

IBSNAT 玉米作物模式之構造及原理

莊作權

林正錫

謝元德¹⁾

(接受刊載日期：中華民國七十八年四月二十五日)

摘要：以機制模式發展作物生長模式為近年來農業發展研究之最新方法，本文介紹應用美國國際開發總署支持及夏威夷大學執行之國際農技轉移基準組織計畫 (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer, IBSNAT) 所發展之 IBSNAT--玉米模式，以期將來應用於玉米生長之模擬，作為規劃農作生產及科技研究之工具。玉米模式是經由夏威夷大學修正 CERES-maize 模式而成，能定量描述機動性之作物生長系統，可用作產量預測及作物耕作管理之良好工具。

前 言

在傳統的農業耕作上，當一種新的作物、品種或操作方法被應用到田間時，必須經過各種繁雜而耗時的田間試驗，去了解此一作物、品種或操作方法對各種氣候、土壤的適應性，而這些必須耗費相當多的時間、人力和物力，其所得的結果，大多祇是區域性的，往往不能滿足土壤-作物-氣候系統 (Soil-Plant-Atmosphere Continuum System) 中各成分互相作用和互相依賴的水分利用等發育過程的生長模式，來模擬作物整個生長期動態的變化，並且預測其產量。

作物生長模式是基於機制原理 (mechanistic principles)，利用每日氣象資料，能夠定量的描述動態的作物生長系統及預測產量以作為田間管理之參考，而且模式本身為非地區專一性的 (non-site-specific)，經由適當之測試校正其各項參

數後，可用來評估各地區之氣候、土壤及田間管理對作物生育影響的重要性。

基於上述理由，乃引進美國國際開發總署所支持的 IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) 計畫提供之作物模式。其目的在於：

(一) 測試 CERES-玉米模式 (Crop Environment Resource Synthesis - maize model) 在本省氣候土壤環境下之適用程度。

(二) 校正並驗證模式，期能在臺灣地區推廣使用。

(三) 提供本模式備用於規劃臺灣地區玉米適栽性及生產力的評估。

農業上模擬方法首於1969年在英國之 Wesh Plant Breeding Station 召開的 "Potential Crop Production" 研討會上，為 Acock 和 Wageningen 兩組人員所建立，此後更刺激了作物生長模式之發展。

1983年3月 IBSNAT 於美國佛羅里達

1) 國立中興大學土壤學研究所教授、副教授及前研究生。

大學召開“Workshop on Crop Simulation”，同年 IBSNAT, SMSS (Soil Management Support Service) of USDA, USAID 及 ICRIST (International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics) 等四個單位在印度聯合召開“Minimum Data Sets for Agrotechnology Transfer”正式討論利用作物模式協助技術轉移及農地資源規劃的必要性，以進行模式之發展。

近年來國外各研究機構所發展的作物生長模式很多，利用多變量迴歸分析所得之經驗模式已較少人研究，取而代之的是解析模式(機制模式)。目前較通用的模式有：

- CORNNF (Stapper 和 Arkin, 1980)
- EPIC (Williams 等, 1983) - Erosion Productivity Impact Calculator
- SORGF (Stapper 和 Virman, 1984) - 高粱生長模式
- TURERS (Sands, 1983, 1984) - 馬鈴薯生長模式
- SOYGRO (Wilkerson 等, 1983) - 大豆生長模式
- SWART, CROPR (Feddes 等, 1983) - 土壤水分實際蒸發散速率和作物生長模式
- CERES (Jones 等, 1983; Ritchie 和 Otter, 1984) - Crop Environment Resource Synthesis, 小麥, 玉米和水稻生長模式

一、模式構造 Chung Hsiang

IBSNAT 所發展之作物生長模式總稱 DSSAT (Decision Support System for

Agrotechnology Transfer), 其中心工作包括：

1. 資料庫管理系統 (Data Base Management System, DBMS)
2. 作物模式 (Crop Model)
3. 資料檔案 (Data Files)
4. 專家系統 (Expert System)
5. 連結程式 (包括 Retrieve Program 和 Graphic program)

