國加州中北部等地區，而由現況看來除山東以西的區域之外，幾乎也都是知名的好米生產地區。由此地區向北延伸，包括日本北海道及大陸東北地區都面臨可能的生育期積溫不足及前後期低溫寒害的挑戰；如果向南延伸，則將面臨生育期高溫，且日照過短(提前開花)的挑戰。以品質生理的觀點而言，在穀粒發育期間無論遭受高溫或低溫都會造成白堊質米現象(Huang and Lur 2000)。

目前亞洲之粳稻栽培分布由北向南遞減，大陸由浙江湖南地區以南已不適栽培而分布劇減。臺灣有北迴歸線通過嘉義地區，因此歸屬於亞熱帶，由於蓬萊米的成功，目前粳型稻占 95% 以上，可說是世界上栽培日本型稻最南的區域。在稻作栽培生態上具有獨特的地位，卻也面臨諸如高溫、低光周期、低光強度等環境壓力的挑戰。一方面而言，日本型稻能廣範在臺灣亞熱帶栽培，此育種過程中遺傳背景的變遷值得研究；另一方面而言，我國經近 90 年的育種改良，或許已經演生出一特殊的亞熱帶型粳稻(subtropical japonica?)，有別於分類上所謂的溫帶日本型稻(temperate japonica)與熱帶日本型稻(javanica, 亦稱為 tropical japonica)。無論如何，以臺灣蓬萊米的發展歷史而言，實有必要由生理、遺傳及分子生物的方式探討臺灣粳型稻的特性，以求證它在世界水稻生態分布上的地位。

二、優質米形成的溫度與日照環境

米質的形成包括複雜的生理及生化反應過程，與環境之間具有密切關聯性，目前國際間的研究多集中於溫度及日照環境因子，



品質上也多以外觀品質尤其是白垩質或心腹白性狀為主。以下將以溫度及日照探討為對象，由日本、中國大陸及我國的研究結果，說明這些環境因子對稻米品質形成的影響，並歸納出優質米形成的環境條件(Huang and Lur 2000, Kondo *et al.* 2005, Sun *et al.* 2004)。

(一)溫度

一般氣象溫度環境包括日均溫、日最高溫及日最低溫，日本學者曾進行研究探討其對稻米外觀白垩質發生的影響。

在日均溫的影響方面，如果將穀粒充實期分為早、中、及晚期，研究發現當充實中期(出穗後 10 至 15 天)之日均溫超過 26°C 時，穀粒之乳白粒率顯著上昇。惟對早期及出穗後 20 天以後的影響不明顯。

日最高溫方面，超過 30°C 以上的日高溫即可以明顯發生心腹白現象，本研究室在充實期以 30/35°C 的栽培環境可造成 50% 以上的白垩質現象(Table 1)(Huang and Lur 2000)。日本的研究更指出，日高溫超過 28°C 即可明顯導致胴裂率的增加(Nagata *et al.* 2004)。胴裂是影響米飯品質相當重要的性

狀，臺灣地區稻作穀粒充實期間經常超過 28°C，因此可能有必要探討我國稻米胴裂率的發生現象與溫度間的關係。

關於日低溫方面的研究報告不多見，本研究室的試驗發現，低於 20/15°C 之日/夜溫可明顯造成未熟粒、青米粒、青死米粒及畸型粒比率的增加(Table 1)(Huang and Lur 2000)。Peng *et al.* (2004) 曾指出夜溫是影響產量最主要的因子之一。日本的報告則顯示，日低溫超過 22°C 則乳白率明顯增加。臺灣地區稻作穀粒充實期間夜溫也經常超過 22°C，因此也有必要探討我國稻米胴裂率的發生現象與夜間溫度間的關係。

依據上述的結果，似乎可以歸案出一優良外觀品質的安全溫度範圍，即日均溫低於 26°C、日高溫低於 28°C、日低溫低於 22°C，吾人可依此範圍規劃出臺灣地區優質米的生育時期及區域。謹將溫度對稻米外觀、碾米品質及理化性質的影響整理於 Table 1，不再贅述(Huang and Lur 2000)。

(二)日照

日照環境大致包括日照強度(radiation)及週期(photoperiod)。以光週期而言，臺灣

Table 1. Effects of temperature on traits of yield and quality.

