

# 利用生物氣候模式與GIS

## 探討氣候變遷對有害生物潛在地理分布之影響

農試所應動組 黃毓斌 林鳳琪 江明耀

### 一、前言

隨著氣候變遷列為全球重要議題，研究人員利用生物氣候模式與氣候資料圖層，依照地理資訊系統(geographic information system；GIS)之空間統計分析，選定作物之氣候區或有害生物之風險指標，以GIS的運算及模組運作，得到作物適合區與有害生物危害風險之位置，藉由GIS之圖層資料收集大量有害生物(Pest)發生位置，進而找出其分布之規律性，透過生態棲息模式之操作，可繪出潛在發生之資訊圖層，再將此資料轉化成電子地圖，即可顯示出有害生物潛在發生之可能區域，有效掌握及預測其可能分布擴散之機率，並據此提供即時預警與防治對策，提供農民栽培管理上之參考。

物種潛在地理分布模式之理論基礎，係以生態學 niche model 為主要概

念，其假設條件為當物種出現於某一區域，此區域須有適合生存之條件，此條件常為氣候因子、寄主作物分布及其他因子等。早期常見物種潛在分布預測模式有 GARP(Genetic Algorithm for Rule-set Prediction)及Maxent(Maximum Entropy)等兩種，此兩種模式，結合物種現地調查、19種氣象資料指標及地理位置等資訊，探究氣象因子對物種適合生存區域之影響，作為評估有害生物入侵或危害風險之重要工具。近年隨著GIS空間資料之累積、地理統計分析、人工智慧應用及數據開發等技術發展，澳洲學者Sutherst等人(1985)開發以生物發育積溫模式結合GIS之應用為資訊管理平台，簡稱為CLIMEX(CLIMatic InDEx)，作為偵測或預測有害生物及其媒介病原微生物潛在地理分布及全球潛在風險分析之工具，建立穩定性極佳之風險管理模式。

### 二、CLIMEX之原理

氣候是影響生物物種地理分布和族群數量的主要因素之一，藉由已知物種的地理分布以及數量來估計其發生所需

作者：黃毓斌助理研究員  
連絡電話：04-23317634

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，並將預測結果與已知分布相互驗證，以調整選擇之氣候參數條件，藉以提高系統預測該物種潛在地理分布之準確性。CLIMEX基於前述概念設計，利用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度動態模擬，早期在澳洲用來預測外來植物和農業害蟲潛在地理分布，以便對此類物種進行管理，目前已經應用到全世界，藉以探討分析農業病害、蟲害、雜草及其它節肢動物等物種的適合生存地區分布。

CLIMEX預測物種之生物氣候模式係基於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；此意涵為生物物種其出生與死亡之現象 (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)，以及各因子相互關係對族群在極端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三部分組成：增長指數(GI)、逆境指數(SI)及其它之限制條件。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氣候因子，限制條件包括滯育和有效積溫等其它聯合效應之參數，根據此三部分參數，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。簡單描述如下：

## 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<sub>w</sub>) 和年增長指數 (annual Growth Index, GI<sub>A</sub>)，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，同時考慮了昆蟲滯育或植物(休眠)對生長的影響。溫度指數 (TI)、濕度指數 (MI)、光照指數 (LI)表示氣象變數對物種生長發育的影響，滯育指數 (DI)表示滯育 (或植物休眠) 對生長的影響。以TI<sub>w</sub>、MI<sub>w</sub>、LI<sub>w</sub>及DI<sub>w</sub>分別表示每週溫度、濕度、光照及滯育指數。

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<sub>w</sub>=0；否則週滯育指數DI<sub>w</sub>=1。在台灣，農業害蟲會發生滯育情形並不常見。

