

興大農業



「氣候變遷」專輯

2020 **109** 期

◆「氣候變遷」專輯

氣候變遷下農業災害預警及防範
氣候變遷下害蟲地理分布預測模式的探討
氣候變遷下作物病害的發生與預防策略

◆農推中心研習班活動報導

109年國立中興大學農資學院農業推廣中心推廣教育訓練成果（自辦訓練班）

興大農業109

目錄

◆「氣候變遷」專輯

02 氣候變遷下農業災害預警及防範

姚銘輝、徐永衡

11 氣候變遷下害蟲地理分布預測模式的探討

黃毓斌、楊崇民、范姜俊承

16 氣候變遷下作物病害的發生與預防策略

蘇俊峯、謝廷芳

◆農推中心研習班活動報導

22 109 年國立中興大學農資學院農業推廣中心推廣教育訓練成果

(自辦訓練班)





氣候變遷下農業災害預警及防範

姚銘輝、徐永衡

農業試驗所 農業工程組
國家災害防救科技中心氣候變遷組

一、前言

農業生產受災害直接影響，隨著氣候變遷衝擊益發明顯，災害預警與防範對農業領域是重要課題。現今全球皆處於極端氣候頻繁發生的風險之下，依據聯合國災害資料庫（EM-DAT）統計，亞洲是災害的好發地區，而我國屬於亞熱帶海洋氣候類型，在國際氣候研究更被列入高風險的邊緣區。台灣極端氣候災害前三大依序為颱風、雨害及寒害，分析過去 30 年（1990-2019 年）歷年農損災害所占比例。颱風所造成災害約占 69.58 %；雨害則指春雨、梅雨及夏季對流雨，約占 16.76 %；低溫則為一期作水稻插秧期、坡地果樹及茶區所受之寒害，約占 6.96 %；其餘災害包括冰雹、旱害、高溫害、風害及焚風等。就受損之作物種類分析，果品占 52.0 %，蔬菜 26.45 %，單一作物則以水稻之 9.57 % 最多。天然災害造成農作物每年平均災損約 50 億元，以民國 105 年為例，因霸王寒流與多個颱風襲台造成農損金額高達 272 億元，充分顯示天然災害所造成之損失程度不可輕忽，妥適因應以減少災害損失乃當前重要議題。

有鑑於此，農委會於 105 年啟動跨部會科技計畫「農林氣象風險指標建置及災害調適策略之研究」（以下簡稱農林防災計畫），強調氣象、

災害及作物之跨域整合，透過作物 - 氣象資訊整合、作物防災技術研發及重要作物生產區防災整體營造等主動作為，推動防災調適策略，期望能有效地減輕農民的損失，同時建立農民自主防災意識。

本文將依序以平時作為、災前預警、災中防範及災後勘查四個科技研發議題（圖一），介紹如何建構完整農業災害調適能力，以加速恢復生產力，並減緩極端天氣所帶來的衝擊，達成照顧農民生計與穩定農產品供應目標。

二、平時作為 - 農民自主防災意識養成

自民國 75 年起交通部中央氣象局陸續建置農業氣象測站，然而，至 104 年為止，僅 17 個農業氣象站可即時傳輸氣象資料，為提升測站品質與增加測站分布密度，農委會委請氣象局協助增設農業氣象站或更新汰換氣象觀測設備以符合農業需求，目前共完成 160 個農業氣象測站的設立，民眾可至氣象局所開發之「農業氣象觀測網監測系統」（<http://agr.cwb.gov.tw>）網頁，選擇防災即時監測或觀測時序圖功能頁籤，查詢農業氣象站的即時資料，包含溫度、降水量、相對濕度、風速、風向、日射量及地溫等觀測項目逐時與日資料瀏覽；另由農業試驗所所開發的「農作物災害預警平台」（<https://disaster.tari.gov.tw/>）



圖一、農林防災計畫工作目標

(圖二)則提供平台會員瀏覽與下載全台 160 個農業氣象站(包含農業站、局屬站、自動站)歷史觀測日資料。民眾如需索取氣象資料,可先自本平台首頁左上方登入連結畫面,註冊帳號以申請會員,即可下載氣象資料(圖三),其他氣象資料應用服務包含查詢全台測站即時觀測、歷史觀測及特定日期區間氣象時序圖,亦針對各天氣因子提供時段統計與氣象分析評估功能,透過圖像化的加值服務,提升氣象資料應用多元性。

目前氣象局提供氣象預報服務的最小範圍為鄉鎮尺度,但農作生產區域往往跨鄉鎮,同時鄉鎮預報之預報點位以鄉(鎮、區)公所為中心,與農業區位置相距甚遠,加上山勢陡峭,可參考之預報資訊相當有限,為提供在地農民更多天氣預報資訊,農業試驗所彙整 60 個農作物生產區(圖四),以重要性、易受災損、及栽培區域集中為選定原則,由氣象局客製化產製氣象預報資

料,預報項目與鄉鎮預報相同,但卻更加接近農業生產區實際位置。作物生產專區精緻預報服務可以至「農業氣象觀測網監測系統」網頁瀏覽,選擇作物生產專區精緻預報功能頁籤(圖五),點選作物所在縣市或以關鍵字搜尋專區,也可利用下拉式選單選取專區,以瀏覽未來 48 小時(逐 3 小時)及未來 1 週(逐 12 小時)的氣象預報資訊。

除了可以在網頁查詢作物生產專區精緻預報,農業試驗所於 107 年正式上線「農作物災害通報 APP」(圖六),讓農民可直接以智慧型手機或平板電腦,查詢作物專區氣象預報與警示資訊,包括過去兩週觀測資料與未來一週預報資料。除了專區氣象資訊外,「警示燈號」功能依據專區作物特性提供風、雨、低溫及高溫害預警資訊,並以簡易燈號呈現災害狀態與危害程度,紅燈表示嚴重程度最高,依序是黃燈,綠燈表示



無災害狀態或尚未達預警程度。另外，農林防災團隊也推動“參與式防災”服務，由產銷班出資架設氣象站，氣象局負責資料品質監控，並提供該點位之精緻化氣象預報，透過農作物災害通報APP，農民可由手機接收即時與未來一週預報資

料，不僅可作為農事管理之參考，亦可提前因應氣象災害可能帶來之損害，同時因測站氣象資料品質由氣象局管控，保險公司可依據此資料做為農業保險理賠依據，減少理賠爭議。



圖二、農作物災害預警平台首頁 (<https://disaster.tari.gov.tw/>)

農作物災害預警平台 農業氣象站資料下載方法

一、預警平台 <https://disaster.tari.gov.tw>
進入首頁後，請先「登入」



二、登入預警平台後，請按「氣象資訊查詢」



三、選擇「測站類型與所在縣市」、亦或有該「測站名稱或代碼」、可在此直接輸入後，按「查詢」；右方則出現該查詢測站詳細資訊。出現測站資訊後再選取上方「進階氣象資訊」功能鍵，進入下一階段



