

高溫對水稻稔實率及稻米品質之影響

廖大經*、陳隆澤

行政院農業委員會農業試驗所嘉義農業試驗分所

摘要

2010 及 2011 年以 20 個臺灣水稻栽培品種做為參試材料，於水稻抽穗期及穀粒充實期，利用溫室設定平均日溫 36°C 及自然氣溫為對照的條件下，進行高溫對稔實率以及稻米品質影響的研究。結果顯示，不同溫度對於稔實率有顯著差異效應，高溫將造成稔實率的降低。2010 年第 1 與第 2 期作高溫造成平均稔實率分別減少 6.05 及 7.92%，2011 年第 1、2 期作則分別減少 6.07 及 17.47%。高溫對於不同品種間稔實率的影響，除 2011 年第 1 期作之外，其餘均呈顯著差異，但是年度或期作間則無一致的表現。不同品種在不同期作之耐熱表現，2010 年沒有顯著差別($P = 0.058$)，2011 年則有顯著差異($P = 0.001$)。2011 年自抽穗期以迄收穫為止，對 14 個臺灣硬稻品種全程予以高溫處理，以探討高溫對稻米品質之影響。2 個期作間糙米完整粒對於溫度的反應均呈顯著性差異，高溫將造成糙米完整粒減少，第 1 期作平均減少 13.89%，第 2 期作減少 15.21%。不同品種間之糙米完整粒的差異，第 1 期作無差異，第 2 期作則存在顯著差異。

關鍵詞：水稻、高溫、稔實率、稻米品質。

Effects of High Temperature on Fertility and Grain Quality of Rice

* 通信作者, djliao@dns.caes.gov.tw

投稿日期：2012 年 9 月 13 日

接受日期：2012 年 11 月 16 日

作物、環境與生物資訊 9:248-256 (2012)

Crop, Environment & Bioinformatics 9:248-256 (2012)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung 41362, Taiwan ROC

Dah-Jing Liao* and Lung-Che Chen

Chiayi Agricultural Experiment Branch, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi 60044, Taiwan ROC

ABSTRACT

Twenty rice varieties bred in Taiwan were selected for experiments which conducted in 2010 and 2011. During both heading and grain filling stages, average daytime temperature inside greenhouse was set at 36°C with greenhouse maintaining ambient temperature as control check (ck) to study high temperature effect on fertility and grain quality of rice. The results revealed that there was significant difference in fertility by high temperature treatment. The average fertility decreased 6.05% and 7.92% by the treatment of high temperature in the first and the second cropping seasons of 2010, respectively, and was decreased 6.07% and 17.47% in the first and the second cropping seasons of 2011, respectively. Among the examined rice varieties, except in the first crop of 2011, there was significant difference between varieties in high temperature effect on fertility. As for the heat tolerance performance of different varieties in different cropping seasons, significant difference existed in 2011 ($P = 0.001$), but not in 2010 ($P = 0.058$). By analyzing high temperature effect on grain quality using fourteen varieties out of the selected populations in 2011, results showed that high temperature treatment affected head-rice ratio of brown rice. It reduced 13.89% for first crop and 15.21% for second crop. Varietal difference in head-rice ratio of brown rice was found only in the second crop.

Key words: Rice, High temperature, Fertility, Grain quality.

前言

根據聯合國「跨政府間氣候變遷小組

(IPCC)」之 2007 年報告指出，全球大氣中溫室氣體濃度正快速增加，其中 CO₂ 濃度由工業化之前的 280 ppm 上升至 2005 年的 379 ppm，同時對於全球平均氣溫與海溫的升高提出警訊(IPCC 2007)。為了因應水稻生產在未來氣候條件下可能發生的改變，國外水稻學者早於 1970 年代，就已經針對水稻耐熱性展開一系列的相關研究。在高溫對於水稻產量的影響方面，Peng *et al.* (2004)指出，在菲律賓的乾旱季節，若水稻生長期平均最低溫度每增加 1°C，其產量至少降低 10%。Barker *et al.* (1992)研究指出，水稻在 CO₂ 濃度為 660 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ 的生長箱中，若將平均氣溫由 25.1°C 升高至 34.1°C，水稻穀粒產量將由 10.7 Mg ha⁻¹ 減少為 1.0 Mg ha⁻¹，並且認為主要是每穗充實粒數由 58.3 no. panicle⁻¹ 陡降為 2.9 no. panicle⁻¹ 所致。Morita *et al.* (2004)研究高日溫與高夜溫對於水稻穀粒成熟率及粒重的影響，發現高夜溫將造成兩者顯著降低。