Parameter	Trait	High Temp. (35/30°C)	Low Temp. (15/13°C)
A. Grain yield	1. Fertility	Low ^x	Low ^y
	2. Yield/plant	Low ^x	Low ^y
B. Milling quality	1. Brown rice (%)	-----	-----
	2. White rice (%)	-----	-----
	3. Head rice (%)	Low ^x	Low ^y
C. Appearance	1. Size	-----	Decrease ^y
	2. Chalky	High ^y	Dead, abortive, or immature kernel ^y
D. Chemical composition	1. Amylose	Lower ^x	Increase ^y
	2. Protein ^z	Lower	Increase ^x
	(1)Glutelins	Decrease	Increase ^y
	(2)Prolamines	Increase	Increase ^x
	(3)Albumins and globulins	Lower	-----
E. Gel consistence		Higher	
F. Gel spreading value			Lower

^x The trait may be affected.

^y The trait can be significantly affected.

^z Depending on the internal nitrogen status of plants.



地區位於亞熱帶，周年之光週期差異不大，而粳型水稻屬於短日性植物，以栽培經驗看來，由日本直接引種至本島栽培之品種大多提早開花成為早熟性品種，推測本島之光週期環境低於一般日本栽培之粳型稻的光週期要求，因而提前出穗開花。此亦反應臺灣現行之粳型稻品種多屬於光週不敏感性，一般仍維持 120 天左右之生育期。又基於目前臺灣本島水稻由東至西、由南至北的成熟期移動之變化，推測臺灣水稻品種之生殖生長期對溫度仍具有相當之敏感性。

日照輻射強度(光強度)是光合作用的基礎，光強度不足將導致光合產物供應不足而使穀粒充實不良，發生白垩質現象。一般溫帶地區之水稻生育期間光強度多在 $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上，在所謂寡日照年也有約 $13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 的光強度。無論一或二期稻作之穀粒充實期間的光照環境，臺灣地區多在 $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以下(詳見下節之分析)，基本上屬於光照環境相對較低的栽培環境。

(三) 優質稻米生育之安全環境

基於以上之分析，似乎可以設定生產優質稻米的生育環境，即所謂的“安全環境”，

在此環境下可生產出外觀良好、白垩質低的優質稻米。依據上述的數據，個人以為可將之暫時設定為：在穀粒發育期間日均溫低於 26°C 、日高溫低於 30°C 、日低溫低於 22°C 及日射量高於 $13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 。當溫度高於此安全環境、日射量低於此安全環境，則稻米白垩質率上升、外觀品質下降。吾人也可以依此環境規劃各區域一、二期作的適合栽培期，進行栽培規劃。

需要說明的是，以上的設定所依據的試驗資料多為外國完成者，臺灣地區的資料相當少。因此極須充實國內的研究結果，才可以更精準的設定出最適合臺灣地區環境優質稻米生育之安全環境，以作為我國栽培及育種改良工作之重要依據。