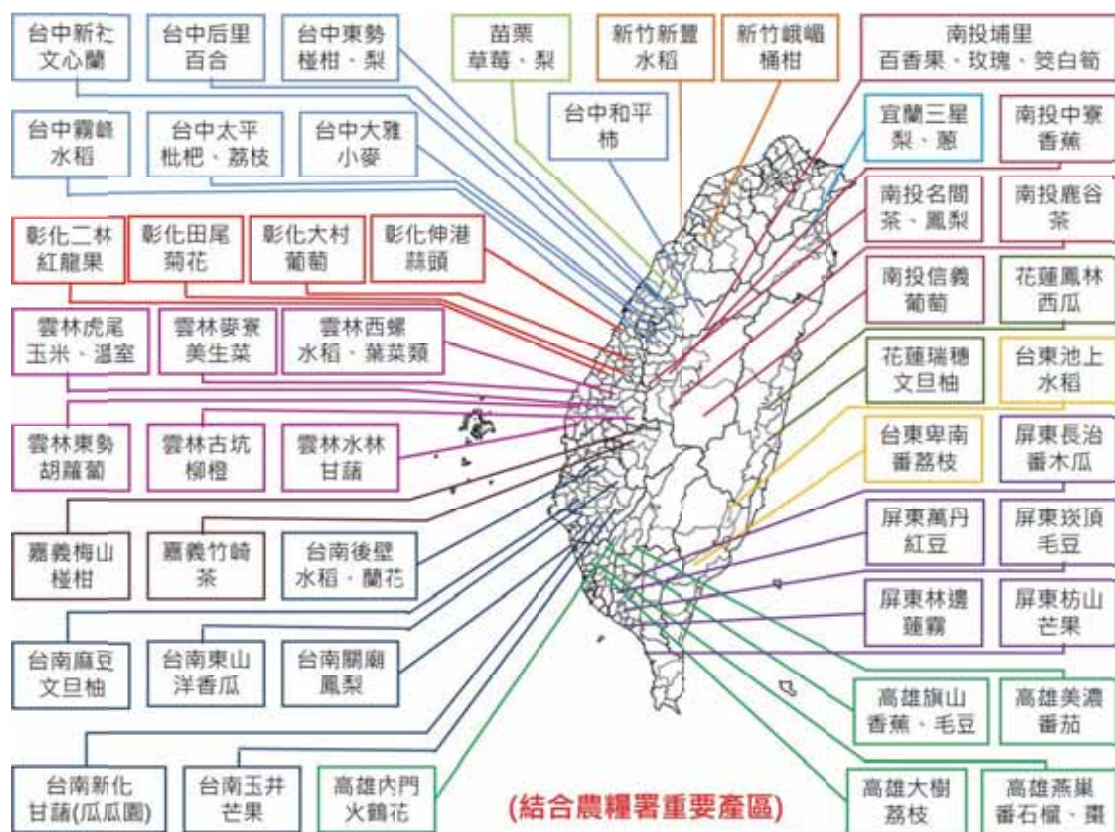
四、輸入欲查詢與下載之氣象資料時間區段，按「查詢」鍵，下方則出現該查詢之氣象資訊；若需要該筆資料，則再按「下載」鍵，方可下載已查詢之氣象資料



測站代碼	時間	平均乾球氣溫 (°C)	平均濕球氣溫	平均相對濕度 (%)	平均風速	累積降雨量	全天空日射量	平均露點溫度
G2F820	2019-09-01 00:00:00	27.3	999.7	85	2.1	68.0	21.77	24.3
G2F820	2019-09-02 00:00:00	28.6	1000.0	79	1.8	0.0	26.99	24.5
G2F820	2019-09-03 00:00:00	28.6	997.5	82	1.8	0.0	21.02	25.3
G2F820	2019-09-04 00:00:00	26.1	996.9	91	1.7	61.0	12.07	24.5
G2F820	2019-09-05 00:00:00	26.3	994.5	89	1.5	3.0	15.66	24.3
G2F820	2019-09-06 00:00:00	28.0	993.3	82	1.6	0.5	25.83	24.6
G2F820	2019-09-07 00:00:00	28.5	995.6	81	1.8	0.0	24.39	24.8
G2F820	2019-09-08 00:00:00	27.3	997.2	85	1.9	2.5	26.52	24.4
G2F820	2019-09-09 00:00:00	28.5	998.0	78	1.8	0.0	21.98	24.2
G2F820	2019-09-10 00:00:00	28.9	1002.1	77	2.0	0.0	24.52	24.4

註：如要「下載」氣象資訊，請務必先按「查詢」，待頁面出現查詢之氣象資訊後，才可以下載。

圖三、「農作物災害預警平台」氣象站觀測資料下載操作說明



圖四、60個農作物生產區



圖五、作物生產專區精緻預報功能



農作物災害通報APP APP QR Code



(iOS版)

App Store



(Android版)

Play 商店

圖六、農作物災害通報APP與下載連結QR Code

三、災前預警 - 農業災害應變啓動

因應極端氣候的威脅，台灣農業科技發展勢必仰賴精確且在地化的氣象預報資訊與對災害性天氣的應變能力，以傳達更精確之防災資訊予農民，農作物災害預警平台以作物生理特性、不同

生育階段及易致災臨界氣象條件為基礎，結合氣象局即時觀測資料與氣象預報作業，針對各鄉鎮市區主要栽培作物與農業專區，提供“週”時間尺度之氣象災害精緻化預報。

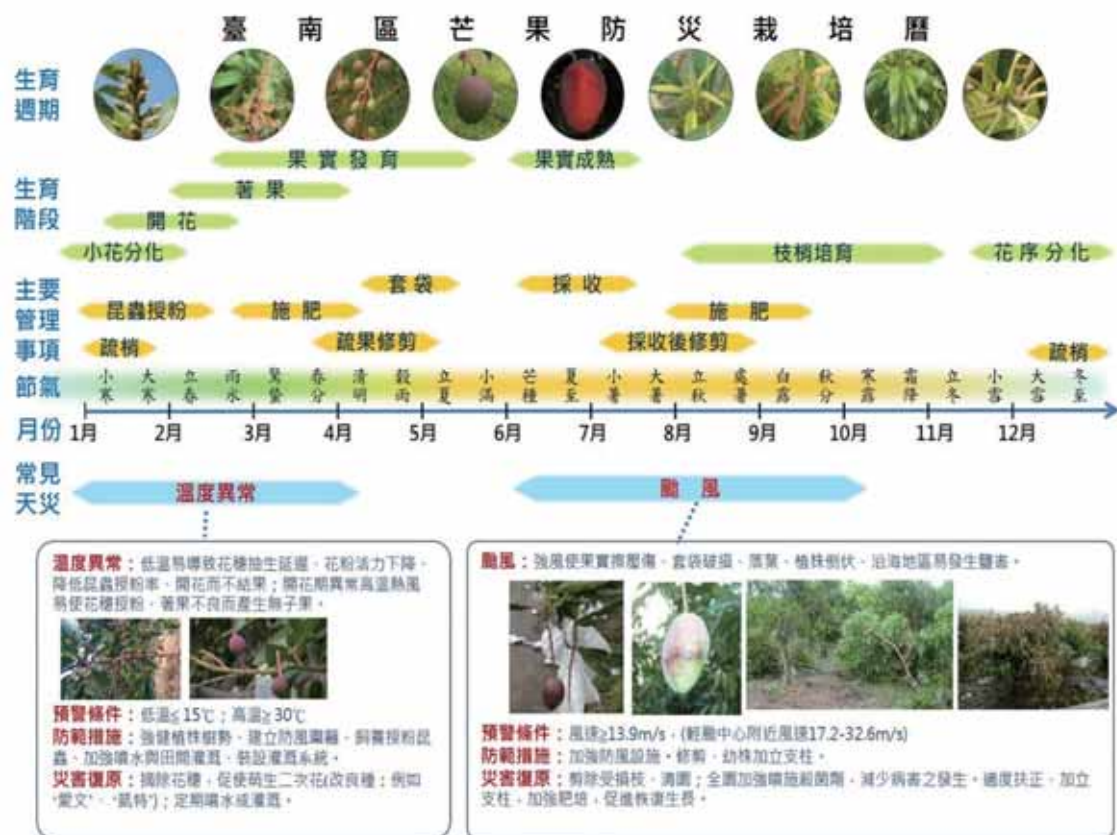
災前預警分為鄉鎮災害預警及作物專區預警兩種項目。由各鄉鎮市區種植面積最多之五種農