## 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，表示極端環境惡劣，導致物種無法生存。

## 3.交互(interaction)逆境指數：

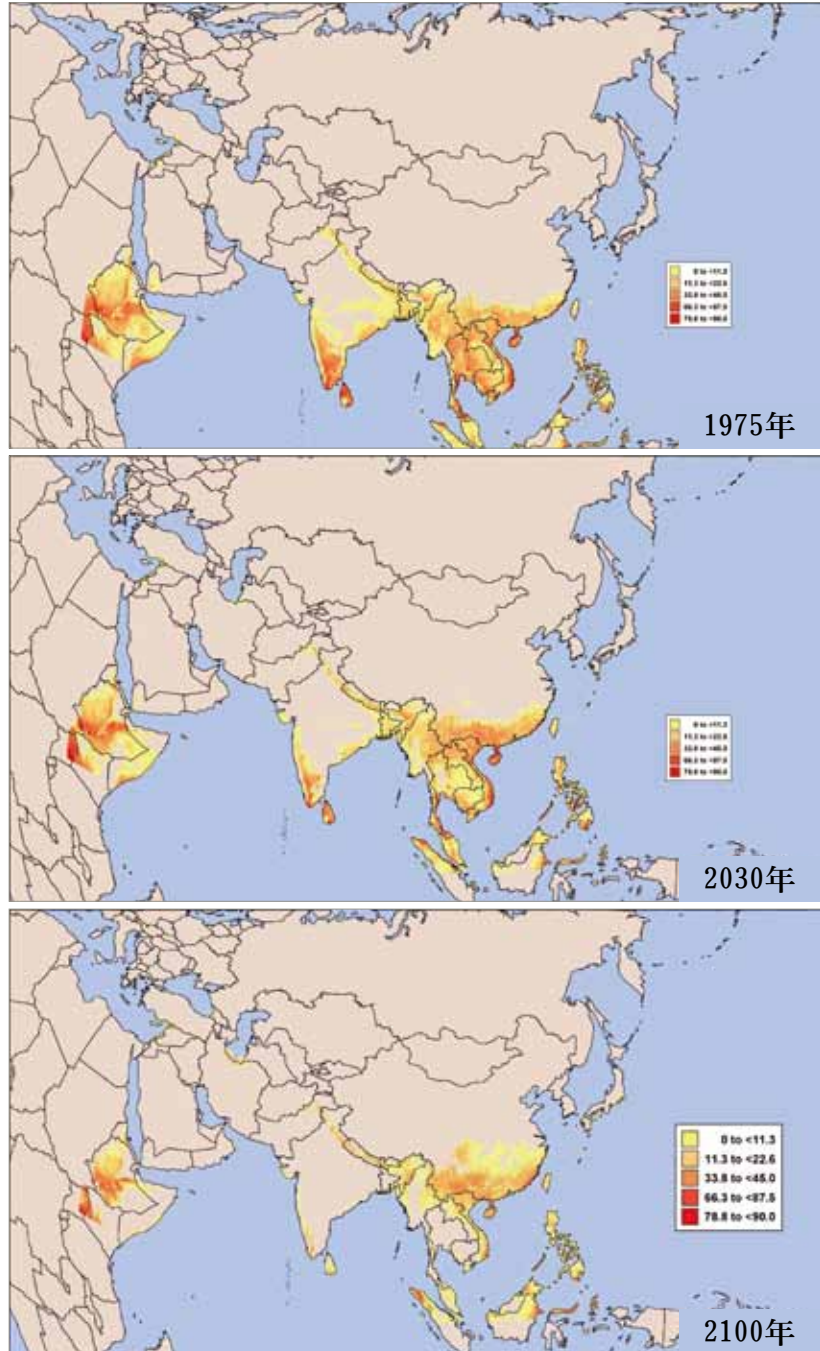
指各氣候因子間之交互作用，熱-濕逆境指數 (Hot-Wet Stress, HWS)，熱-乾逆境指數 (Hot-Dry Stress, HDS)，冷-濕逆

境指數 (Cold-Wet Stress, CWS), 冷-乾逆境指數 (Cold-Dry Stress, CES)。例如熱-濕逆境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發育啟始溫度( $DV_0$ )、適宜溫度下限、上限至發育最高溫度( $DV_3$ ); 濕度範圍從發育所需最低濕度( $SM_0$ )至發育最高濕度( $SM_3$ ), 超出這兩個範圍之外的不良環境條件會導致族群負增長 (negative population growth)。

將增長指數、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。當EI值愈小, 該地區愈不適合物種的生存; EI值愈大, 該地區愈適合該物種