臺灣地區近年來的氣象環境及對優質稻米形成之挑戰

一、溫度環境

(一) 日均溫

本研究室整理 1990-2005 年臺灣地區 7 個農業試驗改良場記錄之氣象資料，將旬之日均溫表示於 Fig. 1。由圖顯示，臺灣地區之

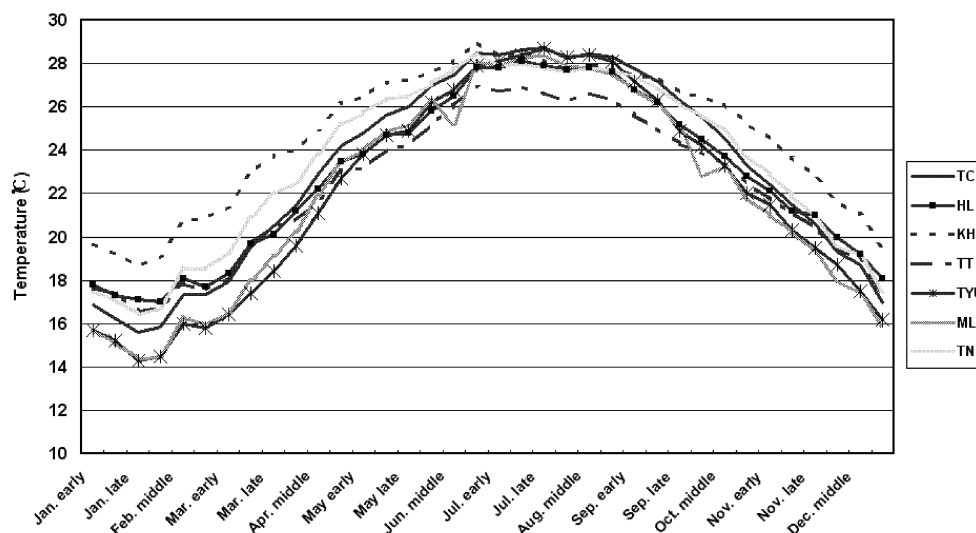


Fig. 1. Change of annual daily mean temperature for 7 rice culture areas of Taiwan from 1990-2005. TC: Taichung; HL: Hualien; KHS: Kaohsiung; TT: Taitung; TYU: Taoyuang; ML: Miaoli; TN: Tainan.

日均溫介於一月中下旬之 1°C 到七月中旬之 28°C 之間。一期稻作之環境以屏高地區均溫最高，桃園苗栗地區溫度最低(5 月以前)。二期稻作期間的趨勢類似，以屏高地區均溫最高，桃園苗栗地區溫度最低。在 5 月至 9 月期間，則以臺東地區的均溫最低。

如果以日均溫低於 26°C 作為優質米生育之安全溫度，則可用以評估各區域之穀粒充實期間溫度的適合性。例如屏高地區穀粒充實期約在 4 月至 5 月上旬，Fig. 1 顯示其均溫多已超過 26°C，推論其心腹白等白垩率高。臺東地區一期作之穀粒充實期約在 5 月至 6 月中旬，此期間之均溫大多仍低於 26°C 安全溫度，6 月中旬以後雖可能超過 26°C，但已屬充實後期，對高溫較不敏感。中部地區之均溫狀況，則介於此二地區之間。綜合一期作之均溫環境，臺東地區最接近 26°C 安全溫度，推論可生產出好的米質。反之屏高地區則最不理想，生產之米質白垩質率較高。

關於二期作之穀粒充實期，8 月下旬至九月下旬後各地區逐漸降於 26°C 以下，除屏高地區以外，皆有可能低於 26°C 安全溫度，屬

於適合優質稻米充實之環境。因此推論，如果在其他因子也適合的情況下(如水分及光照)，臺灣地區二期作之稻米外觀品質有可能較一期作為佳。

依據行政院農業委員會農糧署的調查，一般臺灣地區一期作之白粉質率高於二期作，屏高地區之白粉質率高於其他地區(稻米品質資訊網，<http://www.coa.gov.tw/program/rice/index.htm>)，此現象與上述臺灣各地區溫度的變化情形相符合。

(二)日高溫

臺灣地區近 16 年來 7 地區的週年均高溫變化情形繪圖於 Fig. 2。在一期作之穀粒充實期間(四月下旬以後)，高屏及臺南地區多已超過 30°C，也超過設定的安全高溫 28°C。僅有臺東、花蓮及桃園地區之充實前期(敏感期)可能在 28°C 以下，對外觀品質影響較小。二期作之穀粒充實期間，高屏地區仍超過 30°C，臺南及臺中地區在充實早期也超過 30°C，仍處於高溫威脅之下。其他地區則多已降至 28°C 的安全高溫以下，有機會生產出外觀品質佳之稻米。日高溫過高，將導致穀

