

第十二章 作物生產模式預測

林 正 鈞

國立中興大學土壤環境科學系

摘要.....	184
壹、前言.....	184
貳、基礎作業.....	185
參、一些分析作業上的考量.....	186
肆、適應策略.....	187
伍、模式應用實例.....	187
陸、模式應用的優缺點.....	188
柒、結語.....	188
捌、引用文獻.....	188
英文摘要.....	190

第十二章 作物生產模式預測

林 正 鈞

國立中興大學土壤環境科學系

摘 要

本章內容以美國國家研究團(U.S. Country Studies Management Team(PO-63), 1994)對於一個國家或區域在研究氣候變遷時，評估受害性與調適對策可遵循的準則為主，特別選擇其中對於使用作物生長模式為工具進行評估之建議，再配合作者在其建議之作物生長模式方面的相關研究經驗(林, 1986, 1989, 1990; 林及蔡, 1994; 林等, 1995, 1997)構成本文之撰寫。按該研究團之推薦，IBSNAT所發展之DSSAT模式為最適宜應用於研究氣候變遷對糧食生產影響的工具。本章即針對該模式的應用方向及其意義作一介紹，以為後續研擬未來工作計劃之參考。本文內容以前言為範圍，然後按前言內容進一步說明相關的細節。最後的結語除了確立模式應用的必要性外，也提出未來可能的發展方向。

關鍵詞：作物模式，氣候變遷，模擬策略。

壹、前 言

以作物生長模式模擬氣候變遷對農業生產的影響，已是不可或缺的手段之一。這情形可說是農業系統分析者，在八十年代之初發展作物生長模式，用於模擬作物產量，以為提供農業技術發展與轉移之餘，一個切合時宜的轉變。

模擬氣候改變對於區域性農業生產的影響，需要整合各類數據、各種軟體、以及不同學門之專家學者的意見。研究者首先須確立區域地理位置，以進行氣候、土壤、以及作物栽培與經營管理的資料收集。利用這些資料進行包括系統測試、檢定、驗證等一系列電腦程式分析，以作為後續應用於氣候變遷相關研究之基礎。

模擬作物生長及氣候改變狀況的模式

可以用來評估產量的變化，但需要一套想像的氣候變遷數據，研究者可參考其他研究推測，虛擬定出一套合理的氣候變遷情況。模擬結果即可用來和原有的結果以及其他區域的結果做一比較。以作為變遷因素的研判依據。

因為預測的氣候變化具有不確定性，研究者通常利用各種想像的氣候狀況來評估氣候如何影響農業生產。此外，靈敏度分析(sensitivity analysis)也可用來評估系統中的重要參數，例如有關氣候因素的參數對產量變化的影響程度及重要性。

有了產量變化的結果，進一步可以用在各種不同目的與形式之評估，例如：

(1)利用農業經濟模式來評估農產品之產銷物種類的改變及對社會經濟的衝擊。

(2)對易受衝擊區域中之重要農產品的

變動，進行供需的評估，以防範未然。

(3)分析對氣候變化之適應程度。以作為建議改變耕作方式，如灌溉、種植時間、作物種類，或育種方向及倉儲政策的依據，減少氣候變化的不利衝擊。

(4)藉瞭解氣候變化對各個區域或全國性農業的衝擊，提供農業發展的決策者規劃適應策略。

上述內容概略的闡述了利用作物生產模式，研究氣候變遷對農業生產之影響的基本概念。

貳、基礎作業

在進行大規模之模式模擬應用之前，先進行一些初步的調查與專家意見看法的調查，以作為模式應用區域與目標的擬定，對於後續工作有相當的助益。一如本計畫的執行一般，先對國內外的資料進行收集與編寫，才能了解問題所在，並進一步確定研究方向與策略。

一、初步的評估

初步的評估可藉諮詢或問卷方式進行，以國內農業專家的判斷為依據，從氣候改變對作物受害可能性的評估開始，進行一系列的諮詢與調查。這種作業方式，也是一種專家系統的建立。

