

植物病原之管理*

許秀惠 郭克忠**

一、引言

所謂「植物病害」是指一有機體(organism)與環境間的動態交互作用所引起植物體生理異常及形態改變之症狀。(Merrill, 1980)這些症狀包括生物性及非生物性所引起的因子。生物性因子含真菌、細菌、濾過性病毒、擬病毒體(Viroids)、線蟲、菌質體(Mycoplasma)、螺旋菌質(Spiroplasma),及寄生性種子植物等;而非生物性因子則含空氣、水及土壤污染、不當的作物栽培方式、及植物代謝產物,化學藥品如殺草劑、殺蟲劑及殺菌劑等產生的藥害與毒害等。

實際上若非環境適合,病原很難引起植物發病。所謂寄主、病原及環境間病害三角關係,對吾人從事綜合防治(Integrated management)頗為重要,實有再深入了解的必要。

關於病原與環境關係已有許多論文發表,這些生物氣象學(Biometeorology)的文獻描述氣候因子如何影響各種病原菌生活史中各時期的行為及導致病害的相互關係。較著名的「溫故」性(Review)文詳如: Bourke, 1970; Heptig, 1963; Reichert及Palti, 1967; Rotem, 1978; Stevens, 1934; Waggoner, 1965; 及Waggoner, 1968。除簡單介紹有關微氣相與植物病害外,本文將描述目前綜合防治的做法,以及氣象因子如何刺激病害發生與如何利用氣象資料做為病害防治的參考。

二、病害防治的策略

維持病害在一個經濟水平(Economic threshold)下發生相當困難。就真菌而言,由於其演化分歧及變異的特性,使真菌性病害無法單靠一種通用的控制技術而達防治的目的。比如真菌孢子的傳播,可藉著空氣、水、土壤等。濾過性病毒及菌質體則可以藉著昆蟲媒介傳播至數

百哩外。人更可以攜帶整株植物或局部的植物體,或土壤而將病原任意散佈。但也有某些真菌性病原只能藉著水濺而做短距離的傳播。若要對一些已可以適應不良環境的病原菌加以控制,問題就更加複雜。如一些線蟲的卵及一些鏽胞菌屬(Fusaria)的孢子可以在無寄主存在的情形下,於土壤中殘存數年而不致死亡,寄生性植物 *Orobanche ramosa* 的種子也可以在土中殘存達13年之久(Garnan, 1903)。

雖然有時以單一的方法就可控制病原,但由於病原菌的複雜性,吾人常需要使用一種以上的方法來控制病原菌,這些方法包括化學的、生物的、栽培上的,及物理技術等等,這種利用多種途徑以期有效控制病害的方法,便稱之為綜合防治。

(一)栽培及物理控制

各式各樣的栽培方法有助於增加植物的活力以抵抗病原菌的侵入,這些方式包括輪作、土壤酸鹼值的控制、適當的土壤濕度、配合氣候調節栽培方式及田間衛生等。

選擇良好的種植地點與種植時間可以避免植物體被各種致病因子所侵害。至於種植地點的選擇應盡量避免選擇土壤病原菌密度高的地區,及含植物殘體多的地方,以免藏大量的植物病原。至於栽培時機應擇有利於作物生長及發育而不利於病原生長的時間。另外利用輪作的方法也可以降低病原菌的族群。如麥類的全毀病(Take-all disease)病原 *Gaeumannomyces graminis* var. *tritici* 便可利用與非寄主作物輪作而達防治的

*本文改寫自 S. P. Pennypacker and R. E. Stevenson, "The management of Plant Pathogens", in J. L. Hatfield and I. J. Thomas 1982. *Biometeorology in Integrated Pest Management*. Academic Press, Co.

