稻熱病發生預測方法及系統

The Forecasting Methods and Systems for Rice Blast Disease

黃 益 田 *
Yih-tyang Huang

一、前言..... 31
二、預測之涵義及原理..... 32
三、發生預測方法..... 34
四、發生預測系統..... 52
五、結語..... 57
六、參考文獻..... 57
七、英文摘要..... 62

一、前 言

稻熱病之發生，係稻熱病菌 *Pyricularia oryzae* Cav.與水稻互相抗爭的結果。發生之輕重變化，則受病原菌量、致病性，水稻體質及周圍環境種種因素之相互影響。品種、土壤、肥培管理均可影響稻熱病之發生程度；然而，氣候盈縮之影響，亦極顯著。

稻熱病之防治方法主要爲栽植抗病品種及施用殺菌劑防治。種植抗病品種以預防稻熱病，固爲經濟上最理想之方法。事實上，欲求一極抗或抗病之品種，卻如鳳毛麟角，即使推出一新抗病品種，因病原無常，不數年即失去抗病性。因此，多年來，稻熱病之主要防治方法，端賴殺菌劑之施用。然而，藥劑防治之適當與否，須藉準確的病害預測，否則無法掌握防治適期，造成施藥不當，如施藥太遲或施藥過量，無形中增加防治成本。

稻熱病發生預測技術之研究，以日本之研究較爲寬廣及深入。其於1941年即實施由國庫補助的全國性預測事業；根據氣象、水稻生育相、稻株成分、水稻感受性、病菌分

* 桃園區農業改良場 研究員

生胞子之飛散狀況、葉稻熱病之病斑型等進行稻熱病之發生預測。並逐次開發新的機械，如回轉式胞子採集器及結露計，以及發展出多種利用氣象之預測方法[19]。近年，採用系統分析方法，究明各種因素之相互關係之網絡結構，利用電腦建立模擬模式(Simulation model)，藉以提高預測之性能。此外， 並利用電電即時銷售管理系統(Denden Real time sales management system)將發生預測情報連線化[41]。

台灣稻熱病之發生預測，始於1966年；根據氣象概況，作物生育概況及病害預測田之早期發現來發佈情報。逮至1975年，才由嘉試所及各區農業改良場等機構進行以發生預測爲目標之稻熱病流行病學研究；陸續由嘉試所發展出病斑面積率預模式[8,9,10]，桃園區農業改良場發展出初發期及盛行率預測模式，並開發完成葉稻熱病現場預報系統[4]。

稻熱病發生預測，可謂源遠流長，學者各本資料，確立方法，法有繁簡難易，巧妙不同。爲使讀者瞭然其功用及內涵，特綜貫國內外三十年來主要之預測方法及統攝晚近預測系統發展問題。並期體會確立預測系統之次第及全貌。

二、預測之涵義及原理

預測一詞，猶古之「占」，先民有所謂「占候」，就氣象之順歉等以推測五穀之豐凶。農政全書中記載「八月早禾怕北風，晚禾怕南風」，可能暖烘的南風易誘發晚植稻之稻熱病。此外，並有「是月遇東南風，謂之歲露，有大毒。若飢感其氣，開年著瘟病」[1]。今人所謂預測，係對於一未知或不確定事物未來可能演變的情形，事先予以推測。對任何事物從事推測時，如欲預測結果值得信賴，必須先蒐集預測該事物所需之資料，以科學的方法將此等資料妥予整理與分析，由此獲得預測值。

病害預測包括發生 (outbreak)，發展 (development)，感染 (infection) ，潛伏期 (latent period)等預測。稻熱病發生預測是指病害發生期及發生量之預測。發生期預測，如初發期 (initial stage of occurrence)或廣域發生期 (Simultaneous large area occurrence)預測等[12]。發生量預測是指發病强度 (Disease intensity) 預測，而發病强度又可區分爲發病率或病斑面積率 (Disease severity)，發病株率 (Disease incidence) 及發病盛行率 (Disease prevalence)。此外，又可因時間長短分爲短期與長期預測，主要依預測的性質及目的而定[48]。

影響病害發生或流行(epidemic)之因素爲：(1)寄主植物之誘因，(2)氣候，(3)病菌之感染潛力 (infection potential)。預測是以分析上述因素之調查資料爲基礎。過去多數病害發生預測方法之研究，旨在闡明病害發生與上述因素之一或各因素組合之關係。

表一所列即爲發展水稻病害發生預測方法必須調查之寄主、氣候及病原各因素之項目[33]。主要在定時作定點調查或在一地區作巡迴調查。然後根據調查所獲資料，用下述基本觀念發展預測方法。

1.根據過去的趨勢以預測未來。用爲預測未來之資料都屬過去的統計資料，而無未來的統計資料。例如時間系列法 (Time series)，即統計過去時間裡所發生的變化，以推測某種趨勢的方法。相關法 (Correlation)，則爲分析過去所發生因素之間的因果關係，斷定有其因必有其果的方法。

2.根據現在的指標預測未來，可稱爲類推法，這是探求存在於現在中的未來因素的方法。如橫斷比較法：取同一時間各地點之資料來作比較分析，以預測未來演變的方法。先行指標法：以現在的某些現象反應出來的跡象作爲指標。例如：「西天一片紅，明日定晴空」。紅霞的出現爲先行指標，指出明天的天氣一定晴天。「南天一陣風，稻瘟準發生」，山坳稻熱病常發地帶，颳南風則爲稻熱病發生之先行指標。現代之先行指標宜爲定量的指標，與古人之以物候爲徵之經驗法則不同。

3.根據模式的演算結果以預測未來，稱爲計量法。這種方法係由於電腦的發明始有急速的發展。利用電腦爲輔助工具作資料處理，建立統計或系統模式。

表一、確立病害發生預測之寄主、氣象及病原因素 (後藤，1962)

Table 1. Host-,weather-,and pathogen-factors to be integrated into forecasts of disease occurrence. (Goto, 1962)

	影響病害發生之因素 Factor affecting disease occurrence		
	寄主感病性或抗病性 Host susceptibility or resistance	氣象條件 Weather condition	病原菌 Pathogen
調查項目	1.品種 2.栽培型式 3.植株生長 株高 分蘗數 乾重 葉色 4.葉鞘澱粉含量 5.矽化細胞 6.植株化學成分 7.其他	1.最高、最低、平均氣溫 2.雨量 3.日照時數 4.日射量 5.相對濕度 6.風速 7.露水時間 8.淹水 9.其他	1.胞子量 2.病斑型 3.生理小種

三、發生預測方法

稻熱病發生預測方法之研究，以日本之成效最著。1941年日本即開始有組織地創辦發生預測工作。至1950年，根據植物防疫法開始辦理農作物有害動植物發生預察事業，而後依其實施要領，拓展成今日全國性之規模。其預測方法主要根據多年來各府縣試驗場所累積之調查資料研究發展而成。依其特性可分爲：利用病原調查之預測，側重稻株方面之預測及利用氣象要素與環境條件之預測[19,33]。國內近十年來亦根據氣象與發病資料，發展出數種預測方法。茲綜合國內外之報告，擇其要者綜述於次。

(一)傳染源密度為指標之預測方法

1.根據胞子採集法之預測[19,33]

胞子採集法之預測，又稱分生胞子飛散預測法，係根據水稻生育期某一時程分生胞子之飛散數與稻熱病之關係所導出之模式。有利用胞子採集器採集及幼苗採集之別。栗林氏等採用靜置式胞子採集法，將塗抹甘油之載玻片水平地裝置在採集台，設置在預測田中央高1公尺處曝露一晝夜後，計算 18x18mm 蓋玻片內之胞子數。日本長野縣自1934年起，30年間採用此法之結果顯示，7月中～8月上旬之每半旬所採集之胞子數(X)及其後之葉，穗稻熱病發病率(Y)呈高相關。尤其對穗稻熱病在防治適期前15-30日即能予以預測。

表二、依胞子採集數之稻熱病預測模式 (市川，1965)

Table 2. Forecasting models based on spore trapping (Ichikawa,1965)

月 半旬 Month	葉稻熱病 Leaf blast		穗稻熱病 Panicle blast	
	預測式 Model	r 值	預測式 Model	r 值
7. 4	y=1.99X+6.89±5.74	+0.66	y=0.77X+27.75±27.68	+0.60
5	y=0.23X+7.64±4.80	+0.67	y=0.78X+21.74±21.24	+0.60
6	y=0.09X+7.65±5.57	+0.67	y=0.27X+21.67±19.85	+0.71
8. 1	y=0.09X+7.34±4.90	+0.67	y=0.45X+17.81±18.14	+0.66
2	y=0.08X+6.81±5.00	+0.74	y=0.26X+16.24±14.00	+0.83

然而，靜置式胞子採集法在葉稻熱病病斑多及預先留有被害稻稈且胞子飛散密度高，才能採到。在暖地，孕穗期葉稻熱病病斑少時採集率低，有適用困難之

缺點。因此，鈴木氏設計回轉式胞子採集器，將塗抹甘油之載玻片在捕集器上裝好，設置在預測田中央或畦畔 1.3公尺高處，上午1～2時用馬達驅動一小時，回轉採集胞子。此法在靜置式無法採到之時候也可採到，甚至在高 8～17公尺之處也可採到。比靜置式使用範圍較廣。

利用幼苗採集胞子之方法，稱幼苗曝露法[26]，係以10cm徑之盆缽各種罹病種苗20支，在多氮條件下培育至5葉期，在水田曝露 1～3日；置於25℃之濕室，計算出現之病斑數。在靜置式胞子採集法無法於初發前採到胞子之水田，可用此法在 7～18日前推定胞子飛散，而且比在顯微鏡下調查附著胞子數之調查簡單。日本上越地方採用類似方法，可早日預知葉稻熱病之初發。

2.根據葉稻熱病發病度預測穗稻熱病發生之方法[19]

