

# 電 腦

# 在農業上 之應用



## 前言

電腦的應用範圍極為廣泛。在美、日等高度開發國家中，由於電腦科技的高效運用，非特在科學研究上造成連鎖反應式的飛躍進步，更提昇了各種資源的利用效率與各行各業的生產力。影響所及，甚至每個人每天的起居作息，食衣住行均拜電腦之賜而受益無窮。在我國，電腦固已成為科學工作者的寵兒，即在教育、交通、金融及工商企業等方面的應用亦已漸趨成熟。然就農業界而言，除了農產運銷或農產品加工已略見電腦科技應用的規模外，在農業產銷體系中最重要的一環『農場經營』管理上卻仍處於未開發的嘗試階段。鑑於我國農業正面臨「不轉型即沒落」的危機，繼農業機械化之後，如何正確而有效地將電腦科技延用至農業生產體系中，推

動農場經營的「電腦化」，以謀農業生產資源之利用效率的提昇，從而增加農民所得，改善其生活品質，並保護我國的農業生態環境，實乃國內農業研究人員亟應從速努力以赴的方向。本文將就國外應用電腦科技於作物栽培管理的現況作一簡介，以說明電腦在農業上應用之一斑，藉供有志於此者之參考。

## 前饋式適應控制系統

古典的農業經營概以「追求高產」為目標；而管理上則多採回饋式的補強策略（feed-back reinforcement）。如：在作物出現缺水、營養失調或病蟲侵襲等症狀時，即進行灌溉或肥料、農藥等的投施，以導正作物的生長發育或抑制病蟲害的漫延，減少收量上的損失。這種管理策略的缺失是常會因錯過投施的最佳時機而無法獲致預期的效果，

或因投施後的生產效益低於投施成本而得不償失。甚而病癥出現時，根本已無計可施。例如：在水稻幼穗分化完成之後發現缺氮症狀，此時再追施氮肥，其肥效已遠不如在幼穗分化開始至幼穗長度 2 mm 前施用的肥效。又如：在水稻乳熟期發現有褐飛虱危害，為謀高產，根本不考慮當時之蟲口密度或其增殖趨勢，立即施藥徹底防治；俟成熟收穫時，才發現近鄰未施藥的稻田之產量損失極為輕微，施藥所獲之產量效益抵不過施藥成本，同時對於生態環境也造成不必要的污染。再如，由於早期施肥量過多，造成營養生長過度繁茂，以致作物植冠內微氣象惡化，甚而造成倒狀；此時縱使有心補救，往往已無計可施。

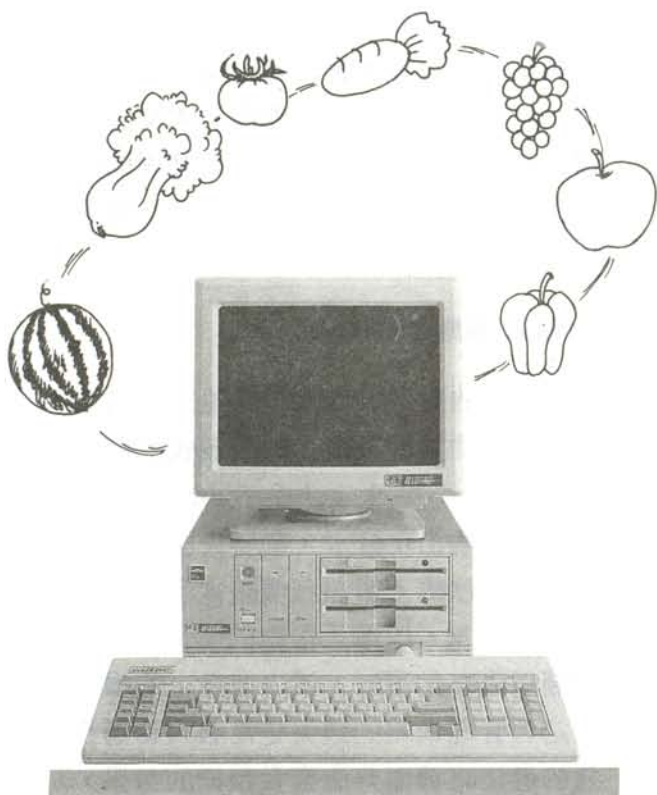
美、日、澳、荷等國家許多學者早

在二十年前就開始致力於「作物生長動態之模擬模式 ( simulation model of crop growth dynamics )」的研究，希望能把作物「種在電腦裏面 ( 'Planting 'them in the computer )」，亦即希望藉電腦之高速運算功能，模擬作物在各種生態環境下的生長動態。而由此則可：

