

出國報告(出國類別：研究)

面對全球暖化之水稻新育種及栽培 技術

服務機關：行政院農業委員會臺南區農業改良場嘉義分場

姓名職稱：陳榮坤 助理研究員

派赴國家：日本

出國期間：民國 100 年 9 月 6 日~9 月 15 日

報告日期：民國 100 年 11 月 30 日

摘要

氣候變遷對於作物生產及病蟲害均造成極大的衝擊。本次研習前往日本九州、沖繩地區包括九州大學、九州沖繩農業研究中心、沖繩縣病害蟲防除技術中心及國際農林水產業研究中心等研究單位交換資訊與研習。九州大學研習重點包括氣候變遷對日本昆蟲影響之研究及發展攜帶抗飛蝨基因之水稻近同源系。九州沖繩農業研究中心研習重點包括水稻飛蝨類於東亞遷飛研究進展、九州沖繩地區近年來水稻育種發展趨勢、氣候環境對水稻生產影響研究、水稻耐熱性篩檢育種系統及應用植物工廠達成作物周年生產模式等。沖繩縣病害蟲防除技術中心研習重點為沖繩縣瓜、果實蠅監測及滅絕計畫。國際農林水產業研究中心研究重點為水稻育種世代促進技術。借鏡日本在氣候變遷的相關研究，建議國內應統合研究資源，規劃重點研究方向，建立能夠代表臺灣的作物育種、栽培及病蟲害管理模式。

目 次

一、研習目的	3
二、研習行程	4
三、研習內容	5
四、研習心得	15
五、建議事項	17
六、研習參訪照片	19

一、研習目的

農業生產經常受到環境條件的改變而隨之變動，其中，以氣候條件的變化對農業的生產力、穩定性及耕作制度產生重大的影響。近年來，全球氣候變遷過程加劇，聯合國跨政府氣候變遷小組（IPCC）表示，若全球年均溫升高、高濃度的溫室氣體（二氧化碳，甲烷、氧化亞氮、氟氯碳化物）、極端氣候頻繁、病蟲害猖獗，將減緩全球糧食供給能力，最終導致糧食價格的上漲。氣候變遷會改變作物有害病蟲的分布、生物學特性及其危害程度等；新侵入的病蟲害由於氣候條件的改變而得以立足；長距離遷移性昆蟲得以擴張它的領域，使得作物生產環境遭逢新的威脅；稻米減產、品質劣化，降低國產米競爭能力及糧食安全。近年來氣象資料顯示臺灣為暖化的高危險區，預期未來病蟲害之發生程度將更形嚴重。日本九州、沖繩地區的氣候條件與臺灣較為相近，並且同為食用粳型米地區，作物病蟲害相在地緣上容易產生互動，稻米生產遭遇暖化的問題亦有相似背景。日本在氣候變遷的相關研究起步甚早，諸多的研究成果可以作為我方的借鏡。本次研習前往日本九州、沖繩地區相關研究單位交換資訊與研習。期望透過研習該地區在氣候變遷對作物病蟲害及水稻生產影響的研究成果、研究進程、評估技術、模式探討及預警作為等，以協助國內因應氣候變遷採取必要的作為，並持續雙邊的科技合作與交流。

二、研習行程

日期	行程	工作記要
09/06 (二)	改良場→桃園機場 2 航廈→ 日本福岡機場→博多	搭乘 08:10 長榮航空 BR2106 班機， 11:20 抵達福岡，轉車至九州大學參訪 昆蟲研究室與作物育種研究室。
09/07 (三)	福岡博多→福岡久留米→ 福岡機場→沖繩那霸機場	參訪九州沖繩農業研究中心/久留米試 驗站之植物工廠。 由福岡搭乘 14:30 全日空 NH489 班機， 16:05 抵達那霸機場。
09/08 (四)	那霸→系滿→那霸機場→ 石垣機場	參訪沖繩縣農業研究中心、沖繩縣病害 蟲防除技術中心。由那霸搭乘 12:55 全 日空 NH1771 班機，13:55 抵達石垣機 場。參訪國際農林水產業研究中心。
09/09 (五)	石垣→石垣機場→那霸機場 →那霸	參訪沖繩縣農業研究中心/石垣支所。由 石垣搭乘 11:25 全日空 NH1766 班機， 12:15 抵達那霸。
09/10 (六)	那霸機場→熊本機場→ 熊本合志	由沖繩那霸搭乘 13:20 全日空 NH3728 班 機，14:45 抵達熊本機場，搭車前往合 志市。
09/11 (日)	熊本合志	資料整理。
09/12 (一)	熊本合志	參訪九州沖繩農業研究中心，拜會所長 Dr. Imbe 及難除害蟲研究團隊，下午進 行專題報告。
09/13 (二)	熊本合志	參訪九州沖繩農業研究中心/暖地溫暖 化研究團隊。
09/14 (三)	合志→福岡筑後→博多	參訪九州沖繩農業研究中心/筑後試驗 站 水稻研究團隊。
09/15 (四)	博多→福岡機場→桃園機場	搭乘 12:20 長榮航空 BR2105 班機，13:40 抵達桃園中正機場。