稻熱病之發生必須有病原存在，因此，亦可依據某一時期發病度爲胞子形成源之指標，預測往後之葉稻熱病。穗稻熱病之預測可利用孕穗期葉稻熱病發病度。例如，孕穗後期之每株病葉數(X)與穗頸稻熱病發病率(y)之間呈y=1.34X+3.40之關係(品種中生旭1號)，本式之預測準確率爲75%(誤差容許範圍 ±10%)。

3.由穀粒稻熱病發病度預測穗稻熱病之方法

1972年加藤氏等報告[53]，以穀粒稻熱病發病度爲指標之預測法，預測穗頸及枝梗稻熱病之發生。本法係變換栽培法試驗數年之結果所導出之方法，由穀粒稻熱病之初期發生量及初期增加率預測後期之穀粒發生量，其次利用後期之穀粒稻熱病與枝梗、穗頸稻熱病發生量之相關關係，由先前預測之穀粒稻熱病發生量再預測枝梗及穗稻熱病。

其程序如次：

(1) 穀粒稻熱病用 Logit轉換，出穗後第12日及第18日之值用外插法預測第24日發病率($\hat{Se}$)。

(2) 自各組資料求得經驗的矯正式 ($\hat{Sr}$=0.666 $\hat{Se}$-1.995)，以修正外插值。

(3) 求出穗後第24日之穀粒稻熱病發病率實測值及第30日枝梗稻熱病發病率實測值(PB_4)及穗頸稻熱病發病率實測值(NN_4)之迴歸式 (PB_4=0.32$\hat{Sr}$+2.785, NN_4 = 0.920$\hat{Sr}$+0.518) 。

(4) 將先前所得預測值之矯正值($\hat{Sr}$)代入此式，求信賴區內之上限、下限值對應之枝梗稻熱病及穗稻熱病之發病率預測值。

(5) 上述計算過程用 FORTRAN寫成程式，對應先預定之期望減收率，判定穗熱病要否防除。

(二)水稻之感病性為指標之預測方法

1.利用葉鞘接種法之預測：

最初由高橋氏提案[34]，此法係將預測田之水稻自初發前10日至出穗期爲止

，每七天取5支最長莖之第三葉鞘15公分（孕穗期以後第2葉鞘），用48小時內形成之胞子懸垂液，以玻璃針（spuit)注入葉鞘，放進培養皿，置於24～25℃之濕室保存40小時，測定病菌在葉鞘細胞內之伸展度，並求其與田間發病度之關係。1966年，千葉氏報導，就葉稻熱病而言，伸展度 2.0以上，最低氣溫18℃以上又連續 2日以上降雨少之情形下，檢定日起 5～10日後新病斑增加，若伸展度大時則病害激發。至於穗稻熱病，當孕穗期伸展度爲 2.0以上，出穗期之氣象條件與葉稻熱病相同，也有多發之傾向。然而高板氏指出，某一時期葉稻病之發病度乃因某一期間發病因素累積影響之結果；如以爲某一時期之伸展度與發病度有直接關係，則不合理。他認爲可以利用某一時期之累積伸展度與累積發病度之關係來預測。此外，在暖地，一般伸展度低，葉鞘接種法之利用有困難，又因供試菌病原性、病原力、試料易生變動，檢定又須勞力，評估結果認爲實用性有問題[19]。

2.利用水稻成分含有率之預測

稻熱病之發生程度，因植株所含成分之不同而有差異。許多學者認爲植株之可溶性氮、矽酸、可溶性氮與矽酸之比率，可影響植株對稻熱病之抵抗性。因此，亦有學者利用稻株某些成分之含量爲發生預測因子。

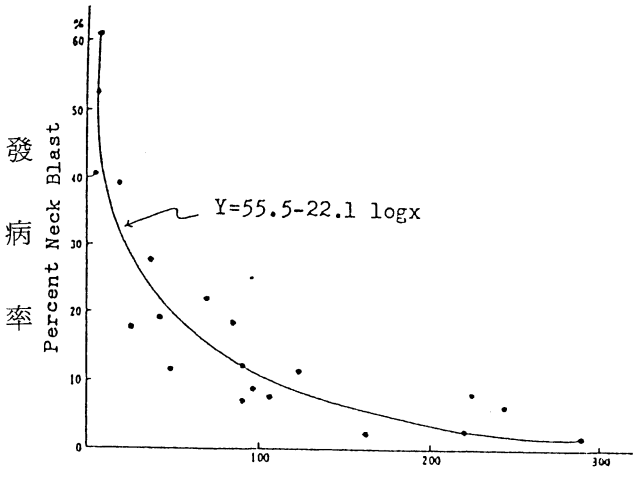
諸如利用葉鞘澱粉蓄積率作稻熱病之發生預測指標：以預測田之水稻爲對象，葉稻熱病初發之數日前，每隔 7日，在一定時刻切取10叢中之最長莖，取出上位 3葉鞘，縱切半截，用酒精固定脫色後，用碘化鉀液染色，再求葉鞘內澱粉分布長度與葉鞘長度之比以預測葉稻熱病。本法適用於山口縣， 7月中旬澱粉蓄積率40%以上葉稻熱病少發，10%以下多發[19]。新潟縣上越地方 6月中、下旬蓄積率60%以上葉稻熱病少發，20%之年有多發傾向。

此外，亦有以劍葉矽化度爲感受性之推定指標作發生預測。矽化度之測定，則在劍葉完全展開後第10日平均每株取2 片，合計20片，以葉面中肋爲界，切取右側葉片中點部分5x10mm，用酒精脫色，石炭酸處理後在 150倍顯微鏡下，檢數各葉片5個視野中之矽化機動細胞。山口縣中生旭1號爲例，劍葉矽化度 (X)與穗頸稻熱病發病率 (y) 之關係爲 y=55.5-22.1 logx ，如圖一所示，可供預測之用[26,27]。

(三)利用氣象要素及其他條件之預測方法

氣象環境對稻熱病之發生及蔓延與否，影響非常顯著。應用氣象條件之預測，先就預測時點之氣象資料與發病資料進行分析，找出其間之關係，然後發展最適合的法則、圖解和方程式。其所利用之氣象觀測值多由農業試驗場所或地方氣象臺取得。晚近爲研究侵入及發病，直接利用微氣象之觀測[19]。

利用氣象資料發展之稻熱病預測模式，可歸納爲三類：即經驗法則，整體(統計)模式和系統分析(模擬)模式。如發生類別[6]、初發期[48]、感染日[42]廣域發



圖一、劍葉矽化度與穗頸稻熱病發病率之關係

Fig 1. Correlation between degree of silification in flag leaves and percent of neck blast (Hori,1963)

生時期及急增期[12]、感染好適葉面濕潤時間[22]等預測屬經驗法則，病葉率、病莖率、發生面積、被害面積率預測屬統計模式[33]，一株病斑數及病斑面積率之預測爲系統分析(模擬)之應用[43]。

茲擇數種不同假設爲基礎所發展之預測方法概述於次：

Ⅰ、經驗法則之預測

(1) 氣象型之預測方法

此爲病害類別之預測法，係利用過去氣象資料整理分析，將多發年及少發年水稻生育期間之氣象特徵分類，作爲預測年比較類推之依據。大阪農試以1941至1950間之氣象分爲A.B.C.D.E.五型[33]。

A型：秧苗期開始發生，葉、穗頸稻熱病繼續發生，被害最大型。

B型：秧苗期開始發生，葉稻熱病發生少，穗頸稻熱病稍顯著多發型。

C型：秧苗期開始發生，葉稻熱病發生少，穗頸及節稻熱病多發，尤其穗頸稻熱病多發。

D型：秧苗期至本田期發生少型。

E型：異常少發型。

應用表三所示，根據每月之氣象型特徵及氣象長期預報綜合研判，可以預測多、中、少之發生程度。

表三、年之氣象型類別（大阪農試，1954）

Table 3. Types of weather conditions in each year and the occurrence of blast (Osaka Agr. Exp Sta. 1954)

型別 Type	調查項目 Items surveyed	五月 May	六月 Jun	七月 Jul	八月 Aug	九月 Sep	十月 Oct
A	Air temp.	av.+	av.+	av.-	av.~av.	av.~av.	av.
	Rainfall	av.+	av.++	av.+	av.+	av.+	av.+
	Sunshine	av.+	av.	av.-	av.--	av.	av.
B	Air temp.	av.+	av.	av.~av.+	av.~av.	av.	av.
	Rainfall	av.-	av.-	av.-	av.	av.	av.
	Sunshine	av.	av.++	av.-	av.--	av.~av.+	av.-
C	Air temp.	av.	av.+	av.--	av.+	av.	av.+
	Rainfall	av.	av.--	av.	av.--	av.+	av.++
	Sunshine	av.--	av.	av.-	av.+	av.-	av.-
D	Air temp.	av.-	av.+	av.++	av.	av.	av.
	Rainfall	av.	av.++	av.+	av.+	av.	av.-
	Sunshine	av.	av.~av.-	av.++	av.	av.+	av.+
E	Air temp	av.-	av.-	av.~av.+	av.+	av.	av.--
	Rainfall	av.+	av.--	av.--	av.--	av.--	av.-
	Sunshine	av.+	av.	av.++	av.++	av.	av.