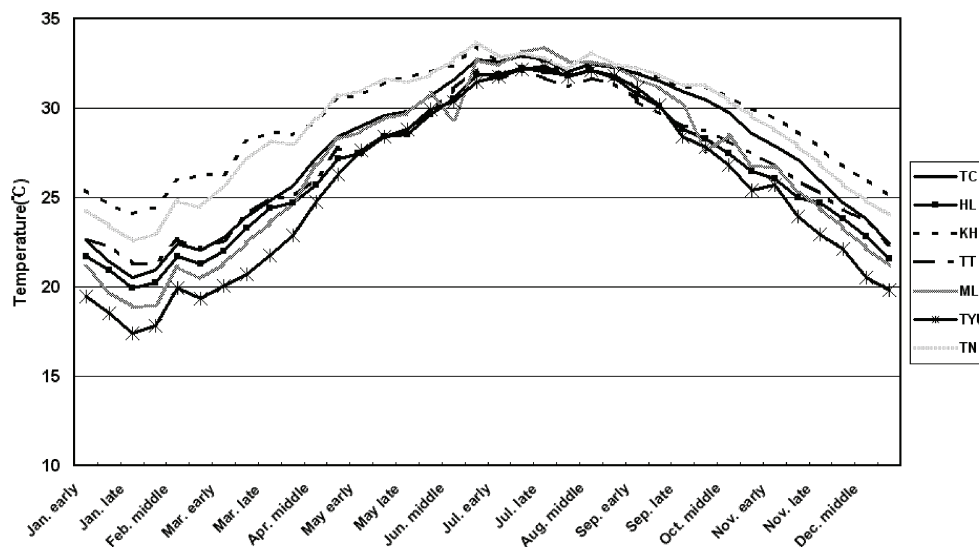


Fig. 2. Change of annual daily maximum temperature for 7 rice culture areas of Taiwan from 1990-2005. TC: Taichung; HL: Hualien; KHS: Kaohsiung; TT: Taitung; TYU: Taoyuang; ML: Miaoli; TN: Tainan.

粒充實速度過快，穎果珠心及維管束等養分輸送組織衰化，養分供應不足，澱粉合成受阻，澱粉粒充實不緊密產生空隙，而發生稻米外觀之心、腹或背白現象(依發生時期而異)(Kondo *et al.* 2005, Morita *et al.* 2004, Nagata *et al.* 2004)。

(三)日低溫

Fig. 3 說明臺灣近 16 年來七地區的週年均低溫變化情形。臺灣地區日低溫的情形無論一期作全期或二期作穀粒充實早期，多數已超過 22°C，整體而言不利於優質硬米形成。由此顯示，亞熱帶地區生產優質硬米的最大威脅可能是日低溫過高問題。過高的日低溫可能導致呼吸作用旺盛，降低淨光合作用及供源能力，穀粒可能因養分供應不足而充實不良，不但植體乾重及產量下降，也產生外觀之白堊質現象(Kondo *et al.* 2005, Lur 1999, Huang and Lur 2000)。

當然，過低的日低溫(18°C 以下)也將造成稻米充實機制受害，養分供應不足，導致稻穀充實不良而形成白堊質現象(Huang and Lur 2000)。外觀上，低溫所造成之白堊質現象與高溫所導致之心腹白現象不同，前者一

般穀粒充實不良，外表全部白化甚至形成屑米；而後者穀粒外觀可能飽滿，僅於局部(心、腹、基、或背部)形成白化現象。穀粒化學成分上，充實期低溫可造成直鏈澱粉含量上升，食味品質下降，這是苗栗以北地區二期作栽培應當留意者(Chien *et al.* 1997)。

值得注意的是，在全球氣候變遷的趨勢下，Yao *et al.* (1999)的分析指出臺灣地區已發生溫度上昇的現象。Liu *et al.* (2002)的研究進一步指出，臺灣地區夜溫及日溫差上升的現象十分明顯，值得國內相關單位加以重視，這也將是水稻界必須面對的挑戰。

二、日照環境

臺灣地區近 16 年來 7 地區的週年日照強度變化情形繪製於 Fig. 4。令人意外的，一期作之 5 月中旬以前僅臺南地區的日照強度超過 14 MJ m⁻² day⁻¹，二期作 9 月下旬以後之各區域皆低於 13 MJ m⁻² day⁻¹。如此的光照環境僅及於溫帶地區的下限，相對的不利於適應於溫帶地區硬稻優質稻米的形成。此可能係亞熱帶地區周年之每日日照時間差異不大所致，即使日照最長的夏至期間，日照也