** 臺灣省農業試驗所助理。及國立臺灣大學植病所畢業現服軍役。

目的 (Cook, 1981)。

溫室、苗圃及田間植物可以藉著改變植物地上部或土壤的環境而避免病原菌侵襲。如林木植株距的適當調整，雜草的防除及植株適當的修剪，栽培方向的改變，土壤的覆蓋 (mulch)，都是調整栽培區微氣候 (microclimate) 而達控制病原的良好方法。

事實上，對如森林或經濟價值低的植物，調整生態環境是唯一較可行的方法。又如一些具地下根或塊莖的作物如馬鈴薯，甘藷的貯藏環境加以調整修改後，可促使傷口即早癒合而減少貯藏期間的腐爛 (Cunningham, 1953)。環境調節對溫室植物一樣有效，正確的烘乾 (heating) 及風乾 (venting) 技術有助於溫室植物葉片上自由水的揮發，而使病原侵入時較困難。如玫瑰黑斑病，僅在溫室中不採用高噴式的噴水裝置 (overhead watering systems) 便可達完全防除的目的 (Pirone *et al.*, 1960)。

另外對一些種子媒介及苗木枝條傳播的病害，選擇健康無病的砧木，是最好的方法。拔除病株，被病的枝條，罹病的植物殘體，消滅中間寄主如西洋杉 (Cedar)，醋栗 (Currant) 或小蘗 (Barberry) 以阻斷某些銹病菌的生活史均不失為良好的方法。

對付土壤病原的方法是田間灌水 (flooding) (Stoner 及 Moore, 1953; Stover, 1962)；或燒毀植物殘體 (Hardison, 1980; Parameter 及 Uhrenhold, 1975; Papendick 及 Cook, 1974)。

種子媒介之病害則可利用病原對熱較種子敏感的特點而以溫湯浸種法或熱療法將病原菌殺死。在種植作物前，土壤蒸氣消毒，尤其是對溫室植物是很好的方法 (Aldrich 及 Nelson, 1969; Baker, *et al.*, 1957)。最近更有人利用熱及輻射線處理種子或植物體來達到防治病害的目的 (Raychadhuri 及 Verma, 1977)。

植物檢疫法規的執行也是降低植物病害在不同行政區或不同國境間傳播的有效方法。

(二) 生物防治

目前有好幾種生物防治的方法用來控制植物病害，每種方法都是直接或間接的用生物體來控

制病原菌。

目前最好的方法是植物抗病育種。抗病性一般可分生理性及機械性兩種，生理性的抗病主要是植物與病原間有某種化學不親和性存在；機械性的抗病則是由於植物體產生某種物理性構造得以阻止病原的侵入及感染。有時植物的抗病能力可藉著改變植物體的營養狀況而改變。植物抑菌素 (phytoalexin) 類的物質也有助植物對抗病原 (Paxton, 1975)。經由育種吾人可得許多抵抗不同病害的植物品系，並可抵抗某種病害達數年之久，因此是目前較實用且經濟的生物防治法。其他如多品系 (Multiline varieties) 或 Klendusic 品系的種植，交互保護 (cross-protection)，超寄生 (hyperparasites) 及捕食性天敵 (predators) 的利用，都是可行的辦法。

當田間病原菌不只一種且族群數目很大時，可考慮混合幾種品系的作物種植，但需注意這些不同品系的作物必須具有共同的農藝性狀，僅有不同的抗病基因，但實際實行很難，所以目前成功的例子僅有兩個：在愛荷華 (Iowa) 的抗燕麥冠銹病 (Oat crown rust) 品系，另一為在墨西哥 (Mexico) 的小麥抗桿銹病 (wheat stem rust) 品系 (Browning 及 Frey, 1969)。

Klendusic 植物是指植物並非具有真正的抗病基因，而是它可以逃避病原媒介如昆蟲的取食而達逃病的目的。

病毒性病害，理論上可利用已失去病原性或病原性較弱的系統預先接種寄主，使寄主對病毒產生抗性，但田間實際應用仍很少。目前僅荷蘭利用來控制番茄嵌紋病 (Tomato Mosaic Virus) (Rast, 1979) 及巴西用來控制柑桔萎慘病 (Tristeza) (Costa 及 Muller, 1980)。

超寄生或捕食性天敵也是一種可行的生物防治法 (Baker 及 Cook, 1974; Papavizas 及 Lumsden, 1980) 利用非病原微生物來保護植物表面對抗植物病原。或在田間添加寄生菌核的微生物亦可降低接種源潛勢 (inoculum potential) (Ayers 及 Adams, 1981)，這些雖然尚未有很成功的例子，但還有發展潛力。