至於高溫造成水稻減產的因素，Osada *et al.* (1973)認為水稻開花期高溫是造成不稔的主要原因之一，並指出開花期日最高氣溫超過 34–35°C 連續多日，則不稔實即異常增加。Satake and Yoshida (1978)則進一步發現水稻對高溫最敏感的時期是開花期，其次為減數分裂期，並且指出高溫造成不稔主要是因為柱頭上受粉不良及花粉發芽不良所致，這與花藥的裂開時間與裂開程度有相當關係，而這也是耐熱品種的性狀之一。Matsui *et al.* (2000)闡明高溫抑制花粉膨脹，導致花藥難以裂開的關係，亦比較了耐熱品種「日本晴」及高溫敏感品種 Hinohikari 的花藥結構，為耐熱性育種提供了性狀指標(Matsui *et al.* 2001a)。

關於耐熱性的檢定方法及指標方面，Osada *et al.* (1973)採用田間自然溫度的方式對 12 個水稻品種的耐熱性差異進行檢定，他們於泰國 2 個不同的地區及不同的播種期種植這 12 個品種，以不稔實率為檢定指標，結果篩選出對高溫反應為極度不稔、高度不

稔、中度不稔與正常等 4 類品種。Ziska *et al.* (1996)以人工氣候室比較 17 個品種在 CO₂ 濃度與溫度增加的情況下的產量，自抽穗期開始白天以高溫處理 8 小時連續 10 天，處理期間晝溫/夜溫設定為 37/29°C，其他非處理期間則設定在 29/21°C。Matsui *et al.* (2001b)比較 9 個硬稻品種在高溫下之不稔性，以人工氣候室設定晝溫/夜溫分別為 35/26°C、37.5/26°C 與 40/26°C 之溫度組合，白天高溫處理 6 小時連續 6 日，晝/夜相對濕度為 60/80%，以稔實率為檢定指標，篩選出感溫、中等及耐溫 3 類品種。Prasad *et al.* (2006)在可控制溫度梯度的溫室中(temperature-gradient greenhouses; TGG)，比較常溫與常溫加 5°C 對於 14 個水稻品種稔實率的影響，並指出稔實率可做為檢定耐熱品種的篩選工具。

高溫另一個不良的影響即是造成稻米品質的劣變，相關研究報告均指出以穀粒充實期的影響為主(Resurreccion *et al.* 1977, Morita *et al.* 2004)。在穀粒充實期遇到高溫會增加穀粒生長速度，如此將增加穀粒白堊質及減少穀粒重量(Resurreccion *et al.* 1977)。Zhang *et al.* (2006)指出，若穀粒充實全期均受高溫影響，則較充實前期或後期受高溫影響者，其稻米外觀品質及加工品質更為降低。對於穀粒充實期耐熱性的判別方法及指標，Zhang *et al.* (2006)以隸屬函數配合主成分分析法針對各種品質性狀予以統計分析，並得到以穀粒充實度做為耐熱指標的結論。

本研究擬選取 20 個臺灣目前水稻栽培品種，於 2010-2011 年間共 4 期作之抽穗期進行高溫處理，藉此瞭解高溫對於稔實率及稻米品質的影響，以及不同品種間對於高溫的耐受性是否有差異，可作為未來進行耐熱性育種計畫之參考。

材料與方法

一、供試水稻品種

參試水稻品種係行政院農業委員會農業試驗所嘉義農業試驗分所現有保存之粳稻及秈稻品種，選取 20 個主要栽培推廣品種，各參試品種名稱詳如 Table 1 所列。

二、栽培管理方式

育苗後約 3 葉齡即移植於內徑 0.25 m、高 0.20 m 的塑膠桶中，每個品種種植 6 桶，每桶種植 5 株，單本植。肥料分做 4 次施用，分別是基肥：臺肥 39 號(臺灣肥料股份有限公司，高雄市) 1.54 g 桶⁻¹ (308 kg ha⁻¹)，第 1 次追肥：硫酸銨 0.88 g 桶⁻¹ (176 kg ha⁻¹)、氯化鉀 0.1 g 桶⁻¹ (20 kg ha⁻¹)，第 2 次追肥：硫酸銨 0.88 g 桶⁻¹ (176 kg ha⁻¹)，以及穗肥：硫酸銨 0.88 g 桶⁻¹ (176 kg ha⁻¹)、氯化鉀 0.1 g 桶⁻¹ (20 kg ha⁻¹)。

三、溫度設置與記錄

溫室之平均日溫 (10:00-16:00) 設定值為 36°C，若瞬時溫度超過設定溫度則水牆及抽風扇立即啟動將溫度降至設定值，夜溫及濕度則任其自然變化而未予設定。以熱電偶測針及毛髮式溫濕度記錄儀(型號 R-704，SATO，日本)同時記錄溫、濕度。

四、高溫處理方式

處理方式分為 3 種，第 1 種方式(簡稱處理 1)自抽穗始期(即每桶第 1 穗抽出)開始，即將試驗材料移置於溫室內連續處理至抽穗末期(即每桶最後 1 穗抽出)後 10 日始移至室外。第 2 種方式(簡稱處理 2)自抽穗始期開始，即將試驗材料移置於溫室內連續處理至水稻成熟收穫為止。第 3 種方式(簡稱處理 3)為置於室外，以自然溫度為對照。其中，2010 年進行處理 1 及處理 3 以比較稔實率，2011 年因新購入穀粒判別器，故同時進行 3 種處理方式以比較稔實率及完整粒百分比。