(1) 估算各種作物對日光能、灌溉水等自然資源的利用效率，據以規劃出各地區之最適栽培制度。

(2) 監視 ( monitoring ) 或預測 ( forecasting ) 病菌、害蟲及其他天敵等生物之族群結構的動態，如：稻熱病菌之主要小種或褐飛蝨的各種生態型之絕對或相對頻度的經時變化，以釐訂不同抗病型或抗蟲型作物品種的輪替方式，從而減低病蟲害大發生 ( outbreak ) 的機率。

(3) 預測當季作物之田間生態系統的行爲 ( system behavior ) 即：預估作物之生長與發育進度，土壤中之水份與可用的有機或無機養分含量的變化，田間雜草、病菌、昆蟲等生物族群密度的增殖過程，以及彼此間相互關係的變化；以便於預定除草、灌溉、施肥或病蟲害防治的最適時機。並估算各項投施的經濟閾 ( economic threshold ) 與投施報酬率，以為投施決策的依據；從而「控制」作物的生長發育，使之「適應」於所處環境的變化，達成預期的生產目標，獲致最有利的報酬。此即近代作物生產技術上所謂之「前饋式適應控制 ( feed - forward adaptive control )



」管理法。

做爲一個輔助農場管理的模擬模式，在結構上必須相當簡單，同時須具備正確地模擬作物生長與人爲投施或環境因子變化間之計量關係的功能。然則作物之田間生態系統實極盡複雜而難於解析，更遑論以有限的數式去描述或模擬其系統動態。因而農業生產之電腦化實在是棘手的事，也因而很多農業學者視之爲空中樓閣，而嗤之以鼻。但是，若能以系統分析（system analysis）上的方法，適當地將整個系統劃分爲若干個範圍較小的副系統，並邀集各具專長的作物科學家同時在一試驗田或大型人工氣候室中分別研究各副系統的行爲，俟取得足夠的數據後（常須五、六年以上的時間），先分別就各個副系統在試驗中所獲的結果配合文獻上可用的資訊，予以妥善地整合及數式化爲副模式，而後再以函數關係來聯結各個副系統，便可能完成一個系統模式的雛形。隨後再將之編撰爲電算程式，在電腦中進行模擬；以模擬所得的結果與田間或氣候室中實測結果進行比較，據以修改模式及程式；如此反覆進行電腦模擬、田間試驗、比較、修正，一旦模擬結果與試驗數據間的差距小到可以忽視的程度時，一個「堪可一用」的作物生長模擬模式就誕生了。

早期發展成功的模式，概屬局部性的副模式。此如：輔助診斷病、蟲或營養缺乏症狀的模式，預測病勢進展的模式，預測作物發育進度的模式，估算植冠光合作用的模式等等均是。而後經由

妥善的整合、修正，才漸有模擬整個作物生長動態的系統模式出現。最早成爲農場管理電腦化的應用模式，當推模擬棉花生長動態的模式：SIMCOT（Duncan, 1972）。此模式在1975年前後即成爲北美棉農廣加運用的農場管理模式。農場內設置有簡易的氣象站，及一部與農業推廣單位結成資訊網路的智慧型終端機（微電腦）。而以SIMCOT爲基礎發展而成的套裝軟體，會自動紀錄氣象數據，據之估算棉花的每日生產量，預估植冠封閉（closed canopy），花芽分化、結蕾、成熟等發育日期，以供決定除草、灌溉、施肥及收穫的適當時機。並且，由氣象數據及田間病菌、害蟲密度數據，預估病害、蟲害危害程度（severity）的進展，並於特定時機自動發出警訊，以供防治決策的參考。此外，在任何一項投施之前，都可透過資訊網路，查詢當季市場價格與氣象的長期預測，預估投資的淨收益，投施與否及投施量之決策依據。由於這套棉田電腦化管理系統的應用，使得棉農之收入大爲提高與穩定，生活品質亦因此大獲改善。