作物作為預報重點，預報未來 7 日可能發生之災害類型，同時結合作物防災栽培曆的生理致災條件，以紅、黃、綠燈號呈現災害狀態與危害程度。作物專區預警係由中央氣象局產製 60 種作物專區精緻化氣象預報功能為基礎，農業試驗所開發手機 APP 功能（圖六），讓農民更輕易取得災害資訊，以進行防災作為。

農作物災害預警平台尚有台灣農業氣候型態圖集、氣象災害發生率圖集及廿四節氣介紹等相關服務。平台服務目的為協助農民有效地進行栽培管理與生產工作，透過提早獲知近期天氣變化與可能的致災氣象，將其運用在田間作業排程規劃與強化防災措施準備，以期降低人力成本與

災害損失。另為符合台灣地區農民應用需求，農林防災計畫召集各試驗場所之專家，依據執行田野調查、農民訪談及文獻收集等工作，由作物發育物候模式，對應地區性氣象資料及過去農損紀錄，整合完成 40 種農作物防災栽培曆（圖七），並委請農、園藝資深教授協助進行文稿校閱、增修。防災栽培曆的特點在於，其內容較為偏重作物栽培常見之災害訊息提供，包含豪雨、颱風、低溫害、霪雨等及其他環境逆境之影響，是兼具實用性與在地性的農作物栽培作業曆，希望不僅是田間管理、產期調整及評估作物適地適作規劃之參考，亦是天然災害防範教育訓練教材，以厚植農業防減災能力。



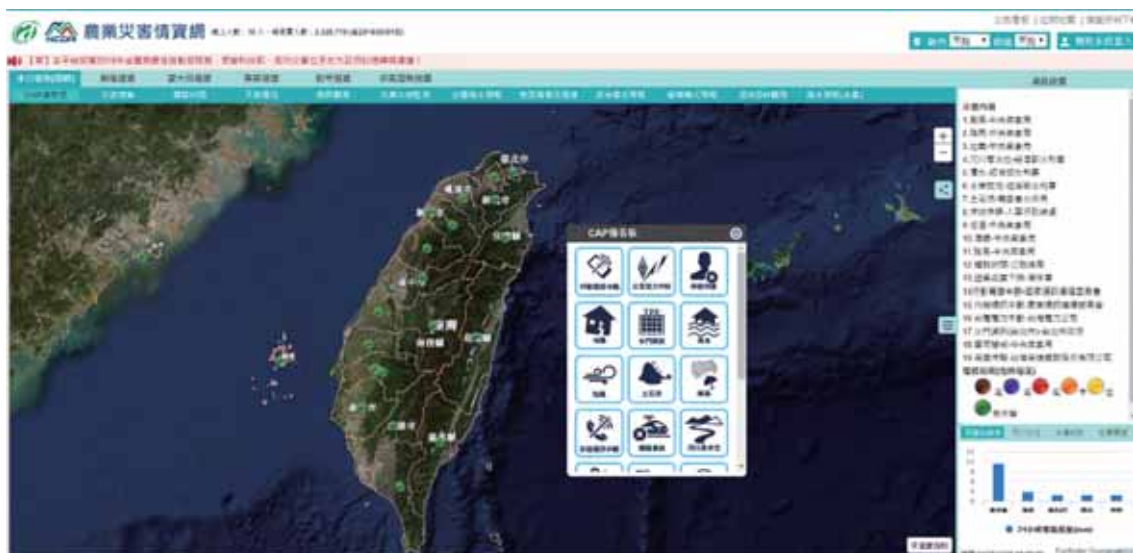
圖七、農作物防災栽培曆

四、災中防範 - 農業災害應變整備

為強化作物災害預警與農業災損通報體系研發，希望藉由國家災害防救科技中心（簡稱災防科技中心）過去在天然災害應變的經驗，與長期累積之災害資訊加值應用成果，強化農業災害應變即時情資之傳遞。在作物災害預警強化的部分，農委會委請災防科技中心開發「農業災害情資網」（<http://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/web/ot/coa>）（圖八），即時更新全台各項災害情資，並整合各種氣象、水文、坡地道路、空氣汙染等示警資訊，方便使用者同時瀏覽所有重要情資。當台灣遭遇颱風事件時，欲取得即時颱風情資，可點選首頁「颱風情資」頁籤，本功能提供完整颱風訊息，例如情資研判通報、颱風動態分析、颱風路徑、綜合研判指標、風速觀測、歷史颱風個案及即時淹水警戒等多樣的資訊。例如，當颱風在海上生成時，颱風動態分析頁籤地圖頁面會即時更新颱風動態，呈現最新的颱風走向、颱風所

在位置時間、颱風與台灣之間相對地理位置、氣象局與多個國家的颱風路徑預測、颱風風速、行進速度及暴風半徑等訊息；當颱風接近台灣本島時，綜合指標研判功能提供各縣市鄉鎮的氣象、水文、坡地、道路及暴風半徑通過機率等示警情資，使用者可指定欲觀看之縣市，預警指標圖表提供豪大雨警報、累積降雨、雨量預測、風力觀測及風力預測等項目。

此外，災防科技中心設計農業專屬之颱風災害應變程序，嘗試銜接官方應變流程，於海警發布前即啟動預警，提供農業災害情資，以利後續訊息傳遞，協助爭取田間備災作業時間。災害發生時，需盤點各區易受影響之作物品項，彙整全台各月之作物敏感生育期調查表，製作「農作物防災資訊圖卡」，目前已完成1-4月寒害、5-7月豪雨害、7-11月西南氣流及5-11月九大歷史颱風路徑圖卡版本。颱風汛期期間，災防科技中心人員輪值守視，隨時關注可能影響台灣之熱帶擾動，當低壓可能增強為颱風，影響台灣機率



圖八、農業災害情資網首頁（<http://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/web/ot/coa>）



增加時，災防科技中心啟動農業應變作業並開始進行情資彙整，農試所與各區農改場之窗口亦開始協助農業應變情資簡報易受影響作物圖卡作物品項確認。在啟動應變程序作業中，其所產製之農業災害情資簡報，包括最新颱風情資、易受影響作物圖卡、防災建議及各種宣導圖卡等。完成後之災害情資透過農委會粉絲專頁等社群工具推播，以協助農民爭取田間防颱整備作業時間。

五、災後勘查 - 加速災後救助流程與復耕

農委會於 106 年 5 月修訂『農產業天然災害救助辦法』，提出農產業災情實地勘查認定，可以攝影、照相或數位化工具先行影像存證，另得以科技工具輔助勘察。因此，現場災損情形可透過 UAV 航拍影像分析後所產生的地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）災損判釋成果，提供農損查報所需之空間輔助圖資，協助地方人員進行勘災作業並加速災後復耕。目前無人機拍攝技術發展已臻成熟，應用此項技術可突破空間障礙與快速紀錄等優勢，加速農作災損勘災及縮短人力勘災所耗費的時間。

農業試驗所目前已完成 12 種作物 / 果樹之災損 UAV 空拍作業與航拍影像災損判釋之初步

分析，其中針對水稻與香蕉受颱風侵害所造成的大面積倒伏判釋成果最佳。水稻倒伏透過影像監督分類法進行判釋並套疊地籍圖，能快速掌握災後作物災損面積與情況，災損影像比對地面查核之水稻倒伏，以損失率達 20% 為基準（災損救助核定門檻）進行抽樣，其影像災損判釋率可達到 9 成以上。香蕉受災影像的判釋，其影像災損判釋率約 85%，針對不同農作物災損之 UAV 影像判釋，需發展不同的技術，以提高作物災損判釋的準確性。

