

水稻耐熱性檢定圃的設置與應用

農試所作物組 李長沛 林盟翰 吳東鴻

農試所植病組 陳繹年

一、前言

在全球暖化趨勢下，高溫已成為作物栽培上不可閃避的重要議題之一。根據聯合國「政府間氣候變化專門委員會」(IPCC, 2021)的研究報告，顯示現今人類各項活動所誘發的暖化現象，以工業化前期水準作為基期下，已高出 $1.0 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ，全球暖化正以每十年上升約 $0.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 進行中，預測2030年到2052年之間將提升 1.5°C 。在區域尺度上，觀察台灣近年平均升溫狀況也有相同趨勢，以1981-2010年平均溫度(23.63°C)為基準，近10年溫度持續上升外，至2020年已高出平均值達 1.08°C ，相當於IPCC特別報告中所提出的全球每十年上升幅度 $0.2 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 的5倍。整合台灣水稻栽培各生育期與各月份溫度變化，顯示近年來，不論第一或第二期作各地區栽培後期(生殖生長期)均遭遇1951年以來高溫逆境。為因應持續高溫所帶來的負面影響，模擬高溫環境系統性篩檢遺傳資源與調適措施，將有助於提升作物對環境逆境的適應性；有鑒於此，本文簡介農業試驗所(簡稱本所)水稻耐熱檢定圃之設置及實際運作情形。

二、高溫逆境對稻作產業的影響

高溫逆境在稻作生產上之影響包括產量損失和稻米品質劣化。菲律賓國際稻米研究所(International Rice Research Institute)曾分析為期25年的現地產量與氣象變化的關聯性，發現旱季時期的夜溫提高 1°C 時，該期水稻將面臨減產10%的風險 (Peng et al., 2004)。國內學者也指出氣候暖化的影響下，台灣北部地區將明顯減產，而中南部略微增產，但整體平均值仍然呈現減產趨勢，預估於2050年及2080年將分別減產4.7%及7% (姚和陳, 2009)。在稻米品質上，第一期作水稻生育期溫度變化係由低溫轉至高溫，而生育後期的高溫逆境遂使白堊質粒及未熟率普遍高於第二期作所生產的稻穀 (Lur et al., 2009)。

作者：李長沛副研究員
連絡電話：04-23317177

生理研究顯示，開花後15天內的溫度對水稻產量與品質的影響最大。其臨界溫度在25-27℃，學者認為在30℃以內，開花後15天內溫度每增加1℃，產量減少2-6% (Wu et al., 2016)，該時期溫度超過臨界值時，完整米率減少、白垩比率增加，明顯影響稻米理化特性。

暖化情境也促使病、蟲害發生頻率增加或發生時序的改變。在全球暖化的情境下，害蟲族群及其代謝速率與前三大穀類作物(水稻、玉米、小麥)產量損失的相關性，預測模式顯示每升溫1℃產量將損失10-25%，尤其以穀類生產為主的溫帶地區更為明顯(Deutsch et al., 2018)。水稻褐飛蟲、白葉枯病原是國內僅在第二期稻作好發的病蟲害，但近年來已在第一期稻作屢見不鮮。國內學者模擬同時考量高溫及大氣高CO₂濃度的複合情境下，水稻抗蟲基因的抗性表現亦受影響；以褐飛蟲抗性基因為例，攜有

BPH17抗性基因者較不易受環境影響，而BPH20則易隨環境變化而喪失抗性 (Kuang et al., 2021)。顯示暖化的情境下，除解決植物本身的忍受性、適應性外，仍須重視作物與病蟲害發生的相關性。

三、耐熱檢定圃的設置

本所自2016年持續建構可以進行大量檢定之自動控溫耐熱檢定圃(圖一)，作為因應暖化情境所帶來衝擊的研究應用。耐熱檢定圃的構建，為雙拼圓頂力霸塑膠型、鋼骨支架的強固型溫室，具雙翼開頂溫室規劃設置，整體占地9.6 m×36 m雙連棟，為水泥地基，柱高4 m，圓頂2.6 m、四邊均有上、下捲揚，以透光率90% PO農用塑膠膜覆蓋，內設加熱器2組及內循環通風扇，自動控制器與加熱器、通風扇、捲揚進行連動；溫室內離地面1.2 m處均勻配置4組氣溫、溼度監測器，由4組氣溫數據之平均作為自動控制器