利用 *Pseudomonas fluorescens* 塗在棉花

種子上可控制猝倒病 (damping off) (Howell 及 Stipanovic, 1980), *Agrobacterium radiobacter* 防治根冠癌腫病 (crown gall) (Kerr, 1980), 及內生菌根保護松樹免遭 *Phytophthora cinnamomi* 的侵害 (Marx, 1975) , 這些均是利用微生物來保護植物表面免遭病害侵入的例子。但這方面的成就仍小, 尚待進一步研究。

(三) 化學防治

利用天然與合成農藥來防治病原菌已有悠久的歷史。若使用前述各種方法仍不能得到高品質高產量的作物, 則可考慮使用殺菌劑。這類藥劑通常用於阻止病原的感染 (infection), 定著 (colonize), 及阻止病原產生更多的子代。直接使用殺真菌劑 (fungicide)、殺線蟲劑 (nematocide)、殺細菌劑 (bactericide) 等可直接達到控制病害的效果; 但一些殺草劑 (herbicide)、殺蟲劑 (insecticide) 或殺線蟲劑亦可間接防治病害。如使用殺線蟲劑, 除可殺死線蟲外, 也使一些藉線蟲傳播的病毒或經由傷口侵入的真菌細菌等被摒除於植物體外。殺草劑因可以殺死雜草而減少病原棲息的場所, 減少病原菌之中間寄主等效果。對一些施用於土壤中的殺菌劑可以保護植物幼根免遭受猝倒病類的病害所侵害。

但所需注意的是一般殺菌劑偏重預防的效果, 很少有治療的效果。目前盛行的系統性殺菌劑 (systemic fungicide) 便具有這種功能, 它可經由輸導組織進入植物體內, 改變植物體內的生化變化或使病原不能產生毒質 (toxin) 或使毒質在植物體內不活化, 而達治療的效果。

三、利用氣象資料預測植物病害的流行

正確的施藥時間對植物保護工作非常重要。一般根據病原菌猖獗的程度來決定噴藥間隔時間。吾人最理想的目的在於訂定最少的噴藥次數而獲得最大的防治效果。

一種藥劑用於防治植物地上部時, 需要不斷重覆噴灑使植物體新生的組織也被藥劑保護, 所以欲達正確的噴藥次數以防治某特定病害, 必需

分析植物栽培地區的微氣象條件方可 (Beaumont, 1947; Bourke, 1970; Hyre, 1954; Hyre *et al.*, 1962; Kerr 及 Rodringo, 1967; Krause *et al.*, 1975; Madden *et al.*, 1978; Miller 及 O'Brien, 1957; 及 Stevens, 1934)。

進行綜合防治時必需先了解寄主、病原菌、環境三角關係。所謂環境是指除了寄主與病原菌以外的所有生物性, 化學性及物理性的因子。比較重要的因子包括: 空氣、土壤溫度、露水、雨量、土壤濕度、通氣性、物化性質、pH 值、土壤肥沃程度及植物病原的媒介體等。

病害管理系統設計常考慮環境與病原菌的動態關係, 有時也考慮寄主的生長發育因子等。目前所有管理模式都是統計模式或數學模式, 除前述資料外亦考慮生物因子及栽培區的氣象資料等。栽培區的氣象條件, 如大氣條件與病勢發展有關, 但其相關性如何尚不清楚。一般言之, 植物栽培區的氣候資料 (weather data) 與大氣資料 (climate data) 不盡相同, 所以病害流行預測考慮栽培區的微氣候條件比氣象資料要準確且重要。

根據過去或現在的氣候資料, 了解病原與氣候的關係後, 可為病害預測的參考, 找出最適合的施藥時間, 殺死病原菌。病害預測模式在 1800 年代末期就發展出來, 當初只注意氣候資料, 很少注意生物資料。

下列表 1 中的十種預測系統乃輸入各種資料而製成, 有的只依據溫度作為指標如 Stewart's wilt (Stevens, 1934) 及菸草綠黴病 (Miller 及 O'Brien, 1957)。有的則根據生物性資料如 North leaf blight of sweet corn (Berger, 1972)。在 tea blister blight (Kerr 及 Rodringo, 1967) 及葡萄露菌病 (Miller 及 O'Brien, 1957) 是根據生物及氣象因子而設定。