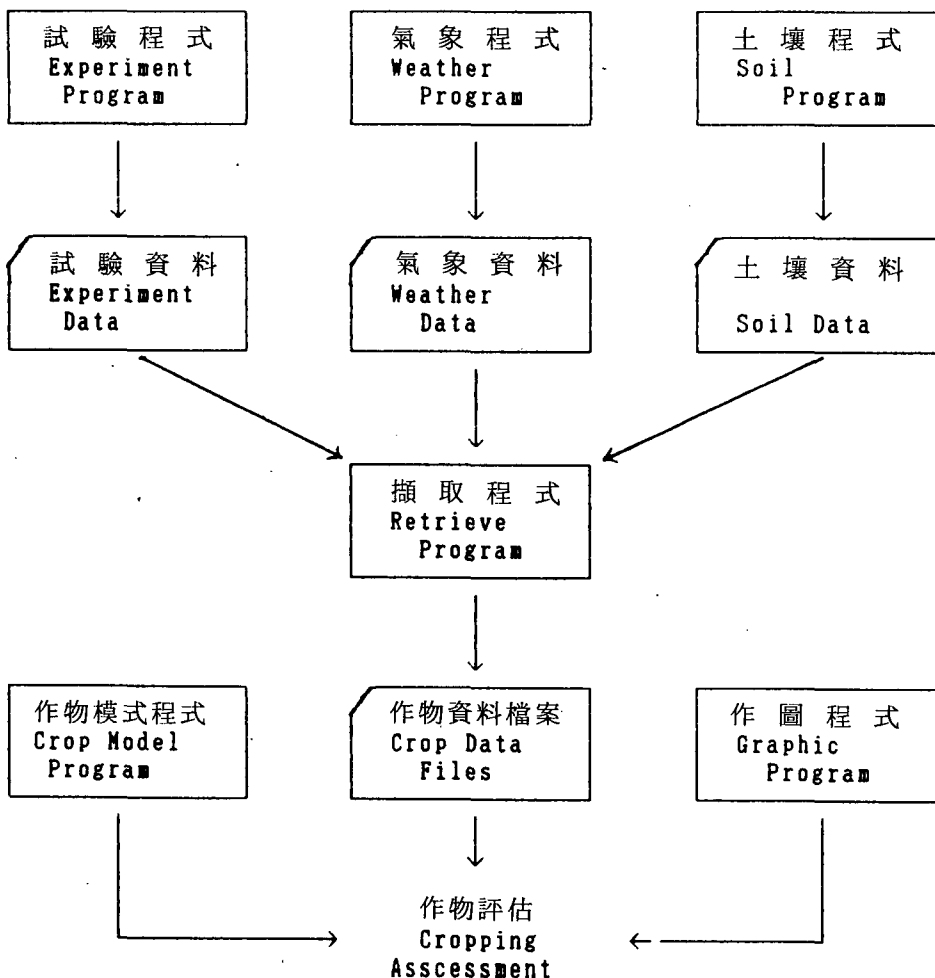
目前除專家系統為其它用途外，本試驗都加以引用，其中 DBMS 又再延伸 Minimum Data Set (MDS) 之概念，使程式模擬前之資料收集工作節省許多，增加模式日後推行之可行性。

為便於整合各種不同作物及不同模式之特性，先將各種資料之收集標準化及規格化，然後另外設計程式，就不同作物，不同模式所需之檔案形式，重新建立輸入檔案，其程式及各種資料檔案如圖一所示。

由圖一可知，在 DSSAT-DBMS-MDS 之下，試驗程式 (Experiment program), 氣象程式 (Weather program) 和土壤程式 (Soil program) 用於試驗資料、氣象資料和土壤資料；擷取程式 (Retrieve program)、作物資料檔案 (Crop data files)、作物模式程式 (Crop model program) 和作圖程式 (Graphic program) 分別為 DSSAT 下之連結程式，資料檔案和作物模式。

依資料建立之過程及程式之應用性，本試驗之資料檔案可分為下述三種：

1. 初級資料：包括手寫之田間試驗資料表格，田間試驗電腦檔案，氣象資料電腦檔案及土壤資料電腦檔案四種。
2. 次級資料：利用擷取程式將田間試驗、氣象和土壤資料檔案轉換為作物模式



□: 表固定不變的程式，由 IBSNAT 提供。

▤: 表可變動之資料檔，由試驗收集。

○: 表應用方面。

圖一、電腦程式各種資料檔案相關圖。

Fig 1. The operating chart of data files and programs.

可輸出入之作物資料檔案，供作物模式執行之用。

3. 執行模式：可分為建立初級資料檔案程式，建立次級資料檔案程式及作物模

二、模式之原理

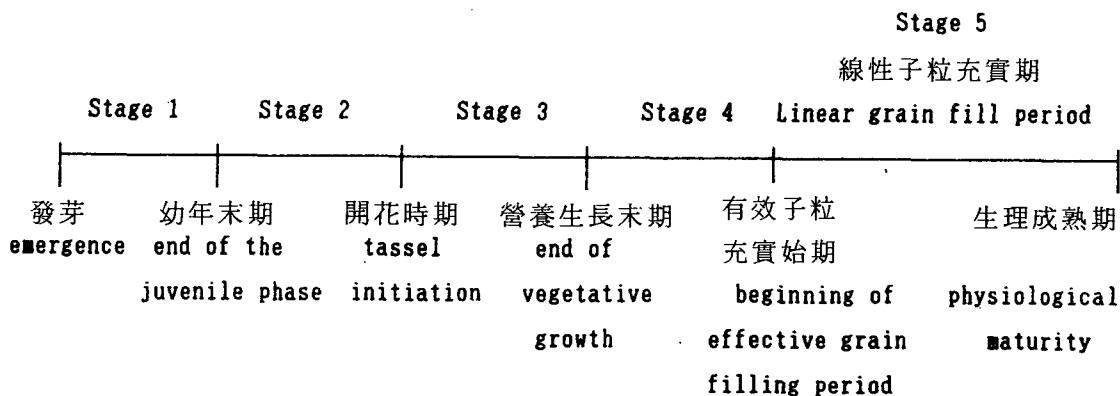
CERES-玉米模式 (Crop Environ-

ment Resource Synthesis Maize Model) 於1983年由美國德州 Temple之 Agricultural Research Service Crop System Evaluation Unit所發展 (Jones等 1983)。結合田間管理、氣候、土壤和品種的最少資料組合設計而成，來模擬氣候、土壤、水分、氮的動態和作物生長的因子型(ge-

notype)、生物氣候期 (phenological stage) 和對最後產量之影響，其流程如圖二。

1. 外表形態發育 (Phenological development)

外表形態發育是受遺傳和環境因子所支配，各生長階段區分如下：



在本模式中，外表形態發育受其積溫 (accumulation of daily thermal time, DTT) 和幼年末期 (end of the juvenile phase) 至開花期 (tassel initiation)，即 Stage 2. 間之光週期 (photoperiod) 所驅動；例如一些光期敏感品種，當光期超過 12.5 小時，會延長 Stage 2 之生育日數 (Kiniry 和 Ritchie, 1983)。