啟動之依據，另設置4組CO₂濃度監測器，4組土壤三合一監測器，4組土壤水分及導電度計以監測田間環境參數。



圖一、耐熱檢定圃篩選情形及自動控制系統。

耐熱檢定圃可以種植面積為 $19\text{ m} \times 33\text{ m}$ ，若以 $28\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ 的種植密度，每品系種植18株，單次可檢定約400品種(系)，足以進行種原評估、大量檢定分離後裔或進行逆境調適措施研究。

根據近年來耐熱檢定圃運作現況，發現檢定圃的夏季高溫可能高達 44°C 以上，已規劃調整側邊捲揚和開頂天窗，當內部溫度達設定溫度，則打開捲揚及天窗，但側邊下捲揚面積較大，且開啟高度與稻株株高接近，正好接近水稻抽穗的位置，可能造成檢定圃內兩側溫度較低，試驗材料可能面臨的高溫逆境不足的現象。因此目前降溫的設定，當溫度達設定溫度時僅開啟側邊上捲揚，以減少設施邊緣干擾。未來設計上可將兩側捲揚改為三段式，溫度超過設定溫度時僅開啟上、中部的捲揚，以增加降溫速度，也可避免溫度不均的干擾。

四、耐熱檢定圃的運作

耐熱檢定圃目前主要評估水稻生育後期的高溫耐受性。試驗材料同時種植於檢定圃與露天田區，在水稻開始抽穗時進行溫度處理，日間(08:00-15:00，儘可能涵蓋水稻開花的時間)溫度設定在 $39^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，夜間則設定在 $28^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，持續至成熟期。在加溫期間與田間環境溫度相比較(表一)，白天加溫時段，較田間溫度高出約 9°C ，夜間則高出田間約 5°C ，第一、二期作水稻生育後期的高溫處理均可超出水稻開花期的臨界溫度(35°C)，可評估高溫逆境下的稔實率變

化，從而選育耐熱的優良品種(系)。而檢定圃內之日夜平均溫度均達 30°C 以上，超過一般認為對水稻米質負面影響的臨界溫度 26°C (盧等，2006)，利於評估高溫逆境下對米質的影響。

耐熱檢定圃的檢定環境，有別於一般生長箱內僅能進行少量精確的耐熱性評估。較大面積的環境及各水稻品種(系)生育期的差異，可能面臨高溫的逆境程度有所不同，對檢定結果也可能有不等程度的影響。以台農77號為試驗材料(圖二)，比較種植於田間、一般溫室於抽穗前移入耐熱檢定圃，以及直接種植於耐熱檢定圃內的高溫逆境表現。結果顯示在高溫逆境下，稔實率均明顯降低，說明生育後期的高溫逆境處理並未受生長前期的栽培環境的影響，有利於評估抽穗期不同的各類品種(系)。

五、耐熱檢定圃的應用

耐熱檢定圃的設置，除進行耐熱性品(種)系檢定外，也可提供高溫逆境下

表一、田間環境溫度與耐熱檢定圃之溫度比較

處理	日均溫 ($^{\circ}\text{C}$)	08:00~15:00 均溫($^{\circ}\text{C}$)	15:00~08:00 均溫($^{\circ}\text{C}$)
2020 第一期作 5月1日~6月20日			
田間環境	27.6	30.2	26.6
耐熱檢定圃	33.3	39.1	31.3
溫度差異	5.7	8.9	4.7
2020 第二期作 9月21日~11月30日			
田間環境	24.8	28.3	23.4
耐熱檢定圃	31.1	37.0	28.6
溫度差異	6.3	8.7	5.2

08:00-15:00；15:00-08:00溫度設定分別為 39°C 、 28°C 。

各類相關研究應用。為克服高溫對稻作產業的不良影響，就短期的目標而言，了解國內主要水稻推廣品種高溫韌性表現，可作為各地區推廣上的參考；也針對各區改良場參與區域試驗的新育成品系進行耐熱性評估，以提供新品系命名及適栽區推廣參考。同時於高溫檢定圃中，進行不同灌溉方法或營養調配等栽培管理試驗，建立高溫逆境調適技術，作為輔導及推廣的依據。