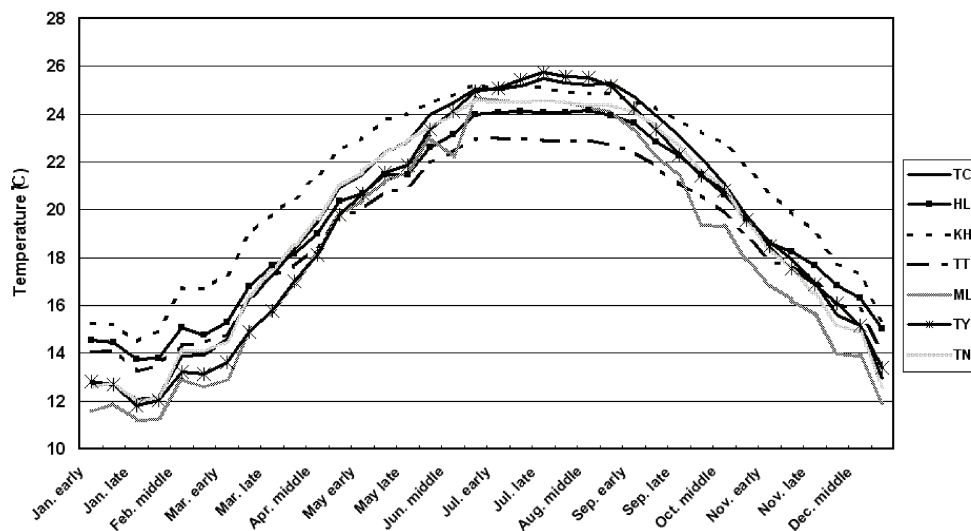


Fig. 3. Change of annual daily minimum temperature for 7 rice culture areas of Taiwan from 1990-2005. TC: Taichung; HL: Hualien; KHS: Kaohsiung; TT: Taitung; TYU: Taoyuang; ML: Miaoli; TN: Tainan.

約 14 小時左右，離溫帶地區稻作生育期間之長日照，經常達 $15 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 甚至 $20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ 以上之日照環境有相當之距離。長期觀測分析顯示，臺灣地區的日射量也呈現下降的趨勢，而且西部地區較東部地區明顯，顯示低日射量更是未來需要面對的問題 (Liu *et al.* 2002)。

尤其值得注意的是臺東、花蓮地區之日照環境整年幾乎都低於 $13 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ ，一、二期稻作之光照環境明顯低於其他地區。由於低日照可導致生育期的延長，這可能是一般東部地區稻作之生育期長於西部地區的主要原因之一。東部地區低光照所造成的生育期延長，將可能延長稻穀充實期，降低如前述高溫引起充實過快的威脅(產生心腹白)，反而有利於優質稻米的形成。

臺灣地區優質米栽培環境之檢討與建議

一、臺灣地區優質米生產之氣象限制因子

本文前段內容已說明生產優質稻米之“安全”氣象條件，以及臺灣各地區稻作生育期

間之氣象狀況。兩相比較，可以推論臺灣地區生產優質米的限制因子。

需要再次強調的是，欲檢討所謂‘限制因子’需要精確的試驗資料作為對照。一如上述，目前國內對米質與氣象環境因子關係的研究不多，有待識者共同努力。於此之前，則依據日本及其他溫帶地區的資訊作為討論基礎。

以西部地區而言，屏東高雄地區一、二期作皆處於高溫狀態，值得注意的是二期作的日射量低於西部其他地區，幾乎與東部相當。因此高日溫及高夜溫，加上二期作之低日射量是其最大之氣象威脅。臺南至臺中地區一期作充實後期可能遭遇高溫，但不若高屏地區遭受高溫之威脅大。二期作之充實期則溫度已降，接近安全範圍，生產優質米環境較一期作佳，此期須留意的是迅速降低的日射量。苗栗桃園地區一期作插秧較遲，充實期早期溫度接近或高於安全範圍；二期作充實期溫度接近安全範圍，日照環境也相對較佳，如果沒有其他限制因子(如近海地區之季風)，生產優質米的環境較其他地區為佳。