這種評估的目標之一，就是篩選出需要進一步研究分析的地區。在模式無法使用，或沒有資料可供進一步分析的情況下，甚至可以用這種初步的評估取代模式的研究方法。

初步評估可包含以下數個目的：(1)確認易受氣候變化衝擊的區域與作物種類。(2)衡量其可能遭受衝擊的程度，並檢討其原因。(3)在目前的氣候下，與其他環境類似但氣溫不同的區域進行比較，以推估將來氣候改變的影響。(4)將影響程度以半定量方式表示，如：正、負，或是對作物產量沒有影響。(5)可進一步驗證可能的調適對策，並明確地研究它的有效性及其成本。

有若干方法可有效獲得初步評估分析所需的專業知識。這些方法包括：問卷調查、研習會、專題討論以及從特定部門蒐集的報告。農藝學家和農業經濟學家都能分別提供關於氣候變遷對作物生理及社會經濟可能產生之衝擊的有用資訊。

二、模式的使用

模式的使用相當廣泛，從早期的統計模式到近期的解析模式，都有人在研究應用。由IBSNAT所整合，其後ICASA接手的作物生長模式較具代表性，此處以這些模式為主作一介紹。

IBSANT-ICASA(International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer-International Consortium for Application of System Approach)兩大計畫集團所發展的作物生長模式，可輸入特定的氣候、土壤和作物資料來模擬各種環境因素改變所產生的影響，因此可以用來研究不利農業生產的各種潛在因素。

運用此模式之有利因素為：(1)已經在全球廣泛性的應用下，呈現相當程度之準確度，(2)使用便利，(3)具有一致性的輸出輸入因子，使結果容易比較，(4)具量化性決策支援系統，可允許廣泛的氣候變化狀況之測試，例如CO₂濃度的增加及農地生產變因的調適。美國國內研究計畫團鼓勵每一位國家農業研究員去使用此套評估系統。

此研究方法可藉由單一區域作物模式評估結果，延伸至大區域或整個國家，以評估氣候變化的衝擊。IBSANT-ICASA模式是將有關植物生長及發育、蒸發散作用、光合產物在植體間的分配，以及經濟產量的形成等等重要生理過程，予以含數化而成的一個系統模式。藉由這些函數可估算一些影響產量的主要因子，亦即，遺傳和氣候(如日射量，每日最高溫及最低溫，土壤透水量及管理)對作物生長的影響。此模式包含一平衡土壤含水量之副程式，因此對缺乏灌溉設施或有灌溉設施的地區，都能進行產量估算。這個模式也可以模擬氮

肥對作物生長的影響。而其模擬產生的土壤含水量之改變可與另一個水資源模式所計算出來的結果進行比較。

IBSNAT-ICASA 模式總稱為 DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer)，為一廣泛的作業程序系統。在 DSSAT3.1 版中共包含十六種作物生長模式與氣候、土壤資料以及各方面的應用程式做一整合。DSSAT 在氣候變遷研究中為整合資料庫和作物模式的主要工具。此軟體目的為幫助使用者在不同土壤、氣候、及管理狀況下對作物生長、發育及產量的研究。此軟體為一便利之軟體，其外部程式常駐於電腦記憶體中，使用者可藉由螢幕選取欲使用之程式。此系統的三個主要元件為作物模式、資料庫及作物之試驗數據。使用者可輸入明確的試驗地區資料，並有效地模擬作物生長情形或進行敏感度分析。

實際執行研究的工作包括：輸入執行 IBSNAT-ICASA 作物模式所必需的土壤和作物管理數據；界定試驗區域並估計該地區現有主要作物的產量；執行模式以比較在背景氣候和在變遷氣候下之作物生長與產量；評估 CO₂ 對作物生長及有灌溉設施可用時的作物產量之直接影響；進行敏感度測試及評估適應對策比較在變遷氣候下之模擬結果與其他模擬結果的差異；（例如：生長期間之降雨量與蒸發散量），和從氣候變遷模式及其他評估系統所需之灌溉水用量；確認和評定那些栽培管理措施的改變，可以減少氣候變遷所產生的不良影響；結合農業和經濟學者的合作，從作物模擬結果中推論出氣候變遷對經濟的影響。