五、耐熱性的評估方式

待試驗材料已屆收穫適期(即一穗基部穀粒尚有 1-2 粒呈黃綠色，其餘均呈黃色)，即全株予以收穫乾燥。稔實率及米質調查採

全檢方式，稔實率以人工調查，其計算公式如下

$$\text{稔實率(\%)} = \frac{\text{一穗充實粒數}}{\text{一穗總粒數}} \times 100\%$$

評估高溫對於稔實率造成的影響，以 I_F 表示 (Prasad *et al.* 2006, Tao *et al.* 2007, Chen and Wan 2009)

$$I_F = \frac{F_A - F_H}{F_A}$$

式中， F_A 表示常溫下的稔實率， F_H 表示高溫處理下的稔實率。

將收穫之稻穀以礮穀機(型號 THU35B，SATAKE，日本)碾製為糙米，粳稻品種使用穀粒判別器(型號 RGQI20A，SATAKE，日本)進行糙米米質外觀調查，計算完整粒(百分比)。秈稻與糯稻品種尚無適用之穀粒判別

Table 1. The entries of rice varieties for experiments in 2010 and 2011.

| Entry | Simplified name | Species |
|--------------------------|-----------------|-----------------|
| Taikeng 2 | TK2 | <i>japonica</i> |
| Taikeng 5 | TK5 | <i>japonica</i> |
| Taikeng 8 | TK8 | <i>japonica</i> |
| Taikeng 9 | TK9 | <i>japonica</i> |
| Taikeng 14 | TK14 | <i>japonica</i> |
| Taikeng 16 | TK16 | <i>japonica</i> |
| Taoyuan 1 | TY1 | <i>japonica</i> |
| Tainan 11 | TN11 | <i>japonica</i> |
| Kaohsiung 139 | KH139 | <i>japonica</i> |
| Kaohsiung 145 | KH145 | <i>japonica</i> |
| Taitung 30 | TT30 | <i>japonica</i> |
| Taikeng Glutinous 1 | TKG1 | <i>japonica</i> |
| Tainung 67 | TNG67 | <i>japonica</i> |
| Tainung 71 | TNG71 | <i>japonica</i> |
| Tainung 74 | TNG74 | <i>japonica</i> |
| Taichung Sen 10 | TCS10 | <i>indica</i> |
| Taichung Sen 17 | TCS17 | <i>indica</i> |
| Tainung Sen 14 | TNGS14 | <i>indica</i> |
| Tainung Sen 22 | TNGS22 | <i>indica</i> |
| Taichung Sen Glutinous 1 | TCSG1 | <i>indica</i> |

器，為避免人為判別所造成的誤差，所以未予調查。根據「糙米外觀檢定手冊」(Hong and Song 1990)的定義，除了未熟粒、死米、被害粒以外，完全成熟且未受損之米粒，稱為完整粒。評估高溫對於完整粒(%)造成的影響，則比照稔實率 I_F 的公式，以 I_{SK} 表示

$$I_{SK} = \frac{SK_A - SK_H}{SK_A}$$

式中， SK_A 與 SK_H 分別表示常溫及高溫處理下的糙米完整粒(%)。

六、統計分析

本試驗以裂區設計進行，溫度為主試區，品種為副試區，2 區集。調查不同處理方

式下，各品種之稔實率及完整粒百分比，並採用變異數分析(ANOVA)比較溫度、品種及交感效應是否顯著。以 t-test 比較品種於不同年度相同期作間之稔實率及抽穗期之平均日溫，McNemar test 用來比較品種耐熱反應是否有期作性。以上統計分析工作，使用統計應用軟體 SAS/SAST 9.1 完成。

結果

一、高溫對稔實率的影響

2010 年及 2011 年 20 個稻種在抽穗期進行高溫處理，其稔實率表現如 Table 2 所示。比較 2 年 4 個期作抽穗期溫度對於品種間稔實率的影響，結果顯示不同溫度對於稔實率

Table 2. The fertility of 20 rice varieties under treatments of different temperatures during heading stage in 2010 and 2011.