三、研習內容

本次研習為執行科技計畫 100 年「面對全球暖化之水稻新育種及栽培技術」計畫，於 100 年 9 月 6 日~15 日間前往日本九州、沖繩地區與相關研究單位交換資訊與研習。此外，本會臺中區農業改良場廖君達助理研究員為執行 100 年「因應氣候變遷調適作物病蟲害管理模式之研究」計畫，考量同為因應氣候變遷的研究範疇及促成跨領域的統合，兩者在行程安排上相互協調整合。主要研習機構包括位於福岡市之九州大學 (Kyushu University)、隸屬於獨立行政法人農業、食品產業技術綜合研究機構 (National Agriculture and Food Research Organization, NARO) 之九州沖繩農業研究中心 (Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, KARC)、隸屬於沖繩縣政府之沖繩縣農業研究中心 (Okinawa Prefectural Agricultural Research Center)、沖繩縣病害蟲防除技術中心及獨立行政法人國際農林水產業研究中心 (Japan International Research Center for Agricultural Sciences) 之熱帶農業研究處點 (Tropical Agriculture Research Front) 等。

氣候變遷對日本昆蟲影響之研究

九州大學農學院昆蟲研究室退休教授 湯川淳一博士 (Dr. Junichi Yukawa) 及准教授 紙谷聰志博士 (Dr. Satoshi Kamitani) 在氣候變遷對日本昆蟲分布範圍變化有長期性的研究。日本 100 年來 (1898~2010 年) 年平均氣溫上升 1.15℃，較全球 100 年來 (1891~2010 年) 年平均氣溫上升 0.68℃ 為高。昆蟲分布範圍的趨向性是研究全球暖化常探討的課題。與日本有關昆蟲向北擴張範圍的研究對象包括蝴蝶、椿象等。其中南方綠椿象 (*Nezara viridula*) 是危害水稻、大豆、萵苣、柑橘等的重要農業害蟲，其分布範圍的擴張特別受到重視。南方綠椿象的分布範圍與新侵入地區 1 月份的月平均溫度超過 5℃ 的呈現一致性。日本自 1963 年開始記錄南方綠椿象的分布範圍，迄 2008 年它的分部北界於 45 年內擴張 85 公里，即南方綠椿象每 10 年向北遷移約 19 公里。此外，南方綠椿象有極佳的生殖能力，當其分布範圍的擴張會造成原有東方稻綠椿象 (*Nezara antennata*) 族群的滅絕。

日本選擇容易觀察到或容易聽得到的昆蟲種類作為長期監測的對象，調查它

們在每年首次被觀察到的時間或首次鳴叫的時間，據以評估氣候變遷對這些昆蟲呈現正面或負面的影響。比較 1961~1965 年及 2001~2005 年的調查資料，紋白蝶 (*Pieris rapae*) 初次被記錄的時間向後延遲 2~24 天不等，且 2 月份的平均溫度提高 0.9~3.0 度。另比較 1966~1970 年及 1988~2002 年的調查資料，發現高砂熊蟬 (*Cryptotympana facialis*) 初次鳴叫的時間提早 10~17 天不等，且 6 月份的平均氣溫提高 0.7~1.5°C。此外，全球暖化對於昆蟲的寄主植物與昆蟲間是否能夠維持同時性，將造成昆蟲改變寄主植物或邁向滅絕，也是常被探討的課題。

湯川淳一博士及紙谷聰志博士將他們在氣候變遷對昆蟲影響的研究成果及進程，以簡報方面完整呈現外，並利用白板及白板筆舉例苜蓿象鼻蟲 (alfalfa weevil, *Hypera postica*) 在日本的侵入與擴張分布範圍，明顯受到全球暖化的影響而增加危害面積；我方也提出水稻水象鼻蟲 (*Lissorhoptus oryzaophilus*) 在臺灣的侵入與擴張情形，目前分布範圍明顯受到限制，推測水稻水象鼻蟲為溫帶害蟲，全球暖化反而不利於它的擴張。討論期間，不斷有新的成員加入，包括助理教授 Layne J. Westover 博士及博士班學生 松尾和典 (Kazunori Matsuo)。

發展攜帶抗飛蝨基因之水稻近同源系

日本飛蝨類害蟲為水稻主要蟲害，往往造成稻田發生蝨燒，嚴重影響稻作生產。然飛蝨類害蟲於日本無法過冬，多由海外遷飛日本，其繁殖能力強，往往造成遷入地區稻作之嚴重損失，九州地區位處日本南端，受飛蝨為害較日本其它地區嚴重。日本早在 1967 年即進行水稻抗飛蝨類害蟲之育種工作，但因與遷出地區使用相同之抗蟲基因進行品種選育及推廣，生物小種 (biotype) 急速篩選、適應，進而大量危害推廣之抗蟲品種，於害蟲遷入地區之所謂抗蟲品種面臨失效威脅。九州大學農學院作物育種研究室助理教授 安井英志博士 (Dr. Hideshi Yasui) 利用野生種 (*Oryza punctata*) 及籼型水稻 (*Oryza sativa*) 品種 (ADR52 等) 的抗飛蝨特性進行抗飛蝨基因的選殖，定位出抗飛蝨基因後，並將相關抗性基因 (*BPH25*、*BPH26*、*Grh1*、*Grh2*、*Grh3*、*Grh4*、*Grh5* and *Grh6*) 以分子標誌輔助之方式，快速且確實的導入水稻臺中 65 號平台，提供日本水稻育種單位使用，期能減緩飛蝨生物小種產生所帶來之威脅。水稻臺中 65 號為臺灣

