

考察日本應對氣候變遷之水稻調適對策

作物改良科 副研究員 簡禎佑 分機 251
研究員兼科長 楊志維 分機 200

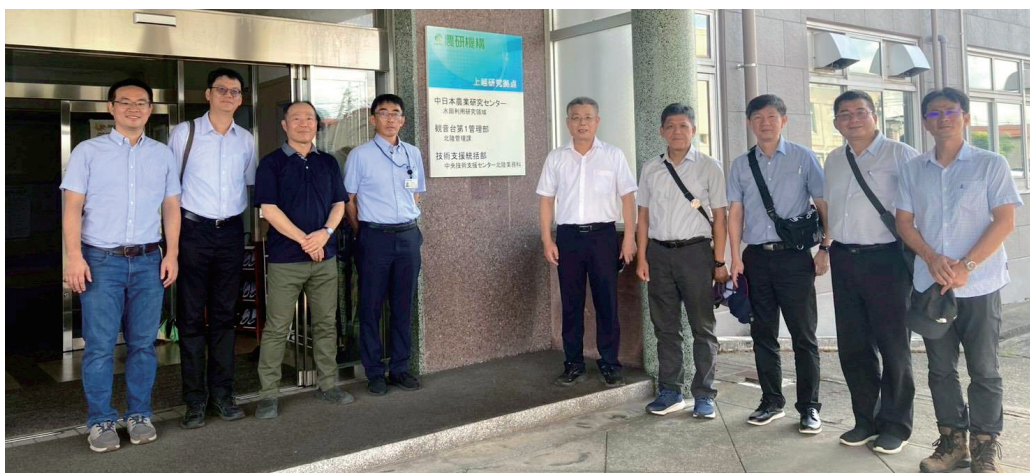
前言

全球氣候暖化逐漸加劇，不僅改變民眾的一般生活模式，不穩定及異常的氣候變動在在挑戰農作物的生長，尤其對於糧食作物生產而言，不僅影響了產量的表現，也可能造成病蟲害相的改變，甚至是降低了農產品的品質與價值。有鑑於此，國內農業研究機構近年也觀察到此不利趨勢，紛紛投入不同的作物專家人力進行相關研究，期能透過不同的調適作為，緩解各項作物的生產挑戰。於此同時，本場也透過科發基金計畫，參訪鄰近的國家-日本，透過與其學研單位的交流討論，期能提供我國近年在稻米生產時所遭遇品質下降的問題，尋求解決之道。本次參訪活動與農業試驗所研究同仁，共赴日本國家農業和食品綜合研究機構，以及數個縣級的農業研究中心進行交流。

農研機構—「中日本農業研究中心」

本次參訪日本國家農業和食品綜合研究機構（簡稱農研機構或NARO），一窺日本近年對於稻米及果樹的研究重點。NARO是日本農業和食品領域規模最大的研究機構，擁有約3,200名全職員工，112年度預算達950億日圓（約合190億元新臺幣）。農研機構是一個致力於日本農業和食品產業發展，從基礎到應用，廣泛進行研究和開發的試驗單位。為了將研發成果應用於產業，該機構積極與國家、各縣市政府、大學和企業合作，進行聯合研究和技術轉移，並與農業生產者和消費者分享研究成果。

此次拜訪位於日本新潟縣上越市的「中日本農業研究中心」（圖1），該中心對於稻作、大豆及蔬菜等作物均有相當的研究成果。拜訪當天先由石丸努資深研究員介



▲圖 1. 台方與日方交流人員在農研機構所屬「中日本農業研究中心」前合影。

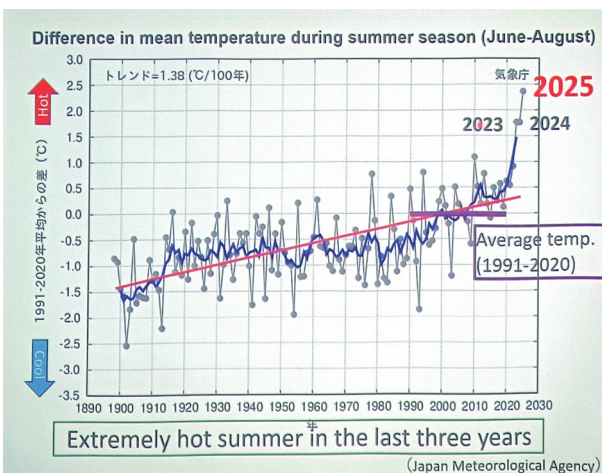
紹水稻因應暖化高溫所育成的新品種「虹之閃耀」(Niji No Kirameki, 縮寫NJK)，以及由於高溫逆境造成稔實率降低所採取的提早開花調適策略。其簡報說明大要如下：