| Variety (V) | 1 st crop season, 2010 | | | | 2 nd crop season, 2010 | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-------|-------------|------------------------|-----------------------------------|-------|-------------|-----------|
| | Fertility (%) | | | | | | | |
| | F_A^z | F_H | $F_A - F_H$ | I_F | F_A | F_H | $F_A - F_H$ | I_F |
| TK2 | 90.29 | 83.08 | 7.21 | 7.99(MR ^y) | 89.20 | 90.44 | — | — |
| TK5 | 88.13 | 85.37 | 2.76 | 3.13(R) | 92.67 | 81.01 | 11.66 | 12.58(MS) |
| TK8 | 88.67 | 85.80 | 2.87 | 3.24(R) | 84.95 | 88.44 | — | — |
| TK9 | 83.79 | 77.63 | 6.16 | 7.35(MR) | 88.47 | 82.40 | 6.07 | 6.86(MR) |
| TK14 | 91.05 | 86.53 | 4.52 | 4.96(R) | 89.76 | 81.09 | 8.67 | 9.66(MR) |
| TK16 | 88.25 | 73.26 | 14.99 | 16.99(S) | 89.96 | 75.03 | 14.93 | 16.60(S) |
| TY1 | 65.58 | 62.17 | 3.41 | 5.20(MR) | 85.56 | 82.98 | 2.58 | 3.02(R) |
| TN11 | 93.36 | 87.93 | 5.43 | 5.82(MR) | 94.49 | 81.70 | 12.79 | 13.54(MS) |
| KH139 | 96.07 | 92.41 | 3.66 | 3.81(R) | 91.97 | 74.70 | 17.27 | 18.78(S) |
| KH145 | 89.55 | 76.22 | 13.33 | 14.89(MS) | 91.61 | 89.74 | 1.87 | 2.04(R) |
| TT30 | 92.73 | 87.80 | 4.93 | 5.32(MR) | 92.77 | 92.46 | 0.31 | 0.33(R) |
| TKG1 | 92.22 | 86.98 | 5.24 | 5.68(MR) | 93.29 | 95.14 | — | — |
| TNG67 | 88.67 | 82.55 | 6.12 | 6.90(MR) | 91.56 | 81.75 | 9.81 | 10.71(MS) |
| TNG71 | 64.35 | 57.06 | 7.29 | 11.33(MS) | 80.62 | 78.21 | 2.41 | 2.99(R) |
| TNG74 | 76.04 | 66.65 | 9.39 | 12.35(MS) | 86.81 | 76.38 | 10.43 | 12.01(MS) |
| TCS10 | 84.58 | 83.32 | 1.26 | 1.49(R) | 84.74 | 72.05 | 12.69 | 14.98(MS) |
| TCS17 | 84.16 | 83.41 | 0.75 | 0.89(R) | 93.67 | 75.87 | 17.80 | 19.00(S) |
| TNGS14 | 92.72 | 87.58 | 5.14 | 5.54(MR) | 87.97 | 77.58 | 10.39 | 11.81(MS) |
| TNGS22 | 93.90 | 85.92 | 7.98 | 8.50(MR) | 93.22 | 81.81 | 11.41 | 12.24(MS) |
| TCSG1 | 83.76 | 75.05 | 8.71 | 10.40(MS) | 78.71 | 64.81 | 13.90 | 17.66(S) |
| Mean | 86.39 | 80.34 | | | 89.10 | 81.18 | | |
| <i>P</i> -value T ^x | | | 0.0008 | | | | < 0.0001 | |
| <i>P</i> -value V | | | < 0.0001 | | | | < 0.0001 | |
| <i>P</i> -value T × V | | | 0.9153 | | | | 0.0040 | |

^z F_A : fertility at ambient temperature; F_H : fertility at high temperature; I_F : index of hot effect.

^y R: resistant; MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; S: susceptible; and HS: highly susceptible.

^x T: factor of temperature; V: factor of varieties; and T*V: interaction effect of temperature and variety.

Table 2. (continued)