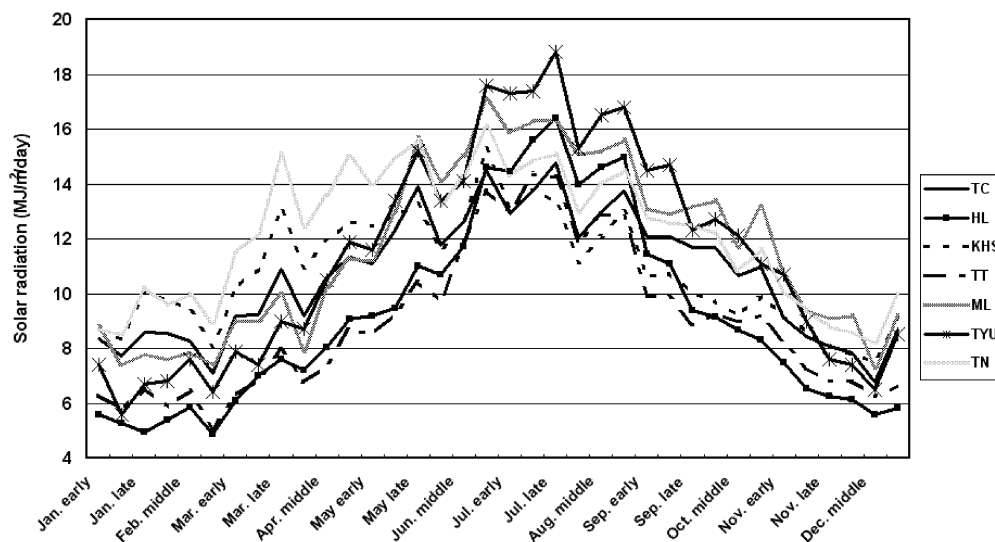


Fig. 4. Change of annual daily radiation for 7 rice culture areas of Taiwan from 1990-2005. TC: Taichung; HL: Hualien; KHS: Kaohsiung; TT: Taitung; TYU: Taoyuang; ML: Miaoli; TN: Tainan.

總而言之，西部地區最大的威脅是一期作充實期的高溫，高屏地區是受威脅最大的地區。這也可由農糧署之經年米質調查顯示高屏地區白粉質率最高，而一般各地區二期作之白粉質率較一期作為低的狀況得以證實。

東部地區的溫度環境與臺中苗栗地區類似，溫度的威脅不若高屏地區大，尤其臺東地區之日低溫環境最接近安全範圍，較臺灣其他地區皆理想。但在日射量方面則不論一期作及二期作皆顯著較其他地區為低，因此日射量不足是東部地區優質米栽培的最大威脅。如果此低日射量效應可以延長穀粒充實期(這是充實速率與充實期間的補償現象)，而充實期增長(充實速度減緩)可提昇澱粉大分子的密實排列，因而獲得較佳外觀，這可能是東部地區一般米質較佳的原因。惟一旦有其他逆境發生，如缺水或陰雨期長，影響充實過程時，則其受到的衝擊將高於其他地區。

二、適當調整生育期

由上述說明，可知臺灣地區生產優質稻米的限制，在西部地區係高溫的威脅，而東部地區則為低日照強度。除了由育種提昇品種的適應性外，在栽培上或許也可以加以調整以提昇稻米品質。

方法之一為調整目前之栽培期。臺灣地區受限於夏季颱風之侵襲，因而演發出現行之每年二期作制度，一、二期稻作之間的短暫空檔也正好迴避了周年間溫度最高的不良米質危險期。如欲在現況下再提昇米質，只能作栽培期的微調。以西部地區而言，可考慮提前一期作的插秧期，使一期作的穀粒充實期略為提前，接近或低於 26°C 之日均溫安全溫度，充實後期因對高溫較不敏感而無此顧慮。另一方面，也可以將二期作略為延後，使二期作之穀粒充實期降於 26°C 之日均溫安全溫度以下。據此，謹建議農業試驗改良場所專家可依此原則，進行栽植期微調的栽培試驗，找到各區域最適當的栽培期。日本近年來也發生高溫造成一般米質下降的現象，