av. average; av.+ higher than average; av.++ more higher than average
av.- lower than average; av.-- more lower than average

weather conditions that stimulate blast occurrence

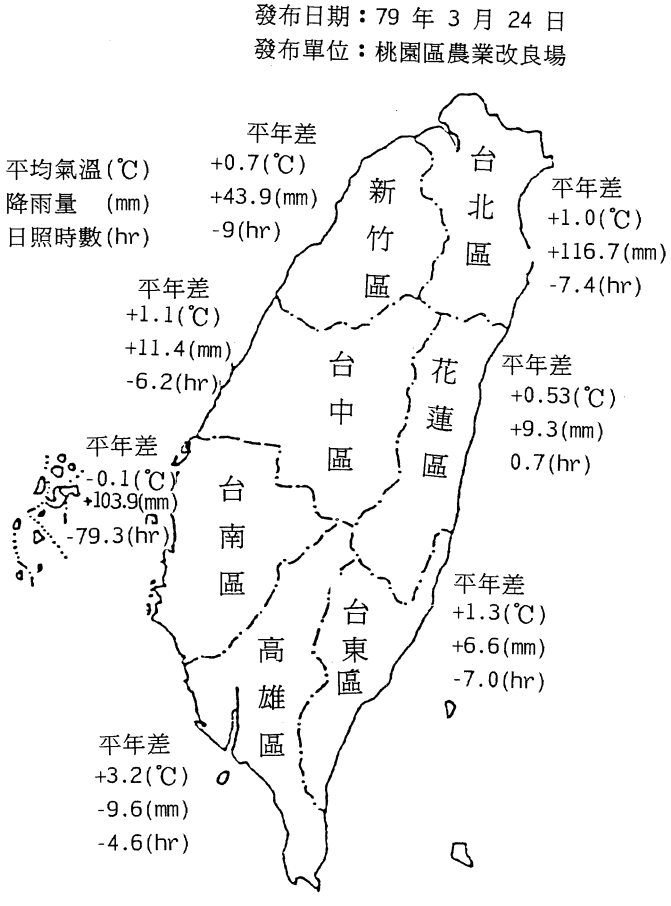
weather conditions that suppress blast occurrence

Weather conditions that cause heavy outbreak of blast

weather conditions that strongly suppress blast occurrence

上述氣象型的預測，實際上是一種類比法(Analogue techniques) 的運用。在本省，1980年黃氏[47]曾以病害發生程度來區分流行年（發病程度超過平年值）與不流行年（發病程度低於平年值），比較其氣候上的差異，可以發現各地區氣候幾乎具一致性差異變化。據其比較全省 7個地區流行年與不流行年冬季氣溫、日照、雨量的差異，獲得如下的結論：①流行年前冬氣溫比平年爲高。②除台北、高雄區外，流行年的日照比平年高。③除高雄區外流行年前冬的雨量比平年低。基於上述結果，黃氏確立類比法預測分析之原則。各地區之稻熱病流行條件有如下述。

台北地區：平均氣溫比平年高、降雨量、日照比平年低。新竹地區：平均氣溫及日照比平年高、降雨量比平年低。台中地區：平均氣溫、降雨量、日照均比平年高。台南地區：平均氣溫、降雨量、比平年高、日照比平年低。高雄地區：平均氣溫、降雨量、日照均比平年高。台東地區：平均氣溫、降雨量、日照均比平年高。花蓮地區：平均氣溫、日照比平年高，降雨量比平年低。此種氣象型比較結果可如圖一方式表示。並與迴歸法預測結果相互參照，作成預報。



圖二、今年本省冬季（12～2月）氣象型與平年之比較

Fig.2 Comparison of winter weather pattern for the present year with the pattern of normal year.

(2) 葉稻熱病全般發生開始期、急增期之預測[19]

小林氏[19]研究發現葉稻熱病之傳染過程包含全般發生開始期或廣域的初發生時期及急增期，其氣象條件有共通性，而此一時期爲防治之最重要時刻。於是倡議應用表四一般氣象法及微氣象因素，做爲預測之基準。

本法適用時期爲插秧後一個月至出穗前20天，滿足表四條件之日起，經過潛伏期間，即可見到全面發生及急增的現象。本法在日本秋田縣之預測準確率爲70～80%。

表四、葉稻熱病全般發生開始期、急增期之預測基準(小林 1984)

Table 4. Meteorological conditions as the basis for forecasting large area occurrence of rice blast (Kobayashi, 1984)

要因 Factor	一般氣象法 Ordinary meteorological observation	微氣象 Microclimatic observation
日射量 Solar radiation	無論當日下午或翌日上午或兩者分別均小於200cal/cm^2，日照時間不足2小時。	同左
降水量 Rainfall	19-8時，無降雨或繼續降雨而在1mm/hr以下，但偶强雨4.0mm/hr以上。	同左
風速 Wind speed	21-6 時株高上部位 10cm平均風速不足0.50m/s。	21～6時平均風速不足2.5m/s，一時强風不足4.0m/s。
濕度 Relative Humidity	21-6時平均濕度85%以上。	—
氣溫 Temperature	18-6時最低氣溫10℃以上。	—
結露 Dew	結露之推定基準適合(其1)(其2)。	—
侵入率 Penetration Percentage	—	在株高10cm部位上之結露時間及其時間內就冠層部平均氣溫推定侵入率在0.08以上 。

表五、水田內結露之推定基準(其1)(無降雨日，21時)(小林 1984)

Table 5. Estimation criteria for dew in rice fields.(R1)(No Rainy day. 21hr)(Kobayashi 1984)

1	21時之雲量10(除絹雲，絹層雲)	無結露
	21時之雲量10^{-1}以下，又絹雲，絹層雲之雲量10以下[1]	2
2	$\Delta T_{18}^{21} \geqq W_{18}$[3] 又$\Delta T_{18}^{21} \geqq W_{21}$	有結露
	$\Delta T_{18}^{21} < W_{18}$ 且 $\Delta T_{18}^{21} < W_{21}$	3
3	$\Delta T_{21}^{24} \geqq W_{21}$	有結露
	$\Delta T_{21}^{24} \geqq W_{21}$	4
4	$W_{21} > 3.0m/s$	無結露
	$W_{21} > 3.0m/s$	5
5	21時之雲爲絹雲又絹層雲	有結露
	21時之雲上述外	6
6	RH_{21}[2] $\geqq 90\%$ 且 $W < 2.0m/s$	有結露
	$RH_{21} < 90\%$ 又 $W \geqq 2.0m/s$	無結露

註) 1) 雲量10^{-1} ；全天雲覆有間隙。 2) ΔT_{18}^{21} 18時～21時氣溫降下度數(℃)。
3) W_{18}；在18時之風速及公尺數 (m/s)。4) RH_{21}；在21 時相對溫度(%)
以上一般秋田氣象台地上氣象觀測。

表六、水田內結露之推定基準(其2) (雨後之結露繼續) (小林1984)

Table 6.Estimation criteria for dew in rice fields. (R2) (continuing dew formation after raining)

雨後，靄、霧發生。又雨晴之時刻在18時以降，至日沒止之日射量爲 5cal/cm² 以下或日照時間爲零，濕度85%以上，風速2.5 m/s 未滿。

(3) 利用AMeDAS資料之葉稻熱病預測法〔22,23,24,25〕

利用AMeDAS資料預測葉稻熱病之方法簡稱 BLASTAM。此模式由越水氏研究開發完成。越水氏認爲電腦模擬模式非短期內可實用化，而歐美學者間對模擬模式是否爲惟一之實用性模式，見解各有不同。一向被人視爲單純之經驗法則其實用性，亦不可輕視，更何況今日之預測遠比明日之預測重要。有鑑於此，自1977年開始，利用1976年氣象廳完成之地域氣象觀測系統(Automated meteorological data acquisition system簡稱AMeDAS)之資料，研究稻熱病發生預測之方法。該系統遍及全國 840點，每日連續測定降水量、氣溫、日照時間、風速及風向等。本法係利用 AMeDAS 資料換算成葉面濕潤時間，用爲葉稻熱病廣域初發生時期，流行（發病增加）開始時期，大概發生程度及發生之地域差異之預測方法。此預測法爲面的預測而非點的預測，感染好適葉面濕潤時間的出現係採集體的測取。感染好適葉面濕潤時間之推定基準，係基於强風或連續降雨與空中胞子之飛散，葉面付著胞子之減少，葉面濕潤時間之長短，及基於溫度對病菌之侵入率之差異，並根據感染好適葉面濕潤時間出現前5日間之氣溫考慮胞子形成量之不同等事實，設定九項基準。適合感染葉面濕潤時間，略稱好適條件。並以九項基準及下述要領預測葉稻熱病之發生。

1)好適條件在適用期間初現日可預測至第七日廣域的初發生，好適條件出現多，發生範圍廣，病斑密度高。

2)好適條件最初出現起，只要沒有極低溫來臨，可預測在2週後流行或發病增加開始時期。

3)好適條件初現起，一週內再出現之時，其日數多，流行開始時期之病斑密度高，呈即時發病之情形。

4)好適條件全然不出現，或僅限於極少數地點，顯然廣域的初發生之可能性極低。

(4) 適發指數法之預測〔48〕

適發指數法，係由桃園區農業改良場所建立。適發指數法之建立，基於下列之假設：

1)葉稻熱病初發前之氣象條件對病勢發展最具臨界性。

2)插秧後至 4月10日期間（約插秧後32天）之氣象條件與葉稻熱病之發生關係密切。

3)葉稻熱病病勢發展之環境條件因地區而異。病勢發展受溫濕度不同組合之影響。

4)新竹地區適宜葉稻熱病之感染溫度範圍爲 22～26℃，濕度範圍爲 89～96%。

根據上述理念導出經驗法則之預測模式：以週適發指數 WnFI≧80 爲葉稻熱病初發期之符合指標 (Coincident indicator)；而初發期定義爲發病率0.01%～1%。WnFI 爲週適發指數移動合計，適發指數係適合葉稻熱病病勢發展之溫濕度組合之加權指數。此預測法可依下列條件運用：

1)如果符合指標（週適發指數）WnFI≧80，表示葉稻熱病已達初發期。

2)如果符合指標出現在臨界日期 4月10日之前，葉稻熱病可能嚴重。

3)如果符合指標出現在臨界日期 4月10日之後發生一定輕微，可作「不須防治」之決策。

採用指標法預測輕重，作爲發佈防治適期之基礎，在新竹地區應用，準確度相當高，由表七可以看出符合指標出現之遲速與葉稻熱病發生類別之關係。而週適發指數之計算如下：

$WnFI=\sum DnFI$

$DnFI=4(T_1t_1h_1)+3(T_2t_2h_2)+2(T_3t_3h_3)+1(T_4t_4h_4)$其中

$(T_1t_1h_1)$：1日內溫度落於24～26℃而濕度落於89～96%之小時數。

$(T_2t_2h_2)$：1日內溫度落於22～24℃而濕度落於89～96%之小時數。

$(T_3t_3h_3)$：1日內溫度落於26～28℃而濕度落於89～96%之小時數。

$(T_4t_4h_4)$：1日內溫度落於20～22℃而濕度落於89～96%之小時數。

表七、符合指標 (WnFI=80) 出現之遲速與葉稻熱病發生程度之關係 (黃，1988)