的生存。通常EI大於10時, 物種可以生存; EI大於30時, 表示該地區非常適合物種生存。



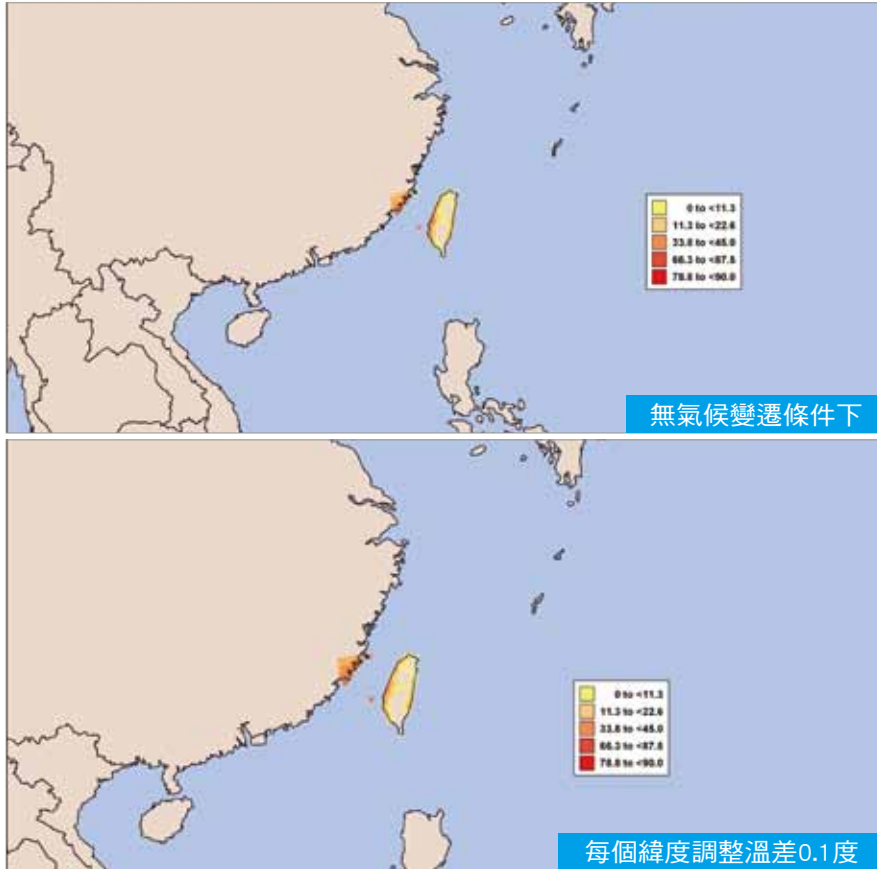
圖一、不同氣候變遷年代對亞洲地區東方果實蠅潛在地理分布之影響。

### 三、CLIMEX主要應用層面

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可能入侵害蟲之風險。茲以東方果實蠅(*Bactrocera dorsalis* (Hendel))為標的害蟲，製作其在全球潛在性地理分布，探討在亞洲地區(包含台灣)之東方果實蠅增長指數及生物氣候指數分布之製作與比較，如圖例：



圖二、在氣候變遷條件下東方果實蠅在台灣地區之潛在地理分布之示意圖。



圖三、東方果實蠅EI(1)與地中海果實蠅EI(2)在全世界之潛在地理分布示意圖。

1. 不同地區及年代氣候變遷對害蟲之潛在分布之影響：藉由黃色(EI<10)適合生存到紅色(EI>60)最適合生存之區域變化，由三個年代之氣候變遷之情境對在亞洲東南亞地區

之東方果實蠅其潛在地理分布影響較大(圖一)，對台灣地區來講此蟲受氣候影響並不明顯。

2. 重要限制條件對害蟲地理分布之影響探討：極端溫度或高降雨量會對族群地理分布有很大影響。除中央山脈族群發生分布機率較小，其餘台灣地區均屬適合東方果實蠅生存。與現地長期田間密度監測資料所建置東方果實蠅的地理分布比較，中南部發生情形近乎一致，其他地區則可依其他因子以調整或補強研究，即使對緯度上之差距影響並不明顯(圖二)。
3. 近似種或同科屬間地理分布上之差異：以地中海果實蠅(*Ceratitis capitata* (Wiedemann))及東方果實蠅之地理分布為例，部分地區兩種果實蠅類EI值皆適合生存，如台灣(圖三)。
4. 生物防治物種之評估：引進天敵前之風險評估，如果不適合地區生存，這種天敵引進就不適合(圖四)。