(一) 日本氣象廳預測長期氣候趨勢(圖2)，預計至2100年，全日本在8月的每日最高溫將超過40°C。另農業單位分析日本新瀉縣所種植的品種-越光(Koshihikari, 縮寫KSH)，在抽穗後20天內的平均日均溫在27°C以上時，米粒外觀急遽下降，產量也會受到影響。尤其2023及2024年日本國內稻米需求增加及產量收穫短缺，造成糧價高於往年1.8倍，對於民生消費造成重大衝擊。

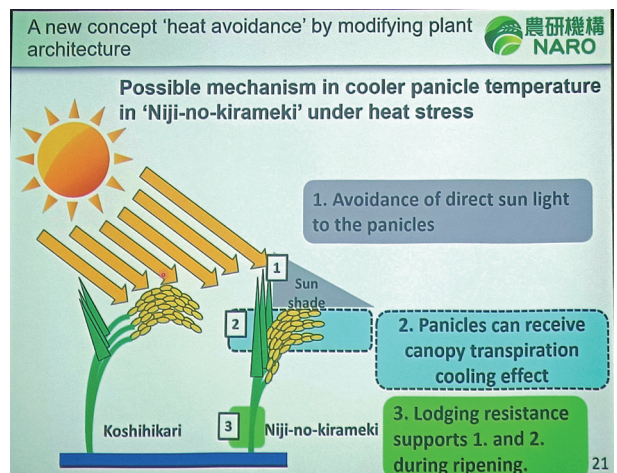
(二) 近期育成耐熱品種「虹之閃耀」(NJK)，該品種屬中熟，具有高產量、抗倒伏的特性，且在高溫情境下米粒外觀及食味均佳。觀察NJK稻穗的位置低於劍葉，而日本全國各地廣為栽培的越光品種，其稻穗則在劍葉之上。因此，在每天

中午氣溫高於27°C以上的狀態下，量測NJK的稻穗溫度明顯低於越光KSH的穗溫。進一步推測其中可能的原因:1. NJK的稻穗在劍葉之下可躲避日光直射；2. NJK稻穗可接收植冠蒸散的降溫效果；3. NJK在成熟期維持抗倒伏特性支持上述2項論點；而KSH因稻穗位置較高，直接接受日光照射曝曬，以及後期成熟階段常因倒伏影響，使其白米的白堊質粒率高於NJK(圖3)。

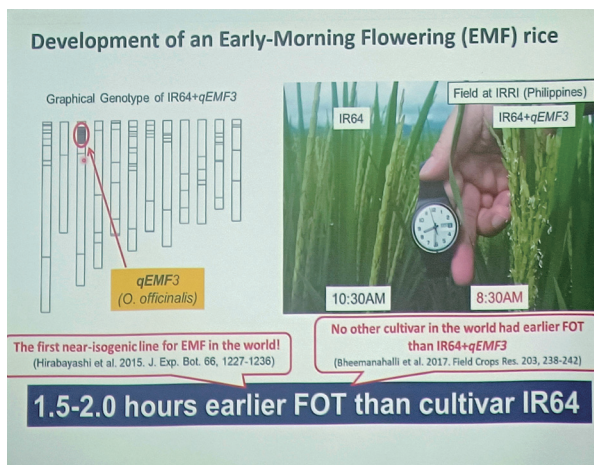
(三) 另外，水稻若在開花授粉期間遇到極端高溫可能導致授粉不良的現象，倘若可使水稻開花時間提早，可望減緩因高溫造成授粉率(或稔實率)下降的問題。因此，石丸努研究員調查在部分野生稻種原中有可提早至清晨6~7點開花者，此有別於一般水稻栽培品種開花時間為上午10~12點，容易因高溫降低授粉率。另由上述野生稻種原進行基因定位研究，得知控制提早開花的