Table 7. Relation of appearance of coincident indicator (WnFI=80) to the outbreak of rice leaf blast (Huang, 1988)

年 Year	出現在限閾前或後 Before or after threshold	發生類別 outbreak
1977	前	重
1978	前	中
1979	前	重
1980	前	輕
1981	前	重
1982	後	輕
1983	後	輕
1984	後	輕
1985	後	輕
1986	後	輕

註：限閾指四月十日

Ⅱ、整體（統計）預測模式

稻熱病發生預測模式，向來多半應用簡單線性迴歸 y=a+bx，以y爲葉稻熱病或穗稻熱病之發生程度，× 爲特定期間之氣溫、雨量、日照時間等氣象要素，選取相關性最高者爲變數。一般分析用基礎資料爲 5～10年，資料不足，相關性低，多數相關係數在 0.6左右。如果擷取20年30年之資料，水稻栽培條件，病原之型態，防治法之改進，以簡單預測式不足以涵攝其複雜關係，因此爲多數學者所指摘[33]。由於單迴歸不易獲得穩定之預測準確度，後來有學者改採用數種氣象要素及水稻病原條件組合而成之複線性迴歸模式。

整體模式，實質上是經驗的模式，它把病勢進展過程當作一個黑盒處理，因其並未考慮自變數(預測因子)之效應及相互間之交感作用。其優點爲易於建立及應用方便，建立模式也較經濟。其缺點爲 (1)生物學邏輯差 (2)使用範圍只能內插，不能外延 (3)適用的時空範圍有局限性 (4) 只能作靜態預測，如高峰期的盛行率預測，而不能作動態預測，如逐日病勢變化之預測。

A.簡單直線迴歸預測模式

單迴歸預測模式，係以某特定時期之個別氣象要素與稻熱病發生程度之關係所建立之模式。發生程度之表示方法依採用之空間屬性 (Spatial attribute) 而有不同：因此就有病葉率、病莖率、發生面積種種預測模式：日本廣島縣，以病葉率爲 Y，7月第5半旬之降水量爲X,建立 Y=0.46+0.0126(X-13.04) 之關係式，宮崎縣則以病莖率爲 Y，6月中旬至7月上旬之日照時數爲 X，建立Y=-0.51X+137.32之關係式。在日本以單一氣象要素分析與平均氣溫有關者16縣，與日照降水有關者15縣，與濕度有關者12縣[33]。

B.複線性迴歸預測模式

由於各種氣象要素，相互之間有密切之相關關係。一般認爲二個以上氣象要素組合與稻熱病發生之相關性可能較高，因此，就有複數性迴歸模式之開發。例如福島縣之發生面積預測，屬複線性迴歸預測模式。其稻熱病發生量爲W,W=1.23X+25.93Y-25.04Z，X爲6月之日照時數合計，Y爲 1月之最低氣溫平均，Z爲4月之最低氣溫平均。而各地區所採用之氣象要素各有不同；如茨城爲濕度、日照及雨水，愛知、島松爲氣溫與雨水，兵庫爲氣溫與濕度，熊本爲日照與降水。甚至有些地方採用多元的發生預測方程式[33]。

本省應用複線性迴歸預測模式，始於 1979年。黃氏[2]利用1965－

1977年葉稻熱病發生面積資料及氣象資料，借助 CDC 6600，以逐步複線性迴歸分析法探討二、三、四月各旬之平均氣溫、最高氣溫平均、最低氣溫平均、氣溫較差、濕度、降雨量、蒸發量、日照時數、降雨日數、平均氣溫在22～25℃之累計日數、濕度>93% 或89%之累計日數、離效溫差累計值與五月發病程度之關係，建立迴歸方程式，供葉稻熱病預測之用。至1983年，更進一步探討本省七個地區第一期作葉稻熱病盛行率（發病面積／栽培面積）與冬季氣候之關係，並建立盛行率預測模式、分析結果顯示，冬季氣候之變異對葉稻熱病盛行率有顯著之影響：在各種氣候因素中，以氣溫因素最爲顯著；與盛行率呈正相關性。冬季三個月，以二月份之氣候對稻熱病之影響最大。利用各種不同之迴歸分析法，共建立七個區域性長期預測模式（見表八）：預測時間達 30-60天，所有模式在三月上半旬，可作成預報；根據盛行率發佈數值預報外，並根

表八 、台灣各地區葉稻熱病盛行率預測模式 (黃，1983)

Table 8. Regional forecasting models for disease prevalence of rice leaf blast in Taiwan (Huang, 1983)

區別 District	預報日期 Date of forecasting	預測目標時間 Period for forecasting	模式 Model	代號 Code	決定係數 R^2	標準誤 SE
台北 TP	Early March	Late April-Early May	$Y=-16.779+0.811MIT-4.156WS+0.292EV$	(Ⅰ)	0.82	1.11
新竹 HC	Early March	Late April-Early May	$Y=-525.531+97.146MAT_2-5.888MAT_2^2+0.118MAT_2^3$	(Ⅱ)	0.82	2.66
台中 TC	Early March	Middle April	$Y=-41.07+6.24MT_2-4.38MIT_2+0.72PD_2$	(Ⅲ)	0.83	1.82
台南 TN	Early March	Early April	$Y=-69.729+2.424MAT_2+0.443RH_{12}-0.057PR_1$	(Ⅳ)	0.79	2.62
高雄 KH	Early February	Early Middle April	$Y=-26.808+2.458MAT_1-0.252DS_{12}-0.153DS_1-0.375PR_{12}$	(Ⅴ)	0.96	1.87
台東 TT	Early March	Early-Middle April	$Y=-155.389+4.62MT_2+8.717TR_1+0.205DS_{12}+0.105PR_1$	(Ⅵ)	0.92	3.63
花蓮 HL	Early March	Early Middle April	$Y=-75.587-5.973MIT_{12}+7.944MIT_2+1.151RH_2-0.076PR_2+1.309PD_{12}-0.306EV_{12}$	(Ⅶ)	0.98	3.06

據表九之類別發佈多、中、少之類別預報。

經民國68～71年盛行率實測資料之驗證，台北、新竹、台中、台南、高雄、花蓮六區之模式預測效果較佳；台東之模式次之。檢討部分模式效力較差之原因有二：其一因預測因子有外插之現象，影響預測值。其二可能因意外因素如藥劑防治方法顯著改變，而影響實測值。此種盛行率之預測，爲長期預測，可供爲防治策略性決策之參考[3]。

C.脊迴歸預測模式

(1)臨界日期預測模式

至 1986年，黃氏[5]等鑑於病害預測方法，各學者專家之研究並不一致，而每一類預測方法都有它的特性，適用範圍及使用條件。而一般複線性迴歸法也有其缺點，乃嘗試應用脊迴歸模式於葉稻熱病臨界日期 (Critical date) 之預測。所謂臨界日期定義爲初發期 (發病率=0.1%之日期)之前 5天。本模式基於兩種假設：(1)從插秧至臨界日期之長短與變異較大之氣象變數相關。(2) 臨界日期與特定之日累計預測值有符合現象(Coincidence)。預測因子自117個溫濕度組合因子採用變方

表九、台灣各地區葉稻熱病發生年之類別 (黃，1983)

Table 9. Tentative classification for category of disease outbreak of rice leaf blast in Taiwan (Huang, 1983)

District	盛行率 Disease prevalence (%) 範圍 Range	少發年 Light outbreak	中發年 Moderate outbreak	多發年 Severe outbreak
台北 TP	1.6- 8.3	< 4.0	4.0- 6.0	6.0<
新竹 HC	2.0-14.0	< 5.3	5.3-10.0	10.0<
台中 TC	7.0-20.0	<10.3	10.3-15.8	15.8<
台南 TN	3.5-21.0	< 8.1	8.1-16.9	16.9<
高雄 KH	4.8-31.0	<14.1	14.1-24.7	24.7<
台東 TT	4.9-35.0	< 9.3	9.3-26.9	26.9<
花蓮 HL	6.0-57.0	<13.7	13.7-30.5	30.5<

貢獻率方法找出10個組合因子(見表十)，然後用脊迴歸法建立模式：以 y 爲日累計預測值 (Daily cumulative predictand)，xi 爲落於16～24℃及88～100℃之不同溫濕度組合因子之出現小時數累計值。臨界日期預測模式如下：

$$Y=0.013+0.059X_{71}+0.316X_{72}+0.150X_{73}+0.137X_{83}+0.130X_{84}+0.245X_{85}+0.033X_{86}-0.153X_{97}+0.375X_{98}+0.375X_{111}$$

本模式係以統計方法導出，然而其應用方式則採經驗法則，臨界日期視爲先行指標(leading indicator)，設定爲y≧24。臨界日期出現在防治限閾 4月10日 (或插秧後32天) 以前，須施藥防治，如出現在防治限閾後，因發病輕微，不影響產量，可作無須防治之決策。由表十一即可印證臨界日期出現之遲速與葉稻熱病發生程度之關係。本預測法實質上屬於反面預測之一種。

表十、溫濕度組合之獨立變數分類 (黃，1988)

Table 10. Independent variables of Temp-RH combinations studied in the model-building process. (Huang, 1988)