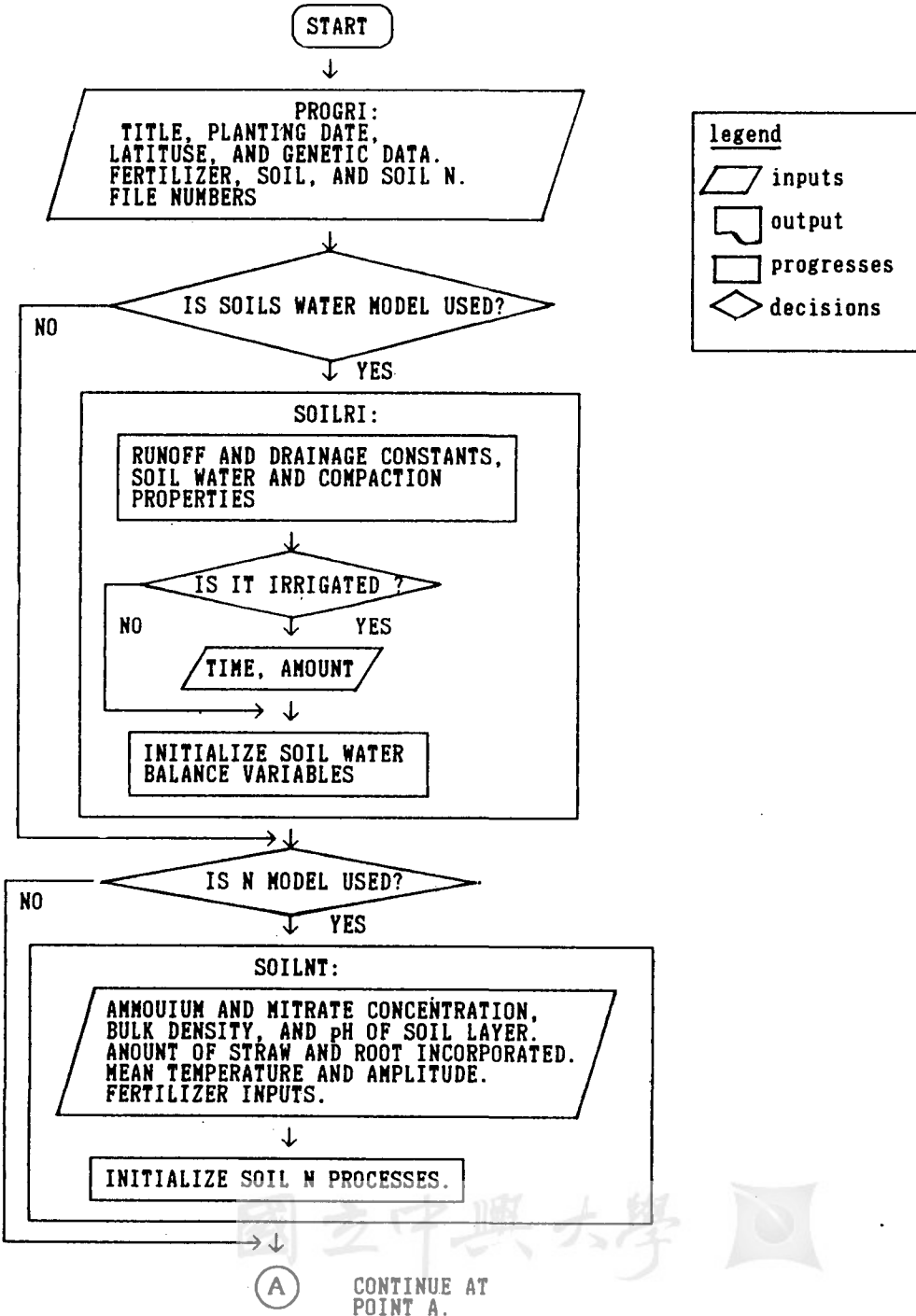
在 CERES-玉米模式中，積溫 (DTT) - DTT 是指積溫 $\sum(T - T_0)$ (P.6) 是從開花始期至生理成熟期 (physiological maturity) 間之日平均溫 (daily mean air temperature) 和基本溫度 (base temperature) 差值之和，而從播種到萌芽期 (emergence stage) 和萌芽期至生理成熟期之基本溫度分別為 10°C 和 8°C；如果最高溫度低於基本溫度，則無差值累積至 DTT 中，若最低溫度低於基本溫度，則當日之溫差

減少在本模式中，從發芽至幼年末期 (Stage 1) 和子粒線性充實期 (linear grain fill stage, Stage 5) 之累積 DTT 是決定於基因型 (genotype-dependent)。

玉米組織在整個生長過程中，其乾物質之分配 (allocation) 是依生長期而定，雄花抽穗始期之前，所有累積之乾物質為分配到葉和根，雄花抽穗始期至營養生長末期，根莖，葉和穗則同時生長，營養生長末期到有效子粒充實始期，乾物質累積到莖和穗，此期亦決定每穗粒數，在線性子粒充實期乾物質則大部分累積到莖 (Freg, 1981)。