育成之品種，然該品種於日本南北狹長的地理環境下及全世界稻米生產區均可生育良好並抽穗成熟，有利於將試驗選獲之抗飛蝨基因導入日本全國的優良品種並與世界接軌。此外，該研究進行抗飛蝨基因選殖研究時，進行不同水稻生育期的抗飛蝨外表型檢定，結果發現常用的幼苗期抗蟲檢定雖然簡單快速，但幼苗期檢定具有飛蝨抗性，於孕穗期則仍可能受害，因此孕穗期最容易區分稻株是否具有飛蝨抗性。其原因可能於孕穗期至抽穗前之稻株營養生長停止（劍葉已抽出），此時儲存於莖稈及葉鞘的非構造型碳水化合物最多，最適合飛蝨吸取汁液為害，抽穗後該類非構造型碳水化合物則開始往穀粒轉運而降低。然而孕穗期抗飛蝨檢定耗時費力，因此該研究室利用幼苗期進行初步篩檢，再將抗性株系於孕穗期確認其抗蟲性。

應用植物工廠達成周年生產的栽培模式

九州沖繩農業研究中心位於福岡縣久留米市的試驗站著重於園藝作物在溫暖地區的穩定周年生產，草莓及萵苣是兩大主力發展作物。從事設施野菜研究的鯨島國親上席研究員及山下正隆博士（Dr. Masataka Yamashita）導引認識試驗站的太陽光利用型植物工廠及完全人工光型植物工廠。太能光利用型植物工廠能夠周年栽培 Oi-C-berry 草莓，使用的介質及苗期草莓會進行必要的殺菌及除蟲處理，移入植物工廠後至採收期結束，全程不使用任何化學藥劑；然而，在植物工廠內曾經發生的病蟲害包括炭疽病（Anthracnose, *Glomerella cingulata*）、白粉病（Powdery mildew, *Sphaerotheca aphanis*）、疫病（*Phytophthora* root rot）、萎凋病（*Fusarium wilt*）、神澤氏葉蟎（*Tetranychus kanzawai*）、二點葉蟎（*Tetranychus urticae*）、臺灣花薊馬（*Frankliniella intonsa*）、西方花薊馬（*Frankliniella occidentalis*）等。為了達到周年栽培，植物工廠內綜合了加熱、冷卻系統，遮光、人工光源補光、溼度控制、輔助風扇、水牆及二氧化碳挹注等自動化設備，將植床溫度控制在 20℃。此外，植床的設計包括軌道式及懸臂式等。至於完全人工光型植物工廠則發展萵苣的栽培模式，使用的光源為混和電極螢光燈（Hybrid electrode fluorescent lamp, HEFL）。

沖繩縣瓜實蠅、果實蠅監測及滅絕計畫

市瀨克也博士（Dr. Katsuya Ichinose）為九州沖繩農業研究中心的系滿駐

在，類似該研究中心在沖繩縣的最高層級，協助本次在沖繩縣及石垣島的研習行程。市瀨博士的研究經驗豐富，涵蓋水稻福壽螺、柑橘黃龍病 (citrus greening disease) 及甘藷蟻象等，與臺灣學界有多次的交流。市瀨博士協助我方參訪沖繩縣農業研究中心、沖繩縣病害蟲防除技術中心、國際農林水產業研究中心之熱帶農業研究處點及沖繩縣農業研究中心/石垣支所等。其中，沖繩縣病害蟲防除技術中心肩負著沖繩縣瓜實蠅、果實蠅監測及滅絕計畫。拜會該中心所長西村真先生，並由久場 (Kuba) 先生導覽。該中心於 1979 年啟動瓜實蠅滅絕計畫，建立人工餌料結合自動化大量繁殖瓜實蠅，並導入放射線滅雄技術，在 1984 年起每周可產出 3 千萬隻以上的不孕性雄蠅。大量釋放後，經過 10 年的時間，沖繩縣本島及所屬島嶼於 1993 年已確認瓜實蠅完全滅絕。1994 年迄今，該中心仍然持續釋放不孕性瓜實蠅雄蠅至沖繩縣本島及所屬島嶼，避免瓜實蠅的再度入侵。

果實蠅的滅絕計畫早於瓜實蠅，果實蠅的滅絕技術採用懸掛含毒誘餌的纖維板，從 1968 年啟動至 1986 年確認完全滅絕果實蠅。然而，最近幾年的監測資料發現，每年仍可捕獲個位數的東方果實蠅，日方推測這些零星的果實蠅可能依循著氣流，由臺灣宜蘭縣遷入石垣島。由於目前尚無積極的證據可以支持這個論述，日本今年 (2011 年) 已組成研究小組，希望能夠借鏡水稻褐飛蝨及白背飛蝨在東亞的遷飛模式。

瓜實蠅滅絕計畫在沖繩縣非常的成功，目前仍持續繁殖一定數量的不孕性雄蠅，但無可避免出現設備閒置的情形。因此，開始著手甘藷蟻象 (sweet potato weevil) 的不孕性雄蟲技術的建立，期望能夠複製瓜實蠅滅絕的成功經驗。由於甘藷蟻象照射放射線的生育階段為成蟲，體表有較厚的幾丁質，測試結果需要較高的輻射量才能造成不孕。此外，甘藷蟻象的大量繁殖技術仍在改進，不孕性雄蟻象的釋放技術、釋放條件的試驗研究均在起步階段。

水稻飛蝨類於東亞地區遷飛研究進展

危害水稻重要的飛蝨種類包括褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens*, BPH)、白背飛蝨 (*Sogatella furcifera*, WBPH) 及斑飛蝨 (*Laodelphax striatellus*, SBPH) 等。褐飛蝨偏好棲息稻叢基部危害，可造成稻株枯萎倒伏，稱為蝨燒的徵狀；此外，褐飛蝨會媒介草狀矮化病 (*Grassy stunt viruses*) 及皺縮矮化病 (*Ragget*

stunt viruses)。白背飛蝨偏好棲息稻叢中、上部位危害，可造成稻株直立性枯萎，還會媒介新崛起的南方水稻黑條矮縮病 (*Southern Rice Black Streaked Dwarf Virus, SRBSDV*)。至於斑飛蝨偏好群集於劍葉及穗部危害，造成稻穗汗損及影響充實，還會媒介縞葉枯病。