六、未來展望

未來氣候變遷下災害發生頻率與強度將更為極端化，必須持續修正更完整與更有效率之農業防災體系，以減緩極端天氣所帶來的衝擊，未來除了持續推動防災業務，包括氣象資訊服務、災害應變機制、農作物早期預警、無人機勘災技術精進及辦理防災教育訓練，也將關注在全球持續暖化與乾旱議題，例如冬季縮短及溫度增高，需冷性高之果樹不開花問題，擬評估各種作物暖冬衝擊程度。與分析乾旱所造成之農業損失，提出非灌區或坡地農業的用水調適策略。

氣候變遷下害蟲地理分布預測模式的探討

黃毓斌、楊崇民、范姜俊承

農業試驗所 應用動物組
電子郵件: ybhuang@tari.gov.tw

緒言

氣候變遷 (Climate change) 是指氣候在一段時間內的波動變化，其平均氣象指數的變化，這時間可能是指幾十年或更久，因此波動範圍可能是區域性或全球性的。依照 Fand 等人 (2012) 報導，氣候變遷對於農業害蟲的衝擊有 (1) 生物多樣性的減少 (2) 地理區的擴散 (3) 世代數的增加 (4) 增加越冬存活率 (5) 地理區的擴散世代數增加 (6) 入侵種的風險 (7) 族群變動及猖獗 (8) 植物抗性下降 (9) 作物與有害生物間的交互作用 (10) 影響生物防治效能 (11) 授粉昆蟲受到干擾。

農業害蟲屬變溫動物，隨著溫度上升，發育速率增加，發育生長期隨著縮短，因此害蟲可在短時間內造成流行性危害，農業生產可能成本增加或經濟損失。由生態環境關係來看，氣候 (Climate) 因子是影響生物物種地理分布和族群數量的主要因素，藉由物種的已知地理分布以及數量來估計所需要的氣候條件，或直接使用物種生長發育的生物學資料，加入氣候參數，使得預測結果與已知區域能夠符合，一旦確定了物種所需要的氣候參數，就以此來預測該物種的潛在地理分布。

物種分布模式 (Species Distribution Modelling)

物種地理分布可藉 SDM (Species Distribution Modelling) 物種出現點位資料與環境變數圖層，量化物種與環境間的關係，由三要項所組成 (1) 物種出現點位資料—即反應變數 (species occurrence data, i.e. response variable)、(2) 環境預測圖層—即解釋變數 (environmental layer, i.e. explanatory variable) 及 (3) 物種—環境關係之演算法或函數的建構—即模擬方法 (algorithm or function, i.e. modeling method)，早期此種研究並未對調查點之物種適合度機率進行全面化的空間推估 (Franklin, 2009)，為改善此層面，近年來，最常被應用者有全球生物多樣性資訊機構 (Global Biodiversity Information Facility, GBIF) 物種資料庫及 MaxEnt (Phillips *et al.*, 2006) 物種分布軟體。對於分布範圍較為廣泛具有分布限制的外來有害生物而言，以各種分析方法的預測結果皆極相似，然而對於目前有害生物分布數據較為缺乏或者入侵範圍較小的外來有害生物，應用空間統計的分析方法則存在較大的誤差。因此另外分析物種在已發生地區之氣候條件，來預測其潛在地理分布和相對豐盛度動態模擬，早期澳



洲學者等國利用 CLIMEX 預測引進的外來植物和農業害蟲潛在地理分布，以便對引進的物種進行控制。本文即對此兩種物種分布模式來進行探討。

一、Maxent (Maximum Entropy)

Maxent 應用軟體係由最大熵 (entropy) 模式建置，應用機器學習技術來對物種生態位 (Niche) 及分布 (Distribution) 進行模擬分析。這種模式係從一組環境 (例如，氣候) 網格資料及參考地理發生地點中表達出其機率分布，其中每個網格資料點皆具有該物種條件的預測適用性。對已發生記錄的數據輸入及取樣分析工作時，Maxent (Maximum Entropy) 已被證明具有強大的功能，於最大熵理論使用時對於僅存在數據來預測物種的分佈。估計物種出現的機率分

布，該機率最接近均勻，亦受環境限制物種分布模式，對於稀有及瀕危物種保育管理提供了很有價值的資料。在此模式中利用曲線下面積 (area under the curve, AUC) 下的區域來評估模式優劣，AUC 的值範圍從 0 到 1，AUC 值為 0.50 表示模式的分析特性不比隨機模式好，而 AUC 值為 1.0 則表示可完全區分兩者差異。為了顯示圖資及進一步分析，可將 Maxent 模式的結果轉換地理資訊軟體到 ArcGIS (ERI, 已升級到 10.8 版本)。依此推論到不適合生存的棲息地 (0-0.2)；勉強適合生存的棲息地 (0.2-0.4)；適合生存棲及息地 (0.4-0.6)；高度合適的棲息地 (0.6-0.7)；非常合適的棲息地 (0.7-1.0)。利用 GBIF 現有分布資料及 MaxEnt 模式來進行褐飛蝨分布模擬圖，以 19 個氣象資料分析其在全球或台灣分布如圖 1,2。

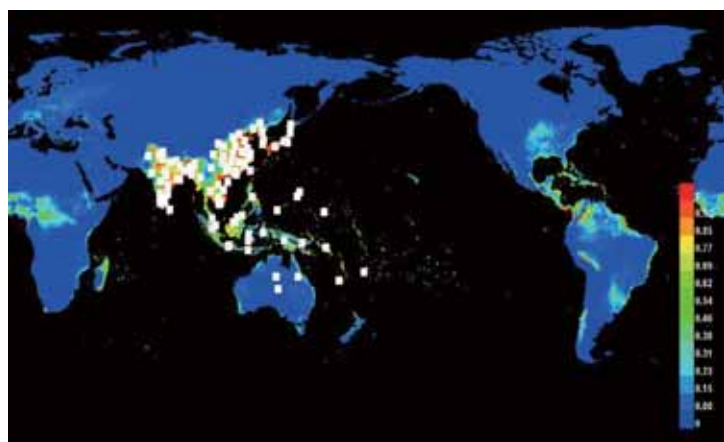


圖1. 利用19個氣象資料分析褐飛蝨全球潛在地理分布

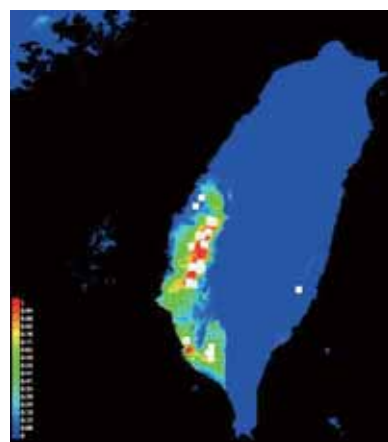


圖2. 褐飛蝨在台灣地區潛在地理分布

二、CLIMEX (CLIMetic index)

CLIMEX 預測物種之生物氣候模式，其理論基於 2 個基本假設：(1) 物種在 1 年內經過

2 個時期，即適合族群增長時期和不適合生存的時期；此意涵為物種出生與死亡之現象 (2) 氣候是影響物種分布的主要因子 (。利用一系列參數描述物種對氣候的不同反應，逆境指數 (stress

indices, SI, 冷、熱、乾及濕, 以及彼此相互關係對族群在不良氣候條件下生存的可能。

描述物種所需要的氣候參數主要有 3 部分組成：增長指數 (GI)、逆境指數 (SI) 及其它限制條件，增長指數包括生長和繁殖最適宜的溫度、濕度範圍及其他適宜環境；逆境指數則包括限制物種存活之極端溫度和濕度等，限制條件包括滯育與有效積溫等其他聯合效應之參數，根據此 3 部分參數，計算物種生態氣候指數 (EI)，以此綜合反應該物種最適宜的氣候條件及適合生存之地區 (Sutherst *et al.*, 2007)。

