

高溫逆境下表型特徵分析技術 應用於水稻耐性品系選拔

農試所作物組 何佳勳 李長沛 蕭巧玲 李美冠 林瑋庭 顏惠姿

一、前言

水稻乃台灣栽種面積最廣的糧食作物，依氣候條件一年可栽植兩期作，其中第一期作生育時期的溫度變化為低溫趨向高溫而第二期作則相反，由於兩期作氣候環境的差異將影響水稻產量與品質。近年來水稻第一期作之抽穗至成熟期(5-7月)經常面臨高溫危害，導致稔實率降低和白垩質粒比率增加，進而影響市售外觀品質，因此水稻耐高溫品種之選育工作已成為水稻育種專家的重要工作目標。紅外線熱影像(infrared thermal imaging)乃藉由紅外線相機記錄受測物體之輻射熱，以偵測其表面溫度變化，此技術為非破壞性檢測可應用於植物生理觀測等各項生理特徵之評估，諸如(1)苗圃監測：紅外線熱影像可用於檢測種子和幼苗的活力、物理損傷、生理障礙以及評估種子、幼苗與植物在苗圃和溫室內的生長過程；(2)灌溉調度：紅外線熱影像可與其他方法學結合，以監測植物溫度與蒸散率瞭解植物氣孔導度和氣孔關閉情形，進而評估植物對乾燥土壤的反應，以獲取作物水分逆境和灌溉調度；(3)逆境和病原體檢測：紅外線熱影像可檢測作物在非生物逆境及病蟲害感染的反應，藉由可視化與分析感染和未感染葉片之間的溫差，以診斷症狀發生前提供信息；(4)植物生物量和產量預測：利用紅外線熱影像獲取作物水分逆境指數(crop water stress index, CWSI)，並可藉由指數預測土壤水分，以開發作物生長模式預測生物量和產量；(5)成熟度評估：利用紅外線熱影像分析農產品的蒸散作用與環境的相互關係，可評估作物成熟度進而確定最佳收穫期。綜合上述研究可知，紅外線熱影像光譜之植物表型分析可作為農業應用的輔助工具。

二、高溫逆境對水稻生產的影響

由於全球氣候變遷與極端天氣日漸嚴峻，聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於2021年8月9日公布氣候變遷第六次

作者：何佳勳助理研究員
連絡電話：04-23317119

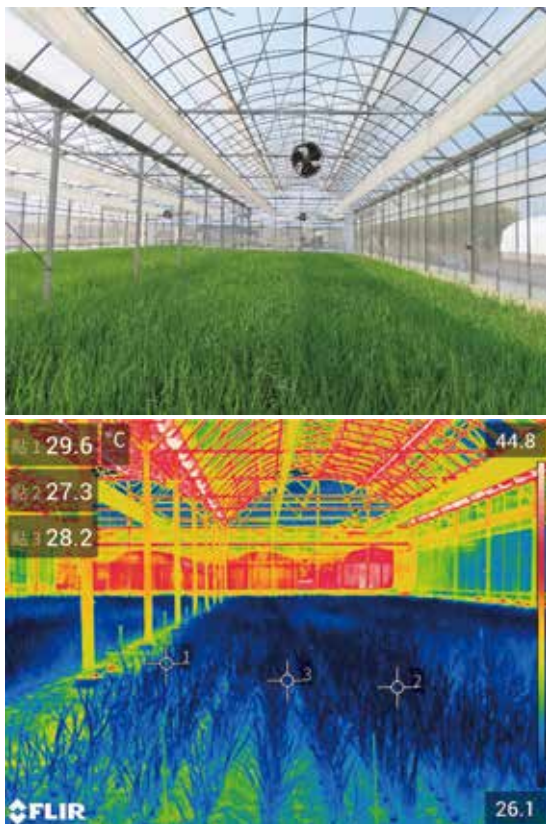
評估報告 (IPCC AR6)。為因應此報告且瞭解台灣面對全球氣候變遷的挑戰，台灣氣候變遷科學團隊，包含科技部「台灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)」、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象局、台灣師範大學地球科學系以及國家災害防救科技中心，共同撰寫並發布「IPCC氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與台灣氣候變遷評析更新報告」。由報告內容顯示，台灣平地的年平均氣溫在過去110年(1911-2020年)上升約 1.6°C ，而近30年(1991-2020年)全球的暖化趨勢為每10年上升 0.29°C ，因此相較於全球溫度上升幅度則較為顯著。進一步推估台灣未