九州沖繩農業研究中心生產環境領域之難除害蟲研究團隊有 9 名研究專家，其中包括上席研究員 松村正哉博士 (Dr. Masaya Matsumura)、主任研究員 大塚彰博士 (Dr. Akira Otuka) 及研究員 真田幸代博士 (Dr. Sachiyo Sanada) 等 3 名組成亞洲地區水稻飛蝨研究團隊。他們的調查足跡遍及日本、韓國、中國大陸、臺灣、菲律賓及越南等地，透過現地採集、遷入地飛蝨蟲量監測、飛蝨類對藥劑的抗藥性差異性及變遷、低層噴射氣流導引遷飛研究等來釐清水稻飛蝨類在東亞地區的遷飛及建立遷飛預測模式等。相關重要研究成果如下：

1. 透過低層噴射導引氣流的研究，大量的褐飛蝨及白背飛蝨族群每年 6 ~ 7 月雨季時，由它們的越冬地點—越南北部及中國大陸廣西南部地區向北進行長距離的遷移，遷入大陸東南沿海省分及臺灣，最終抵達日本及韓國。
2. 白背飛蝨媒介的南方水稻黑條矮縮病於 2009 年在越南北部及中國大陸東南沿海分別造成 42,000 及 200,000 公頃的危害，日本首次的紀錄為 2010 年 8~10 月間，在本州及九州西部 8 個縣，主要危害作為飼料稻的秈稻品種，並不危害梗稻品種。
3. 東亞及中國大陸的褐飛蝨族群對益達胺藥劑產生抗藥性，然而菲律賓的族群沒有相同的情形。白背飛蝨對於芬普尼藥劑的抗藥性，普遍出現在東亞、中國大陸及東南亞地區。此外，越南南部的益達胺抗藥性族群的增長顯著地高於越南北部。
4. 由於斑飛蝨可在溫帶地區越冬，因此不同於褐飛蝨及白背飛蝨等具有長距離遷移的現象。2008 年由遷入地監測資料及低層噴射導引氣流的研究，發現斑飛蝨可由中國大陸江蘇省透過短距離的遷移，遷入日本九州的鹿兒島市 (Kagoshima)。探討中國大陸及日本的斑飛蝨族群對益達胺及芬普尼藥劑的抗藥性，發現中國大陸的斑飛蝨族群僅對益達胺具有抗藥性，而日本 2008 年以前的斑飛蝨族群僅對芬普尼具有抗藥性。2008 年 6 月於日本已可採集到

對益達胺具有抗藥性的斑飛蝨族群，這些族群與日本當地的族群進行雜交後，可產生同時對益達胺及芬普尼具有抗藥性的斑飛蝨族群。顯示昆蟲的遷飛特性可能影響到跨國界的昆蟲抗藥性情形。

5. 該研究團隊建立的水稻飛蝨類遷移預測模式 (<http://agri.narc.affrc.go.jp/indexj.html>)，已經與日本各縣農業研究中心連線，搭配縣農業研究中心當地的監測資料，發展成可實際應用的預測機制，可即時呈現水稻飛蝨類遷入的訊息，以供農民進行田間管理。

日本九州沖繩地區近年來水稻育種發展趨勢

近年來日本稻作面臨的生產過量、農村人力老化(平均年齡超過 62 歲)、稻米消費量減少(由 1962 年每人每年 118.3 公斤降到 2005 年每人每年 61.4 公斤)、高溫對作物生產的危機、生產成本與國外差距過大等問題。九州水稻生產面積約 196,000 公頃(2007 年資料)，其中 Hinohikari 為主要栽培品種約占 65%栽培面積，Koshihikari 次之約 15%，其它則為 Yumetsukushi 等品種有小面積栽培。Hinohikari 生育期稍短，通常較晚植(6 月中旬插秧，10 月中旬收穫)以搭配前期種植小麥或大麥，然而近年來 Hinohikari 卻不耐全球暖化之高溫環境，造成白堊質米比例增高。因此，九州沖繩農業研究中心稻作研究團隊針對九州沖繩地區稻作研究提出四大方向，以尋求解決相關稻作生產困境：(1) 開發具高溫耐性且外觀、食味優良的品種；(2) 擴大水田利用率，發展全株型青貯用水稻及穀粒利用型高產飼用水稻；(3) 開發食品工業利用型之高產水稻品種，如米粉用或製酒用等利用，擴大稻米消費量，以減少生產過量的問題；(4) 育成耐倒伏直播稻及利用分子標誌輔助選拔抗病蟲害品種，以減少生產成本與提高年輕者參與農業生產意願。高溫耐性品種已開發 Nikomaru 等品種，其中 Nikomaru 除了於高溫環境下的白堊質比例較 Hinohikari 減少 30%以上外，產量、品質及病蟲害抗性與 Hinohikari 相當。全株型青貯用水稻育種策略，一方面採取少蘖、粗稈、大穗及耐倒伏的稻穀高產方向，另一方面則選擇長稈、上位葉片直立的特性以改善植冠截光結構，最終育成提升全株乾物量的飼用品種，如 Kusahonami、Tachiaoba 等品種，其全株乾物量可達 20 ton/ha，以及育成 Mogumoguaoba、Mizuhochikara 等飼料米及米麵包兼用高產品種。也利用分子標誌輔助選拔技術將抗褐飛蝨基因