RH(%) \ Temp (°C)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
		< 10	10.1 -12	12.1 -14	14.1 -16	16.1 -18	18.1 -20	20.1 -22	22.1 -24	24.1 -26	26.1 -28	28.1 -30	30.1 -32	32<
1	< 60	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
2	60.1 -70	X_{14}	X_{15}	X_{16}	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}	X_{26}
3	70.1 -80	X_{27}	X_{28}	X_{29}	X_{30}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{34}	X_{35}	X_{36}	X_{37}	X_{38}	X_{39}
4	80.1 -85	X_{40}	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{44}	X_{45}	X_{46}	X_{47}	X_{48}	X_{49}	X_{50}	X_{51}	X_{52}
5	85.1 -88	X_{53}	X_{54}	X_{55}	X_{56}	X_{57}	X_{58}	X_{59}	X_{60}	X_{61}	X_{62}	X_{63}	X_{64}	X_{65}
6	88.1 -91	X_{66}	X_{67}	X_{68}	X_{69}	X_{70}	X_{71}	X_{72}	X_{73}	X_{74}	X_{75}	X_{76}	X_{77}	X_{78}
7	91.1 -94	X_{79}	X_{80}	X_{81}	X_{82}	X_{83}	X_{84}	X_{85}	X_{86}	X_{87}	X_{88}	X_{89}	X_{90}	X_{91}
8	94.1 -97	X_{92}	X_{93}	X_{94}	X_{95}	X_{96}	X_{97}	X_{98}	X_{99}	X_{100}	X_{101}	X_{102}	X_{103}	X_{104}
9	97.1 -100	X_{105}	X_{106}	X_{107}	X_{108}	X_{109}	X_{110}	X_{111}	X_{112}	X_{113}	X_{114}	X_{115}	X_{116}	X_{117}

表十一、先行指標(臨界日期) 之出現遲速與葉稻熱病發生程度之關係 (黃，1988)

Table 11. Relation of appearance of leading indicator (critical date) to the outbreak of rice leaf blast in O-mei 1977-1986. (Huang, 1988)

年 Year	出現在限閾前或後 Before or after the threshold	在限閾日之日累計預測值 Daily cumulative predictand at the thresold	發生類別 Outbreak
1977	前	29.9	重
1978	前	28.9	中
1979	前	34.1	重
1980	前	31.1	輕
1981	前	30.7	重
1982	後	16.1	輕
1983	後	11.8	輕
1984	後	9.9	輕
1985	後	4.1	輕
1986	後	23.7	輕

註：a) 臨界日期係日累計預測值達 24 之日期

b) 限閾指四月十日

(2)病勢進展曲線要素預測

病害發生情形，可由病勢進展曲線表示。病勢進展可藉曲線之要素 (element)來識別(見圖三)。因此病害預測也可藉預測曲線要素來完成預測目標。葉稻熱病預測可包括初發期、高峰期、進展期、傳染速率、曲線下面積、發病率預測等。黃氏探討曲線要素與初發期前一段時間，即插秧後1-25天內之氣象要素之關係，確立傳染速率(r)、初發期(DUDO)、高峰期(DUMDI) 之脊迴歸模式,並以 Gormpertz 模式 $Yn=\exp\{-\beta e^{-rt}\}$ 爲病勢進展預測模式。上述模式列於表十二，可以用來描述整個病勢進展情況[48]。

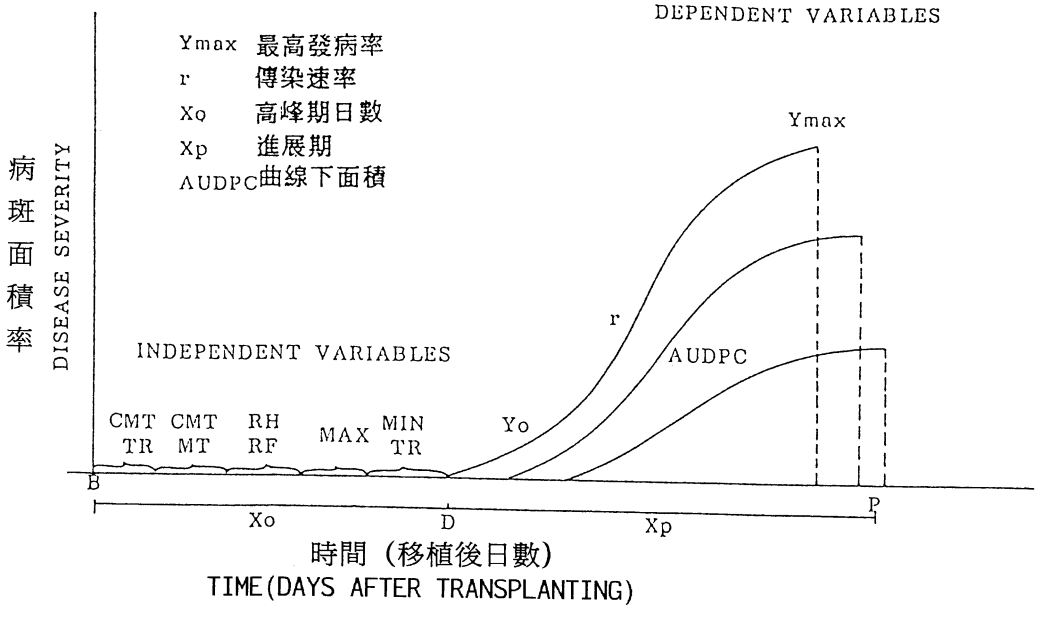
Ⅲ、系統分析模式之預測方法

系統分析的模式或系統模式，係病害發生之情形用一個系統涵攝，將時間因素也併入模式之許多因素中，然後利用電子計算機構建模式。這種用數學模擬實際發病經過之系統，稱爲模擬模式(Simulation model)。這種系統模式之構建係有一定順序之分析步驟：(1)問題範圍之界定及認識

表十二、葉稻熱病勢進展曲線要素脊迴歸預測模式 (黃，1988)
Table 12. Ridge regression models for forecasting curve elements of rice leaf blast epidemics. (Huang, 1988)

要 素 Element	模 式 Model	決定係數 R^2	標準誤 SE
傳染速率 (r)	$Y_r = -0.217 + 0.0154MINT_5$	0.684	0.316
初發期 (DUDO)	$Y_{do} = 31.732 + 0.209RH89_3 - 0.068DWP_3 - 1.714TR_5$	0.991	0.009
高峰期 (DUMDI)	$Y_{dm} = 64.869 + 0.6243RF_1 - 0.1264DWP_3 - 1.8702TR_5$	0.976	0.024

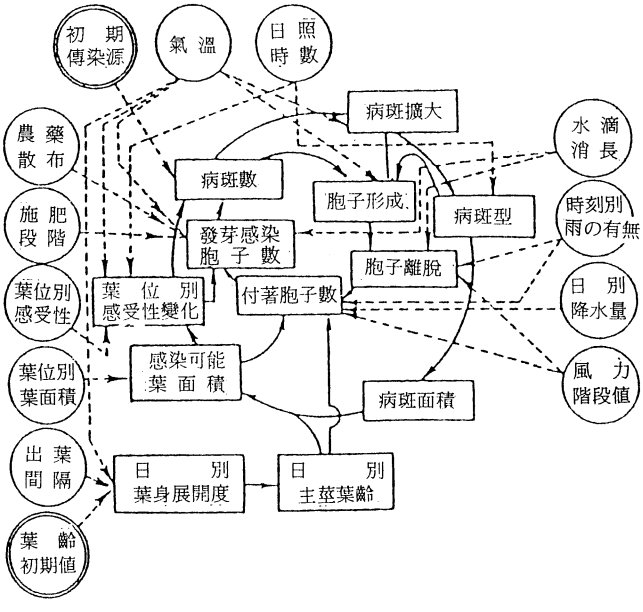
註：$MINT_5$:插秧後第21-25天之平均最低氣溫。$RH89_3$:插秧後第11-15天之RH>89%之累計時數。DWP_3:插秧後第11-15天之累計露水時間 RF_1：插秧後第1－5天之累計雨量。TR_5:插秧後第21－25天之氣溫較差



圖三、病勢進展曲線要素與分蘖盛期以前某期間氣象要素之關係 (黃，1988)
Fig 3. Relation of elements of disease progress curve and meteorological variables (Huang, 1988)

⑵觀念模式之設計⑶試驗⑷模式發展⑸模式之驗證⑹模式之執行及應用。系統模式可重複檢驗各組分，結構及實驗，逐步改進。1977～81年，日本農林水產省主辦發生預測特殊調查並開發稻熱病預測系統模式，由青森、福島、茨城、福岡各縣農業試驗場成立連絡體制各自開發模式。其中由橋本、太田、高井氏等報告葉稻熱病系統模式，高崎氏等報告穗稻熱病系統模式。依系統模式之處理內容可分爲確定性模式 (Deterministic model) 及機遇性模式(Stochastic model)；葉稻熱病之模式屬確定性模式，穗稻熱病模式屬機遇性模式。

福島縣農業試驗場開發之系統模式稱爲 BLASTL 。大體上，可用爲一般水田葉稻熱病病勢進展之預測。本模式以代表 1 筆水田之 1 株水稻之平均生育經過及發病狀況爲設想之對象，此稻株葉稻熱病病斑增加之經時變化，係基於病原菌生活史而算出。模式中要因之相互關如圖四所示[44] 。



○ ：輸入數值

▭：演算項目

⟶：演算流程(粗線)、算出數值之交付(細線)

⇢：輸入數值接受

圖四、模式要因關連圖 (橋本，1982)

Fig 4. The structure of the simulation model for rice leaf blast. (Hashimoto, 1982)

其演算過程大致包括：(1)關於水稻生長之演算部分(圖中之日別葉身展開度及日別主稈葉齡之演算部分)，(2) 分生胞子動向之演算部分(圖中二層圓之內環部分)，(3)關於病斑之形態變化及水稻感受性變動演算部分(圖中二層圓之外環部分)等三部分所構成。有關水稻生長演算部分爲確定水稻日別之主稈葉齡，就對象水稻所設定之出葉間隔爲基礎，算出日別之頂葉抽出度。此葉齡成爲模式中水稻之生育時期，平均每株之葉面積及發病葉位之基準值，進而爲葉位別感受性程度之計算基礎。分生胞子動向有關之演算部分，爲處理分生胞子之形成、離脫、飛散、付著、侵入及定著之過程。各階段病原菌之行動，以過去生態學之知識爲基礎，如定量上不