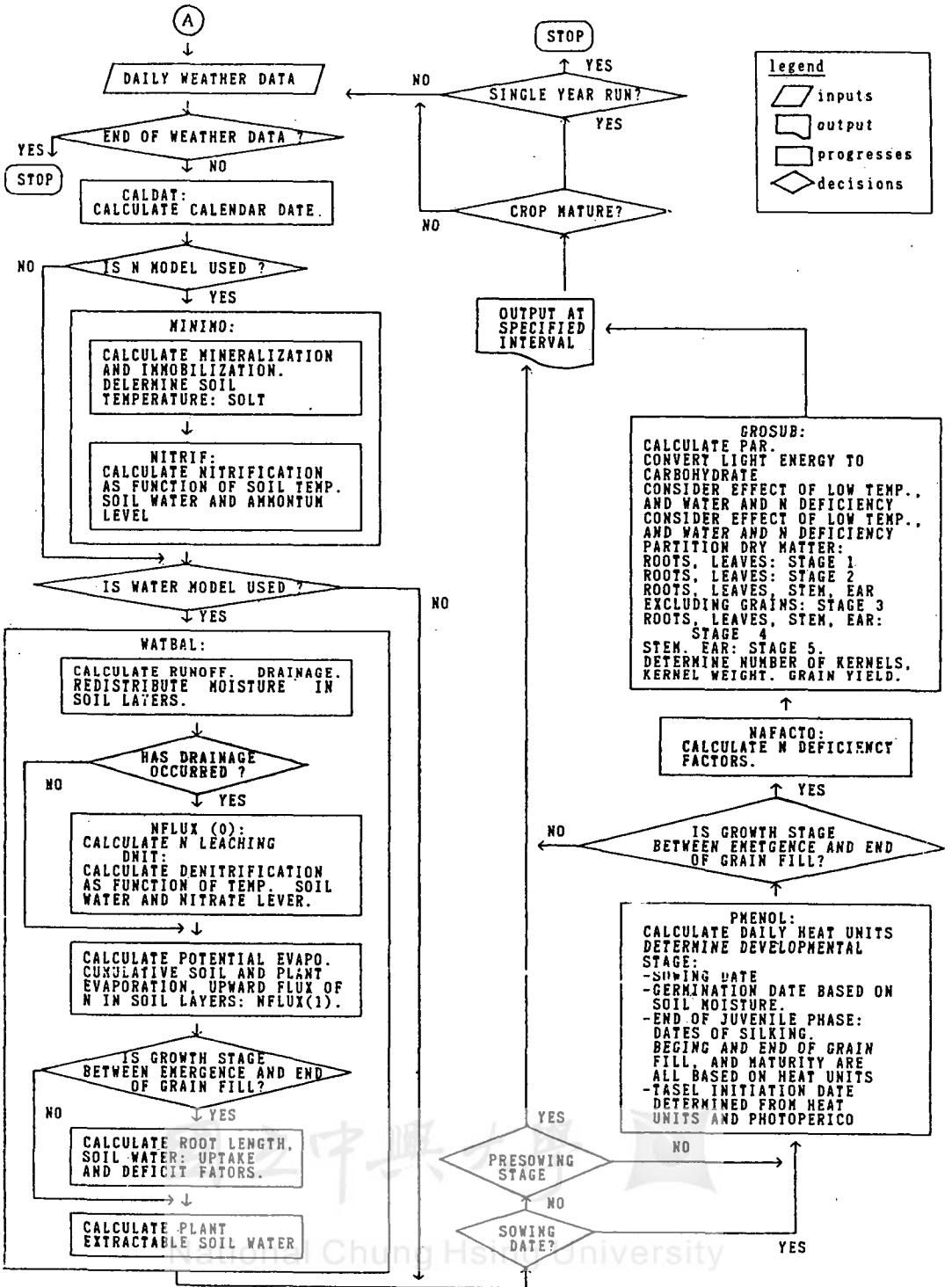
2. 作物生長 (Crop Growth) (Farmer 等, 1986)

在 CERES-玉米模式中，作物乾物生產潛能 (potential crop dry matter production) 和 PAR (photosynthetically ac-



圖二、CERES 玉米模式程式流程。

Fig 2. flow diagram of the CERES - Maize.



圖二、CERES 玉米模式程式流程。(續)

Fig 2(cont'd). flow diagram of the CERES - Maize.

tive radiation) 呈直線相關，而和葉面指數 (leaf area index, LAI) 呈指數相關。其能量轉換效率 (efficiency of energy conversion, F) 到有效子粒充實期 (effective grain fill period) 開始時即降低，此乃由於作物呼吸作用增加 (Jones 等, 1983)，而因為非最適溫度 (non-optimal temperature)，水分逆境 (water stress) 和氮之缺乏，使實際乾物質產生率比預期的少，最適的溫度為 26°C。

葉片生長 (Leaf Growth)

葉面積擴大率 (rate of leaf area expansion) 是植物生長對環境阻力最敏感的項目之一，葉的生長比光合作用對溫度和乾旱更敏感。在 CERES-玉米模式中，葉片之衰落 (senescence) 會因乾旱 (drought stress) 和對光之競爭而加快，又吐絲期前之葉數，亦影響葉片之衰落 (Hunter, 1980)。

根之生長 (Root Growth)

乾物質分配到根之比例隨著植物之發育而減少，在 CERES-玉米模式中，如對光之競爭和非適宜溫度等逆境，有減少乾物質分配到根之趨勢，而相反的，乾旱則減少葉片擴大，比減少光合作用還嚴重，因而使乾旱物質傾向於分配到根部。在特定土層中，根之生長依土層水分含量和氮之有效性而定，根系壓實因子亦影響根之發展。

子粒生長 (Grain Growth)

在 CERES-玉米模式中，每株子粒數 (no. of grains per plant, GPP) 是依 Stage 4 累積之乾物重和遺傳特性最大粒數 (genotype specific potential kernel no., G2) 而定。子粒生長速率 (grain growth rate, RGFILL) 依遺傳特性子粒充實度而

定。當子粒充實時，大部分的碳水化合物乃由同時進行之光合作用所提供，僅有少部分由莖部移轉而來 (Duncan & Hatfield, 1983)。

3. 土壤水分平衡 (Soil Water Balance) (Jones 等, 1983)