三、所需資料

IBSNAT-ICASA 模式需要下列的資料來執行。而這些輸入的資料彼此間具有高度的相關性。

(一) 土壤

需要每個地點的土壤分類，且能認定出土型(如淺度、中度、或深度坩質粘土；

坩壤土、砂壤土、或砂土)，連同每一地點的土壤特性。若某地點的土壤特殊不同於一般的土壤，可以接近的土壤性質替代。

(二) 氣候

不論要驗證模式，或模擬背景氣候或變遷氣候下的作物生產，至少都需要三十年以上的氣象紀錄。內容必須包每日最低及最高氣溫、降雨量及日射量。如果缺少日射量的紀錄，可以從每日日照時數去推估。IBSNAT-ICASA 模式中包含有一個氣象模擬副程式，能用來模擬產生每天的日射量及其他氣候變數。

(三) 其他輸入資料

所在地的經緯度、栽培最廣的品種、栽植密度、行距、耕犁深度、種植日期、及可供驗證模式的作物試驗數據等等。

(四) 作物種類

作物模擬者應針對他們國家最重要的輸出作物及主食作物進行研究，在世界糧食貿易或自給自足的農業體系中最重要的作物是小麥、玉米、大豆及稻米。此外，高粱、粟、大麥、花生、豆類、馬鈴薯及樹薯有其重要性。

(五) 校正及驗證

執行 IBSNAT-ICASA 作物模式之前，必須根據 DSSAT 使用手冊所規範的程序，以各地區之田間試驗數據進行模式中各項參數的校正，並驗證模擬結果的準確性。

參、一些分析作業上的考量

一、驗證區域

模擬研究必須先界定條件相似的生產區域。所謂相似的條件是指土壤、氣候、水資源、土地利用及耕作方式等方面的相似。如果有足夠的氣候與作物資料可以同時研究兩個或兩個以上之區域，此將有助於驗證氣候不同時所造成的區域內差異。其次，必須由各主要農業區所選出一些已有所需資料的代表地點。可能的話，這些地點最好分別能代表各主要農業區內低、

中、高等各種不同的生產力等級。

二、歷史資料及變遷劇本之設計

供模式模擬的氣候變遷劇本（例如：每日的最高及最低溫及每日的日射量這些可用於IBSNAT/ICASA模式的氣候資料。）可由背景氣候的氣象紀錄加以修改而導出。其中有些是可以任意改變，而有些則可由GCMS等大氣環流氣候模式模擬產生。

藉由在一系列氣候變遷劇本下之模式模擬結果的分析，可以找出作物受害的關鍵。改變氣候的波動性，例如改變乾旱及暴雨發生的頻率，會大大影響作物的產量。如果可能的話，諸如此類的改變均須一一加以測試。

三、模式模擬之試驗設計

每個區域都可用各地區的歷史資料及氣候變遷模擬資料執行IBSNAT-ICASA作物模式，執行之難易將取決於可獲取的資料範圍。可用以設計試驗之變因很多，下面舉二氧化碳及水資源變化影響為例，概略說明模擬研究的基本功能。

(一)二氧化碳濃度影響之模擬

二氧化碳濃度的增加將有助於作物生長及水分利用。CERES-Wheat，CERES-Maize，SOYGRO及其他IBSNAT-ICASA作物模式皆已修改成可模擬大氣中二氧化碳濃度增加時，光合作用及蒸發散量的改變情形。這些模式能產生氣候變遷及二氧化碳濃度增加對作物生長及水分利用的影響。

(二)有灌溉下之耕作制度

如果在現行氣候下該地為有灌溉之耕作制度，或是預測在氣候變遷過程中該地將慢慢變為乾旱，則缺水及有灌溉下之耕作制度皆須模擬。在氣候變遷劇本下執行模擬的結果會產生該地農業用水的需求將如何隨著氣候之變遷而變化的重要估計結果。

肆、適應策略

在農田耕作管理上，有許多可供選擇的辦法，對於氣候改變的適應有其特定的效益。這些選擇包括：改變種植的日期、改種比較能夠應於新氣候的作物、改良品種使其更適宜新的氣候、改變作物輪作的方式、肥料的運用。假如這個區域有灌溉系統，則可設法提高加強灌溉水的利用效率。假使這個區域沒有灌溉系統，則可以裝設灌溉系統來使用。