以馬鈴薯晚疫病為例, 該病原 *Phytophthora infestans* 在 1846 年造成愛爾蘭大饑荒, 著名的 Dutch Rules 就是針對本病發展出來的預測系統, 當時考慮了好幾個氣候因子如溫度、雨量、露水及雲量等因子 (Everdingen, 1926)。今

表1 建立十個病害預測系統所引用的資料

System	Input data						
	Weather (a)					Biological	
	T	RH	RAIN	DEW	Td	LIGHT	
Stewart's Wilt	X						
Tobacco Blue Mold	X						
Northern Leaf Blight of Sweet Corn							X
Tea Blister Blight				X		X	X
Downy Mildew of Grape	X	X	X	X	X		X
Potato Late Blight							
-Dutch Rules	X		X	X		X	
-Blitecast	X	X	X				
Apple Scab							
-Mill's	X		X				
-MSO	X	X		X			
Tomato Early Blight	X	X	X	X			

(a) T = temperature
 RH = relative humidity
 RAIN = rainfall
 DEW = dew period or leaf wetness
 Td = dewpoint temperature
 LIGHT = photoperiod or cloudiness

在美國的東北部則流行一種稱為 Blitecast 的系統以預測本病害 (Krause *et al*, 1975)。這個模式主要根據氣溫、相對濕度 (Hyre, 1954) 及中北部各州所使用的雨量—溫度法 (rainfall-temperature method) 所發展出來, 在適當時間建議噴藥 (Krause *et al.*, 1975) 目前這些數字資料均已輸入電腦中作自動化處理 (Mackenzie 及 Schimmelpfennig, 1978), 電

腦根據過去12小時的氣溫, 相對濕度及雨量來建議農民不噴藥或幾天噴一次藥。

過去三十年來, 果農利用 Mills (1944, 1951) 所發展出來的方法來控制蘋果黑星病。該法主要找出病原菌 *Venturia inaequalis* 在不同溫度濕度下侵入植物體所需的時間, 利用其相關性, 果農可依不同溫度, 下雨量多寡而決定施藥時間。近年 Jones 更加入相對濕度因子修定該系統, 使這個系統有些類似馬鈴薯晚疫病的 Blitecast 系統。果園中有許多電子儀器測定溫度、葉片濕度及相對濕度等資料, 同時加以分析以預測病原菌侵入的時間而適時加以防治。

番茄早疫病的預測系統 FAST 也是最近才發展出來的病害預測系統 (Madden *et al*, 1978)。病原菌 *Alternaria solani* 一直是美國東北部番栽培區中最重要的葉部病害, 過去噴藥並不考慮環境因子, 約每隔 7~10 天噴一次藥。現在則先測定溫度、相對濕度、雨量及露水資料後在適合產胞及侵入的環境發生時才加以噴藥。

Blitecast 模式及 FAST 模式其有效噴藥時間都是取決於溫濕度變化的經驗模式, 前者以溫度及葉片濕度為根據, 後者則以相對濕度、溫度及雨量為指標。

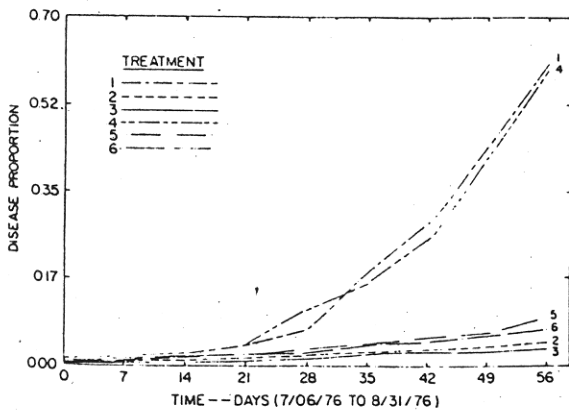


圖1 六種馬鈴薯早疫病的防治處理所造成病勢發展情形。1 = 不噴藥, 2 = 噴一次藥, 3 = 噴二次藥, 4 = 噴三次藥, 5 = 噴四次藥, 6 = 噴七次藥。

氣候資料取得並非難事，溫濕度的資料可利用溫濕度計，但需注意該計需放在田間離地 35 ~ 40 公分處，一個有加蓋的小室裏，葉片濕度則可以泰勒氏露點計 (Taylor, 1956) 測得，至於雨量則以簡單的雨量計便可。