在本模式中，如果土壤水分在整個作物生長過程中不受到限制，則土壤水分平衡路徑可被繞過。其估計水分平衡公式如下：

$$SW = RAIN + AIRR - EP - ES - RUNOFF - DRAIN$$

SW = 土壤水分含量 (quantity of soil water)

RAIN = 降雨量 (precipitation)

AIRR = 灌溉水量 (irrigation)

EP = 植物蒸散量 (evaporation from plant)

ES = 土壤蒸發量 (evaporation from soil)

RUNOFF = 地面逕流量

DRAIN = 土壤剖面排水量

逕流量是依美國農部土壤保育局 (Soil Conservation Service) 之 Curve Number Technique (SCS, 1972) 估計。若降雨量每 30 分鐘超過 0.5mm，逕流即可發生，其逕流曲線值 (runoff curve value) 可從無逕流發生至全部皆為逕流，排水和土壤水分再分布可由一土壤水由上層移到下層土壤的路徑來估計。

當水分含量 (SW) 介於田間飽和水容量 (field saturated water content, SAT) 和排水上限 (drained upper limit, DUL) 間時，排水即發生。排水係數 (soil specific conductance parameter, SWCON) 在整個土壤剖面被假設為一常數，因為大部

分土壤，其限制層支配整個土壤剖面水分之流動。SWCON之值為0(無排水發生)至1(瞬間排水，instantaneous drainage)之間。當SW大於排水上限(DUL)時，發生不飽和排水，而排水亦助長脫氮作用和氮之淋失。

潛蒸發散量(potential evapotranspiration, ETp)以經由Priestly和Talor(1972)修改過之平衡蒸發觀念計算。平衡蒸發量受日照、土壤反射度(soil albedo)葉面積指數和平均日溫所影響。若考慮不飽和空氣，則潛蒸發散量(ETp)為平衡蒸發量之1.1倍，當最高溫度超過35°C時，此常數可因對流(advection)而增加，最高溫度低於5°C時，則因氣孔關閉而減少。

實際蒸發散量(actual evapotranspiration, ETA)以Ritchie(1972)所發展之模式估計，在CERES模式中略加修改當上層土壤水分含量低到一固定的設定值時，土壤蒸發散量要進一步的減少，以避免根吸收靠近土表的水分，而使表土太乾；若下層土壤較上層土壤有更多植物可吸取的水分，此水分平衡路徑亦可計算水分和氮之向上流動。

根之水分吸收(Root Water Absorption)

CERES-玉米模式以限制方法來計算根之水分吸收量(REU, $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)，即土壤阻力或根阻力支配水分進入根部，吸收速率的過程是導水度的函數， $K(0)$ ($\text{cm} \cdot \text{day}^{-1}$) (Jones & Kiniry, 1983)：

$$RWU = [4\pi * K(0) * (U_r - U_s)] / \ln(c^2 / r^2)$$

U_r = 根表面水勢能(cm)

U_s = 總體土壤水勢能(cm)

r = 根之半徑

c = 土柱半徑

假設 $r = 0.02 \text{ mm}$

U_r 和 U_s 之差值為 21cm

$$C = (\pi * RLV)^{-1/2}$$

RLV：根長密度(root length density, cm/cm^3)

$$K(0) = 10^{-6} \exp(SW - LL)$$

$$\text{則 } RWU = 2.67 \times 10^{-3} \exp[62(SW - LL)] / 6.68 - \ln(RLV)$$

最大流速(RWUMX, $0.03 \text{ cm}^3 \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)可用來限制流速，而最後水分平衡路徑用以計算葉片之擴大和生長敏感過程之乾旱逆境因子SWDF 2，和光合作用之較低敏感過程之乾旱逆境因子，SWDF 1。逆境因子是全部根吸收水量與實際植物蒸散量比之函數。

4. 氮模式(Nitrogen Model)(Godwin等, 1984; Jones等, 1983)

土壤氮之起始(Soil Nitrogen Initiation)

在整個植物生長過程中若氮肥不受到限制，則氮副模式(sub model)亦可繞過。本模式假設前作之殘體被均勻的混入同一深度，而前作物的根在土層中以如下分布：

$$WRN(I) = \exp(-3.0 * DEPTH / DEPMX)$$

$WRN(I)$ = I層土壤中根之加權因子 (weighing factor for roots in layer I, 0-1)

DEPTH = I層中之平均厚度(cm)

DEPMX = 土壤剖面深度(cm)

有機質源有二：新鮮有機物，FOM，和穩定有機物或“腐植質”，HUM。土層中之新鮮有機物，FOM(I)，由前作物之根或殘體、微生物及其他快速分解物所組成；I層中之穩定有機物，HUM(I)，由

土壤中其他有機物所構成 (Jones, 1983), 即

$$\text{HUM}(I) = \text{OC}(I) * 1000 * \text{BD}(I) * \text{DLAYR}(I) / 0.4$$

OC(I) = 有機碳含量 (%) (organic carbon content)

BD(I) = 總體密度 (g/cm³) (Bulk density)

DLAYR(I) = I 層土壤厚度 (cm)

“1000” 為將 OC(I) * BD(I) * DLAYR(I) 轉換成有機 C 公斤 / 公頃之因子, 而 0.4 為 C 在有機質中之比例。故穩定有機質中之比例。故穩定有機質源 (pool) 中 N 之含量, NHUM(I) (公斤 / 公頃), 為土壤全氮減去礦物性氮:

$$\text{NHUM}(I) = \text{OC}(I) / 10 * \text{DLAYR}(I) * \text{BD}(I) * 1000 - [\text{SNO}_3(I) + \text{SNH}_4(I)]$$