| Variety (V) | 1 st crop season, 2011 | | | | 2 nd crop season, 2011 | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| | Fertility (%) | | | | | | | |
| | F _A ^z | F _H | F _A -F _H | I _F | F _A | F _H | F _A -F _H | I _F |
| TK2 | 93.32 | 85.05 | 8.27 | 8.86(MR) ^y | 93.96 | 88.39 | 5.57 | 5.93(MR) |
| TK5 | 95.22 | 86.00 | 9.22 | 9.68(MR) | 91.18 | 73.18 | 18.00 | 19.74(S) |
| TK8 | 96.29 | 86.37 | 9.92 | 10.30(MS) | 94.33 | 83.21 | 11.12 | 11.79(MS) |
| TK9 | 85.72 | 85.74 | — | — | 92.61 | 77.92 | 14.69 | 15.86(S) |
| TK14 | 92.11 | 86.33 | 5.78 | 6.28(MR) | 90.76 | 69.32 | 21.44 | 23.62(HS) |
| TK16 | 90.14 | 81.97 | 8.17 | 9.06(MR) | 88.08 | 70.87 | 17.21 | 19.54(S) |
| TY1 | 93.50 | 87.38 | 6.12 | 6.55(MR) | 81.36 | 73.42 | 7.94 | 9.76(MR) |
| TN11 | 84.15 | 85.58 | — | — | 91.91 | 75.62 | 16.29 | 17.72(S) |
| KH139 | 94.61 | 81.29 | 13.32 | 14.08(MS) | 84.92 | 68.56 | 16.36 | 19.27(S) |
| KH145 | 94.05 | 91.76 | 2.29 | 2.43(R) | 92.81 | 77.35 | 15.46 | 16.66(S) |
| TT30 | 86.25 | 82.97 | 3.28 | 3.809(R) | 91.06 | 72.70 | 18.36 | 20.16(S) |
| TKG1 | 96.54 | 86.03 | 10.51 | 10.89(MS) | 92.06 | 77.58 | 14.48 | 15.73(S) |
| TNG67 | 92.69 | 88.72 | 3.97 | 4.28(R) | 89.65 | 74.75 | 14.90 | 16.62(S) |
| TNG71 | 90.88 | 84.33 | 6.55 | 7.21(MR) | 81.22 | 66.45 | 14.77 | 18.19(S) |
| TNG74 | 83.49 | 85.32 | — | — | 85.36 | 50.13 | 35.23 | 41.27(HS) |
| TCS10 | 88.66 | 85.07 | 3.59 | 4.05(R) | 88.31 | 63.31 | 25.00 | 28.31(HS) |
| TCS17 | 92.91 | 89.73 | 3.18 | 3.42(R) | 89.49 | 66.32 | 23.17 | 25.89(HS) |
| TNGS14 | 91.76 | 84.48 | 7.28 | 7.93(MR) | 94.95 | 84.85 | 10.10 | 10.64(MS) |
| TNGS22 | 89.34 | 87.63 | 1.71 | 1.91(R) | 89.44 | 66.00 | 23.44 | 26.21(HS) |
| TCSG1 | 92.20 | 70.62 | 21.58 | 23.41(HS) | 82.13 | 56.36 | 25.77 | 31.38(HS) |
| Mean | 91.19 | 85.12 | | | 89.28 | 71.81 | | |
| <i>P</i> -value T × | | | < 0.0001 | | | | < 0.0001 | |
| <i>P</i> -value V | | | 0.3601 | | | | 0.0187 | |
| <i>P</i> -value T × V | | | 0.5307 | | | | 0.8352 | |

^z F_A: fertility at ambient temperature; F_H: fertility at high temperature; I_F: index of hot effect.

^y R: resistant; MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; S: susceptible; and HS: highly susceptible.

^x T: factor of temperature; V: factor of varieties; and T*V: interaction effect of temperature and variety.

有顯著差異，概以高溫造成稔實率的降低。2010年第1期作與第2期作高溫造成平均稔實率分別減少6.05%及7.92%，2011年第1、2期作則分別減少6.07%及17.47%。在不同品種間高溫對於稔實率的影響，除2011年第1期作之外，其餘均呈顯著差異。

若將 I_F 定義為抗級 R (I_F ≤ 5%)、中抗級 MR (5% < I_F ≤ 10%)、中感級 MS (10% < I_F ≤ 15%)、感級 S (15% < I_F ≤ 20%) 與極感 HS (I_F > 20%)，則兩年度之第1期作對高溫反應均呈抗性 R 的品種有臺中秈10號及臺中秈17號等2個秈稻品種，第2期作無；均呈

中抗 MR 反應者，第1期作有臺梗2號、桃園1號及臺農秈14號等3個品種，第2期作無；均介於抗級與中抗級(R-MR)間者，第1期作有臺梗5號、臺梗14號、臺東30號、臺農67號及臺農秈22號等5個品種，第2期作有桃園1。反應呈中感及以上(MS-HS)者，第1期作有臺中秈糯1號，第2期作梗稻有臺梗5號、臺梗16號、臺南11號、高雄139號、臺農67號、臺農74號等7個品種，以及所有參試的5個秈稻品種。另兩年度之第1期作反應不一致者，有臺梗8號、臺梗9號、臺梗16號、臺南11號、高雄139

號、高雄 145 號、臺梗糯 1 號、臺農 71 號及臺農 74 號等 9 個品種，第 2 期作反應不一致者有臺梗 2 號、臺梗 8 號、臺梗 9 號、臺梗 14 號、高雄 145 號、臺東 30 號、臺梗糯 1 號及臺農 71 號等 7 個品種。

二、高溫對糙米完整粒的影響

2011 年 14 個梗稻品種自抽穗期以迄收穫為止，全程予以高溫處理，其糙米完整粒的表現如 Table 3。2 個期作間糙米完整粒對於溫度的反應均呈顯著性差異，概以高溫造成糙米完整粒減少，第 1 期作平均減少 13.89%，第 2 期作減少 15.21%。不同品種間之糙米完整粒的差異，第 1 期作無顯著差異，第 2 期作則呈顯著性。比較品種間糙米完整粒之 I_{SK} ，第 1 期作介於 36.72–95.71% 之間，以臺梗 2 號最低(36.72%)，高雄 139 號為最高(95.71%)。第 2 期作介於 22.42–91.48% 之間，減少幅度以臺農 67 號最低(22.42%)，臺梗 9 號則為最高(91.48%)。