FAST 預報系統在 1976 年第一次在田間試用。第一年的病勢發展曲線顯示：約 60 天的間隔自不噴藥至噴藥 13 次之間，噴藥 3 次與 7 次的效果相同。四年來該系統證明預測效果頗佳。它提供第一次噴藥時間及日後需要更進一步噴藥的時間，結果節省 44% ~ 78% 的燃料、農藥、勞力、器材損失及可能對生態所造成的損害。

一個好的病害預測系統必須輸入周延的環境資料，方可奏功，且必需能正確預測植物病原的活性，不能太早亦不能太遲。過早施藥，將由於植物體繼續生長及農藥逐漸衰變而無法達保護的目的；但若太晚施藥，則可能病害已侵入植物體中，因而失去保護效果。因此，提供一個正確的噴藥時間可說是一個病害預測系統最重要的工作。

四、利用氣候資料模擬植物病害的流行

建立病原菌生活史的模式有助於模擬一個病害的流行 (Waggoner, 1978)。最早的一個模式稱之為 EPIDEM，主要用來模擬馬鈴薯及番

茄早疫病 (Waggoner 及 Horsfall, 1969)。後來逐漸有很多模式陸續推出：如 MYCOS 係菊花葉燒病 (*Ascochyta blight*) 的流行模式 (McMoy, 1971)，病原 *Mycosphaerella ligulicola*；1972 年 EPIMAY (Waggoner et al, 1972)；1973 年 EPICORN 為南方玉米胡麻葉枯病 (leaf blight) 的流行模式 (Massie, 1973)，病原 *Helminthosporium maydis*。1973 年 EPIVEN 及蘋果黑星病 (*Venturia inaequalis*) 的流行模式 (Krantz et al, 1973)。

由於這些模式的架構都算嚴密，因此只要稍加修飾便可作為另一個病害的模擬系統。為達此目的，一個較具彈性的模型稱之為 EPIDEMIC 被用來評估小麥條銹病 (*Puccinia striiformis*) 的病害流行模式均是利用一組環境資料模擬病勢發展的情形 (見表 2)。

生物性反應無非是時間與氣候因子的交互作用，因此在開始建立病害流行預報系統時須對電腦輸入初接種源的量 (initial amount of inoculum)、植群密度，特定時間內病組織的比例，大氣中孢子濃度等資料。另外，濕度通常是病害流行的主要原因，可分為相對濕度、露點溫度、露水時間 (dew period)、雨量及土壤濕度等均需分別加以考慮。病原菌孢子脫離胞柄及散布的模式，則可藉風向、風速及氣體的擴散

表 2 建立六個植物病害電腦模式所引用的資料

System / Reference	Input Data						Biological
	Weather (a)						
	T	RH	WIND	RAIN	DEW	LIGHT	
EPIDEM, Waggoner and Horsfall, 1969	X	X	X	X	X	X	
MYCOS, McMoy, 1971	X	X	X	X	X	X	X
EPIMAY, Waggoner, 1972	X	X	X	X	X	X	
EPICORN, Massie, 1973	X	X	X	X	X		X
EPIVEN, Krantz et al., 1973	X	X	X	X	X	X	
EPIDEMIC, Shrum, 1975	?	?	?	?	?	?	?

(a) T = Temperature

RH = Relative humidity

WIND = Wind speed

RAIN = Rainfall

DEW = Dew period or leaf wetness

LIGHT = Photoperiod or cloudiness

? = Requirement is dependent upon the host/pathogen system being simulated.

係數 (diffusion coefficients) 求得。光照明 (photoperiod) 則由測定光質和光量而得。

五、監視性氣候預報資料

建立一個病害預測模式需分析許多生物性或物理性的變因。目前電腦技術已很容易根據這些變數來決定病害流行的方程式。由於這些程式都經過統計分析，因此對變動的環境或病原寄主品系差異能有較大的容忍度。若該方程式漏了考慮其中任何因子均將導致田間式實驗室模擬預測失敗。有一些研究顯示，在實驗室所得結果與在田間所得結果並不相同，這可能由於彼此環境仍有差異的緣故 (Pennypacker 及 Stevenson ,1980)。

