

淺談氣候變遷

對水稻的影響 及耐高溫調適策略

文、圖/ 李誠紘

前言

工業生產、都市擴張、現代化集約農牧業生產等，使地表森林面積逐漸減少。人類活動排放出二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、一氧化二氮(N₂O)等溫室氣體濃度，已是地球過去萬年以來的高點。這些氣體能夠吸收地表紅外線，使熱量

保留在大氣層，導致地表氣溫升高，形成溫室效應。根據聯合國政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change)第6次評估報告，2010~2019年平均溫度較1850~1900年上升1.07°C，而上升的氣溫已導致全球冰川退縮、北極海冰面積減少、海平面上升；溫度增加亦使極端高溫、乾旱、強降雨發生頻率增加(圖1)，如此極端天氣現象，將影響農業生產安全。

鑑於全球人口持續增長，糧食作物產量應有相對應的提升速率。經預估，目前平均全球糧食產量需再提升70%，才能符合2050年的預估人口所需糧食量，但未來可能遭遇的溫度上升、極端天氣現象之情境，並不利於農業生產。因此，對氣候變遷做出應對已刻不容緩。本文淺談未來氣候情境對水稻——臺灣栽培面積最大的糧食作物——可能造成的影響，及可採行的耐高溫生產調適策略。



圖1.目前氣候環境與未來溫度上升情境下，極端高溫、乾旱、強烈降雨發生頻率將改變。

(聯合國政府間氣候變遷專門委員會第6次評估報告)

氣候變遷對水稻生產的影響

氣候變遷導致的氣溫上升、乾旱、強降雨、甚至病蟲害發生頻率改變等現象，為影響水稻生產的負面因子。以下就氣溫、病蟲害兩種面向，探討氣候變遷可能對水稻生產造成的影響。

一、平均溫度上升影響水稻品質與產量

高溫對水稻的影響依溫度、發生時期及品種而異(圖2)，臺灣稈稻品種在抽穗後遇高溫(氣溫 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)會影響花粉活性，造成不稔實而減產；於充實成熟期遇高溫(氣溫 $\geq 30^{\circ}\text{C}$)會影響充實過程，使糙米厚度減少，產量下降，並使不透明之白堊質米增加，外觀品質受損。

白堊質是外觀與食味品質的不利因素，當一批白米包含5%以上的白堊質米，其煮成的白飯黏性降低、口感變硬，試吃之食味較差。此外，在高夜溫($\geq 29^{\circ}\text{C}$)的環境下，會促進水稻葉片的呼吸作用(respiration)，使水稻莖桿中的非結構性碳水化合物(nonstructural carbohydrate)含量減少。非結構性碳水化合物是水稻生長、發育所需的原料，一旦被呼吸作用消耗後，將導致減產。

二、氣候變遷可能導致病蟲害發生加劇

氣候、水稻及病蟲害之間的關係錯綜複雜，但在溫度、二氧化碳上升的情境下，病蟲害可透過：(1)向其他區域擴散、(2)族群組成改變、(3)田間世代數增加、(4)越冬存活率上升、(5)植株抗病能力下降等原因，對水稻造成更嚴重的危害。近60年來，即有部分原本位於低緯度地區的有害生物，逐漸往高緯度地區移動的趨勢，因此，在溫度上升情境下，原本在臺灣無法越冬存活之害蟲(如：水稻褐飛虱)，越冬存活的可能性將增加。另外，在環境改變的情境下，病原菌在田間的流行菌株亦可能會改變，強降雨更使稻熱病、紋枯病、白

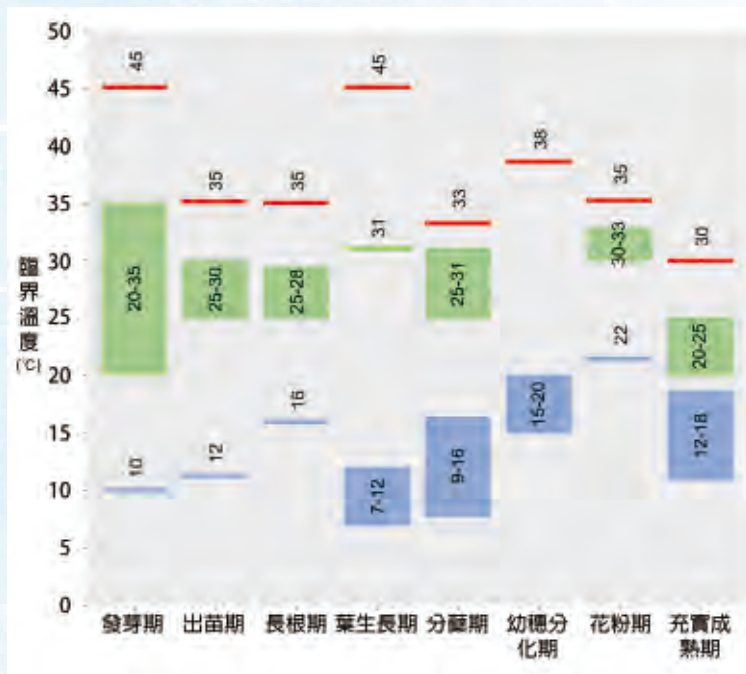


圖2.稈稻各生長階段的適當發育溫度範圍(綠色)、臨界高溫(紅色)、臨界低溫(藍色)。高於臨界高溫或低於臨界低溫，將影響生長。(江瑞拱，2017)

葉枯病等病害的發生風險增加。因此，持續育成新抗病品種、研發新植物保護資材，為必然的氣候變遷應對措施。

高溫逆境下的水稻生產調適策略

平均氣溫上升及極端高溫事件，對水稻產量與外觀性狀的逆境稱為「高溫逆境」。要調適高溫逆境造成的傷害，可藉由育成新品種、栽培、土壤、灌溉管理等措施著手。以下就品種、肥培管理、灌溉管理介紹耐高溫水稻生產調適策略。