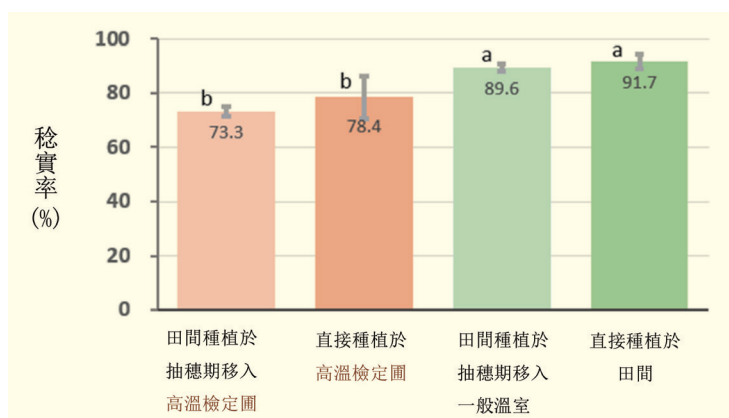
另外，也積極的引進及評估各類種原，做為強化固有品種耐熱性的基礎。

其中耐高溫的印度品種Nagina 22 (N22)，在耐熱檢定圃內仍能維持高稔實率(表二)；埃及品種Giza178在耐熱檢定圃內，除保有高稔實率也有較好的米質外觀；而來自澳洲及非洲的野生稻種，具有耐熱、耐旱的特性，也是改進栽培稻應變氣候變遷的重要遺傳資源，均可提供改進現有品種高溫逆境忍受性的潛力。

在耐熱檢定圃中，進一步結合型態或生理指標的調查、病蟲害發生的評估，從各式種原中找出高溫下仍有高稔實率和較好外觀品質關聯性基因，或是不易受高溫影響的抗病蟲害基因，配合分子標誌輔助選拔，有助於改進推廣品種應變高溫逆境的精準育種目標。

六、結語

在氣候變遷全球暖化的情境，作物栽培所面臨的衝擊，往往不再只是單一事件的課題，如高溫伴隨著乾旱，也相繼影響病蟲危害的時序變化及抗性基因的有效性，透過模擬的環境，將更適切且有效的進行評估。耐熱檢定圃的應用，短期內可以了解國內主要水稻推廣品種對高溫的忍受性，並建立高溫調適技術。長期的目標，則結合生物技術、



圖二、不同處理方式下水稻台農77號稔實率表現(2020第一期作)。

表二、耐熱品種N22與國內推廣品種於一般田間(常溫)和耐熱檢定圃(高溫)之稔實率(%) (2020、2021年)

品種	第一期		第二期	
	田間環境	耐熱檢定圃	田間環境	耐熱檢定圃
N22	89.4±1.4 b	90.1±1.1 a	90.3±3.9 a	92.2±2.2 a
台梗9號	91.8±2.3 a	66.1±15.1 b	91.7±1.5 a	85.2±3.9 b
台南11號	92.4±1.4 a	75.4±13.3 ab	88.2±5.9 a	83.0±5.8 b

同欄英文字母相同者，表示LSD檢定無顯著差異。各數值均為兩年兩個同期作4重複之平均。

型態生理特徵，將耐熱性基因導入國內推廣品種，並尋找高溫環境下仍持續具有抗病蟲害的有利基因，以改進現有品種對未來環境的忍受性。期待本設施的研究成果，可以提升國內稻作栽培時面臨高溫逆境衝擊時的韌性。也歡迎有興趣的研究團隊與專家可以善加應用本設施，來解決氣候變遷下高溫逆境對作物生產上亟需解決的各類課題。

七、參考文獻

盧箴生、劉韻華、中央氣象局第三組農業氣象科。2006。台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。

姚銘輝、陳守泓。2009。氣候變遷下水稻生長及產量之衝擊評估。作物、環境與生物資訊6(3):141-156。

Deutsch, C. A., J. J. Tewksbury, M. e Tigchelaar, D. S. Battisti, S. C. Merrill, R. B. Huey, and R. L. Naylor. 2018. Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science* 361: 916. DOI: 10.1126/science.aat3466.

IPCC, 2021. Technical Summary. In “Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” [eds. 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] pp. 33 144, doi:10.1017/9781009157896.002.

Kuang, Y.H., Y.F. Fang, S.C. Lin, S. F. Tsai, Z. W. Yang, C. P. Li, S. H. Huang, S. L. Hechanova, K. K. Jena and W. P. Chuang. 2021. The impact of climate change on the resistance of rice near-isogenic lines with resistance genes against brown planthopper. *Rice* 14, 64 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12284-021-00508-6>.

Lur, H. S., C. L. Hsu, C. W. Wu, C. Y. Lee, C.L. Lao, Y. C. Wu, S. J. Chang, C.Y. Wang and M. Kondo. 2009. Changes in temperature, cultivation timing and grain quality of rice in Taiwan in recent years. *Crop, Environment & Bioinformatics*. 6:175-186.

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. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*. 101: 9971-9975. <https://doi.org/10.1073/pnas.0403720101>

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 Prod. Sci.* 19:1, 145–153. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/1343943X.2015.1128091>.