

氣候變遷下重要病蟲害發生分布預測及綜合防治調適策略

黃毓斌、范姜俊承、石憲宗、江明耀、李啟陽、

陳淑佩、黃守宏、吳立心

農業試驗所/農業試驗所嘉義農業試驗分所/國立屏東科技大學

緒言

蟲害管理在作物生產體系與人類糧食供應鏈之中，扮演著關鍵角色。氣候變遷會改變害蟲發生狀況，為此需調整蟲害管理策略。氣候變遷可能會造成目前害蟲發生種類衰退，新發生的害蟲則可能造成威脅，瞭解這些變化對於減少農作物損失極為重要，可據此作為調適管理策略的重要依據。本計畫在蟲害防治方面目的在於建立因應氣候變遷之重要害蟲發生分布與調適策略以降低氣候暖化下作物害蟲引發之農業災損。模擬溫度上升 1.5°C 下，12 種重要病蟲害之發生分布報告及防治調適策略。

氣候變遷對於有害生物世代數及地理區分布有很大的影響，因此若能掌握長期的氣象資料，利用 species distribution modelling (SDM) 來模擬物種地理分布是很好方式，相關物種分佈模型已用作評估氣候變化過程對物種地理分佈的潛在影響的工具。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，對此兩種物種分布模式來進行探討(Watt et al., 2011)。

- (1) 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已知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。在關於已發生記錄的數據輸入及取樣分析工作時，MaxEnt (Maximum Entropy) 已被證明具有如此強大的功能()，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) 或 ArcGIS Pro。經由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 (Global Biodiversity Information Facility) 現有分布資料及 MaxEnt 模式來進行國內害蟲及入侵高風險物種分布模擬圖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。

(2) CLIMEX (CLIMetic index) model 探討，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可另外運用物種所需要的氣

候參數，這種參數主要有3部分組成：增長指數 (GI)、逆境指數 (SI)及其它相互間聯合效應之限制條件，利用這些參數，以物種分布模式CLIMEX來探討物種對氣候變遷的不同反應情境如全球溫度上升，以及各因子間相互關係等對生物族群在極端氣候條件下生存可能性，來推測有害生物的適合發生及分布情形，對於掌握有害生物適合生存的生態棲所有很大助益(Sutherst and Maywald 2002; Kriticos et al., 2007)。CLIMEX預測物種之生物氣候模式基於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素，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)，以及相互關係對族群在不良氣候條件下生存的可能(Lanoiselet et al., 2002)。

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，且能以圖表或圖資的形式預測物種適合生存之區域。本計畫計完成亞洲柑橘木蝨 *Diaphorina citri* Kuwayama、柑橘葉蟬 *Panonychus citri*

(McGregor)、鳳梨嫡粉介殼蟲 *Dysmicoccus brevipes* (Cockerell, 1893)、荔枝細

蛾(*Conopomorpha sinensis* (Bradley)、荔枝椿象(*Tessaratoma papillosa* (Drury))、秋行軍蟲(草地貪夜蛾、*Spodoptera frugiperda* (JE Smith)、褐飛蟲(*Nilaparvata lugens* (Stal))、瘤野螟 (*Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée))、馬來西亞水稻黑椿象(*Scotinophara coarctata*)、番茄夜蛾 (*Helicoverpa armigera*)、木瓜秀粉介殼蟲(*Paracoccus marginatus*)、蔥薊馬(*Thrips tabaci* Lindeman)等 12 種在水稻、果樹或雜糧作物上之國內重要害蟲及可能入侵之有害生物，茲以亞洲柑橘木蝨為例來探討期受到氣候變遷影響時其在地理上分布之差異。

亞洲柑橘木蝨為半翅目木蝨科之昆蟲，其若蟲與成蟲直接吸食嫩葉、導致柑橘葉片捲曲、枝條萎凋，同時分泌蜜露誘發煤煙病為其主要危害，除此之外亞洲柑橘木蝨也是柑橘黃龍病的媒介昆蟲，故為危害芸香科作物之最重要害蟲之一。本研究利用全球生物多樣性資訊機構資料庫 (GBIF) 中所記錄之亞洲柑橘木蝨於東南亞地區之分布點位，採用 CliMond: global climatologies for bioclimatic modelling (<https://www.climond.org/>)原始氣候數據(進行生態棲位因子分析 (Ecological Niche Factor Analysis, ENFA)之結果可得到影響亞洲柑橘木蝨分布的主要因子為(1)年均溫、(2) 月平均氣溫差異、(3) 氣溫季節性、(4) 年降水量、(5) 降水量季節性。利用上列 5 個因子之歷史氣候圖層及亞洲柑橘木蝨在 GBIF 中記載之現生點位資訊，在最大熵模型(Maximum entropy modeling, Maxent)中建構物種現生分布模型結果如圖，本模型之 ROC 曲線下面積(AUC)為 0.855 為良好之模型，亞洲柑橘木蝨於模型中可見廣泛分布於東南亞地區，其熱點由東至