1. 增長指數 (Growth Index)

增長指數按照時間大小可以分成每週增長指數 (weekly growth index, GI_w) 和年增長指數 (annual growth index, GI_A)，在週增長指數的基礎上，可計算年增長指數，其中物種的增長指數與溫度、濕度及光照有關，同時考慮了滯育或植物休眠對生長的影響。另外滯育 (diapause) 是物種對極端環境的一種適應性表現，溫度過低或植物日照不足 (如冬季滯育)，或者日照太長和溫度太高都可誘發滯育 (如夏季滯育)，滯育指數 DI 表示滯育對物種生長發育的影響，若物種存在滯育，則處於滯育期的週滯育指數 $DI_w=0$ ；否則週滯育指數 $DI_w=1$ 。

2. 逆境指數 (Stress Index)

包括 4 種常用的逆境指數：冷逆境指數 (cold stress, CS)、熱逆境指數 (heat stress, HS)、濕逆境指數 (wet stress, WS)、乾逆境指數 (dry stress, DS)，如果任何一個逆境指數大於 100，表示極端環境使物種無法生存。

3. 交互 (interaction) 逆境指數：指各逆境間交互作用；

逆境交互指數用來表示環境不佳對物種生長發育的影響，物種生長的溫度範圍從 DV_0 到 DV_3 ；濕度範圍從 SM_0 到 SM_3 ，超出這 2 個範圍之外時的不良環境條會導致族群負增長 (negative population growth)。

所謂生態氣候指數係為增長指數、逆境指數及交互 (interaction) 逆境指數整合成生態氣候指數 EI (Ecoclimatic Index)，數值範圍 0~100，當數值接近 0 時，表示該物種不適宜長期生存；100 時表示該地區的環境條件為理想條件。

生態氣候指數 EI 依下公式計算：

$$\text{Ecoclimatic Index, EI} = TGI_A \times SI \times SX$$

其中

The annual Growth Index：

$$GI_A = 100 \sum_{i=1}^{52} TGI_{wi} / 52$$

The annual Stress Index：

$$SI = (1-CS/100) (1-DS/100) (1-HS/100) (1-WS/100)$$

The Stress Interaction Index:

$$SX = (1-CDX/100) (1-CWX/100) (1-HDX/100) (1-HWX/100)$$

CS, DS, HS, WS are the annual cold, dry, heat and wet Stress indices respectively, and CDX, CWX, HDX and HWX are the annual cold-dry, cold-wet, hot-dry and hot-wet Stress interaction indices.

此模式主要應用層面有：

1. 以 30 年 (1969~1999) 平均氣象資料 (溫度、濕度、光照、雨量...)，利用 CLIMEX 分析台灣水稻有害生物褐飛蝨 (*Nilaparvata lugens*)



(Stal)) 的適生潛在分布，其中彰化及雲林地區為高風險地區，其次為高屏及台東等區，如模擬圖 2。若未來全球溫度上升 1.5 度之氣候情境，經由模擬後桃園、宜蘭及花蓮將提升為高風險地區，高屏及台東等則為零星分布(圖 3)。

2. 就氣候變遷對重要害蟲之地理分布影響進行研究，利用生物氣候模式 CLIMEX，探討台灣地區氣候因子對有害生物潛在地理分布之影響，與現有調查地理資料持續比對，可藉此評估氣候對此類害蟲分布之衝擊或其它入侵害蟲之風險。經由 CLIMEX 模式所估算出地理區之 EI 值，均具有座標資料，這些點位資料可再轉換

至一般地理資訊軟體，作為屬性資料欄位，結合各地點各月份氣候資料庫，分析各地點有害生物適生長地區分布狀況，若能結合寄主水果分布資料，利用差值法面化資料，更能有貼近現地調查之資料，對於未來有害生物疫情熱點之預警決策通報工作有很大助益。

結論

在這二種模式中，MaxENT 是利用已知物種的分布資料和環境資料產生，在考慮以生態棲所為基礎的物種資料，研究生物多樣性和物種的潛在地理分布。然而 CLIMEX 模式分析是經由物種在已知地理分布區域的氣候參數來預測物種的

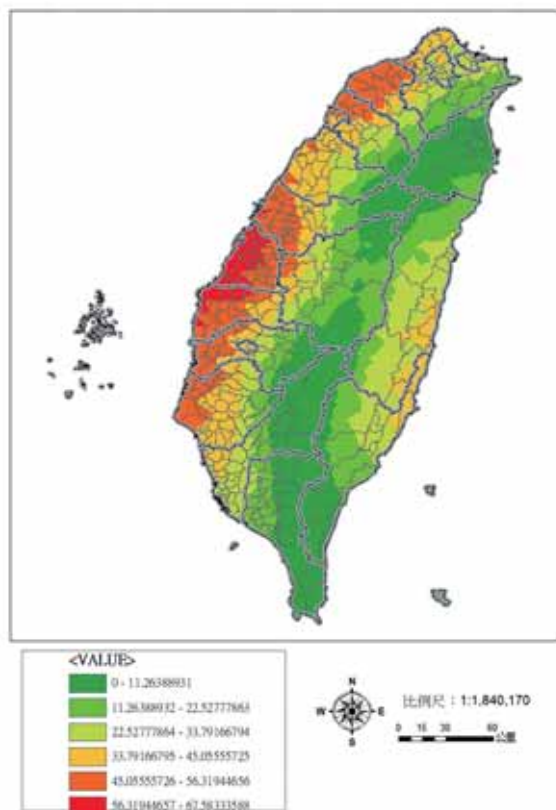


圖3. 以全球30年(1969~1999 年平均資料等於1975 年)長期氣象資料，模擬褐飛蟲在台灣分布

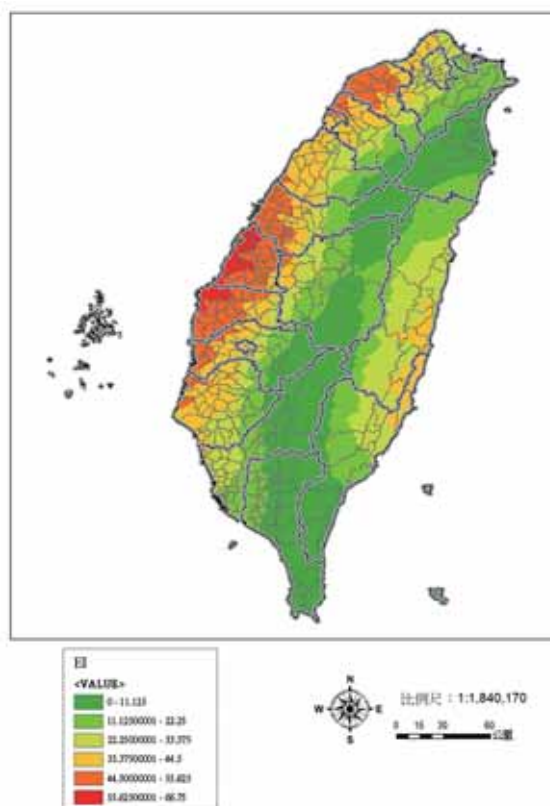


圖4. 模擬未來氣溫上升1.5°C 情境褐飛蟲分布資料

潛在地理分佈，這種氣候參數是依據有害生物的生物特性如生物積溫原理等所運算結果。其中 EI 值是一個相對數值，此數值可反映出物種在各地分布的相對豐度，並且能以圖表或圖資的形式預測物種適合生存之區域。