導入 Hinohikari 品種，育成近同源系 Kunto BPH1 品種。

此外，於日本最南端島嶼石垣島設置環境適應性試驗地熱帶農業研究處點，利用該地的亞熱帶短日條件進行全國各農業研究中心（北海道、東北、近畿中國四國、九州沖繩、中央農業總合作物研究所、北陸等 6 個農業研究中心）育種系統的世代促進工作及晚收性短稈型品種的適應性評價。山城信哉博士（Dr. Shinya Yamashiro）帶領我們至田間試驗田區進行田間觀察。由於日本除石垣島外之水稻栽培僅一年一作，因此全國農研育種系統的世代促進工作送至處點進行，自 F2 至 F4 世代以混合法直播於田間，種子收穫後再送回原育種單位。世代促進育種系統依任務急迫性可分為 2 種，一年三作型可容納 35 個集團，一年二作型可容納 235 個集團。山城信哉博士亦進行適合沖繩地區的品種選拔及栽培管理試驗，已選拔出低直鏈澱粉品種 Milky Summer。

氣象環境對水稻生產影響研究

九州沖繩農業研究中心的暖地溫暖化研究團隊丸山篤志博士（Dr. Atsushi Maruyama）主要進行露水對水稻植冠構造的量測及微氣象模擬研究。露水形成之主要原因為水蒸氣受夜間輻射冷卻而形成，最大直徑為 0.5mm，與植物的夜間呼吸作用、昆蟲的水分補充、病菌的繁殖有關，對於生態環境扮演重要功能。量測不同水稻植冠結構層次資料及該植冠層次露水量測、收集，評估露水對水稻植冠結構的影響，並進一步結合氣象因子以模擬植冠內之微氣象環境，以評估病蟲害發生頻率。

全球氣候暖化環境下，將造成高溫、極端雨量、低日照環境，並增加東亞颱風形成頻率，水稻產量及品質容易受到這些環境因子的影響。暖地溫暖化研究團隊和田博史博士（Dr. Hiroshi Wada）簡報其於稻米穀粒充實期間，探討高溫、低濕及低日照的焚風環境對胚乳白堊質形成的生理研究。利用簡易溫室及大型乾燥送風裝置模擬焚風環境，並於自然環境下焚風發生後之稻田進行驗證。當焚風環境導致葉片氣孔關閉，造成葉片光合作用降低，穀粒重量雖然與正常環境下充實之穀粒無顯著差異，然而白堊質比例卻明顯增加一倍以上。其主要原因為稻穗及穀粒的細胞膨壓降低而發生缺水狀態，造成胚乳細胞暫時性停止澱粉合成以累積細胞內蔗糖，並啟動滲透調節（osmotic adjustment），造成胚乳澱粉粒堆疊

不全而形成白堊質。

為進一步了解日本在全球氣候變遷的稻米相關研究，暖地溫暖化研究團隊脇山恭行博士 (Dr. Yasuyuki Wakiyama) 亦簡報全球暖化之高溫低日射環境對稻米品質的影響研究。穀粒充實期間遭遇暖化環境將造成胚乳心白、腹白及基部未熟等白堊質粒，導致食味品質降低、一等米生產比例減少及碎米率增加。其中高溫將抑制澱粉合成，降低葉、莖稈內非構造化碳水化合物轉運量，及增加同化產物的消耗量；低日射量則降低同化產物的合成。由於日本稻農為增加稻米食味口感，習慣減低氮肥施用量，於高溫環境下細胞活力降低，葉綠素光合作用效率減緩，造成胚乳發生白堊質愈加嚴重，必須提出適當策略謀求解決。

九州地區的主要稻米品種為 Hinohikari，約佔 65%，然而 Hinohikari 的耐熱性不佳，在暖化環境下，胚乳白堊質發生日益嚴重，因此暖地溫暖化研究團隊森田敏博士 (Dr. Satoshi Morita) 針對高溫低日射量環境對穀粒充實期的充實障礙進行生理生態學分析，並提出一系列解決策略。穀粒充實期高溫環境造成的白堊質粒其主要特徵為糙米扁平、表面縱溝加深及糠層增厚，而形成充實不良、千粒重降低的穀粒及產量降低。當抽穗後 20 天內每日平均氣溫高於 26.5℃ 時，穀粒充實期提早結束，加上低氮肥施用量，致使白堊質粒急速增加。當夜溫愈高，充實程度愈低，穀粒愈薄。以水稻高溫耐性品種 Nikomaru 與不耐高溫品種 Hinohikari 進行生理分析比較，二品種稻穀在正常環境下的形態大小無差異，然而高溫環境下 Nikomaru 糙米較 Hinohikari 長且寬，完整米率也較高，其原因為 Nikomaru 於抽穗前儲存於莖稈的非構造化碳水化合物於抽穗後再轉運 (redistribution) 到穀粒的量較 Hinohikari 多 32%，可減緩高溫低日射量造成同化產物不足對穀粒充實的影響。為降低溫暖化對米質的影響，森田敏博士提出一系列解決策略：

1. 高溫迴避技術：

- (1) 調整插秧期，延遲抽穗期，避免穀粒充實期遭受高溫侵襲。利用早晚熟品種選擇與栽種時期相互配合的策略，了解生產優質稻米最適品種與栽培期，將有利於稻米產業面對全球暖化衝擊的應對能力。
- (2) 穀粒充實期間遭遇高溫環境時，視當地水資源狀態，進行夜間流水灌溉，