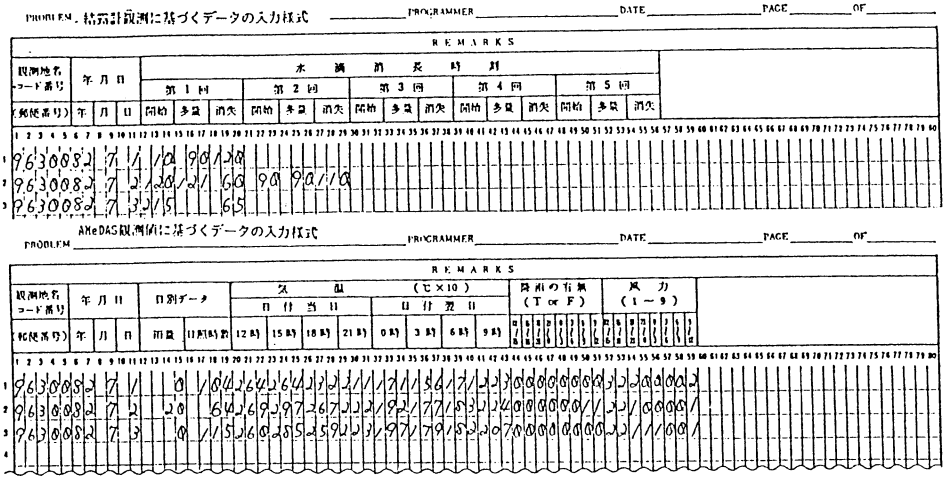
表十三、輸入之資料及參數 (橋本，1982)

Table 13. Input data and parameters. (Hashimoto, 1982)

種類 Item	具體的項目 Parameters
(Ⅰ) 氣象條件 Weather condition	a)1日8回觀測氣溫 b)每3小時間之平均風力階級值 c)同降雨之有無 d)日別日照時數 e)同降水量 f)水滴保持開始時刻 g)多量水滴之保持開始時刻 h)水滴消失時刻
(Ⅱ) 水稻生育條件 Rice condition	a)6月1日之葉齡 b)葉位別之出葉間隔日數 c)葉位別一平均株葉面積 d)出葉速度制御係數 e)葉身之老熟化所需日數 f)葉位別抵抗力係數
(Ⅲ) 耕種條件 Cultural practice	a)施肥階段係數 b)農藥防除之有無(防除回數,月日,使用農藥之特性)
(Ⅳ) 胞子空中飛散特性 Spore dispersal	a)垂直擴散之定數 b)水平擴散之定數
(Ⅴ) 傳染源之初期值 Inoculum	a)感染月日 b)感染葉位及病斑數

明確的事項以暫定式代入，每時期量的變化以每 3小時之氣象資料爲基礎，以胞子數爲基本單位演算。而病斑形態變化及水稻之感受性變動演算部分，就各個項目 1 日內之變化算出。關於病斑形態變化，經過接二連三不斷的潛伏期間，而發病之病斑數及感染日不同之個個病斑之擴大及病斑型之決定，並算出這些病斑數及個別病斑之大小；葉位別面積及一株平均病斑面積率及以後可能感染之剩餘葉面積。水稻之感受性程度以平均氣溫及日照時數爲基礎，由每葉位之日別變化算出。爲使模擬模式執行發生預測適應性上之便利，儘可能必要限定容易觀測之資料。BLASTL設定內容包含表十三所示項目資料及參數。

所用資料，取自氣象廳之地域氣象總合觀測系統AMeDAS之觀測資料及該水田畦畔設置之結露計之記錄。這些資料輸入如圖五之表格，然後存入磁帶，可供迅速輸出入演算之用。



圖五、LASTL氣象收錄樣式

Fig 5. Meteorological data record form for LASTL

就發生預測應用而言，此模式雖可模擬葉稻熱病發生狀況，然而仍有若干值得檢討之處，因其必須先設定多發生及少發生年度氣象資料並加入參考週間天氣預報之假想氣象資料，影響發病量之變動幅度極大，未到實用之階段。

四、發生預測系統

發生預測系統，殊難明確定義。所謂系統者，即諸型態中之型(Pattern)。而一種型態又可定義爲諸單元(Unit)之排列，而單元亦是一種型態或爲次系統[52]

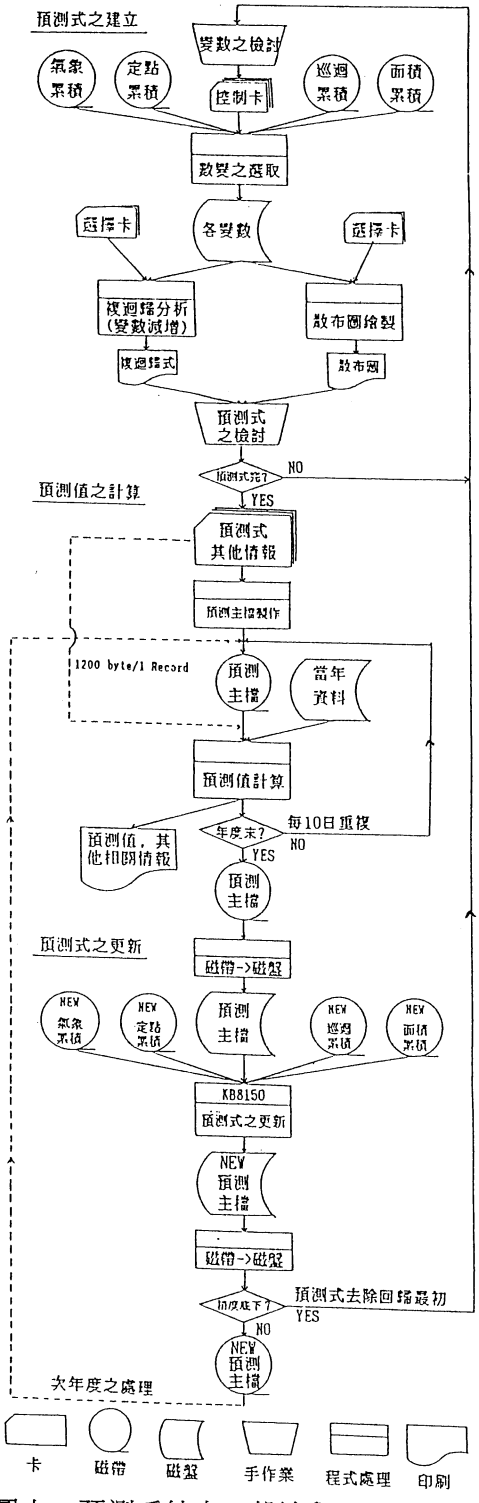
。總之，各單元透過某種規則而構成一個整體，即爲系統。在此，稻熱病發生預測系統，不訪定義爲以水稻、稻熱病菌、環境及三者之屬性間相互關係之集合，係藉助電腦系統輔助設計，以完成發生預測作業目標的一種體系，它包含資料(Data)、資訊(Information)、決策 (Decision-making) 之功能。以下所介紹即從上述定義揀擇之預測系統。

1、國外之發生預測系統

本文所謂發生預測系統，係以電腦輔助設計研發之預測系統。稻熱病發生預測，視爲水稻病蟲害發生預測系統之部分者，當推日本廣島農試之河野富香氏等最早研發之水稻病蟲害預測系統。1975年河野氏[30]等發表利用電子計算機之病蟲害發生預察事業，報導系統開發之經緯，其中包括(1)系統開發體制，(2)系統化之基本考慮，(3)系統開發經過。其系統之概要包括①定點調查資料處理 ，②巡迴調查資料處理 ，③氣象資料處理 ，④ 預測處理四種獨立次系統(Subsystem) 所構成，使用之基本檔 (file)，有定點主檔 (Master)，巡迴主檔、氣象主檔及預測主檔四個。各主檔又包括蓄積每年之資料之累積主檔及逐次輸入每日或定期調查資料之當年主檔，累積主檔使用磁帶，當年主檔使用磁碟處理，內容包括①累積主檔資料之取出，計算平年值、標準偏差、極值等，當年主檔之年度始處理。②4-10月每10日作逐次調查資料處理，重複旬間之預測處理，③自當年主檔編印預測年報，年度末處理年間資料，並貯存於累積主檔。預測系統之流程如圖六所示[31]。

1981年河野氏[32]指出；今後待研究開發之事項包括利用叢聚分析 (Cluster analysis) 巡迴調查結果，闡明其地域分布之特徵，及以主成分分析法(principle component analysis) 探討氣象之特徵，選擇類似之年次，研判今年度與過去某一年度最爲類似，作爲發生預測之重要參考資料。同時指出，觀測項目，如氣溫、降水、日照不能單獨應用，須綜合加以研判，然後選取類似年以爲預測之依據。至1988年，上原氏等以多變量分析法探討稻熱病之分布，闡明稻熱病不同發生程度與地理因素，標高、氣候之關係，使發生分布趨向更微細之劃分。筆者認爲從經濟資源管理之角度上看，這種研究極有價值[17]。

1988年，美國 Rush et al[49] 報告，有關田間測試稻熱病電腦預測系統，該系統爲電池運作之微電腦單元，可連續監測氣溫、葉面濕潤時間及相對濕度等微氣象因素， 並將微氣象資訊直譯換算出每日稻熱病發病單位 (blast units of severity, BUS)，其累計 BUS 值與稻熱病病勢發展呈顯著之高相關。用累計 BUS 值預測發病率之 logit 值其決定係數高達71～91%。



圖六、預測系統之一般流程

Fig 6. A flowchart of forecasting system

其他，如靜岡縣農業試驗場亦完成相似之系統[21]。上述爲大型電腦HITAC-M160Ⅱ之利用。1986年丸諭氏[15]等報導千葉縣農業試驗場採用 CP/M86個人電腦，用 M-BASIC 86 作成水稻病蟲害發生預測資料處理系統，其資料檔採用隨機檔 (Random file)，以求高速化，高密度化。基本檔包括管理檔、調查資料檔、平年表檔、調查資料彙集表檔及其他檔。然而，仍有許多須待改善之處。