改善策略之一也是利用調整栽培期間的方式迴避高溫威脅，以維持其品質(Kondo *et al.* 2005)。

三、修飾栽培方法

(一)調整行株距或插秧密度

依據研究顯示，穀粒充實期的高溫可能造成穎果充實過快，供源(source)無法同步即時供應光合產物，因而導致養分缺乏、充實不佳而產生心腹白現象，改善策略之一為適當增大栽培之行株距。增加行株距可提高葉冠內之透光度及通氣性(CO₂)，降低根之養分競爭，提高光合產物及土壤離子(minerals)之供應，改善高溫導致養分缺乏的現象，進而維持優良的稻米品質。日本的栽培試驗結果多顯示，適當的降低栽培密度(增加行株距或降低插秧密度)，將單位面積穀粒數調整至 28,000 粒以下(每平方公尺)，依然可維持高外觀品質(Kondo *et al.* 2005)。

在如臺東地區的低日照強度地區，尤其值得嘗試調整行株距或插秧密度，增加葉冠內之光合作用，或許能使目前的良好米質更上一層樓。栽培者或許擔憂降低栽培密度可能造成產量降低，然而水稻產量構成要素間具有互補性，可緩衝產量的下降效應。此外，因降低栽培密度導致的優良米質可提高售價，單位面積的總售價可能反而增加。

(二)適當施肥

試驗顯示在高溫環境下略為增施氮肥，可降低高溫所造成的白垩質現象(Sun *et al.* 2004, Kondo *et al.* 2005)。理論上，在穀粒充實期略為增施氮肥可改善前述高溫造成穀粒養分短暫不足的現象，此措施在日本生育期長的情況下較易操作，但在臺灣之稻作生育期較短的狀況下，操作不慎可能造成稻穀內含氮量過高而食味品質下降。建議在臺灣環境下可考慮利用葉色管理，先設定優良米質的葉色質，再依此值決定是否增施氮肥，以降低操作風險。

(三)灌溉



溫度是自然環境因子，欲做人為的操作相當困難且代價也高。田間的高溫可利用灌溉，調節根部的溫度加以改善。一般而言，田間高氣溫環境下水溫約低 3 度左右，可再以灌溉水降低水溫，緩和根部受高溫的威脅。在實際的操作上，農民或許已有利用增加灌排水次數來提昇米質的經驗，但在研究上有關水稻根溫與稻米品質形成的報告非常少，在亞熱帶水稻栽培之根溫方面的試驗幾乎沒有，因此須要以實際的研究試驗來證實。此外，增加灌排水次數將增加用水量，對水資源利用挑戰度高，未來是否實用須要仔細評估。

四、以環境資訊監測為田間管理之基礎

品質的形成與環境關係密切，掌握環境的動態變化趨勢方能實施有效的田間操作管理。由上述的氣象顯示，臺灣各區域皆有其氣象環境的特性，掌握各區域的氣象資料對栽培操作略作微調，方有可能達到“穩定”高品質的目的。本文已整理歸納出臺灣各地區近 16 年來的氣象周年變化趨勢，可以此資料作為基礎資料，一方面以品質安全溫度及日照量作基準，進行栽培期的調整，找到各區域最適合優質品質形成的操作方式。另一方面也可及時監測當期氣象變化現況，再對照 16 年資料下(可每年累積成為中長期資料)，瞭解及掌握當期氣象變化狀況，以進行及時的調整，如補充氮肥或灌排，減緩氣象環境的壓力，穩定最後之品質(Lur 2004)。此外，監控各區域氣象因子的變化，可以預估各區域水稻生育進度及品質狀況，進而預測市場狀況甚至進行市場操作。

五、育種之理想型

提昇高溫適應性的最有效方法可能還是育種。臺灣現行梗稻源自於 1900 年代初期日本專家學者由日本的引種及選拔，1926 年命名為蓬萊米。至今歷經國內專家學者再接再厲的努力，在此亞熱帶環境的梗稻選拔已近

90 年，此長期的選育過程是否已導致臺灣的梗稻具有亞熱帶高溫的適應性，亟待專家學者探討證實。此方面的研究除了可以建立臺灣水稻在國際水稻界的地位，亦可作為提昇我國水稻環境適應性育種工作的理論基礎。由於國內目前相關的研究相當少，因此僅就有限的本土研究資訊、國際文獻及專家經驗彙整為以下之可能適應於臺灣環境之優質稻米理想型性狀：