來氣溫將持續上升，若在全球暖化最劣情境(SSP5-8.5)下，21世紀中、末之年平均氣溫可能上升超過 1.8°C 及 3.4°C ，而在理想減緩情境(SSP1-2.6)下，可能增加 1.3°C 及 1.4°C ；在未來極端高溫事件中，台灣各地高溫 36°C 以上日數將會增加，在最劣情境(SSP5-8.5)下，增加幅度約8.5日及48.1日，其中又以都市地區增加較其他地區顯著，而在理想減緩情境(SSP1-2.6)下，增加幅度約6.8日及6.6日。

隨著氣候變遷造成全球暖化趨勢日益顯著，因此台灣水稻在第一期作之抽穗期至成熟期和第二期作之幼苗期至分蘗期將面臨高溫危害。已知水稻於分蘗期間若遭逢高溫環境將減少分蘗數且降低每株穗數，而抽穗開花期若處於高溫高濕環境下，可能導致花藥不易乾燥開裂，使得授粉率下降而不稔，乳熟期高溫則會加速灌漿速度導致白堊質率提高，造成米粒外觀及碾米品質下降。再者，水稻產量會隨夜溫增加 1°C 而減少約10%，因此高溫逆境對未來的稻作產業勢必造成嚴重衝擊，開發耐高溫逆境水稻品種將成為減緩氣候變遷衝擊的一種替代方案，惟育種過程必須瞭解遺傳、生化及生理反應，作為篩選性狀的評估考量進而提高水稻品種的耐受性。

三、紅外線熱影像技術應用於水稻育種篩選

本研究擬利用紅外線熱影像技術建立高溫逆境下不同水稻品種(系)之表型特徵，以評估各水稻品種(系)對於高溫逆境環境的耐受性表現，因此在2020-



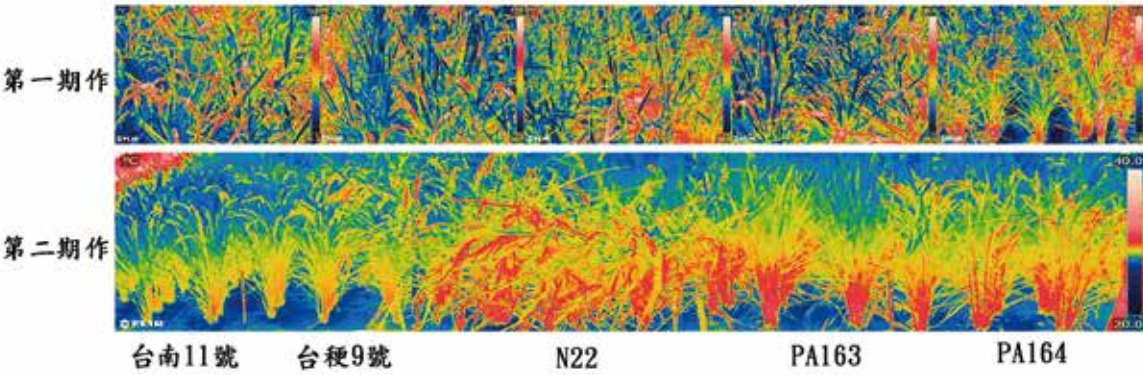
圖一、高溫逆境篩選圖篩選耐高溫種原。

2021年行政院農業委員會農業試驗所耐熱篩選圃(圖一)進行稻作試驗，即水稻進入抽穗期開始高溫處理直至成熟期，日間(08:00-15:00)溫度設定在 $39 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，夜間則設定在 $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 。本試驗參試水稻品種包含「台南11號」、「台梗9號」、耐高溫印度品種Nagina 22 (N22)及台梗9號導入N22耐熱基因品系(PA163、PA164)。由於葉溫與穗溫是水稻生理狀態的重要指標，其可評估水稻是否遭受高溫逆境危害，因此本試驗利用紅外線熱影像分析技術，分別於第一、二期作水稻抽穗至穀粒充實期間，量測水稻冠層葉溫 and 穗溫與環境溫度間之互動關係(圖二)。由試驗結果顯示(表一)，各水稻