運用長期氣候資料，依據有害生物受到氣候因子的族群成長及限制增長，估計其發生所需的氣候條件，或直接使用物種生長發育的生物學資料，加入氣候參數，建立有害生物氣候分布模式，將估測結果與已知監測分布相互驗證，配合農委會重要害蟲管制監測，若於全島主要作物生產專區，設置密度監測站，長期監測害蟲族群動態，就氣候變遷下害蟲潛在性之危害風險區域，透過支援決策系統，研擬熱點區預防性措施或管理對策，做為預警害蟲流行或耕作調適，降低經濟損失風險。

參考文獻

- Fand, Babasaheb B., Ankush L., Kamble and Mahesh Kumar. 2012. Will climate change pose serious threat to crop pest management: A critical review? International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 11, 1-15.
- Phillips, S. J., Anderson R. P., Schapire, R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling. 190: 231-259.
- Sutherst R. W, Maywald G. F, Kriticos, D. J. 2007. CLIMEX version 3: user's guide. Melbourne, Australia: Hearne Scientific Software Pty Ltd.





氣候變遷下作物病害的發生 與預防策略

蘇俊峯、謝廷芳

農業試驗所植物病理組

電子郵件: tfhsieh@tari.gov.tw; 04-23317500

摘要：

氣候變遷對於農業生產環境影響甚鉅，多種氣候因子和生物因素同時發生變化，這些變化可能會改變寄主的生理反應、寄主對病原微生物的抵抗力，並改變病原微生物的生活世代與繁殖速度，最可能的影響是改變寄主和病原微生物的地理分佈。氣候變遷下作物病害的發生屬於未來學的研究範疇、屬於動態的流行病學，因此在預測、預防及災後復耕的策略與作法上，應採取動態調整的作為。

一、前言：氣候變遷對作物病害的影響

氣候變遷對於農業生產環境影響甚鉅，全球暖化，日、夜溫明顯上升，極端氣候增加颱風、豪雨、低溫、冰雹與乾旱的機會，導致水資源利用異常，淹水、缺水隨之而來。許多科學儀器可以記錄、監測、預測氣候變遷的改變，進而模擬許多氣候變遷下的情境。然而進入農業栽培環境的研究，卻無法順利模擬各種氣候變遷下的情境對農業栽培環境的影響。因為在現實世界中，單一氣候因子之間的交互作用更加複雜。在動態環境中，多種氣候因子和生物因素同時發生變化，這些變化可能會改變寄主的生理反應、寄主對病

原微生物的抵抗力，並改變病原微生物的生活世代與繁殖速度，最可能的影響是寄主和病原微生物的地理分佈 (Coakley et al., 1999)。

氣候變遷下的情境影響所及，寄主與病原微生物的交互作用，也反映在農作物的損失變化。有些病害會更嚴重，但有些病害則會更輕微。澳大利亞在評估氣候變化對重要作物潛在影響時，針對小麥病害，包括小麥條銹病 (stripe rust)、小麥葉枯病 (Septoria tritici blotch) 以及大麥黃矮病毒 (Barley yellow dwarf virus, BYDV)，分析報告發現這些病害會更加嚴重。但是小麥全蝕病 (take-all disease, *Gymnosporangium haraeum*) 則會因為溫暖、潮濕的土壤環境而顯得更輕微。另外，土壤溫度升高也會減少馬鈴薯和番茄的黃萎病 (*Verticillium wilt*) 的發生，但會增加由 *Pachymetra chaunorhiza* 引起的甘蔗根腐病 (Chakraborty et al., 1998)。

氣候變遷下植物病害的發生屬於動態的流行病學，本文在探討病害三角環境、寄主與病原菌等三個因子，受氣候變遷下的影響，可能導致病害嚴重發生的預防策略。

二、由環境面向來說，氣候變遷造成作物病害嚴重發生

氣候變遷下作物特定病害的發生，會趨於嚴重，主要是氣候變遷營造一個更適合病害發生的環境。相對的，有些病害則變得不那麼重要。近年來因氣候變遷，導致急降雨發生頻繁，使得局部地區的時雨量或日雨量屢創新高，導致農作物因淹水而造成的生理性或物理性損害，在隨後的幾天因易病化而使得作物易於遭受病原菌的侵襲。台灣位屬於熱帶與亞熱帶氣候區，4-6 月有梅雨季節，7-9 月則為颱風季節。梅雨季節或颱風的降雨對台灣栽培蝴蝶蘭並不會有太大不良的影響，然而偶發性的急降雨，如 2009 年 8 月 8 日侵台的莫拉克中度颱風與 2013 年 8 月 29 日侵台的康芮輕度颱風，引發嚴重的水患，淹水水深最高可達 150 cm 以上。淹水區域的蝴蝶蘭植株、栽培設施及機電設備皆嚴重泡水與毀損，而泥沙、污水淹進蘭園後，更會改變蘭園的微氣候，使蘭花園內出現原本不應該出現的植株生理性障礙與病害的發生。生理障礙包括有日燒 (Fig. 1 A)、生理性根腐 (Fig. 1B) 與落葉 (Fig. 1C)，生物性病害則包括有細菌性軟腐病 (病原細菌為 *Pectobacterium chrysanthemi*, Fig. 1D)、疫病 (病原菌包括有 *Phytophthora parasitica*、*P. palmivora* 及 *P. multivesiculata*, Fig. 1E) 與白絹病 (病原菌為 *Sclerotium rolfsii*, Fig. 1F)。再一次，2018 年 8 月 23、24 日台南市北門地區日累積雨量達 350-500mm，造成低窪地區淹水，當地有許多蝴蝶蘭園普遍淹水達 30-40cm，嚴重者可達 80-100cm。蝴蝶蘭細菌性軟腐病會造成植物細胞和組織的崩解，呈現軟腐的病徵。當水退後、天氣放晴時，而蝴蝶蘭園內相對濕度仍達 100%，又遭逢溫度處於 30°C 以上，細菌性軟腐病菌於 3 個小時內即可完成侵入植物而瓦解細胞。在溫度

28°C 時，病斑擴展最為快速，感染 3 天後，病斑每日可擴展 4-6 cm。除此之外，蝴蝶蘭因淹水之後，尚有疫病與缺氧性生理病徵的發生。

據此，需預先建立一套整合性的災後復耕作為，用以提供蝴蝶蘭農民能更直覺的、有效率地回復正常的栽培流程，以免錯失復耕的時機。建議管理措施：(1) 蝴蝶蘭園遭受淹水後，首先應檢查風扇、水牆及遮蔭網的機電設備是否損害？受到損害時應首先搶修。(2) 受淹水影響的植株應移置於相對低溫與低濕的環境中。(3) 清園，罹病株應該銷燬，不可隨意棄置。淹水過後遺留於溫室的泥濘，應儘速清理乾淨。(4) 改採滴灌或人工澆灌，如為噴灌則應控制灌溉頻率，並維持蘭園高度通風，以避免葉片積水，減少病原菌散播與感染。(5) 保持適當植株間距，避免葉片摩擦造成傷口，以防止病原菌侵入。(6) 依罹病種類施用適當化學藥劑。(7) 淹過水的栽培介質，應進行消毒，如以 80 °C 熱水消毒 30 min。

在預防上，目前農業災害情資網 (<https://eocdss.ncdr.nat.gov.tw/web/ot/coa>) 可提供即時降雨觀測資料。因此，建議在雨季期間，農民應注意豪雨特報的情資，與加強田間排水與防水設備的妥善度。