若將糙米完整粒 I_{SK} 定義為抗級 R ($I_{SK} \leq 10\%$)、中抗級 MR ($10\% < I_{SK} \leq 30\%$)、中感級 MS ($30\% < I_{SK} \leq 50\%$)、感級 S ($50\% < I_{SK} \leq 70\%$) 與極感 HS ($I_{SK} > 70\%$)，則第 1 期作除臺梗 2 號為中感(MS)反應外，其他各品種皆為感級(S)至極感(HS)反應。第 2 期作除臺梗 8 號、臺農 67 號及臺農 71 號表現為中抗(MR)外，其餘各品種皆為中感(MS)至極感(HS)反應(Table 3)。探討品種對於高溫的反應是否具有期作效應，為利於進行分析，乃將品種之 I_F 為 R、MR 者合併為抗級， I_F 為 HS、S 及 MS 者合併為感級。分析結果顯示，年度間期作效應無一致表現，2010 年不同期作對於品種耐熱表現沒有顯著差別($P = 0.058$)，2011 年卻呈顯著效應($P = 0.001$) (Table 4)。

討論

水稻抽穗期高溫造成稔實率下降，在 2010–2011 年 4 個期作中有一致的表現，也與

國外的研究結果相類似(Osada *et al.* 1973, Prasad *et al.* 2006)。除了 2010 年第 1 期作外，高溫對稔實率的影響在不同品種間存在顯著差異，這顯示了藉由選拔獲得耐熱品種是可行的育種方式。然而溫度的影響在相同期作之不同年度間，表現卻不甚一致，例如 2010 與 2011 年第 1 期作 20 個品種於常溫下的平均稔實率相差 4.8% ($P = 0.029$)，在高溫下平均稔實率亦相差 4.8% ($P = 0.044$)。第 2 期作常溫下無顯著差異，高溫下則相差 9.37% ($P = 0.001$)，同時年度間某些品種之 I_F 的表現也不一致，因此試驗結果的再現性不甚理想。比較嘉義農業試驗分所 2010–2011 年第 1、2 期作水稻抽穗期間的平均日溫(10:00–16:00)，第 1 期作兩年度分別是 28.84 °C 與 28.51 °C，未達顯著差異($P = 0.616$)，第 2 期作則分別為 28.86 °C 及 28.75 °C，亦未達顯著差異($P = 0.051$)。顯然除了溫度因素以外，尚有未知系統或非系統性的因素影響品種間稔實率的表現。例如，有研究認為夜溫及濕度等環境條件，以及穗溫與穎花溫度等微氣象條件，對於稔實率亦可能有影響(Osada *et al.* 1973, Satake and Yoshida 1978, Nishiyama and Satake 1981)，在本研究中受限於設備因素而無法予以控制，有待將來深入探討釐清。目前臺灣水稻栽培制度大多仍為 1 年 2 期作制，第 1 期作氣溫變化的走勢為逐漸增高，第 2 期作氣溫走勢則相反。在本研究中，水稻抽穗期的平均日溫，2010 年第 1、2 期作的相差 0.02 °C，2011 年則相差 0.24 °C，概以第 2 期作的平均日溫略高。2011 年期作間平均日溫差異幅度遠較 2010 年為高，相差約 1 個數量級，這也許可解釋為 2011 年有期作效應的原因之一。未來水稻耐熱性育種是否應分期作進行，就本研究結果來看，以第 2 期作為抗級者，於第 1 期作亦表現抗級，僅有 2010 年之臺農 71 號為例外。因此，似以將田間耐熱性選拔工作置於第 2 期作，或兩期作皆進行選拔，但以第 2 期作結果為宜，惟亦需更多試驗資料加以佐證。

Table 3. The head-rice ratios of brown rice of 14 rice varieties under treatments of different temperatures during heading stage.