表一、高溫情境下水稻冠層熱影像之葉溫及穗溫(移植後77天)

	葉溫	穗溫
第一期作		
台南11號	30.4 ± 0.2 abz	33.8 ± 0.4 ab
台梗9號	31.2 ± 0.2 a	34.1 ± 0.3 a
N22	31.2 ± 0.4 a	33.5 ± 0.4 ab
PA163	30.3 ± 0.2 b	32.9 ± 0.3 b
PA164	31.2 ± 0.3 a	33.2 ± 0.3 ab
第二期作		
台南11號	28.1 ± 0.2 ab	30.9 ± 0.3 a
台梗9號	27.6 ± 0.2 bc	30.4 ± 0.2 a
N22	28.3 ± 0.3 a	30.9 ± 0.4 a
PA163	27.5 ± 0.1 c	29.4 ± 0.1 b
PA164	27.7 ± 0.2 bc	29.4 ± 0.3 b

z 同列不同字母代表平均值差異在0.05水準下具有顯著差異。



圖二、高溫情境下水稻冠層熱影像。



圖三、高溫情境下水稻糙米外觀。

品種(系)之穗溫普遍高於葉溫約2-3°C，其中N22耐熱品種於第一、二期作移植後77天之高溫情境下，其葉溫均高於其他水稻品種(系)，此現象乃N22之生育期相較於其他水稻品種(系)間較短，並提早其他水稻品種(系)約2週抽穗及收穫。在穗溫方面，第一期作以台梗9號較高而PA163最低，第二期作則以台南11號、N22及台梗9號最高而PA163及PA164最低。一般穗溫主要受氣溫影響，高穗溫會影響未受精穎花及穀粒充實進而影響產量和米質，尤其抽穗後15天內的高溫會明顯使得白垩質率增加。由試驗結果顯示，PA163在第一、二期作高溫情境下有較低的穗溫，其水稻糙米外觀的白垩質率也明顯低於其他參試品種(圖三)。綜合上述試驗結果推測N22耐熱品種可能藉由縮短生育期以躲避高溫逆境傷害，而耐熱基因導入系PA163相較於水稻推廣品種台南11號及其輪迴親台梗9號具有較低的穗溫，可能具有減緩高溫傷害所造成白垩質粒之比例。

四、結語

已知傳統育種十分耗時，通常要耗費至少十年才能育成新品種，只是這樣的育種速度可能來不及應付氣候變遷所產生的環境變化，目前有許多儀器及技術開發，如表型體分析及基因體學研究等，可以協助育種專家進行早期選拔，以提升育種選拔效率。已知紅外線熱影像分析為非破壞性檢測可應用於植物生理學、灌溉調度和產量預測，且還可以

評估作物成熟度、檢測蔬果的損傷，以及微生物所造成的腐敗等生物及非生物逆境所產生的傷害。本研究利用非破壞性紅外線熱影像光譜之植物表型分析，發現耐熱基因導入系PA163在高溫環境下具有較低穗溫，因此對高溫逆境可能有某種程度的耐受性，並可減緩高溫所造成的白垩質率，故紅外線熱影像光譜未來可作為水稻耐高溫育種篩選之輔助工具。

五、參考文獻

科技部、中央研究院環境變遷研究中心、交通部中央氣象局、台灣師範大學地球科學系、國家災害防救科技中心。2021。IPCC氣候變遷第六次評估報告之科學重點摘錄與台灣氣候變遷評析更新報告。參考網址如下：

https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/km_abstract_one.aspx?kid=20210810134743

Ishimwe, R., K. Abutaleb, and F. Ahmed. 2014. Applications of thermal imaging in agriculture-a review. *Adv. Remote Sens.* 3:128-140.

Krishnan, P., B. Ramakrishnan, K. Raja Reddy, and V.R. Reddy. 2011. Chapter three – high temperature effects on rice growth, yield, and grain quality. *Adv. Agron.* 111:87-206.

Pineda, M., M. Barón, and M.L. Pérez-Bueno. 2021. Thermal imaging for plant stress detection and phenotyping. *Remote Sens.* 13:68.