三、由病原菌面向來說，氣候變遷造成作物病害嚴重發生

病原微生物可能跟隨寄主植物的遷移而傳播至新的區域，並可能感染新區域內的原生植株物種。而這些原生植物物種，以前沒有接觸過來自農作物的病原微生物，則其發病率將顯得更為嚴重。這類病原微生物大多屬於兼性寄生 (facultative parasites) 的病原微生物，因其本身



的寄主範圍廣泛，在適當的環境之下將更容易擴大可感染的寄主範圍。此類病原微生物能夠成功建立新的感染點的機制決定於：(1) 病原微生物對新環境的適應性，(2) 季節之間繁殖與存活能力，以及 (3) 新環境中寄主植物生理學和生態學的變化 (Eshed and Dinooor, 1981; Savile and Urban, 1982)。而大多數病原微生物會傳播至氣候更適合的地方存活與繁衍，其繁殖速度會比植物品種改變的速度更快。甚至，在新環境中有害生物的生命週期會因此而改變，使其為害的週期縮短或感染次數增加。

台灣中、低海拔的松樹，自 1985 年以來陸續出現紅褐色後相繼枯死，此為松材線蟲 (*Bursaphelenchus xylophilus*) 感染的典型病徵。松材線蟲體型小，僅 1mm 長，靠著吸收松樹內的養分為生。松材線蟲雌雄交配後，約可產下 80 個卵，卵孵化後共經過四齡幼蟲方能成為成蟲，平均壽命大約為 15-30 天。通常松材線蟲會在同一棵松樹上，繼續繁殖下一代 (CABI/EPPO, 2015)。松斑天牛 (*Monochamus alternatus*) 為鞘翅目昆蟲，靠著取食松樹嫩枝維生。雌蟲交配後，會在樹皮下產卵，卵約一週後即可孵化。幼蟲先以韌皮部為食物，進而取食木質部，等到化蛹時，便會在樹幹裡形成蛹室，此時的松斑天牛會散發出不飽和脂肪酸及二氧化碳，這些物質會吸引大量的松材線蟲往蛹室集中。待松斑天牛即將羽化之際，松材線蟲會進入松斑天牛身體裡，然後隨其破蛹而出，被傳播至健康的松樹上。接著松材線蟲從松斑天牛的氣門、氣室及氣孔鑽出，再透過因松斑天牛取食松樹而造成的傷口，進入松樹體內，開啓另一個生命循環 (Fujihara, 1996)。

松材線蟲一旦入侵松樹，在其體內取食、繁

衍，便會刺激松脂管分泌一些防禦物質，這些物質原本目的在於防止松材線蟲通過，但同時卻也阻礙了松脂的流動，間接影響到松樹的蒸散作用和水分傳輸的功能。漸漸地針葉部分因為缺水而出現黃化，兩個月之內，整棵松樹會出現乾枯赤褐色病徵。在美國、日本天牛需冬眠，故每年僅危害一次 (Evans, et al., 1996)。在台灣天牛無須冬眠，故每年在 4-11 月可危害 2 次。如此，松材線蟲與松斑天牛在環境與生態的適應，以及寄主植物松樹生理學和生態學的變化，導致在台灣松樹萎凋病嚴重發生。

針對此類型的作物病害防治，應先收集作物病害發生曆的歷史資料，再根據中央氣象局所提供的資料，輔以影像辨識系統或其他模擬預測軟體，用以分析、預測作物病害可能發生的熱點，以植物病害綜合管理為基礎，擬定調適與緩解的作為，特別強化在氣候變遷所帶來的防治缺口上。

四、以作物面向來說，氣候變遷造成作物病害嚴重發生

氣候變遷將改變區域內作物栽種品種 / 種類，以及作物栽培位置的改變，也將造成作物病害相的改變。百合灰黴病菌 (*Botrytis elliptica*) 孢子發芽之溫度為 8-36°C。在蒸餾水中孢子發芽率可達 95% 以上，但在相對濕度 98% 以下，孢子卻不發芽。百合灰黴病發病溫度介於 12-24°C 間，最適發病溫度為 20°C，溫度超過 32°C 即不表現病徵。百合灰黴病菌於風乾的鐵炮百合雜交品種葉片上，在 19-29°C 下，經 5 天仍可感染並引起病徵，但在 31°C 下經 3 天後即已無法引發病徵。台灣百合灰黴病的發生時期，在平地為 1-6 月，中海拔地區為 4-6 月及 10-12 月，而高海拔地區

則發生於 6-10 月。病害發生之頻度以鐵炮百合最高，其次為葵百合 (cv. Star Garzer)、姬百合 (cv. Positano) 及香水百合 (cv. Casa Blanca) (Hsieh and Huang, 1998)。一般平地栽種百合多在冬、春季，每當寒流來襲，溫度低於 20°C、相對濕度高於 95% 維持 4-6 小時時，百合灰黴病便會發生。當花農將百合移到高山 (清境農場) 種植時，則百合灰黴病可提早至 9-11 月發生 (Fig. 2A)。在平地栽培，或可利用遮雨棚簡易設施有效降低灰黴病的發生。然而，在容易起霧的季節或山區，種植百合則容易導致灰黴病的發生 (Fig. 2B)。

在病害預防與復耕作為上應配合田間溫、濕度的監控，採用合理化施肥與施藥之外，其他建議包括 (1) 適時、適地、適種；(2) 選擇抗病或耐病品種；(3) 清潔種苗；(4) 採用遮雨設施；(5) 適當的澆水系統；與 (6) 加強田間衛生管理。

五、結論

大多數植物病害受到環境的影響，因此氣候變遷將對病原菌、寄主及其之間的相互作用造成影響。實際上，氣候變遷預估是漸進式的變化，將導致農業栽培環境也逐漸的改變，影響所及病原微生物的存在，可能會在這變化過程中扮演關鍵的角色。由於氣候的變遷，常見為溫度和濕度等非生物因素的變化，不僅影響病原微生物的存活、繁殖和感染與病勢發展 (plant disease development)，而且還會影響寄主植物對病原微生物的感病性 (modify host susceptibility)。因此，氣候變遷的非生物因子改變將對植物病害的發生造成影響，包括 (1) 對於特定的作物，預估植物流行病的發生將趨於嚴重變化，當然有些病害可能變得不那麼重要。(2) 區域內植物的品種，將造成作物病害相的改變。(3) 大多數病原微生物



圖1 淹水之後的蝴蝶蘭園內會有植株生理性障礙與病害的發生。(A) 日燒、(B)生理性根腐、(C) 生理性落葉、(D) 細菌性軟腐病 (病原細菌為 *Pectobacterium chrysanthemi*)、(E) 疫病 (病原菌包括有 *Phytophthora parasitica*、*P. palmivora* 及 *P. multivesiculata*) 與 (F) 白絹病 (病原菌為 *Sclerotium rolfsii*)。



會傳播至氣候更適合的地方存活與繁衍，而其繁殖速度會比植物品種改變的速度更快 (Elad and Pertot, 2014)。

要成功預測氣候變遷對作物病害的影響是有其困難度，除了要瞭解氣候變遷如何改變作物生長、植物健康與抗病能力，以及土壤微生物群落組成的變化之外 (Templer, 2012)，氣候變遷也將會影響植物病原菌的生長週期 (life cyclic)。植物病害的發生因病原微生物在一個作物生長期能重複感染植物的次數，可區分為單循環病害