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(圖五)，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有很大助益。

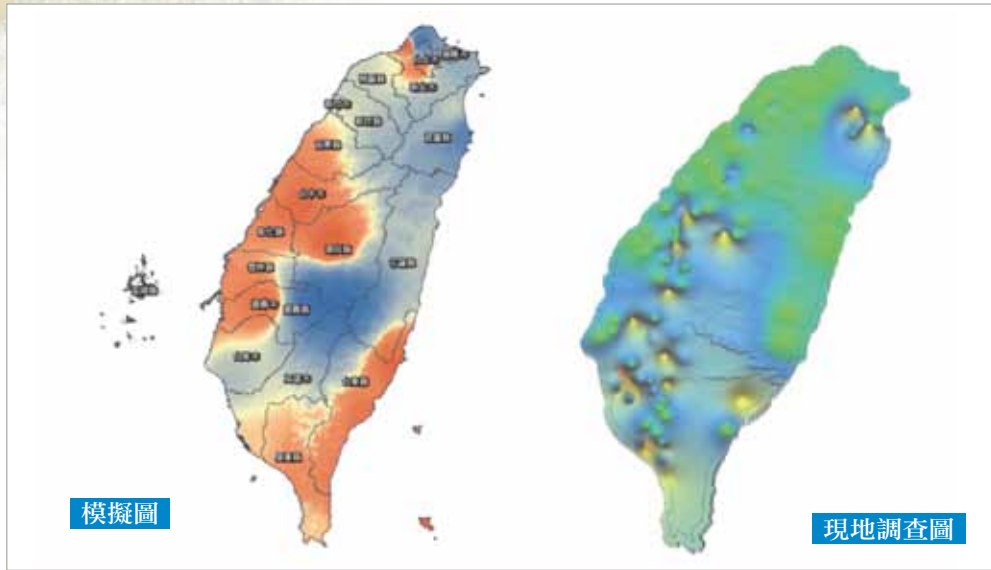
#### 四、結語

綜合CLIMEX的實際應用：

1. 預測生物物種的潛在地理分布。
2. 研究有害生物的適合生存區。
3. 有害生物整合性管理：EI值愈高，愈適合生存，地區發生危害之風險亦高，早期預防性防治措施就須提早進行。
4. 物種在不同區域及氣候條件之比較：如比較2個地區的溫度和降雨量，其相



圖四、東方果實蠅EI(1)與寄生蜂類EI(2)之潛在地理分布示意圖。



圖五、結合台灣氣候因子EI值與寄主水果地理分布之資料，對東方果實蠅族群發生之地理分布模擬圖。

似係數(match index)愈大，如等於0.8，則2個地區的氣候條件非常接近；相似係數愈小，如0.3，則2個地區之氣候差異較大。

5. 進行有害生物入侵風險分析：國外已有利用此生物氣候模式列為PRA之風險評估工具之一。
6. 引進天敵進行生物防治之前，先評估該地區是否為其適合生存區，若當地氣候不適宜該物種，則引進的天敵很難建立族群。
7. 從檢疫的觀點看，比較發生區域和氣候條件，可以針對外來種之入侵風險評估對該地區造成衝擊，採取相應的檢疫措施。

利用模式探討生物體與其所處氣候環境之關係，經參數校正及驗證後，所建置模式可廣泛應用於生物安全、生物防治、病蟲害管理和生態多樣領域。生物氣候模式(CLIMEX)發展，可藉由害蟲

生長齡期（或植物生長季節）與氣候間之發育增長模式，以生活史策略模擬族群增長方式，進而推估族群數量發展趨勢(DYMEX)，做為田間族群數量預測之工具。此項地理資訊工作若逐步加入寄主作物分布，結合成害蟲資訊之Web-GIS之平台，將可作為農業知識蟲害管理之架構中。

## 五、參考文獻

- Kriticos, D. J., Sutherst, R. W., Brown, J. R., Adkins, S. A. & Maywald, G. F. 2003. Climate change and the potential distribution of an invasive alien plant: *Acacia nilotica ssp.indica* in Australia. *Journal of Applied Ecology* . 40:111-124.
- Sutherst R. W., G. F. Maywald. 1985. A computerised system for matching climates in ecology. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 13:281-99.