度量田間及控制環境下的物理因子量並非難事，所需的儀器在最近曾討論過 (Pennypacker , 1978)。在控制的條件下，如正確的設計試驗，選擇正確的感應器 (sensor)，並且正確的安置感應器，將可得到正確的資料。在建立植物病害模式時需要隨時注意這三個原則才可。同時吾人引用這一類的文章也須小心，因為它可能不適合你的要求，比如在靜態環境中得到的生物性資料與事實上所得值不盡相同。

利用實驗室的設備可以模擬寄主或病原在不同環境下的各種反應，但這與在田間所搜集的資

料往往不一致。這可能是測定田間環境的感應器數目有限，且放置的位置不周延的緣故，因此無法得到可以真正代表田間植物周圍微氣候變化的資料。所以往往一個地區性的預測系統建立後無法推於縣、省或全國而加以應用。故今後若建立可靠的模式，必須應用許多地區的氣候資料來加以分析，才可得較佳的效果。

環境對病原及植物所造成的影響，可自控制的環境下求得。而病害預測系統是利用上述基本資料外再參考田間資料整合而成的。從這些資料可清楚了解這些生物性或氣候變因如何影響植物生長及病原一寄主間微氣候變化。環境資料可來自許多地方如氣象局氣象站資料，電腦化資料，栽培區自設的小規模氣象站所得資料等。尤其在小栽培區以溫濕度計、雨量計、露水計通常已足以應用。

吾人可以利用適當的感應器及自動資料記錄器得到一些與病原菌消長有關的環境介值。近來已發展出一種以電池為動力的微電腦及微程式處理機 (microprocessors) 可用來監視 (monitor)、貯存 (storage) 及轉移 (transmit) 各種資料。大量氣候資料可用這種資料處理機加以處理而建立病害流行模式，而且除監督外，這些系統也可用來預測病害流行及病害管理模式。

利用感應器所建立的一個電腦系統簡明於圖

DISTRIBUTED SYSTEM

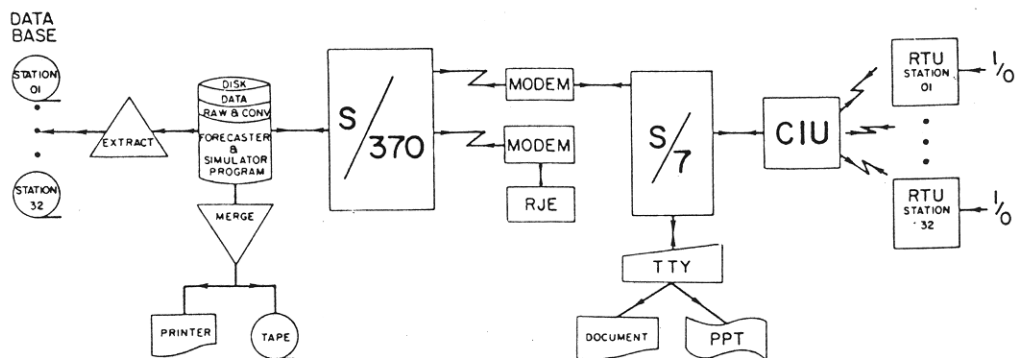


圖 2 監視氣象因子，管理生物性及物理性資料並作病害防治決定的電腦作業流程。(S/370 為主電腦； S/7 為搜集感應器紀錄資料的電腦； CIU 為中央通訊控制機， RTU's 為遠程終端機； TTY 為電動打字機； PPT 為卡帶； RJE 為打字機打入的終端業務系統。)

2, 由圖可知資料的取得, 控制及資料處理過程。整個過程使用兩個可以獨立操作的電腦。大一點的有八百萬個數元組, IBM S/370 Model 3033, 用來做資料處理。另外較小的一部電腦 IBM S/7 用來連接感應器作為一個原始資料的收集單位。其中監督系統稱為中央通訊控制機 (Central telemetry unit, CIU) 它能同時收集 1~32 個遠程終端機 (Remote terminal units, RTU's)。每個 RTU 可以監督或控制自主機所分出各個距離不等的 1 至 56 個任何介值。由於該系統的數據容量大, 因此可以廣泛利用。所得的資料可藉著硬卡 (hard copy), 打孔紙帶或磁碟利用電動打字機 (Teletypewriter, TTY) 送到中央處理電腦上, 以進行資料簡化 (data reduction) 及分析的工作