日本日立情報研究所亦於當時推出「萵苣加速栽培系統模式」據此進行萵苣的溫室栽培，其任何一項管理上的措施均由電腦監控，自動執行，在產期調節，產量及收益的提高上均獲得極大的成就。其後模擬甜菜（SUBGRO; Loomis等, 1975）、玉米（SIMAIZ; Duncan, 1976）、大豆、菸草（Wann & Raper, 1979）等電腦模擬程式

亦相繼推出，也都獲致可觀的成就。

近年，在尼德蘭 Wageningen 農業大學，由 de Wit 領導數位科學家，更致力於發展一套具有最大彈性（可適用於多種作物在不同緯度栽培管理之用）及最大包容力（模擬範圍包括作物生長，土壤物化特性之變化，雜草、病菌、害蟲與天敵等生物之族群動態，作物對各項設施因子之反應等等）的綜合模式（combination model）：SUCROS（Simple & Universal CROP growth Simulator），並已獲得初步成功。此模式之初版在 1982 年推出，修正後，於 1986 年推出第二版：SUCROS '86；此修正後的綜合模擬模式刻正接受各地作物科學家的評估，其成功應屬樂觀。

### 結語

由前面的說明不難知道，目前要在國內全面推行農業經營電腦化，從而提昇我國農業技術的水平，可能性並不大。甚至僅僅於農業研究機關的試驗農場內嘗試這種藉電腦模擬作物田間生態系統，以行作物栽培之「前饋式適應控制」管理的方法，也不是一蹴可及的。按照國內電腦硬體工程技術的水準，只要經費充裕，當然很快就能購置必要的硬體設備，而且也可能自國外引進已經發展成功的有關軟體加以應用。然則，一個彈性愈大，功能愈多的系統模式，在運用之前所須饋入的資訊或參數（parameters）也愈多。例如：(1)栽培品種之感光或感溫性、植冠特性、最大同化速率、同化物質在器官間之分配等，及

此等特性與栽培密度、施肥量、氣象變數間的動態關係，(2)土壤的物理、化學特性以及土壤內之微生物或雜草種子的分布特性。(3)雜草、病菌、害蟲或天敵等族群結構的動態變化……等等，都必須有正確的計量性資訊可供饋入才能令一個「通用的」模式正確地模擬作物田間生態的系統行爲。而無可諱言的，目前在國內這些資訊並不充足。並且現存的資訊也大多屬於「分立性」、「斷代性」的數據，很難加以整合爲一套有系統的可用資訊。其次，國內對農業生態系統有深入認識的數學家或統計學家並不多；另一方面，願意在研究計劃之設計階段就邀集生物數學家或統計學家參與計劃的設計，並讓他們成爲由始至終的合作研究人員的計劃主持人也不太多。要取得有用的數據，並予以適當的分析、整合，再融入既有的模擬模式，甚至據以開發成專用的新模式，這種工作絕非在試驗結束後才“叫來”的。至此，我們應該已有一番共識：電腦硬體的發展一日千里，但若無可用的軟體，根本就無從發揮其應有的功能。爲推動國內農業經營的電腦化，亟須農業界內各方面的學者拋棄「文人相輕」的偏執，以恢宏的氣度互相合作籌畫出我國農業經營電腦化的藍圖；並滙集各人的專長與心力對我國特有的農業產銷體系進行「整體性」的深入探討，才有成功的一天。而且藉著這種團隊工作的研究方式，也許正可使我們衝破目前農學研究上的若干瓶頸，而在學術風氣的改良與研究水準的提昇上漸次有所謀求。 ❧