上式假設 C/N=10, 所以 10 將有機 C (公斤 / 公頃), 轉換為土壤全氮 (公斤 / 公頃), SNO₃(I) 和 SNH₄(I) 分別為土壤中之硝態氮 (公斤 / 公頃)。

氮之礦質化 and 同化作用 (Mineralization and Immobilization of N)

若施用氮肥, 則肥料氮在土壤中分成硝態和氨態兩部分, 本模式假設肥料可迅速轉變為適當之氮源。新鮮有機氮, FON(I), 或新鮮有機物, FOM(I), 經適當日期之礦質化部分, DECR(I), 可計算如下

$$\text{DECR}(I) = \text{RDECR}(I) * \text{TFAC} * \text{MF} * \text{CNRF}$$

RDECR 為一速率常數, 為 FOM(I)/FON(I) 比值之函數, 由此一比值, carbohydrate-like, cellulose-like 和 lignin-like 之速率常數 RDCARB, RDCELL 和 RDLIGN 均可應用。MF 為一溫度因子 (moisture factor), 當土壤水分為 LL (lower limit)

和 DUL (draines upper limit) 時, 其值分別為 0 和 1。

TFAC 為一土壤溫度因子 (0.0-1.0), 它影響氮之礦質化及同化作用, 硝化作用和脫氮作用。計算每層土壤中心點溫度之基本方程式為 SOLT 副路徑:

$$\text{ST}_t = (\text{ST}_{t-1} + \text{TP} + \text{DTDT} + \text{DTDZ} * \text{ZZ}) / 2.0$$

ST_{t-1} = 該層土壤昨日溫度 (yesterday's soil temp. in the layer)

ST_t = 該層土壤現在溫度 (current soil temp. in the layer)

DTDT = 土壤溫度隨年時間函數改變之因子

DTDZ = 土壤溫度隨土層深度函數改變之因子

ZZ = 土層深度

TP = 上一層土壤溫度

FON(I) 礦質化速率依 C/N 比因子, CNRF 而定。所以由 FON(I) 礦化釋放之氮的總量為:

$$\text{GRNOM} = \text{DECR}(I) * \text{FON}(I)$$

而從穩定有機質而來之氮, 其礦化速率, RHMIN, 估算如下:

$$\text{RHMIN} = \text{NHUM}(I) * \text{DMINR} * \text{TFAC} * \text{MF}$$

DMINR = 依土壤而定的速率常數

NHUM(I) = 穩定有機質中之含氮量 Seligman, Vankenlen (1981) 指出, 對溫帶土壤而言, DMINR 之值可建議為 0.000083, 在本模式中可以有機質礦化速率加權因子 (humus mineralization rate weighting factor, DMOD) 來校正這個變異。本模式亦假設由 FON(I) 礦化釋放之氮的總量約 20% 再度加入 NHUM(I) 中, 即

$$\text{NHUM}(I) = \text{NHUM}(I) - \text{RHMIN} + 0.2 * \text{GRNOM}$$

GRNOM

由 FON(I) 部分分解的氮經同化作用的總速率 (RNAC) 被假設為對同化作用的氮, TOTN, 和使 FOM(I) 分解 (decay) 所需氮的最小值, AMINI:

$$RNAC = AMINI [TOTN, DECR(I) * FOM(I) * (0.02 - FON(I)) / FOM(I)]$$

0.02 為微生物使一單位的 FOM(I) 分解所需之氮, 是 FOM(I) 中之含碳率 (0.4), 微生物之 N:C 比 (0.125) 三者之乘積。RNAC 和 GRNOM 間之平衡決定淨礦化和同化之發生。從所有有機來源釋放之淨氮量, NNOM, 為:

$$NNOM(I) = 0.8 * GRNOM + RHMIN - RNAC$$

0.8 為 GRNOM 未混入 NHUM(I) 之部份, 有機質分解之礦化或同化作用結果, SNH4 源不是增加即是減少, 若同化作用較大, 而且 NH₄⁺-N 不足以供應所需, NO₃⁻-N 源即縮減。

硝化作用 (Nitrification)

本模式中硝化作用之計算接在礦質化和同化作用之後立即進行, 此副路徑, NITRIF, 亦估計每日 NH₄⁺-N 氧化成 NO₃⁻-N 之速率。硝化作用容量 (nitrification capacity) 受 NH₄⁺-N 供應量 (SANC)、土壤水分因子 (WFD) 或溫度因子 (TF) 所限制。硝化作用容量之環境限制 (environment limit on nitrification capacity, ELNC) 為上述三者之最小估計。根據環境限制, 最新的 (update) 硝化作用容量指數 (nitrification capacity index, CNI) 可表示為:

$$CNI(L) = CNI(L) * \exp(2.302 * ELNC)$$

CNI 被限制在 0.01 至 1.10 之間, 這較小值

可確保硝化作用量, 以便環境變得較有利時, 硝化作用能在繼續進行。

實際的硝化作用率 (actual nitrification rate, RNTRF(L)) 以 Michael's - Menten kinetic 方程式計算如下:

$$RNTRF(L) = A * 40.0 * SNH4(L) / [SNH4(L) * 90.0]$$

A 為水分因子, 溫度因子和硝化作用容量指數之最小值, 硝化作用的氮為 NH₄⁺-N 部分抽取而加入 NO₃⁻-N 源。由 NH₄⁺-N 供應而得之硝化作用量之減少量 (reduction of nitrification capacity, SARNC) 之計算同 SANC, 選用較有利之昨日和今天的水分因子 (XW) 和溫度因子 (XT), 則 CNI 之估計可修改為:

$$CNI = CNI * AMINI (XW; ST, SARNG)$$

氮之吸收 (Nitrogen Uptake)