西為琉球群島、台灣北部、東部地區及嘉南平原一帶、華南地區、中南半島南端、印度西北省份。隨著全球暖化的趨勢，利用 CSIRO-MK3.0, CSIRO, Australia 所發布之預測情境 Scenarios A2 氣候圖層進行亞洲柑橘木蝨未來分布模型結果如圖二，印度、華南一代熱點區域範圍隨著全球暖化擴大，在台灣方面則分布熱點集中於北部地區。以 CLIMEX 分析其分布情形，東南亞地區，其熱點由東至西為琉球群島、台灣北部、東部地區及嘉南平原一帶、華南地區、中南半島南端與 MaxEnt 情境類似如圖三，當全球溫度上升 1.5°C 時之情境，愈往北風險愈大，如圖四。由於此種有害生物生活史短，族群變異大，使用化學防治時，應注意抗藥性的產生及其它防治技術的開發。調適策略:未來氣候條件對此有害生物族群發展趨於不利，因此寄主作物的生長條件及共生物(螞蟻)將影響族群分散的速度。

調適策略：針對此害蟲常年性族群熱點多，擬定危害閥值及即時監測機制，降低危害。月橘為其寄主，減少使用本植物作為綠籬；切勿隨時修枝，促使寄主植物發芽迅速，減少產卵機會；設置黃色黏蟲紙誘殺；施放天敵如亮腹絨小蜂 (*Tamarixia radiata*)；施用推薦藥劑如大滅松(1B)、馬拉松(1B)。

調適策略與展望

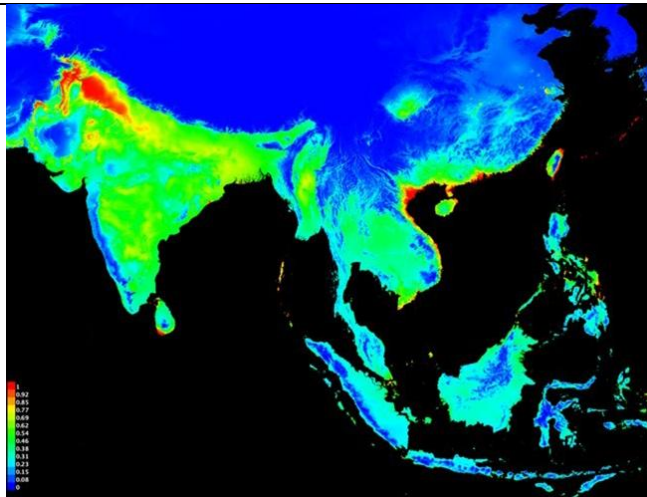
調適策略因應國內重要害蟲之防治調適策略氣候變遷趨勢中，包括極端天氣事件發生頻度提升或發生時段集中，這些都會改變害蟲發生密度，並影響所有害蟲防治資材 (如化學合成藥劑或物理防治資材等) 的防治效果或資材使用期

限。為此，本研究主要是探討目標害蟲之各類防治資材（含推薦農藥、費洛蒙等誘引劑、物理防治資材等）），在溫度上升 1.5°C 情境下，該如何適度調整使用時機、使用方法、導入耐熱或耐雨淋洗新技術，及早建立特定氣候情境下，農友可方便使用的害蟲防治調適資材，降低氣候暖化下作物害蟲引發之農業災損。