這些調適措施可使用IBSNAT/ICASA作物生長模式來測試，以針對氣候改變的情形，選擇適當的策略。DSSAT模式包含有此功能，可以事前分析因改變耕作方式農民可能遭受到的風險。

這個作物模式中有些作物生理參數，和品種基因型有關。因此也能用在遺傳資源的探查上，以協助培育適合於氣候變化後栽種的品種。各種可能的策略都應加以評估，並且須考慮到實際的效益。

伍、模式應用實例

DSSAT作物模式在世界各地的使用極為廣泛，在台灣由筆者過去執行的研究計畫，亦對其中的大豆、玉米模式有深入的研究。從模式結構分析、子程式測試、校正、驗證、田間實驗等一序列的研究，到應用於生產潛力的模擬等。這些經驗對於將模式轉用於氣候變遷的影響，應具參考意義。下面即以大豆生長模式應用研究為例作一說明。

本研究之目的乃以大豆生長模式SOYGRO評估生產潛力，估算台灣地區受不同溫度與日照條件的影響所能達到的生產潛力，以為農地規劃利用之參考。相同的作法也可應用於氣候變遷下，日照與氣溫型態改變對大豆生產的影響。分析方法是以遍佈台灣各地區之78個觀測站，取每日最高溫、最低溫及輻射量等基本氣象資料，以19個大豆品種，全年分24個播種期，進行各個觀測站4~10年不等的模擬試驗，以全面評估台灣地區大豆之適栽地、適栽期

及可能之最高產量。

模擬結果發現：(1)總括19個品種之模擬產量，只要配合適當的播種期，在無氣象災害及適宜的栽培管理下，台灣各地區皆有3500kg/ha以上的生產潛力。適當的播種期分佈在2月至6月，需視品種的特性而定。然而五、六月間正逢颱風與梅雨季節，栽種風險高，實際田間產量不及預測者高。(2)區域性生產潛力分析，若以各品種綜合表現出的最大生產潛力年平均為考量角度，則以雲嘉南地區3524kg/ha最高，其後依次為高屏地區3502kg/ha，中部3373kg/ha，台東3144kg/ha，花蓮2919kg/ha，北部2914kg/ha最低。若以本省普遍栽種的高雄8號品種之年平均生產潛力為考量角度，則以雲嘉南地區最高，為2284kg/ha，花蓮最低，為1994kg/ha，因此各地區之差距不大。(3)播種期之生產潛力分析，若以最大生產潛力年平均為考量角度，最佳播種期在3月至6月，潛力在3500~4300kg/ha之間；9月中旬以後播種者，則均在2500kg/ha以下。若以高雄8號之生產潛力為考量角度，則以4、5月為最佳播種期，各地區潛力可望在2400~2800kg/ha，8月以後播種者，潛力已降至2000kg/ha以下。(4)三期作生產潛力分析結果，一般以夏作最高，春作次之，秋作最低，然亦有春作潛力高於夏作之品種與地區。模擬分析亦顯示：春作、夏作若能配合適當優良品種，單位面積產量可增加1倍之多，即4000kg/ha左右，而秋作則不超過500kg/ha。

類似的模擬研究，可完整提供氣溫升高或雨量與日照改變之下，整個台灣地區不同作物所受到的影響。節省許多田間實驗與資料收集的人力物力。其廣度與深度均比小規模試驗來得大。

陸、模式應用的優缺點

一如其他各種模式的應用一樣，模式的功能在於對不能或不易掌握的時空現象，

提供模擬研究與預測，以為對策研擬之依據。模式的模擬有其理論上的依據，但也受限於理論發展的極限，而有其使用上的先決條件。

使用IBSNAT-ICASA作物模式的主要優點之一是因為這個模式的開發與驗證，係由全球各方面的科學家共同參與，因而此模式已可適用於多種不同的氣候，栽培品種和耕種方法。此外，這個模式在輸入和輸出的設計上比其他作物模式更易於作調適對策之效益的驗證。