在作物生長過程 NUPTAK 副路徑用來估計作物所需要和所吸收之氮。首先, 本模式先決定不同土壤層次間影響根日生長之礦物性之加權因子, RNFAC(L):

$$RNFAC(L) = 1.0 - [1.17 * \exp(-2.0 * TOTN)]$$

RNFAC(L) 為應用於水分平衡副路徑 (WATBAL) 之加權因子, 地上部氮需要量 (tops N demand, TNDEM, gN/plant) 估計如下:

$$TNDEM = STOVWT * (TCNP - TANC) + DNG$$

$$STOVWT = \text{桿乾重 (stover dry weight, g/plant)}$$

$$TCNP = \text{地上部之臨界氮濃度 (critical N concentration of tops, gN/g dry matter)}$$

$$TANC = \text{地上部之實際氮濃度 (ac-}$$

tual N concentration of
tops, gN/g dry matter)

DNG=新生長地上部之最大需氮量
(N demand of potential
new growth of tops, gN/
plant)

因此，地上部需氮量(TNDEM)依下二因素而定：

(1)由 TANC和 TCNP之差異而得之需要量可為正值或負值

(2)地上部新生組織之最大需氮量根之氮需要量(RNDEM, gN/plant)亦以同樣方式計算之。單位面積需氮量(nitrogen demand per unit area, ANDEM)由 NDEM (TNDEM及 RNDEM之和)與播種密度而定。若需氮量為負值或 0，則氮吸收量不再計算，植體氮濃度可因植體不斷生長而改變。

一層土壤 NH_4^+ -N 之最大吸收值，(RNH4U(L)kg N/ha)，可以根長密度(RLV(L))，每單位根長 NH_4^+ -N 之最大吸收量(0.008)和單位轉換因子(1000)之函數估算如下：

$$\text{RNH4U(L)} = \text{RLV(L)} * 0.008 * \text{FNH4} * 1000 * \text{DLAYR} * \text{SMDFR}$$

FNH4= NH_4^+ 之相對有效性

SMDFR=水分有效性

在 NO_3^- -N 之情況下，其吸收潛能可在高水分有效性以水分吸收之函數估算如下：

$$\text{RNO3U(L)} = \text{RWU(L)} / [\text{SW(L)} * \text{DLAYR(L)}] * \text{SNO3(L)}$$

RWU(L)=在 WATBAL 副路徑中計算之根水分吸收量

[SW(L) * DLAYR(L)]=土層之總水

量

$$\text{RWU(L)} / [\text{SW(L)} * \text{DLAYR(L)}] = 0-1$$

當水分有效性，SMDFR，小於 1.0， NO_3^- -N 吸收潛能之估計和 NH_4^+ -N 類似，對作物有效性之 NO_3^- -N，SNO3(L)，可將每 g 之可抽出性 NO_3^- -N 減去 1.0mg 後估計之，此 1.0mg 為非作物吸收者。根密度對整個剖面之氮吸收(供應)潛能，TRNU，很敏感，此二離子之供應和被吸收的難易可以各層土壤之水分狀態函數表示之，此時 NUF 為 0 至 1 的因子，被用來調整整個剖面氮供應量，TRNU，和作物需氮量，ANDEM，間之關係。根域土層 NO_3^- -N 之吸收量，UNO3，和 NH_4^+ -N 之吸收量，UNH4，可估計如下：

$$\text{UNO3} = \text{RNO3U(L)} * \text{NUF}$$

$$\text{UNH4} = \text{RNH4U(L)} * \text{NUF}$$

作物即依此情形吸收礦物性氮，分配至地上部和根；地上部氮之改變乃基於其氮需要量和植株總需要量之比，根之氮需要量亦以相似方法估計，但是由於衰化，而假定有 1.5% 的氮再淋失。

在 NFACTO 副路徑中，地上部氮濃度用來計算 3 個從 0 至 1 的氮缺乏因子(ND-EF1, NDEF2 和 NDEF4)，此 3 個因子分別影響葉、莖、子粒、根生長、子粒數和子粒氮濃度等之光合作用速率。NFAC 亦為從 0 至 1 之氮因子，其估算如下：

$$\text{NFAC} = 1.0 - (\text{TCNP} - \text{TANC}) / (\text{TCNP} - \text{TMNC})$$

此式提供作物氮缺乏之指標，當地上部實際氮濃度(actual above ground (tops) N conc., TANC) 在臨界濃度，TCNP，時 NFAC=1.0，氮不缺乏；當 TCNP 和 TANC 之差值增加，NFAC 下降，

則愈缺氮，因為作物之生長過程對上述 3 個氮缺乏因子之敏感程度並不相同。地上部臨界氮濃度，TCNP，即最小氮濃度，TMNG，均以生長之函數計算之，而TANC不可小於TMNC。

氮之淋洗和向上流動 (Leaching and Up-flux of N)

本模式假設所有存在於土層中之 NO_3^- -N， $\text{SNO}_3(\text{L})$ ，在尚未發生排水之前是溶解在土層中之水分中， $[\text{SW}(\text{L}) * \text{DLAYR}(\text{L}) + \text{FLUX}(\text{L})]$ ，所以 NO_3^- -N之淋洗可以下式估算之：

$$\text{NOUT} = \text{SNO}_3(\text{L}) * \text{FLUX}(\text{L}) / [\text{SW}(\text{L}) * \text{DLAYR}(\text{L}) + \text{FLUX}(\text{L})] * 0.5 * 0.8$$