降低稻株穗溫。

2. 高溫耐性強化技術：

- (1) 高溫耐性品種的導入，如 Nishihikari、Hokuriku、Mineharuka 及 Nikomaru 等品種。
- (2) 氮肥施用方法的改善：日本水稻栽培常施用二次穗肥，第一次穗肥施用的目的在增加二次支梗粒數，第二次穗肥施用則在提昇千粒重。由於穀粒充實期高溫造成光合作用效率減低、同化產物減少，當每穗粒數愈多，則白垚質粒愈多。因此可減少第一次穗肥施用量，適度增加第二次穗肥施用量，以降低每穗粒數，增加單一穀粒能分配的同化產物，並提高生育後期根系活力。然而氮肥施用方法的改善必須考慮因生育後期稻氮素含量升高而導致的食味低下問題，日本近年來開發的穗肥緩效性肥料，可有效利用解決本項問題。
- (3) 水分管理方法的改善：於分蘖盛期至最高分蘖期間，進行 18cm 的深水管理，可維持有效分蘖並減少白垚質粒。惟分蘖數須達 330 本/m²(視不同品種而定)時才能實施深水管理，以避免產量減收。
- (4) 栽植密度的調整：不同栽植密度將造成植冠結構的變化，需依不同品種進行調整。過於疏植則每穗粒數多，弱勢粒增加，心白率上升；過於密植易造成穀粒充實後期氮素不足，發生背白、基部未熟粒。
- (5) 適期收穫：高溫環境下成熟日數縮短，宜避免過遲收穫造成白垚質粒增加。

水稻耐熱性篩檢育種系統

為因應全球暖化環境，日本水稻育種於 1999 年開始進行穀粒充實期高溫耐性品種的開發，選定具有一定程度之高溫耐性基準品種後，將育成品系於耐熱性檢定圃進行篩檢，目前已有相當成果。日本採用的耐熱性檢定方式有新潟縣及福岡縣農業試驗場採用的 35℃ 溫水水田高溫檢定圃，富山縣農業試驗場採取人工氣候室檢定圃，設備設置成本及能源耗損甚高。九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊主持人坂井真博士 (Dr. Makoto Sakai) 採取依據不同品種提早插秧時期以促進抽穗，使稻株於穀粒充實期遭遇高溫環境，並利用田間簡易塑膠設施提升溫度、減低 30% 日射量，作為高溫檢定圃篩檢新品系，於 2005 年成功選育出耐

高溫品種 Nikomaru。品種間的高溫耐性分群為 Hinohikari、Aoinokaze 及 Maturibare 屬感受型品種；Nipponbare、Koshihikari 屬中等耐性品種；Nishihikari、Hokuriku、Mineharuka 及 Nikomaru 屬耐性品種。該研究室目前已選獲 5 大群不同親本來源的耐高溫材料，其中有比 Nikomaru 更具高溫耐性的品系 Saikai 283 及 Hane 283 等品系，並且已利用 Hinohikari 與 Nikomaru 雜交之重組自交系進行耐高溫數量基因座定位(尚未發表)。

四、研習心得

1. 參訪及研習的每位研究室研究專家，均會將他們近年來的重要研究成果進行簡報，我們可針對他們的簡報內容提出問題及充分討論。相關簡報內容經常是未曾在學術期刊及研討會發表的成果，讓我們獲得最新的觀念及研究進展。此外，九州沖繩農業研究中心也要求我方準備 1 個專題進行 30~60 分鐘的簡報及討論。如此相互的激盪，對於彼此在學術研究上的交流多所助益。
2. 大塚博士及市瀬博士帶領我們與各個單位的主管及研究者會晤，他們對於排定時間的嚴謹程度值得我方學習，對於會晤時間的控制相當精準。
3. 日本一般的研究計畫為期 5 年，研究構想的來源可能來自上層的政策性決定，也可以來自地方縣政府農業研究中心提出的需求。在研擬計畫過程，會審視各試驗研究單位的人力，必要時會進行人員的調整，可以打破原有的單位建制，打破不同領域的藩籬，甚至打破人員的原有專長。這種現象在國內幾乎是前所未見的。優點是擬定的研究方向可以有充足的人力資源及經費的支持，能夠在短時間內進行大量的試驗研究，並提出解決對策。缺點是該研究計畫一旦結束，若無延續性計畫的支持，該議題的研究可能出現真空狀態，對於培養專門領域的專家是一個警訊。
4. 日本沖繩縣病害蟲防除技術中心運用不孕性雄蠅的技術，於 1993 年已將沖繩縣本島及附屬島嶼的瓜實蠅完全滅絕，但政府考量到瓜實蠅可能透過觀光客攜帶瓜類果實再度引進，仍然持續大量釋放不孕性瓜實蠅雄蠅，絕不能容許瓜實蠅在沖繩地區再次立足，以維持防治成果。同樣地，他們發現每年仍可監測到個位數的果實蠅，促使他們持續進行果實蠅滅絕計畫，啟動果實蠅遷移模式研究計畫，希望能夠為這每年僅有個位數果實蠅的來源假設，得到學理證據的支持。顯示日本對於植物檢疫非疫區維持的強大企圖心。
5. 日本九州沖繩農業研究中心難除害蟲研究團隊的試驗室維持著 1966 年採集的水稻褐飛蝨族群，繁殖迄今已 45 年。該族群對於目前使用的殺蟲劑都不具有抗藥性，非常適合作為害蟲抗藥性研究的對照族群。45 年內經過多少人力的更迭，這個褐飛蝨族群依然可以穩定的維持下來，日本研究單位及研究者對於學術研究的堅持相當值得學習。