1. 穀粒比重高(充實度佳)，糙米比重高(密度大)。
2. 長寬比大於 2，較小粒型，如越光之粒型。
3. 穗內高比重穀粒之比率高，穀粒間比重變異小。
4. 穗上一次分枝多，穗型較為分散。
5. 適當減少現有品種分蘖數，增加每叢內(hill)穗之整齊度。
6. 適度降低充實速率，增加有效充實期。
7. 分期選拔，分期育種，選育分別適應兩期稻作之不同環境。
8. 成熟後期仍能維持適當的綠色葉面積(stay green)，以供應足夠的光合產物。此性狀可以葉色進行管理。
9. 高溫環境下表現低白堊質。此性狀可利用溫室或人工氣候室進行選拔。
10. 由秈稻導入對高溫穩定性基因。

如同其它的耐逆境性狀一樣，參與耐高溫又米質優良性狀的基因亦為數量性基因。未來在基因體技術的發展下，可利用 genomic profiling 技術協助選育此理想型，提昇育種效率。當然，以上之理想型性狀仍有相當的討論空間，需要識者充實之。

引用文獻

- Kondo M, T Ishimaru, Y Sanoh, T Umemoto (2005) Research directions on grain ripening under high temperature in rice. (in Japanese) *Agric. Technol.* 60:462-4702.
- Liu L, SC Hsieh (1984) Study in the low yield



- among cropping seasons and areas of rice culture and the improvement strategy. (in Chinese) Special series No. 16, Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan ROC.
- Agriculture and Food Agency (2004) Annual report of rice production and yield. (in Chinese) Council of Agriculture. Nantou, Nantou Hsien, Taiwan ROC.
- Chien PJ, HS Lur, C Chu (1997) Effects of culture period on rice storage proteins. (in Chinese) **Chinese Agron. J.** 7:333-341
- Huang JJ, HS 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) **J. Agric. Assoc. China** 1:370-389.
- Kobata T, N Uemuki, T Inamura, H Kagata. (2004) Shortage of assimilate supply to grain increases the proportion of milky white rice kernels under high temperatures. (in Japanese) **Jpn. J. Crop Sci.** 73: 315-322.
- Liu, SC, CH Wang, CJ Shiu, HW Chang, CK Hsiao, SH Liaw (2002) Reduction in sunshine duration over Taiwan: causes and implications. **Terrest Atmos. Ocean. Sci.** 13:523-546.
- Lur HS (1999) Effects of temperature on rice grain filling and grain quality. (in Chinese) p.17-32. *In: Environment and Rice Production.* C.-M. Yang (ed.) Taiwan Agriculture Research Institute, Council of Agriculture. Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan ROC.
- Lur HS (2004) Development Physiology and health management in rice. p.17-32. *In: Proceeding of 2004 symposium on rice health management.* SS Lin (ed.) Integrated Agricultural Development Foundation. Taipei, Taiwan ROC.
- Morita S, H Shiratsuchi, JI Takahashi, K Fujima (2004) Effect of high temperature on grain ripening in rice plants. – Analysis of the effect of high night and high day temperatures applied to the panicle and other parts of the plant. **Jpn. Crop Sci.** 73:77-83.
- Nagata K, T Takita, S Yoshinaga, K Terashima, A Fukuda (2004) Effect of air temperature during the early grain-filling stage on grain fissuring in rice. **Jpn. J. Crop Sci.** 73:336-342.
- Peng S, J Huang, JE Sheehy, RC Laza, RM Visperas, X Zhong, GS Centeno, GS Khush, KG Cassman (2004) Rice yields decline with higher night temperature from global warming. **PNAS** 101:9971-9975.
- Sun TS, H Yua, CN Sun (2004) Courses and prevention methods of chalky and defective rice grain formation. (in Chinese) **China Rice** 1:43-45.
- Yang Z, N Inoue, K Fujita, M Kato, M Hakiwara (2005) Modeling of translocation rate of dry matter from vegetative organs to panicle as influenced by air temperature in rice. **Jpn. J. Crop Sci.** 74: 65-71.
- Yao MH, HS Lur, C Chu (1999) Analysis of diurnal temperature range in Taiwan area. (in Chinese) **J. Agric. Assoc. China** 188: 32-45.