NOUT=從土層L中淋洗出之 NO_3^- -N

$\text{SNO}_3(\text{L})$ =L層中之 NO_3^- -N

FLUX(L)=從L層中向下移動之水分
0.5=每單位孔隙度移動溶質之比例

(fraction of solute moved with each pore volume)

0.8= NO_3^- 吸附因子

由下層土壤發生之向上流動，其拉力為蒸發(WATBAL 副路徑)， NO_3^- 向上流動之估計和淋洗相似。

脫氮作用(Denitrification)

若土層中至少有一層發生排水時，則WATBAL之脫氮作用副路徑啟動，若任一層之水分超過DUL，其脫氮速率，DNRATE，可估算如下：

$$\text{DNRATE} = 6 * 10 * \text{CW} * \text{NO}_3(\text{L}) * \text{BD}(\text{L}) * \text{FW} * \text{FT} * \text{DLAYR}$$

CW=水溶性碳含量

FW=水分因子

FT=溫度因子

誌 謝

本研究係由行政院農業委員會補助經費(76農建-8.1林-7.8)。

參 考 文 獻

1. 吳銘塘、徐玉標。1974。玉米栽培需水量試驗 科學農業 22：58-61。
2. Duncan, W. G., and A. L. Hatfield. 1954. A method for measuring the daily growth of corn kernels. Crop Sci. 4:550-551.
3. Farmer, D. B., S. H. Parker and D. A. Spänel. 1986. File structure. In. C. A. Jones and J. R. Kiniry (eds.) CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development. Texas A & M University press. College Station.
4. Feddes, R. A. 1971. Water heat and crop growth. Thesis Comm. Agric. Univ. Wageningen.
5. Frey, H. M. 1981. Dry matter accumulation in kernels of maize. Crop Sci. 21:118-122.
6. Godwin, D. C., C. A. Jones, J. T. Ritchie et al. 1984. The water

- and nitrogen components of the CERES models. ICRISAT Symposium Proc.
7. Hunter, R. B. 1980. Increased leaf area (source) and yield of maize in short-season areas. *Crop Sci.* 20:571-574.
 8. Jensen, M. E. 1968. Water consumption by agricultural plants. In "water deficits and plant growth" (T. T. Kozlowski, ed.), vol. II. pp.1-19. Academic Press New York.
 9. Jones, C. A. 1982. Simulation of nitrogen response in Hydric Dystrandpeats. p.30-33. In Assessment of Agrotechnology transfer in network of tropical soil families. Benchmark Soils Project Report 3. College of Tropical Agriculture and Human Resources. University of Hawaii, Honolulu.
 10. Jones, C. A. and J. R. Kiniry (eds). 1983. CERES-Maize : A simulation model of maize growth and development. Texas A & M Uni. Prss.
 11. Kiniry, J. R., J. T. Ritchie and R. L. Musser. 1983a. Dynamic nature of the photoperid response in maize. *Agron. J.* 75:700-703.
 12. Priestly, C. H. B. and R. J. Taylor. 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large scale parameter. *Monthly Weather Rev.* 100:81-92.
 13. Ritchie, J. T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Res.* 8:1204-1213.
 14. Ritchie, J. T., J. R. Kiniry., C. A. Jones and P. T. Dyke. 1986. Model inputs. In C. A. Jones and J. R. Kiniry (eds.) CERES-Maize: a simulation model of maize growth and development. Texas A & M University press. College Station.
 15. Ritchie, J. T. and S. Otter. 1984. CERES-wheat: A useroriented wheat yield model. Preliminary documentation. Agristars Publ. No. YM-U3-044-JSC-18892.
 16. Sands, P. J. 1984. Tuber: simulation of the development and bulking of a potato crop. In: computers in agriculture. Proceedings of the National Conference.

17. Soil Conservation Service, USDA. 1972. National Engineering Handbook, Hydrology Section 4, Chap.4-10.
18. Stapper, M. and G. F. Arkin. 1980. CORNF: A dynamic growth and development model for maize (*Zea mays* L.). Program and model documentation. No. 80-2. Texas Agric. Exp. Stn. Blackland Research Center Temple. Texas.
19. Wilkerson, G. G., J. W. Jones, K. J. Boote, K. T. Ingram and J. W. Mishoe. 1983. Modeling soybean growth for crop management. Trans. ASAE. 26:63-73.
20. Williams, J. R., C. A. Jones and P. T. Dyke. 1983b. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. Trans. ASAE.
21. Williams, J. R., P. T. Dyke and C. A. Jones. 1983a. EPIC - a model for assessing the effect of erosion on soil productivity. In W. K. Lavenroth, G. V. Skogerboe, and M. Flug (eds.). Analysis of ecological modeling. Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam. London. New York.

Structure and Theoretical Basis of Maize - Crop Model

T. C. Juang¹⁾ Y. D. Hsieh²⁾ C. Lin¹⁾

(Received for publication: April 25, 1989.)

Summary

To improve agricultural production through the application of crop simulation model is newly developed approach in agricultural research. The calibration, verification and application of IBSNAT (International Benchmark Sites Network for Agrotechnology Transfer) maize model is the attempt of our effort in order to promote better agricultural production system in Taiwan. The crop model introduced is based on mechanistic principle and is driven by daily weather data and local soil, irrigation and management informations. The approach enables the quantitative description of dynamic crop production system and have the great potential for use in both yield prediction and crop management. INSNAT - maize model is mainly based on CERES (Crop Environment Resource Synthesis) -maize model with some modification at University of Hawaii.



1) Professor, Associate professor, respectively, Research Institute of Soil Science, National Chung Hsing University.

2) Former graduate student, now assistant, Tainan DAIS.