- 6.九州大學安井英志博士以臺中 65 號為平台，發展攜帶抗飛蝨基因之水稻近同源系，可提供日本水稻育種單位使用並與世界接軌，顯然於試驗執行前即有相當見解及規劃。
- 7.氣候變遷環境下，氣象環境對水稻生產影響研究相當重要，日本已針對降低溫暖化對米質的影響議題提出一系列解決策略，值得國內參考。
- 8.為因應全球暖化環境，日本水稻育種單位開發多種耐熱性檢定圃進行篩檢。而九州農研依據當地氣象環境條件，利用提早插秧期及簡易溫室設施，即完成新品系的耐熱性篩檢，可作為國內從事水稻耐熱性檢定圃的重要參考。

五、建議事項

1. 日本九州、沖繩地區的氣候條件與臺灣較為相近，栽培作物的種類頗多相近，且作物病蟲害的種類及行為在地緣上容易產生互動，所面臨的問題及未來的研究方向有許多相似之處。此外，日本在氣候變遷對作物生產及病蟲害影響的相關研究起步甚早，諸多的研究成果可以作為我方的借鏡。因此，持續加強雙方研究人員技術交流管道，除可擴展國內研究人員的國際觀，對於氣候變遷的策略因應將有所助益。
2. 日本中央農業研究機構與地方研究機構之間聯繫與合作關係良好，相互支援及資源共享。國內各試驗研究單位間或與大學院校在人力及資源逐漸減少之際，宜強化合作深度，擴大研發能量並互補不足。
3. 臺灣在氣候變遷對作物病蟲害的研究處於起步階段，對於相關研究計畫的研提，應邀集學校及試驗改良場所研究人員闢室研商，捐棄成見，並統合研究資源，研擬數個長期共同合作及待釐清的課題。建議重點如下：
 - (1) 選擇 1~2 個容易辨別、容易看得到或容易聽得到的昆蟲，譬如蟬的初鳴、蝴蝶的初見等，開始進行長期性的調查，分析各項氣候因子的變化與昆蟲行為的相關性。
 - (2) 盤點國內各個試驗研究單位創立以來累積的各項病蟲害調查數據，彙整發表於學術期刊的病蟲害監測論文，進行數位化建檔，嘗試比對可以作為發展研究計畫基期的資料。
 - (3) 瓜實蠅、果實蠅、野鼠、斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、番茄夜蛾及水稻害蟲的監測在國內行之有年，累積的數據與氣候因子的變化的相關性，應該是可以即刻著手的議題。
 - (4) 選定數個原屬於溫帶地區的有害病蟲，長期性監測它的分布南界變化情形，並探討是否出現高溫障礙。選定數個原屬熱帶地區的有害病蟲，長期監測它的分布北界變化情形，探討全球暖化是否助長它們向北擴展分布範圍，並評估它們是否有成為作物潛在的重要病蟲害。
4. 日本稻作在生物性逆境與非生物逆境的育種成果相當豐富，如能有效建立種原分享管道，可俾益於國內在氣候變遷環境的水稻品種選育。

5. 依據國內稻作研究資源及水稻栽培之氣象環境，稻作研究人員宜共同研擬臺灣因應全球暖化與氣候變遷之策略，建立耐熱等抗逆境檢定病圃。

六、研習照片



圖 1.拜訪九州大學農學院昆蟲研究室



圖 2.九州大學農學院作物育種研究室抗飛蝨基因之水稻近同源系田間觀察



圖 3.九州大學農學院作物育種研究室於水稻孕穗期開始檢定飛蝨抗性(稻株抽穗，已完成檢定)