2、國內之發生預測系統

本省之葉稻熱病預測系統一直處於研發的階段。根據黃氏[6]之研究，稻熱病發生預測系統包括短期及長期預測兩個次系統，系統之架構如圖七所示。

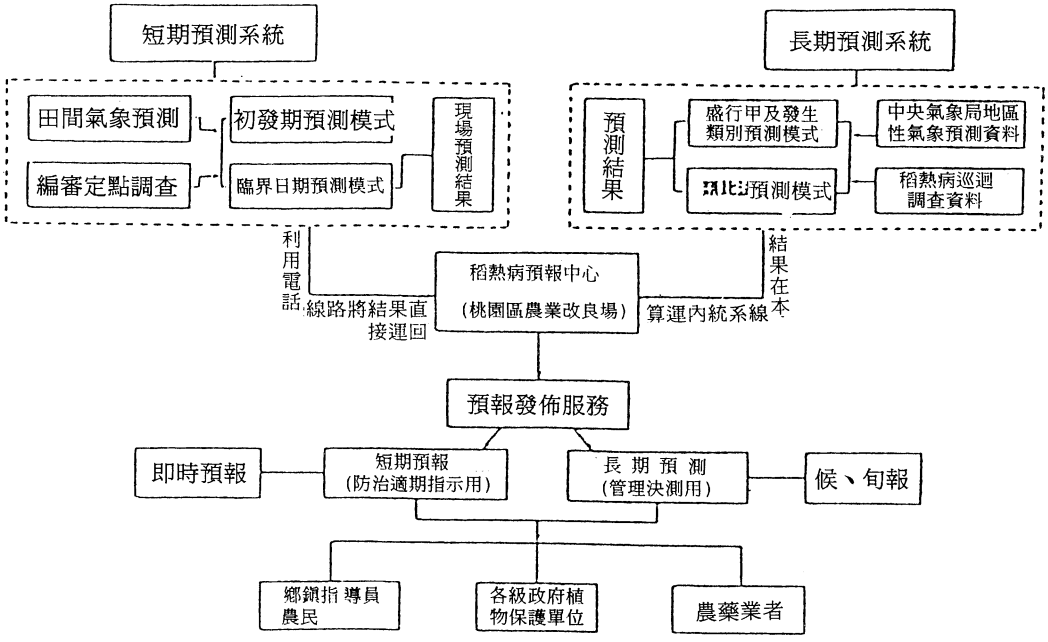
長期發生預測系統：其病害資料包括年度、期別、栽培面積及發病面積，氣象資料包括歷年最高、最低、平均氣溫、相對濕度、結露時間、降雨量、降水日數、日照時數、平均風速、風向等。

各定點及巡迴調查資料與氣象資料建立在一個資料庫；使大量資料易於輸入、讀、取、更新及消除，並連接統計分析及預測值計算系統。利用類比方法及迴歸方法建立預測模式及發生動態模式形成系統，供長期或早期預測之應用。此種預測系統，可由二種不同層次單位組合而成。第一種以農業氣候區爲預測單位，例如桃竹苗三縣爲一預測單位，台北、宜蘭二縣爲一預測單位。第二種預測對象爲依栽培方法之不同，或發生動態爲主要預測目標，將環境條件不同之個別地帶爲預測單位，如各種預測小區或鄉鎮。前者可以由類比及迴歸方法作成預測。後者則依巡迴調查結果，迅速作成動態的預報。系統部份包括：(1)發病資料統計分析，(2)氣象檔案，(3)預測值計算，(4)預測結果判定，(5)平年值處理，(6)警報發布。

短期預測系統：72年桃園區農業改良場研發完成葉稻熱病現場預報系統，作爲即時現場預報葉稻熱病防治適期之用。

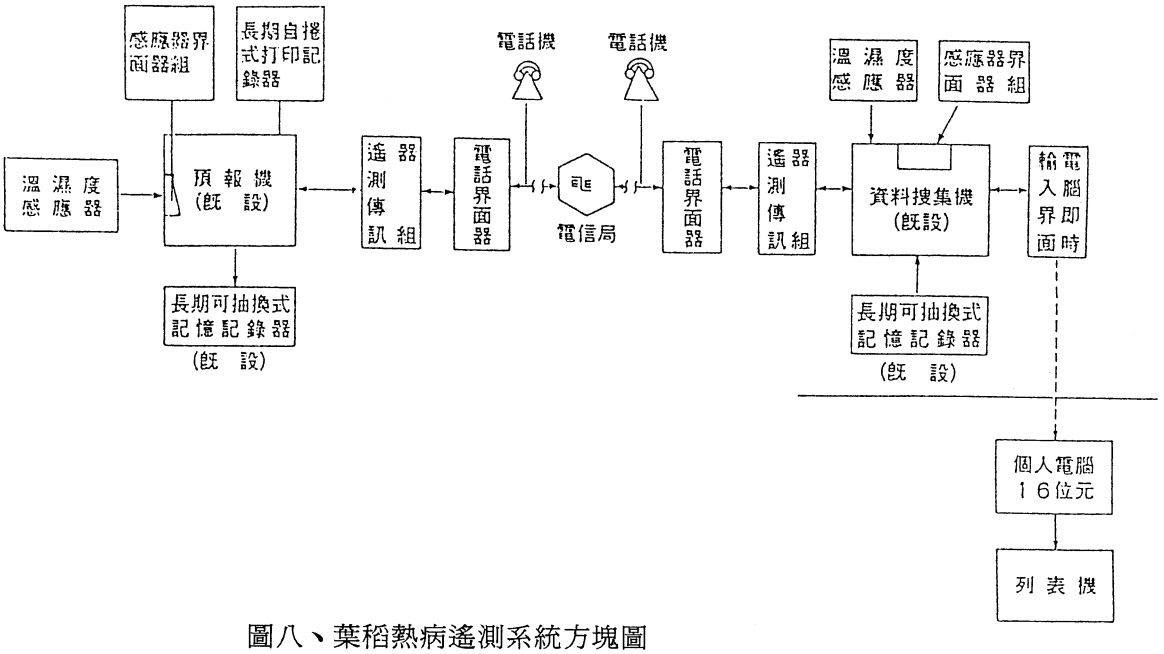
葉稻熱病現場預報系統主要包括硬體及軟體兩大部份。硬體部份由微氣象感應器、訊號轉換及界面器、主控制微處理機、資料記錄器、警報器組五個部份組成。軟體部份主要包括初發期及臨界日期預測模式。

本系統可全天候監視運作，並可瞬間記錄、輸出資料。有數值指示窗，可連續指示溫度、相對溫度、露點、預測值。裝有印表器可連續印出資料。本系統用來發佈初期及臨界日期兩種預測情報。初發期以週適發指數大小來判別，等於或大於80時由主電腦發出訊號驅動警報。臨界日期預測值可由指示窗判讀。目前正研究與本場預報中心連線化（見圖八），用以提升預報之功能。



圖七、水稻稻熱病發生預測系統示意圖

Fig. 7. The structure of forecasting system of rice blast disease.



圖八、葉稻熱病遙測系統方塊圖

Fig 8. General structure of on-line forecasting system for leaf-blast of rice.

五、結　　語

預測爲稻熱病管理體系中之主要決策構成要素。爲平衡病害管理之風險、成本、利潤之先決條件。稻熱病發生預測有二：一爲發生期預測，一爲發生量預測。又可因時間的長短劃分爲短期及長期之預測；主要依預測的性質及目的而定。長期預測爲策略性的預測，預測年之可能最大發病度，提供防治工作預措之參考及農藥業者調節供需之指標。短期預測爲戰術性之預測，逐日推估近期病勢的演變情況，確定防治適期，作爲稻熱病常發地區藥劑防治之決策參考。

論及稻熱病之預測方法，依研究者偏重之理念而有不同。早期側重病原菌之分生胞子飛散數之預測法及水稻植株成分含有率之預測法，近年則多利用氣象要素與發病關係之預測法。無論以何種理念爲基礎所建立模式不外於經驗法則、整體(統計)模式及系統(模擬)模式。各種預測方法都有它的特性，適用範圍與使用條件。近年，本省稻熱病之預測已由巡迴調查之早期發現法改爲經驗法則及統計模式之運用。並構建稻熱病之發生預測系統，包括兩個次系統，一爲短期預測系統，一爲長期預測系統。短期預測系統主要爲葉稻熱病現場預報系統，採用初發期及臨界日期兩種預測模式，以反面預測方式提供防治適期之資訊。長期預測系統包括盛行率之預測模式及類別預測模式，後者主要依輕、中、重不同發生年冬季不同時程氣象條件做類似的比較。目前有系統架構，然而仍有待繼續完成。

近年以來，利用電腦技術建立模式，已蔚然成風。然多數模式無論是統計模式或系統模式，不無待改進之缺點。一般模式，點的預測居多，尙待多予研發面的預測模式。至於如何加强廣域面的預測研究，則不妨參照日本越水氏應用 AMeDAS 氣象資料，研發 BLASTAM 之方法詳加規劃。此外，日本亦有研究者利用多變量分析法將稻熱病發生區域分類，將過去病害調查資料依發生程度類別(無、微、輕、中、重)與氣候、土壤、地理因素一併分析，作成發生型之區域分類，導出病害管理之資訊。此種微細區域分類法所獲資訊亦應與一般預測方法所得資訊，合併運用，才能提升預測之精確度。

就病害管理之整體性著眼，模式之建立不能僅止於病害發生預測，今後病害預測模式應考慮聯結作物收量模式及經濟／決策分析,如應用風險分析 (risk analyis)，益本原理 (benefit-cost theory)及貝氏決策原理等(Bayesian decision theory)。

發生預測情報是否能靈活運用，達到實用的目標，除研發更精確的預測方法外，研究如何運用現代科技重新評估及建立發生預測連線系統，來傳遞資訊及改進目前不切合實際的情況，或許值得植物保護行政及研究工作者之深思熟慮。