一、栽培高溫適應性品種：

應對高溫逆境，栽培高溫適應性品種是最佳策略。目前已知的高溫適應性，可概分成「高溫趨避性」、以及「高溫耐受性」兩類型，前者藉由調整水稻抽穗時期及開花時間，使抽穗期提早數日，或使水稻開花時間，從原本當日上午9時至中午12時開花，提前到上午6時至9時開花，避開生育後期及白天較高溫的環境；高溫耐受性則是品種對高溫有較強的適應能力，這類品種葉片蒸散作用較強、莖桿中累積較多非結構性碳水化合物，在高溫逆境下花粉仍可維持稔性，故可在高溫下維持產量表現。目前臺灣尚無高溫適應性品種，因此僅可藉由改變栽培管理方式減輕危害。

二、肥培管理：

白垩質百分比與每穗粒數呈現

反比，因此，可藉由微調穗肥施用時期，改善高溫逆境對外觀性狀的影響。建議於幼穗分化初期（幼穗長度<1公分）施用氮肥，可促使每穗粒數增加，加強充實的效果；但如延後到幼穗長度3~5公分或預知充實期，於發生高溫前再施用氮肥，使水稻將氮肥養分用於充實，可使白垩質粒比例下降。因此，如水稻處於充實期，預知將發生高溫前補施適量氮肥，可促使水稻穀粒合成儲藏性蛋白質，彌補一部分高

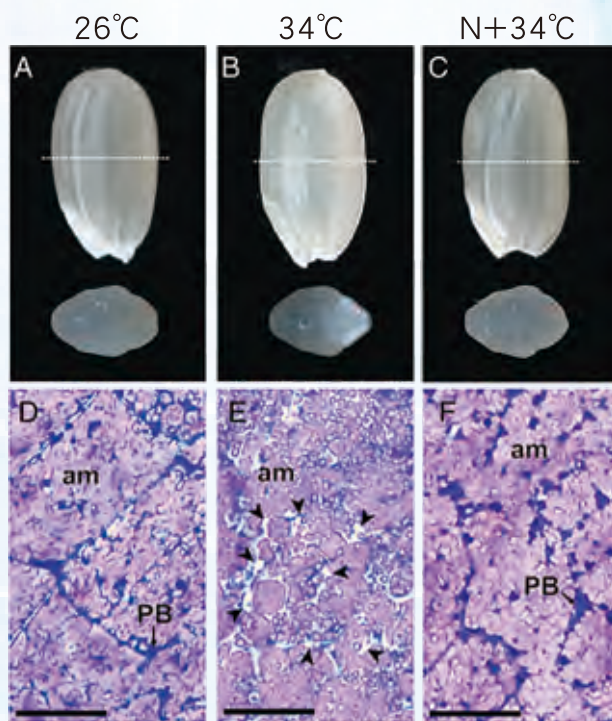


圖3.正常環境下，糙米沒有白垩質(圖A)，組織排列緊密(圖D)；高溫逆境(34°C)使糙米形成白垩質(圖B白色不透明處)，胚乳產生較多孔隙(圖E箭頭所指白色區域)；高溫下施用氮肥(N+34°C)，糙米白垩質減少(圖C)，胚乳孔隙亦減少(圖F)。

(Wada *et al.*, 2019)

溫逆境對稻米外觀品質造成的傷害(圖3)。

三、灌溉管理：

當水稻抽穗期與充實期發生高溫時，進行白天淹水、晚上排水的灌溉管理，可降低土壤與植株溫度，增加植株的淨光合作用率與氣孔導度，緩解高溫逆境。其實施方式是在高溫發生時，於上午9時至下午6時之間保持田間淹水4~5公分(水位高於8公分效果則較差)，並在下午6時後將水排乾，隔日再重複進行。於抽穗~充實期發生高溫逆境($\geq 35^{\circ}\text{C}$)時，相較「對植株噴水降溫」與「持續淹水」兩種措施，實施白天淹水、晚上排水的灌溉管理，植株受高溫逆境影響較低，並能保有較高之產量與較低之白垩質粒比例，可緩解高溫逆境對水稻生產造成的影響。

結語

由溫室效應導致氣候變遷現象，白天與夜間高溫、極端高溫、強降雨與乾旱頻率增加，及其衍生之病蟲害發生情形改變等，將造成水稻減產、外觀與食味品質下降，為當今水稻研究重點課題。農友可藉微調穗肥施用時機、灌排水管理等耐候性調適策略，減緩高溫對水稻產量與外觀品質的影響。

參考文獻

1. 江瑞拱。2017。稻之手札。臺東市：行政院農業委員會臺東區農業改良場。
2. IPCC. 2022. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.³
3. Kong, L., U. Ashraf, S. Cheng, G. Rao, Z. Mo, H. Tian, S. Pan, and X. Tang. 2017. Short-term water management at early filling stage improves early-season rice performance under high temperature stress in South China. *Eur. J. Agron.* 90: 117-126.
4. Wada, H., Y. Hatakeyama, Y. Onda, H. Nonami, T. Nakashima, R. Erra-Balsells, S. Morita, K. Hiraoka, F. Tanaka, and H. Nakano. 2019. Multiple strategies for heat adaptation to prevent chalkiness in the rice endosperm. *J. Exp. Bot.* 70: 1299-1311.
5. Xu, J., G. Misra, N. Sreenivasulu, and A. Henry. 2021. What happens at night? Physiological mechanisms related to maintaining grain yield under high night temperature in rice. *Plant Cell Environ.* 44: 2245-2261.