圖 4.參訪九州沖繩農業研究中心久留米據點植物工廠周年栽培生產



圖 5.參訪沖繩縣瓜實蠅不孕性雄蠅生產工廠



圖 6.沖繩縣瓜實蠅滅絕紀念碑



圖 7. 拜訪九州沖繩農業研究中心所長井邊時雄博士(左 3)及難除害蟲研究團隊

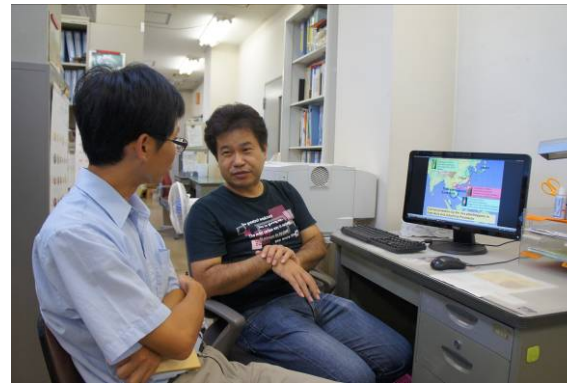


圖 8. 聽取九州沖繩農業研究中心難除害蟲研究團隊上席研究員松村正哉博士簡報

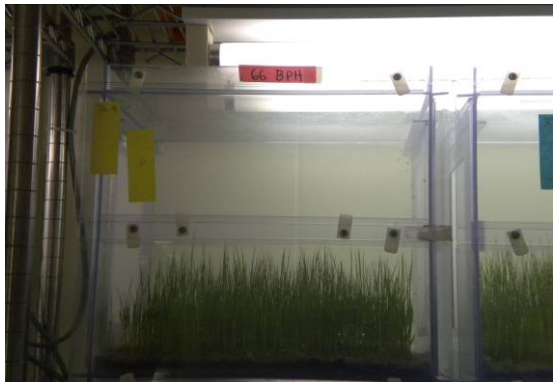


圖 9. 九州沖繩農業研究中心難除害蟲研究團隊自 1966 年收集的褐飛蝨繁衍迄今



圖 10. 九州沖繩農業研究中心難除害蟲研究團隊於臺灣收集、繁殖的褐飛蝨

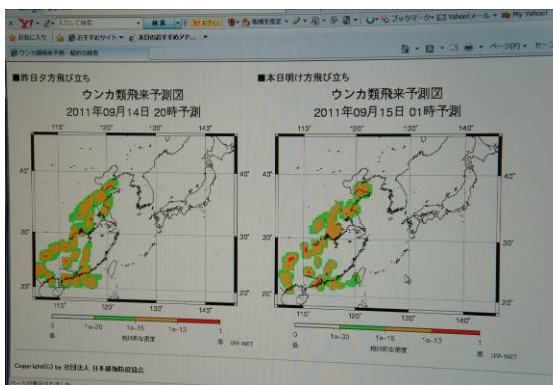


圖 11. 九州沖繩農業研究中心難除害蟲研究團隊開發之飛蝨於東亞地區的遷飛遷飛預測模式



圖 12. 熱帶農業研究處點之水稻一年三作型 F_2 世代混合法世代促進田區



圖 13. 熱帶農業研究處點於直播田區拉線防治鳥害

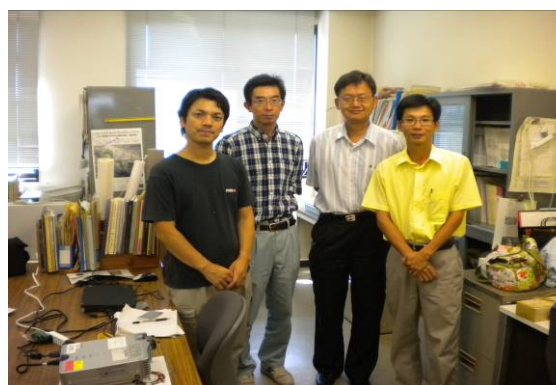


圖 14. 拜訪九州沖繩農業研究中心暖地溫暖化研究團隊合志據點研究人員



圖 15. 聽取九州沖繩農業研究中心筑後據點暖地溫暖化研究團隊簡報



圖 16. 參訪九州沖繩農業研究中心暖地溫暖化研究團隊筑後據點水稻高溫生理研究設施



圖 17. 九州沖繩農業研究中心暖地溫暖化研究團隊利用人工氣候室探討高溫對水稻白堊質影響的生理研究

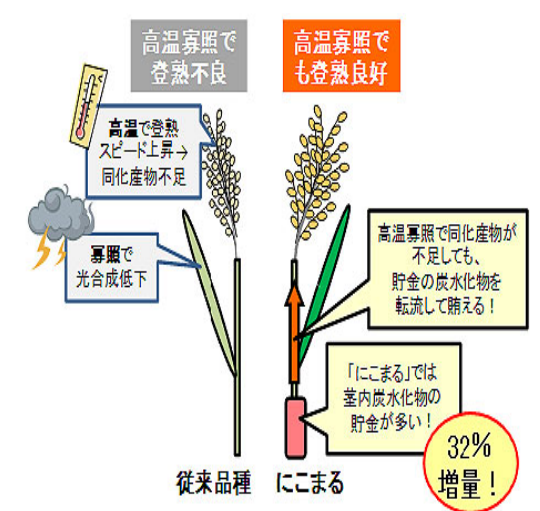


圖 18. 九州沖繩農業研究中心暖地溫暖化研究團隊分析耐高溫水稻品種 Nikumar 的生理研究



圖 19. 聽取九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊簡報

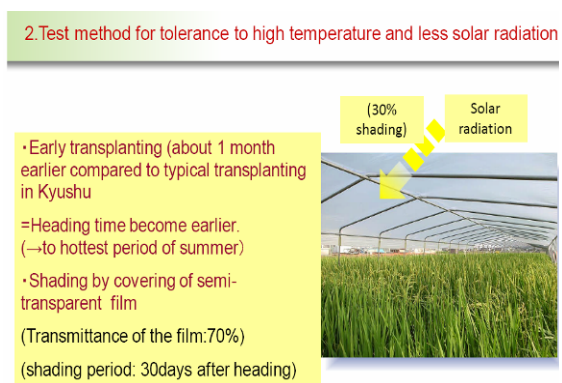


圖 20. 九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊水稻耐熱性篩檢育種系統



圖 21. 九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊水稻耐熱性檢定圃



圖 22. 九州沖繩農業研究中心筑後據點水稻育種田區觀察討論



圖 23. 九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊育成之耐高溫水稻品種 Nikumar 田間植株

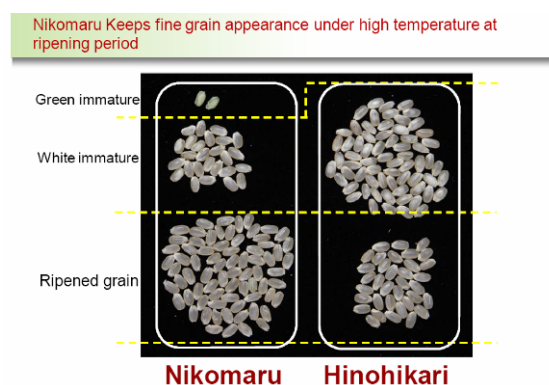


圖 24. 九州沖繩農業研究中心水稻育種研究團隊育成之水稻品種 Nikumar 於高溫下仍有良好外觀