六、參考文獻

1. 徐光啓　農政全書卷之十一　台灣商務印書館印行。

2. 黃益田、游俊明、詹雲峰、黃提源 1979 稻熱病流行學之研究。Ⅱ. 葉稻熱病發生預測程式之探索。 新竹區農業改良場研究報告 37:1-31。
3. 黃益田 1983 稻熱病流行學之研究。Ⅳ. 葉稻熱病盛行率預測模式之發展。 桃園區農業改良場研究報告 (1):22-37。
4. 黃益田、游俊明、陳獻、黃成立、莊旭禎 1984 葉稻熱病現場預報系統之發展。桃園區農業改良場特報 第1號 1-39。
5. 黃益田、游俊明、黃提源、胡金源 1986 葉稻熱病發生預測—脊迴歸模式之程式。桃園區農業改良場特報 第2號 1-95。
6. 黃益田 1987 台灣北部地區水稻稻熱病發生預測系統之研究(未發表)。
7. 鄭秋彬、黃益田、游俊明、林文雄 1981 水稻病蟲害巡迴調查資料庫系統。 新竹區農業改良場研究報告 40:1～51。
8. 蔡武雄、蘇鴻基 1984 水稻葉稻熱病預測 Ⅰ.氣象變數與病斑數進展。植保會刊 26:171～180。
9. 蔡武雄、蘇鴻基 1985 水稻葉稻熱病預測 Ⅱ.氣象變數、分生胞子數與病斑數進展之關係。 中華農業研究 34(1):71-78。
10. 蔡武雄 1986 水稻葉稻熱病預測 Ⅲ. 氣象變數與病斑面積率之關係。 植保會刊 28:111～117。
11. 小林次郎 1965 いもち病の發生予察法—氣象條件による發生予察(寒冷地)—。日植病報 31(記念號-2):283～286。
12. 小林次郎 1980 葉いもちの發生初期における生態と予察 植物防疫三十年のあゆみ 173-177。
13. 千葉末作 1978 コンピュータによる稻イモチ病の發生予察について (青森縣の現狀) 今月の農藥 22(13):19-23。
14. 太田惠二 1982 シミュレーションによるイネいもち 病の發生予察法 (青森縣) 今月の農藥 26(8):12-19。
15. 丸 諭、清水喜一 1986 作物保護におけるマイコン利用 (1)水稻病害蟲巡迴調查のデータ處理。植物防疫 40:44-47。
16. 上原由子、井本征史、酒井泰文 1988 廣島縣におけるアメダスデータを利用したイもち病發生予察システム。 廣島農試報告 51:1-18。
17. 上原由子 1985 廣島縣におけるいもち病發生の多變量解析法による地域區分。廣島農試報告 49:19-30。
18. 加藤德弘 1990 イネいもち予測モデル BLASTAM について。 今月の農藥 34(7):32-36。
19. 山中 達、山口富夫 1987 稻いもち病。p.281-306 東京 株式會社養賢堂發

行。

20. 吉野嶺一　1979　侵入環境とくに葉面ぬれ時間による稻イモち病の發生予測。今月の農藥 23(1):90-94。
21. 村松義司丶小柳德二　1977　イネの病害蟲發生予察事業における電子計算機利用の試み。 植物防疫31(2):59-63。
22. 越水幸男　1982 アメダス資料 による葉いもち病の發生予察法　①。今月の農藥 26(1):46-53。
23. 越水幸男　1982 アメダス資料 による葉いもち病の發生予察法　②。今月の農藥 26(2):64-67。
24. 越水幸男　19822 アメダス資料による葉いもち病の發生予察法　③。今月の農藥 26(3):74-83。
25. 越水幸男　19822 アメダス資料による葉いもち病の發生予察法　④。今月の農藥 26(4):68-78。
26. 堀眞雄　1963　いもち病の發生予察技術に關する研究，とくに實驗的予察技術を中心として。病害蟲發生予察特別報告　第14號：1～68。
27. 堀眞雄　1965　いもち病の發生予察方法―イネの形態または化學成分による予察―。日植病報　31(記念號-2)：301～306。
28. 奥野忠一　1965　いもち病の發生予察方法―發生予察式に關する問題―。日植病報 31(記念號-2)：313～318。
29. 松本和夫　1978　コンピユーターによる稻イモチ病の發生予察。 今月の農藥 22(13):14-18。
30. 河野富香丶藤原多見夫丶木村義典丶細川節男丶池田匀　1975　病害蟲發生予察事業における電子計算機利用方法。第 2報 既存データのフアイル化。 廣島農試報告 36:49～56。
31. 河野富香　1977　病害蟲發生予察事業における電子計算機利用方法。第 4報　重回歸分析を中心とした予測値計算システム。廣島農試報告　39:1-20。
32. 河野富香　1981　水稻病害蟲の發生予察事業における電子計算機利用。　植物防疫　35:14-20。
33. 後藤和夫　1962　いもち病發生予察の技術的展望。病蟲害發生予察事業二十週年紀念誌:37-52。
34. 高橋喜夫　1958　いもち病發生予察法について―葉鞘檢定法の利用―。植物防疫 12(8):1-7。
35. 高井　昭丶小林　誠　1978　コンピユーターによる稻いもち病の發生予察について　茨城縣の現狀　今月の農藥　22(13):29-33。

36. 高井　昭丶金井克已　1982 シミユレーシヨンによるイネいもち 病の發生予察法(茨城縣)。 今月の農薬　26(8):28-32。

37. 高崎登美雄　1978　コンピェーターによる稻いもち病の發生予察について（福岡縣の現狀)。 今月の農薬 22(13):33-37。

38. 高崎登美雄・1982　シミユレーシヨンによるイネいもち病の發生予察法　(福岡縣)。 26(8):33-37。

39. 横内　生丶通口昭則丶棟方　研，1986　作物保護におけるマイコン利用 ③イネいもち病發生予察モデルのパソコン化　植物防疫 40:148-153。

40. 横山佐太正　1980　水稻病害蟲要防除水準の設定丶導入。　植物防疫三十年のあゆみ，p.27-30。

41. 横田敏恭　1987　病害蟲發生予察情報のオンライン化。 植物防疫 41:454-456。

42. 橋本　晃 1978 結露計による葉イもち病の發生予察 今月の農薬　22(5):46-50。

43. 橋本　晃 1978 コンピユーターによる稻いもち病の發生予察について　福島縣の現狀 今月の農薬 22(13):25-28。

44. 橋本　晃　1982 シミユレーシヨンによるイネいもち病の發生予察法 今月の農薬 26(8):20-26。

45. 橋口涉子丶加藤　肇丶清水節夫　1981　長野縣における氣象條件のパタン分類—イネいもち病予測モデルの改良へ向けて—環境情報科學　10(1):46-53。

46. 藤原多見夫丶木村義典丶河野富香丶原田　仁　1975　病害蟲發生予察事業電子計算機利用方法。第1報　廣島縣におけるシステム概要。廣島農試報告 36:41-47。

47. Huang, Y. T. 1980. Some epidemiological studies on rice blast disease in Taiwan Plant Prot. Bull. (Taiwan, R.O.C.) 22:153-181.

48. Huang, Y.T. 1988. Development of models for forecasting rice leaf blast in Taiwan. Doctorate Dissertation. Tokyo Univ. Japan.

49. Kim, C. H., Mackenzie, D.R. and Rush, M.C. 1988. Field testing a computerized forecasting system for rice blast disease. Phytopathology 78(7):931-934.

50. Kranz, J. and Hau B. 1980. Systems analysis in epidemiology. Ann. Rev. Phytopathol. 18:67-83.

51. Ono, K., 1965. Principles, Methods, and Organization of Blast Disease Forecasting. in The rice blast disease : Proc. Symp. at IRRI, July, 1963: 173-194. Baltimore Maryland Johns Hopkins Press.

52. Robinson, R. A. 1976. Plant Pathosystems. Berlin & New York : Springer pp.1-2.

53. Sasaki, T and Kato, H. 1972. A Statistical method of Predicting outbreaks of rice panicle blast. Phytopathology 62:1126-1132.

54. Teng P. S. 1985. A comparison of simulation approaches to epidemic modeling. Ann. Rev. Phytopathol. 23:351-79.

The Forecasting Methods and Systems for Rice Blast Disease

Yih-tyang Huang
Taoyuan District Agricultural Improvement Station

Summary

Forecasting is a major component of decision making in the rice blast disease management system. For rice blast disease management, various methods for forecasting disease occurrence have been proposed, including methods based on the knowledge of type of blast occurrence, of behavior of blast fungus,of growth phase and chemical components of rice plant, of analyses of weather patterns, and of relation between weather conditions and outbreak of disease etc. All these forecasting methods proposed for blast disease of rice can be categorized into three forms: empirical rules and holistic (statistical) models and systems analytic (simulation) models. Empirical rules is usually based on the assumption of coincidence between the meteorological conditions and disease occurrence. Statistical models for forecasting blast disease of rice can be divided into two types, e.g. simple regression models and multiple regression models. Simple regression models provide estimates of disease intensity with any climatic factor, such as temperature, rainfall, duration of sunshine etc. at a given time period. Multiple regression modele estimate disease intensity with many climatic factors at different time periods. In recent years, the efforts to develop simulation models for rice blast disease were made by a group of Japanese researchers, such as a model simulating the rice leaf blast called BLASTL.

In Taiwan, two main types of forecasting models, i.e., the long-range and short-range forecasting models, have been developed. The long-range forecasting models, relating the disease prevalence to winter climate, are primarily developed to estimate the probable maximum intensity of the epidemics. The short-range forecasting

models, relating the initial occurrence and elements of disease progress curve to the weather conditions from time of transplanting until active tillering stage, are used to estimate the amount and time of disease occurrence. The short-range forecasting models are served as tactical models, they can be used for negative forecast and made available for the on-site forecasting system (electronic rice blast alarm). Models for forecasting disease prevalence can be used for generating the long-range forecast as an aid in planning of management strategy. Both types of model are integral parts of the forecasting system of rice blast disease, although these methods are different, they should not necessarily be regarded as mutually exclusive, they should be regarded as mutually complementary.

In the past decade, the use of computers has led to develop various types of computer-based systems in Japan, to assist in data filing and processing, and in modelling. Most of which consited three independent subsystems, i.e. the system for processing data from fixed plots, the system for processing data from patrolling fields, and the system for processing data from meteorological observations at Agricultural Experiment Station. Moreover, a nation-wide new on-line system for forecast informations has been established and made avaiable for disease forecasting and warning service.