。終端業務 (remote job entry system), 使生物資料及電腦程式進入該系統內。同時也藉著該系統吾人可以獲得病害管理的資訊決定 (Pathogen Management decisions) 如此可連續同時監督好幾個位置的微氣候資料。這個系統在研究病害流行模式及建立病害預報系統上非常有用。

除上述功用外, 這一套電腦在賓州還被用做全州植物病疫情報的貯藏、修訂及發佈上 (Pennypacker *et al*, 1976)。總之, 該系統可以用來作病害資料縱的收集, 也可做橫的記錄, 既可找出病害發展模式的軌跡還可找出不同地點不同病害發生的主要影響因子為何。它同時也可以告訴吾人病害防治的最適時間, 做出病害管理記錄及發佈防治命令等。

引用文獻

1. Aldrich, R. A., & P. E. Nelson, 1969. *Plant Dis. Repr.* 53:784-788.
2. Ayers, W. A., & P. B. Adams, 1981. In "Biological control in crop protection," (G. C. Papavizas, ed.), Beltsville Symp. Agric. Res. Vol. 5, Allanheld, Osmun & Co., Montclair, New York.
3. Baker, K. F., & R. J. Cook, 1974. "Biological control of plant pathogens." W. H. Freeman, San Francisco. 433 pp.
4. Baker, Kenneth F., *et al.* 1957. *Calif. Agric. Exp. Sta., Man.* 23:332.
5. Beumont, A. 1947. *Trans. Brit. Mycol. Soc.* 31:45-53.
6. Berger, R. D. 1972. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 85:142-144.
7. Bourke, P. M. A. 1970. *Ann. Rev. Phytopathol.* 8:345-370.
8. Browning, J. Artie, & K. J. Frey, 1969. *Ann. Rev. of Phytopathol.* 7:355-382.
9. Cook, R. J. 1981. *Phytopathol.* 71:189-192.
10. Costa, A. S., & G. W. Muller, 1980. *Plant Disease* 64:538-541.
11. Cunningham, H. S., 1953. *Phytopathol.* 43:95-98.
12. Everdingen, E. van. 1926. *Tijdschrift Plantenziekten.* 32:129-140.
13. Garnan, H. 1903. *Ky. Agric. Expt. Sta. Bull.* 105. 32 pp.
14. Heptig, G. H. 1963. *Ann. Rev. Phytopathol.* 1:31-50.
15. Hardison, J. R. 1980. *Plant Disease* 64:641-645.
16. Howell, C. R., & R. D. Stipanovic, 1980. *Phytopathol.* 70:712-715.
17. Hyre, R. A. 1954. *Plant Dis. Rept.* 38:245-253.
18. Hyre, R. A. *et al.*, 1962. *Plant Dis. Rept.* 46:393-395.
19. Jones, A. L. *et al.* 1980. *Plant Disease* 64:69-72.
20. Kerr, A., & W. R. P. Rodrigo, 1967. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 50(4): 609-614.
21. Kerr, D. 1980. *Plant Disease* 64:24-30.
22. Krause, R. A., & L. B. Massie, 1975. *Ann. Rev. Phytopathol.* 13:31-47.
23. Krause, R. A., L. B. Massie, & R. A. Hyre, 1975. *Plant Dis. Rept.* 59:95-98.
24. Kranz, J., Mogk, M., & A. Stumpf, 1973. *Z. Pflanzenkrankh.* 80:181-187.
25. MacKenzie, D. R., & H. G. Schimmelpfennig, 1978. *Blitecast System. Am. Potato J.* 55:384-385.
26. Madden, L., S. P. Pennypacker, & A. A. MacNab, 1978. *Phytopathol.* 68:1354-1358.
27. Marx, D. H. 1975. In "Biology and control of soil-borne plant pathogens," (G. W. Bruehl), pp.112-115. *Am. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minnesota.*
28. Massie, L. B. 1973. Modeling and simulation of southern corn leaf blight disease caused by race T of *Helminthosporium maydis* Nisik. and Miyake. Ph.D. Thesis. Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania. 84 pp.
29. McMoy, R. E. 1971. Epidemiology of chrysanthemum Ascochyta blight. Ph.D. Thesis. Cornell University, Ithaca, New York.
30. Merrill, W. 1980. "Theory and concepts of plant pathology." 2nd Ed., The Department of Plant Pathology, Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania.
31. Miller,