▲圖2. 日本近120年的夏季平均氣溫趨勢(圖片來源：NARO 簡報)。



▲圖3. 推測水稻品種「虹之閃耀」較越光耐熱的機制(圖片來源：NARO 簡報)。



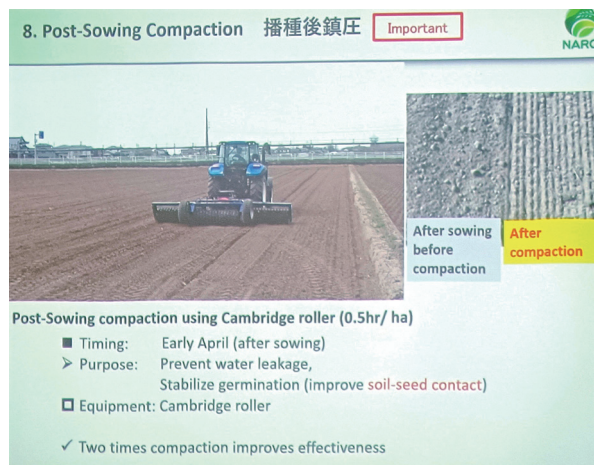
▲圖 4. 經導入提早開花之等位基因 *qEMF3* 可使 IR64 提早 1.5 ~ 2 小時開花（圖片來源：NARO 簡報）。

QTL-*qEMF3* 位於水稻第 3 條染色體上，後續又將此等位基因導入至 IR64 及 CO51 品種中，確實可將開花時間提早 1.5 ~ 2 小時，進而提升該品種在高溫下的授粉稔實率（圖 4）。

此外，由於日本人口老化導致缺工問題日益嚴重，以及為因應減少溫室氣體排放，近年更大力推廣水稻乾式直播的栽培模式。鳥山和伸教授向我們介紹「旱播免耕壓實系統」做為一種省力、低成本的水稻種植技術（圖 5），尤其在日本海沿岸地區正日益普及。由於此技術無需耕犁，後續種植其他作物或飼料作物更加便捷，並可使稻田有新的用途，例如稻田輪作或農牧結合等。

千葉縣農業技術中心—水稻溫暖化對策研究室

本次參訪除了拜訪日本農研機構外，我們也想瞭解縣級的農業研究單位對於氣候暖化調適研究進展，因此，另外安排拜



▲圖 5. 旱田直播播種後壓實土壤團粒可降低水分滲漏（圖片來源：NARO 簡報）。

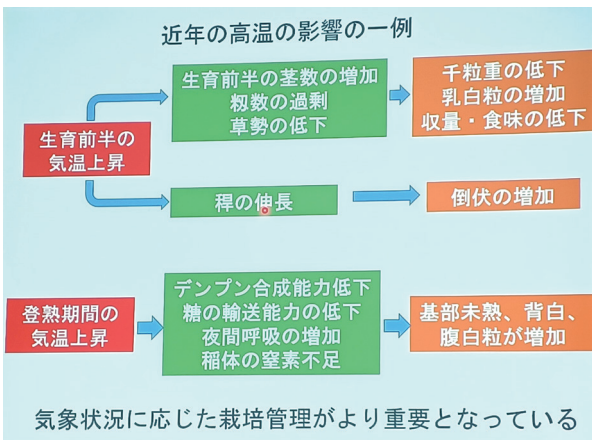
訪千葉縣的農業技術中心（圖 6），其中的水稻溫暖化對策研究室針對日本稻米產業多年的觀察與研究心得可供我方參考。

該研究室平井達也研究員分析近 30 年日本稻作產區抽穗期後 20 日內的每日最低溫平均，高於 23.5°C 的年份，將使白垩質粒增加，一等米的比例低於 9 成，同時當未熟粒增高，白米食味品質亦會下降，由此可知日本稻米產業近年確實受到氣候暖化所苦。

更進一步探討不同生育期間所遭遇的高溫生理障礙，若稻株在生育前期遭逢高溫，導致分蘗數與每穗粒數增加、生長勢下降、莖桿伸長，造成千粒重及米飯食味下降、乳白粒（心白）提高、倒伏風險提高；而若稻株在穀粒充實期遭逢高溫，導致澱粉合成能力及糖分運輸效率降低、夜間呼吸作用提增、稻株氮素不足，造成白米基部未熟粒（基白）、背白粒、腹白粒增高（圖 7）。應對上述問題可採用的解決對策，包括：延長曬田（以期抑制過度分



▲圖 6. 我方研究人員與日本千葉市農業技術中心 - 水稻溫暖化對策研究室接待人員合影。



▲圖 7. 高温對於水稻生育及米質性狀的影響（圖片來源：日本千葉縣農業技術中心簡報）。

Original heat tolerant cultivars have been developing in each prefecture

農研機構 NARO

		First grade (%) in 2023	
品種 (新潟県)	高温耐性	熟期	一等級比率 (%)
Koshihikari	やや弱	中生	5.0
Shin-no-suke *	強	晩生	94.9
		First grade (%) in 2023	
品種 (富山県)	高温耐性	熟期	一等級比率 (%)
Koshihikari	やや弱	中生	43.6
Fufufu	強	中生	95.1
		First grade (%) in 2023	
品種 (三重県)	高温耐性	熟期	一等級比率 (%)
Mie No.23	強	早生	94.6
Koshihikari	やや弱	早生	27.7