(monocyclic disease) 與複循環病害 (polycyclic disease)，而氣候變遷對於複循環病害的影響將遠大於單循環病害。氣候變遷將影響的不只是作物本身，也將影響植物病原微生物，在程度及其性質，無論是正面的還是負面的影響，目前仍然知之甚少。已有研究致力於預測氣候變遷對作物病害的影響，例如 Evans 等人 (2008) 利用 UKCIP02 系統 (一套基於氣候的模式系統)，以英國 2020 年和 2050 年的氣候變化，研究預測單循環病害油菜莖潰瘍病 (phoma stem canker, *Leptosphaeria maculans*) 將趨於嚴重發生。

Richerzhagen et al. (2011) 則利用 CERCBET1 forecasting model 依據氣候變遷與區域

的分佈，預測甜菜葉斑病 (*Cercospora leaf spot of sugar beet*) 在德國 Lower Saxony 地區會有嚴重發生的風險，而預測化學藥劑的使用將更為頻繁。

氣候變遷下作物病害的發生屬於未來學的研究範疇，準確預測病害的發生是首要的研究課題，接著便是擬定預防與災後復耕相對應的策略與作法。然而，氣候變遷下植物病害的發生屬於動態的流行病學，因此在預測、預防及災後復耕的策略與作法上，應採取動態調整的作為。



圖2 (A) 百合種植於清境農場，則百合灰霉病提早至9-11月發生。
(B) 在山區種植百合時，容易因起霧導致灰霉病的發生。

參考文獻：

1. CABI/EPPO, 2015. *Bursaphelenchus xylophilus*. Distribution Maps of Plant Diseases, No.October. Wallingford, UK: CABI, Map 789 (Edition 2)
2. Chakraborty, S., Murray, G. M., Magarey, P. A., Yonow, T., O'Brien, R. G., et al. 1998. Potential impact of climate change on plant diseases of economic significance to Australia. Aust. Plant Pathol. 27:15-35.
3. Coakley, S. M., Scherm, H., & Chakraborty, S. (1999). Climate change and plant disease management. Annu Rev Phytopathol, 37, 399-426. doi:10.1146/annurev.phyto.37.1.399
4. Elad, Y., and Pertot, I. 2014. Climate change impacts on plant pathogens and plant diseases. Journal of Crop Improvement, 28(1), 99-139. doi:10.1080/15427528.2014.865412
5. Eshed, N., and Dinoor, A. 1981. Genetics of pathogenicity in *Puccinia coronata*: the host range among grasses. Phytopathology 71:156-163.
6. Evans, H. F., McNamara, D. G., Braasch, H., Chadoeuf, J., Magnusson, C. 1996. Pest risk analysis (PRA) for the territories of the European Union (as PRA area) on *Bursaphelenchus xylophilus* and its vectors in the genus *Monochamus*. Bulletin OEPP, 26(2):199-249; 174 ref
7. Evans, N., Baierl, A., Semenov, M. A., Gladders, P., and Fitt, B. D. L. 2008. Range and severity of a plant disease increased by global warming. J. R. Soc. Interface 5:525-531.
8. Fujihara, M. 1996. Development of secondary pine forests after pine wilt disease in western Japan. Journal of Vegetation Science, 75(5):729-738; 50 ref
9. Hsieh, T. F., and Huang, J. W. 1998. Factors affecting disease development of Botrytis leaf blight of lily caused by *Botrytis elliptica*. Plant Prot. Bull. 40 (3): 227-240.
10. Richerzhagen, D., Racca, P., Zeuner, T., Kuhn, C., Falke, K., Kleinhenz, B., and Hau, B. 2011. Impact of climate change on the temporal and regional occurrence of Cercospora leaf spot in Lower Saxony. J. Plant Dis. Prot. 118:168-177.
11. Savile, D. B. O., and Urban, Z. 1982. Evolution and ecology of *Puccinia graminis*. Preslia 54:97-104.
12. Templer, P. H. 2012. Changes in winter climate: Soil frost, root injury, and fungal communities. Plant Soil 353:15-17.



109 年國立中興大學農資學院 農業推廣中心推廣教育訓練成果

(自辦訓練班)

一、前言

國立中興大學農資學院農業推廣中心(以下簡稱本中心)秉持發揮教學、研究、推廣三合一功能,配合國家農業發展政策,協調聯繫本校優質師生人力支援及邀請校外農業專家參與相關農業機關及團體辦理農業推廣工作及相關訓練課程。109 年上半年受 COVID-19 疫情影響暫緩開班,下半年開設農產行銷創意建構班(109 年 10 月 28 日~10 月 30 日,計 24 時)。

二、課程內容

農產行銷創意建構班：

課程主題
農產行銷世界趨勢與國內農產品交易市場
農產品市場判斷方法
永續社區發展與產銷組織整合應用
新型態市場佈局(物聯網)與行銷策略
在地公部門的資源與支援
農企業經營實務
行銷平台應用與客戶關係管理
供應鏈、行銷通路分析與案例介紹
組織實務分析
新型態市場機會評估與開發
小農行銷模式評估與診斷



圖1：本中心王智立主任開訓並介紹講師。



圖2：台農發公司洪忠修董事長分享農產品外銷案例。

三、結語

台灣農民目前大多屬於小農經營模式，除了本身已有種植優良農產品的技術外，更需要具備行銷農產品的能力，透過本中心開設之「農產行銷創意建構班」提供農民完整、系統性的行銷知識來檢視自我農產品的屬性及優勢，發展適合自

己的農產品行銷策略，創造收益。未來本中心仍秉持教學、研究、推廣三合一之功能，積極配合國家農業發展政策，創新、多元規劃訓練班課程主題，吸引更多民衆參與農業相關領域學習，進而激發學習者動機，讓更多的新農民投入農業工作，使台灣農業能永續發展。



圖3：臺中市霧峰區農會黃景建總幹事分享在地農產品行銷策略。



圖4：臺中市大安區農會蔡建宗總幹事分享「飛天豬」品牌經營理念。



圖5：臺中市霧峰區農會多角化經營-霧峰農會酒莊創造農產品附加價值。

稿 約

- ◆本刊以推廣中興大學農資學院研究成果及農業先進相關新知，傳播農業知識，俾助農業發展為宗旨。
- ◆主要閱讀對象：農業相關單位之工作人員、農民及對農業有興趣之民衆。
- ◆主要邀稿對象：興大農資學院教師與各農業研究單位學者專家。
- ◆文稿性質：本刊為推廣性、科普性刊物，以實用及平易之說明式文章配合實際圖片為主，請儘量避免深澀專門用詞。引用文獻請務必載明出處。
- ◆稿長：以三千字到五千字（約 4～5 個印刷頁）為原則。
- ◆稿酬：每千字 650 元，因經費有限，稿酬最高 5,000 元／篇。
- ◆文章內容由作者自行負責，譯稿請先行徵得作者與原出版單位同意並註明出處（請註明：本文翻譯自○○○期刊○卷○期○○頁，○年○月○日出版，並經徵得作者與原出版單位同意）。請勿一稿兩投。除錯別字外，本刊對來稿原則上不作任何刪改，若有修改必先徵詢作者同意。排版後送請作者校對。
- ◆來稿請寄 402 台中市興大路 145 號中興大學農業推廣中心。

若有任何問題或建議，請電：顏志恒 副研究員

04-22870551 # 22 或校內分機 400 # 22，email：jhyen@nchu.edu.tw。

興大農業 109

國立中興大學農業暨自然資源學院農業推廣中心

校 長／薛富盛

院 長／詹富智

主 任／王智立

主 編／顏志恒、周明儀、陳昕榆

地 址／台中市興大路 145 號

出版日期／中華民國 109 年 12 月

排 版／財政部印刷廠



國立中興大學農業暨自然資源學院農業推廣中心 編印