- P. R., & M. J. O'Brien, 1957. *Annu. Rev. Microbiol.* 11:77-110. **32.** Mills, W. D. 1944. *N. Y. Agric. Exp. Stn. (Ithaca) Ext. Bull.* 630:4. **33.** Mills, W. D. & A. A. LaPlante, 1951. *New York Agric. Exp. Stn. (Ithaca) Ext. Bull.* 711:18-22. **34.** Papavizas, G. C. & R. D. Lumsden, 1980. *Ann. Rev. Phytopathol.* 18:389-413. **35.** Papendick, R. I., & R. J. Cook, 1974. *Phytopathol.* 64:358-363. **36.** Paxton, J. D. 1975. In "Biology and control of soil-borne plant pathogens," (G. W. Bruehl, ed), pp.185-192. *Am. Phytopathol. Soc., St. Paul, Minnesota.* **37.** Parameter, J. R. Jr., & B. Uhrenhold, 1975. *Phytopathol.* 65:28-31. **38.** Pennypacker, S. P., H. D. Knoble, & J. L. Longenecker, 1976. *Proc. Am. Phytopathol. Soc.* 3:246. **39.** Pennypacker, S. P. 1978. In "Plant Disease: An Advanced Treatise," (J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds.), II:97-118. *Acad. Press.* **40.** Pennypacker, S. P., *et al.* 1978. *Proc. 3rd ICPP., Munich.* p.327. **41.** Pennypacker, S. P., & R. E. Stevenson, 1980. *Protection Ecol.* 2:189-198. **42.** Pirone, P. P., B. O. Dodge, & H. W. Rickett, 1960. "Diseases and pests of ornamental plants." 3rd Ed. *Ronald Press Co., New York.* 776 p. **43.** Rast, A. B. 1979. *Neth. J. Plant Pathol.* 85:223-233. **44.** Raychaudhuri, S. P., & J. P. Verma, 1977. In "Plant Disease: An Advanced Treatise," (J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds.), I:177-189. *Acad. Press.* **45.** Reichert, I. & J. Palti, 1967. *Mycopathol. Mycol. Appl.* 32:337-355. **46.** Rotem, Joseph. 1978. In "Plant Disease: An Advanced Treatise," (J. G. Horsfall and E. B. Cowling, eds.), II:317-337. *Acad. Press.* **47.** Shrum, R. D. 1975. *Progress Rept.* 347. *Agric. Expt. Sta., Pennsylvania State University.* 81 p. **48.** Stevens, N. E. 1934. *Plant Dis. Rept.* 12:141-149. **49.** Stoner, W. N., & W. D. Moore, 1953. *Plant Dis. Rept.* 37:181-186. **50.** Stover, R. H. 1962. *Commonw. Mycol. Inst. Phytopathol. Pap.* 4:1-117. **51.** Taylor, C. F. 1956. *Plant Dis. Rept.* 40:1025-1028. **52.** Wallin, J. R. 1951. *Phytopathol.* 41:37-38. **53.** Waggoner, P. E. 1960. In "Plant Pathology: An Advanced Treatise," (J. G. Horsfall, and A. E. Dimond, eds.), 3:291-312. *Acad. Press, New York.* **54.** Waggoner, P. E. 1965. *Annu. Rev. Phytopathol.* 3:103-126. **55.** Waggoner, P. E. 1968. In "Biometeorology," (W. P. Lowry, ed.), pp.45-66. *Oregon State University Press.* **56.** Waggoner, P. E., & J. G. Horsfall, 1969. *Conn. Agric. Exp. Sta., New Haven. Bull.* 698. 80 p. **57.** Waggoner, P. E., P. E. Horsfall, & R. J. Lukens, 1972. *Conn. Agric. Exp. Sta., New Haven. Bull.* 729. 84 p. **58.** Waggoner, P. E. 1978. In "Plant Disease: An Advanced Treatise," (J. G. Horsfall and F. B. Cowling, eds.), II:203-222. *Acad. Press.*