These heat tolerant cultivars are promising in the face of rapidly warming Japan

22

▲圖 8. 日本各地農業試驗單位陸續育出耐熱水稻品種（圖片來源：NARO 簡報）。

藥)、田中切溝(可望加快排水)、分次施肥(供應後期生育之氮素)等。此外,針對當地主要栽培品種抽穗前5~7日的葉綠素值(SPAD)訂立標準,若低於該建議值,則需酌量補充氮肥。長期而言,平井研究員認為透過育種策略育成耐高溫品種,可有效減緩氣候暖化所帶來的衝擊,而各地縣級的農業技術中心,於近年陸續均有育成適合當地環境栽培的低白垩質耐

熱品種(圖8)。

參訪心得與結語

儘管全球大氣天候無法改變,但各研究單位仍持續因高溫逆境對於稻作在充實期間所造成的生理障礙機制、栽培調適管理、育成耐熱品種及深入的遺傳研究等各方面進行詳細且深入探討,由近年NARO或縣級研究機構提出的多個低白垩質耐熱新品種,也可得知初步成效。

除了上述的公部門或國家級的研究機構進行相關努力外，在民間企業，也有針對降低米粒白堊質或提高米質特性等不同面向，進行相關的農業機械或土壤有益微生物資材等研發，這些領域是在國內較少被提及或重視的。此外，我們也拜訪了在日本魚沼市和中野市栽種越光米的農友，觀察他們對於守護農田環境的精神，投資大小不一的農業機械，在收穫稻米時即可透過食味分級，且不吝白堊質米粒的耗損，自豪於自家生產的稻米，可直接供貨賣到食堂或消費末端。對於其堅持生產食味品質均優的白米及永續經營理念由衷感到敬佩。

對於暖化及氣候變遷之研究，日本的農業機構起步較早，對於同以稈稻栽培及食用為主的我們，在生產端與消費端有許多相似之處，面臨的困境也諸多雷同。因此，若有機會與日方不同研究機構更多頻繁的交流，擷取他們的試驗經驗與深化的研究精神，可提供我們更多借鏡的機會。

參考文獻

1. Ayyenar, B., Kambale, R., Duraiyalagaraja, S., Manickam, S., Mohanavel, V., Shanmugavel, P., Alagarsamy, S., Ishimaru, T., Jagadish S.V.K., Vellingiri, G., and Muthurajan, R. (2023). Developing early morning flowering version of rice variety CO 51 to mitigate the heat-induced yield loss. *Agriculture*, 13 (3) , 553.
2. Hirabayashi, H., Sasaki, K., Kambe, T., Gannaban, R.B., Miras, M.A., Mendioro, M.S., Simon, E.V., Lumanglas, P.D., Fujita, D., Takemoto-Kuno, Y., Takeuchi, Y., Kaji, R., Kondo, M., Kobayashi, N., Ogawa, T., Ando, I., Jagadish, K.S.V., and Ishimaru, T. (2015). *qEMF3*, a novel QTL for the early-morning flowering trait from wild rice, *Oryza officinalis*, to mitigate heat stress damage at flowering in rice, *O. sativa*. *Journal of experimental botany*, 66 (5) , 1227-1236.
3. Ishimaru, T., Hlaing, K.T., Oo, Y.M., Lwin, T.M., Sasaki, K., Lumanglas, P. D., Simon, E.V.M., Myint, T.T., Hairmansis, A., Susanto, U., Ayyenar, B., Mutturajan, R., Hirabayashi, H., Fujita, Y., Kobayashi, K., Matsui, T., Yoshimoto, M., and Htun, T.M. (2022). An early-morning flowering trait in rice can enhance grain yield under heat stress field conditions at flowering stage. *Field Crops Research*, 277, 108400.
4. Nevame, A.Y.M., Emon, R.M., Malek, M.A., Hasan, M.M., Alam, M.A., Muharam, F.M., Aslani, F., Rafii, M.R., and Ismail, M.R. (2018). Relationship between high temperature and formation of chalkiness and their effects on quality of rice. *BioMed research international*, 2018: 1653721.
5. Shimoyanagi, R., Abo, M., and Shiotsu, F. (2021). Higher temperatures during grain filling affect grain chalkiness and rice nutrient contents. *Agronomy* 11: 1360.