| Variety (V) | 1 st crop season, 2011 | | | | 2 nd crop season, 2011 | | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------|
| | Head-rice ratio (%) | | | | | | | |
| | SK _A ^z | SK _H | SK _A - SK _H | I _{SK} | SK _A | SK _H | SK _A - SK _H | I _{SK} |
| TK2 | 16.75 | 10.60 | 6.15 | 36.72(MS ^y) | 30.65 | 17.40 | 13.25 | 43.23(MS) |
| TK5 | 17.75 | 4.85 | 12.90 | 72.68(HS) | 31.20 | 16.35 | 14.85 | 47.60(MS) |
| TK8 | 19.30 | 6.35 | 12.95 | 67.40(S) | 38.20 | 29.25 | 8.95 | 23.43(MR) |
| TK9 | 7.40 | 0.45 | 6.95 | 93.92(HS) | 20.55 | 1.75 | 18.80 | 91.48(HS) |
| TK14 | 11.20 | 1.65 | 9.55 | 85.27(HS) | 28.90 | 12.45 | 16.45 | 56.92(S) |
| TK16 | 3.15 | 0.40 | 2.75 | 87.30(HS) | 13.25 | 7.00 | 6.25 | 47.17(MS) |
| TY1 | 17.55 | 2.20 | 15.35 | 87.46(HS) | 35.30 | 10.20 | 25.10 | 71.10(HS) |
| TN11 | 27.70 | 1.60 | 26.10 | 94.22(HS) | 30.70 | 12.00 | 18.70 | 60.91(S) |
| KH139 | 18.65 | 0.80 | 17.85 | 95.71(HS) | 16.05 | 9.55 | 6.50 | 40.50(MS) |
| KH145 | 25.10 | 1.70 | 23.40 | 93.23(HS) | 30.10 | 6.35 | 23.75 | 78.90(HS) |
| TT30 | 12.80 | 0.60 | 12.20 | 95.31(HS) | 19.65 | 11.85 | 7.80 | 39.69(MS) |
| TNG67 | 10.55 | 0.90 | 9.65 | 91.47(HS) | 22.75 | 17.65 | 5.10 | 22.42(MR) |
| TNG71 | 22.20 | 2.95 | 19.25 | 86.71(HS) | 24.10 | 16.70 | 7.40 | 30.71(MR) |
| TNG74 | 24.95 | 5.55 | 19.40 | 77.76(HS) | 46.30 | 6.25 | 40.05 | 86.50(HS) |
| Mean | 16.79 | 2.90 | | | 27.69 | 12.48 | | |
| <i>P</i> -value T ^x | | | < 0.0001 | | | | < 0.0001 | |
| <i>P</i> -value V | | | 0.0692 | | | | 0.0016 | |
| <i>P</i> -value T × V | | | 0.3179 | | | | 0.0336 | |

^z SK_A: head-rice ratio at ambient temperature; SK_H: head-rice ratio at high temperature; and I_{SK}: index of hot effect.

^y R: resistant; MR: moderately resistant; MS: moderately susceptible; S: susceptible; and HS: highly susceptible.

^x T: factor of temperature; V: factor of varieties; and T*V: interaction effect of temperature and variety.

Table 4. Comparison of high temperature resistance among rice varieties between the first and the second cropping seasons in 2010 and 2011.

| Year | 1 st crop season | No. of entry | | <i>P</i> -value ^z |
|------|-----------------------------|-----------------------------|-------------|------------------------------|
| | | 2 nd crop season | | |
| | | Resistant | Susceptible | |
| 2010 | Resistant | 4 | 2 | 0.0578 |
| | Susceptible | 8 | 3 | |
| 2011 | Resistant | 2 | 0 | 0.0009 |
| | Susceptible | 11 | 4 | |

^z The proportions of resistance to high temperature between the first and the second cropping seasons analyzed by McNemar test.

不同稻型是否影響品種對於高溫的抗性反應？在稔實率為50%的條件下，Satake and Yoshida (1978)的試驗結果指出，不同秈稻品種對於高溫之臨界溫度相差約5.5°C，Matsui *et al.* (2001b)指出不同粳稻品種的臨界溫度相差約3°C，顯示秈稻品種間對於高溫臨界溫

度的範圍可能比粳稻品種來得大。Jagdish *et al.* (2007)認為秈稻品種對於高溫的耐受性較粳稻為高，因為高溫對於秈稻品種的影響僅於開花當日(Satake and Yoshida 1978)，但對於粳稻品種的影響卻早在開花前數日即已開始(Nabeshima *et al.* 1988, Matsui *et al.*

2000)。本研究試驗結果則顯示，秈稻或梗稻等不同稻型對於高溫逆境之耐受程度高低，尚無一致的結果，此與 Prasad *et al.* (2006) 的結論類似。例如在 2010 年第 1 期作， I_F 最低為臺中秈 17 號，最高為臺梗 16 號，但同年度第 2 期作，指數最高卻為臺中秈 17 號，最低則為臺東 30 號。此外，秈稻品種對於高溫反應似乎有較為明顯的期作性，參加試驗的 5 個秈稻品種，除了臺中秈糯 1 號以外，其他 4 個品種在第 1 期作均為抗級或中抗級，但是在第 2 期作卻變成中感級或感級，兩個年度都有一致的現象。

環境因素與稻米品質之間的關係相當複雜，然而高溫對於稻米品質劣變的影響，在本研究中至為明顯。但是品種間的表現並無一定規律可循。第 1 期作中參試品種對高溫的敏感性，除臺梗 2 號為中感級外，其餘均為感級或極感級，品種間的差異也不顯著，但是第 2 期作則有臺梗 8 號、臺農 67 號及臺農 71 號等 3 個品種由極感級變為中抗級。由於本研究高溫處理僅設置 36℃ 這個等級，對於米質研究而言或許已經超過生理上的容受閾值(耐受性臨界值)，所以難以區分品種間的差異。將來可考慮設計溫度梯度方式，可以探討不同溫度對於稻米品質變化的影響程度，亦可同時瞭解不同品種對於高溫的容受閾值。此外，其他有關稻米外觀品質性狀，如白垩質率、死米率、被害率、未熟率等在評估指標中所占的權重如何估算，目前尚無一致的標準。