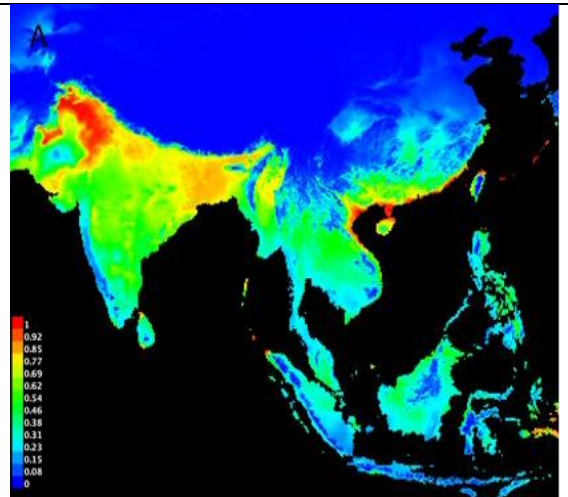
鑑於昆蟲物種、寄主植物及全球氣候變遷的異質性，未來全球不同地區的昆蟲物種對全球暖化的反應有所不同。由於氣候變遷有利於某些昆蟲而抑制其他昆蟲，亦影響其分布、多樣性、豐度、發育、生長及物候學適應性。害蟲爆發數量或頻率將隨之增加，可能會擴大其地理分布（尤其是向北移動）。由於越冬成活率的提高和發展更多世代的能力，一些害蟲的豐度會增加。同時入侵物種可能會更容易在新地區定居。氣候變遷可能導致的另一個負面後果是生物防治（天敵）的有效性降低，這可能是未來蟲害管理中的一個重要課題。

參考文獻：

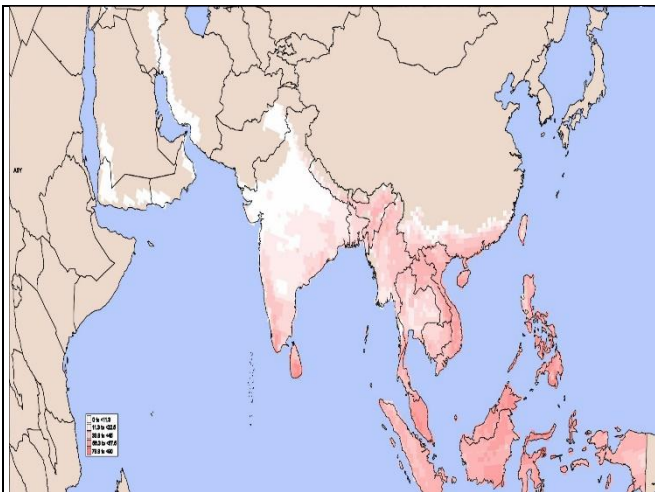
1. Kriticos, D. J., A. E. A. Stephens and A. Leriche. 2007. Effect of climate change on oriental fruit fly in New Zealand and the Pacific. *New Zealand Plant Protection*. 60: 271-278.
2. Lanoiselet, V., E. J. Cother and G. J. Ash. 2002. CLIMEX and DYMEX simulations of the potential occurrence of rice blast disease in south-eastern Australia. *Australasian Plant Pathology*. 31: 1-7.
3. Sutherst, R. W. and G. F. Maywald. 1985. A computerized system for matching climates in ecology. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 13: 281-299.
4. Watt, M.S., J. K. Stone, I. A. Hood, and L. K. Manning. 2011. Using a climatic niche model to predict the direct and indirect impacts of climate change on the distribution of Douglas-fir in New Zealand. *Global Change Biology*. 17: 3608-3619.



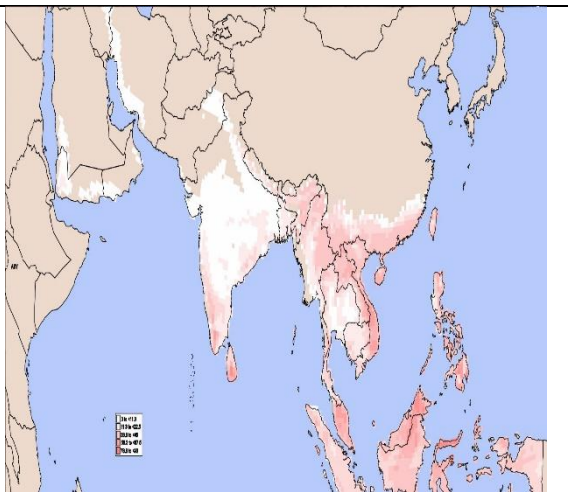
圖一、亞洲柑橘木蠹在亞洲之分布情形



圖二、2030年亞洲柑橘木蠹在亞洲之分布情形



圖三、亞洲柑橘木蠹在亞洲之分布情形



圖四、溫度上升1.5度亞洲柑橘木蠹在亞洲之分布情形