這個模式還具有經濟分析的功能，因而可以從作物模式在生物物理上所推測的變化，估算其對農業生產體系之投入與產出之市場價格的影響，經濟分析能在商業機會或市場價格改變時提供生產者、消費者、和資源擁有者減少損失或增加收益的調適對策。經濟分析也能跨越空間和時間的限制對社會提供獲利和損失或利潤與成本的資訊。由於作物模式與經濟模式的結合使這個模式具有較高的洞察力，可觀察社會層面之糧食生產及氣候變化可能的影響。

IBSNAT-ICASA作物模式的在使用上限制就是需要輸入詳細的參數值。而這些參數的詳細資料有時很難得到，或者即使得到也可能是無效的。然而透過向專家們的諮詢常可解決這種問題當使用者發現模式的一些特定假設條件無法適用於他們的環境或狀況時，向專家們諮詢也能獲得極大的幫助，這類人員須具有系統分析背景，在國內較為缺乏，但以過去國內應用該模式的經驗，應可克服這一困難。

柒、結語

對利用模式進行研究的人員來說，能與其他學門相互交流，是擴展作物模式應用領域的一種有效方法。例如：作物模式的輸出結果可與水資源經濟分析結果相結合，以研究灌溉可能的效益改變及在農業

生產區域之水需求的競爭。土地利用規劃人員在沿岸地區可利用作物模式數據，來研究因海平面上升所造成該區域土地損失，以及鹹水的入侵。

IBSNAT-ICASA 模式所包括的作物種類有限。是否需增加作物種類，以滿足台灣百餘種栽種作物的需求，固然值得商榷，但除了IBSNAT-ICASA模式外，有些其他機構開發的模式可和IBSNAT-ICASA模式併用，以增加包括蔬菜與水果之類的作物種類，廣泛開發作物模式應用範圍。然而這種過程通常需要較多時間，和適當的專業研究人員的配合。考量應用模式所能獲得的效益極大，應值得大力投入引用。

捌、引用文獻

- 林正銊 余伍洲 于迺文. 1986. 利用電腦程式模擬地下水位及耕犁深度對作物吸收水分之影響. 中華農學會報, 新135: 63-74.
- 林正銊 蔡政廷 莊作權. 1989. 機制性玉米生長模式調適之研究. p. 101-129. 中華民國土壤肥料學會代表作. 中華民國農學團體七十八年聯合年會特刊.
- 林正銊 蔡政廷 林毓雯. 1990. 大豆生長模

式之解析與應用. "本省豆類作物土壤與肥培管理研討會" 屏東墾丁. 77年6月12日-6月14日.

林正銊 蔡彰輝. 1994. 台灣耕地圖土壤及作物適栽評估圖鑑. 行政院農委會出版, 台北. 293頁.

林正銊 陳琦玲 姚蘭香. 1995. 台灣地區玉米生產潛力分析, 中華農學會報, 新172:24-54.

林正銊 陳琦玲 姚蘭香 洪瑞廷. 1997. 台灣地區大豆生產潛力分析, 中華農學會報, 新178:10-34.

IBSNAT. 1989. Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version 2.1 (DSSAT V2.1). Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.

U.S. Country Studies Management Team (PO-63). 1994. Guidance for vulnerability and adaptation assessments. Ver. 1. U.S. Country Studies Program. 1000 Independence Ave. SW Washington, DC 20586.

Chapter 12 Prediction with Crop Growth Models

Chenfang Lin

Department of Soil and Environmental Sciences,

National Chung-Hsing University

ABSTRACT

The contents of this chapter are based on the report of Guidance for Vulnerability and Adaptation Assessments, prepared by U.S. Country Studies Management Team (PO-63), 1994. In the report, the use of crop growth model for assessing the effects of climatic change to agricultural production was suggested. The recommended models were those in DSSAT program, which was organized by IBSNAT project and later adopted in ICASA group. Part of the crop models in DSSAT has been calibrated in Taiwan by the author of this chapter and his colleagues. This chapter was written with their experiences to elaborate the way of strategy for applying the models to study the effects of climate change on the agricultural production. In conclusion, the necessity of using the model, and the further development based on the application were suggested.

Key words: Crop model, Climatic change, Simulation Strategy.