歸納本研究試驗結果，可知目前臺灣栽培面積較廣的水稻品種，在產量及品質方面，普遍對於高溫環境具有相當程度的敏感性，並且不同品種對於高溫的反應也有差異性，顯示透過選拔育種程序可望獲得較具耐熱性的品種。耐熱反應的期作性於年度間無一致的表現，所以將來是否應進行耐熱性分期育種，目前可提供的訊息有限。比較梗稻及秈稻品種之耐熱表現，則沒有固定的形式，與部分國外研究結果類似。

誌謝

本試驗承行政院農業委員會補助部分經費(100 農科-4.2.1-農-C2)，氣象資料承嘉義農業試驗分所利幸貞小姐提供，試驗調查及管理工作承羅俊欽先生協助，特此誌謝。

引用文獻

- Barker JT, LH Allen Jr, KJ Boote (1992) Temperature effects on rice at elevated CO₂ concentration. **J. Exp. Bot.** 43:959-964.
- Chen Q-Q, B-L Wan (2009) Study on phytotron identification method of rice heat tolerance. (in Chinese) **J. Anhui Agri. Sci.** 37: 6350-6360.
- Hong MC, S Song (1990) Brown rice quality test manual. Taichung Dist. Agric. Res. Ext. Stn. Press, Taiwan. 17pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. IPCC Press, Geneva. 104pp.
- Jagadish SVK, PQ Craufurd, TR Wheeler (2007) High temperature stress and spikelet fertility in rice (*Oryza sativa* L.). **J. Exp. Bot.** 58:1627-1635.
- Matsui T, K Omasa, T Horie (2000) High temperature at flowering inhibits swelling of pollen grains, a driving force for thecae dehiscence in rice (*Oryza sativa* L.). **Plant Prod. Sci.** 3:430-434.
- Matsui T, K Omasa, T Horie (2001a) Comparison between anthers of two rice (*Oryza sativa* L.) cultivars with tolerance to high temperatures at flowering or susceptibility. **Plant Prod. Sci.** 4:36-40.
- Matsui T, K Omasa, T Horie (2001b) The difference in sterility due to high temperatures during the flowering period among japonica-rice varieties. **Plant Prod. Sci.** 4:90-93.
- Morita S, H Shiratsuchi, J Takahashi, K Fujita (2004) Effect of high temperature on grain ripening in rice plants - analysis of the effects of high night and high day temperatures applied to the panicle and other parts of the plant. (in Japanese) **Jpn. Crop Sci.** 73:77-83.
- Nabeshima M, M Ebata, M Ishikawa (1988) Studies on the high temperature and dry wind

- injuries in flowering rice plant. (in Japanese) **Rep. Tokai Br. Crop Sci. Soc. Jpn.** 105:1-2.
- Nishiyama I, T Satake (1981) High temperature damages in rice plants. (in Japanese) **Jpn. J. Trop. Agric.** 25:14-19.
- Osada A, V Sasiprapa, M Rahong, S Dhammanuvong, H Chakrabandhu (1973) Abnormal occurrence of empty grains of indica rice plants in the dry, hot season in Thailand. **Proc. Crop Sci. Jpn.** 42:103-109.
- Peng SB, JL Huang, JE Sheehy, RC Laza, RM Visperas, XH Zhong, GS Centeno, GS Khush, KG Cassman (2004) Rice yield decline with higher night temperature from global warming. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA.** 101:9971-9975.
- Prasad PVV, KJ Boote, LH Allen Jr., JE Sheehy, JMG Thomas (2006) Species, ecotype and cultivar differences in spikelet fertility and harvest index of rice in response to high temperature stress. **Field Crops Res.** 95:398-411.
- Resurreccion AP, T Hara, BO Juliano, S Yoshida (1977) Effect of temperature during ripening on grain quality of rice. **Soil. Sci. Plant Nutr.** 23:109-112.
- Satake T, S Yoshida (1978) High temperature-induced sterility in indica rice at flowering. **Proc. Crop Sci. Jpn.** 47:6-17.
- Tao L-S, H-J Tan, X Wang, L-Y Cao, S-H Cheng (2007) Effects of high temperature stress on super hybrid rice Guodao 6 during flowering and filling phases. (in Chinese) **Chinese J. Rice Sci.** 21:518-524.
- Yoshida S, T Satake, DJ Mackill (1981) High temperature stress in rice. IRRI Res. Paper series 67. IRRI, Los Banos, Philippines. 15pp.
- Zhang GF, SH Wang, J You, QS Wang, YF Ding, ZH JI (2006) Effect of high temperature in different filling stages on rice qualities. (in Chinese) **Acta Agron Sin.** 32:283-287.
- Ziska LH, PA Manalo, RA Ordonez (1996) Intraspecific variation in the response of rice (*Oryza sativa* L.) to increased CO₂ and temperature: growth and yield response of 17 cultivars. **J. Exp. Bot.** 47:1353-1359.