

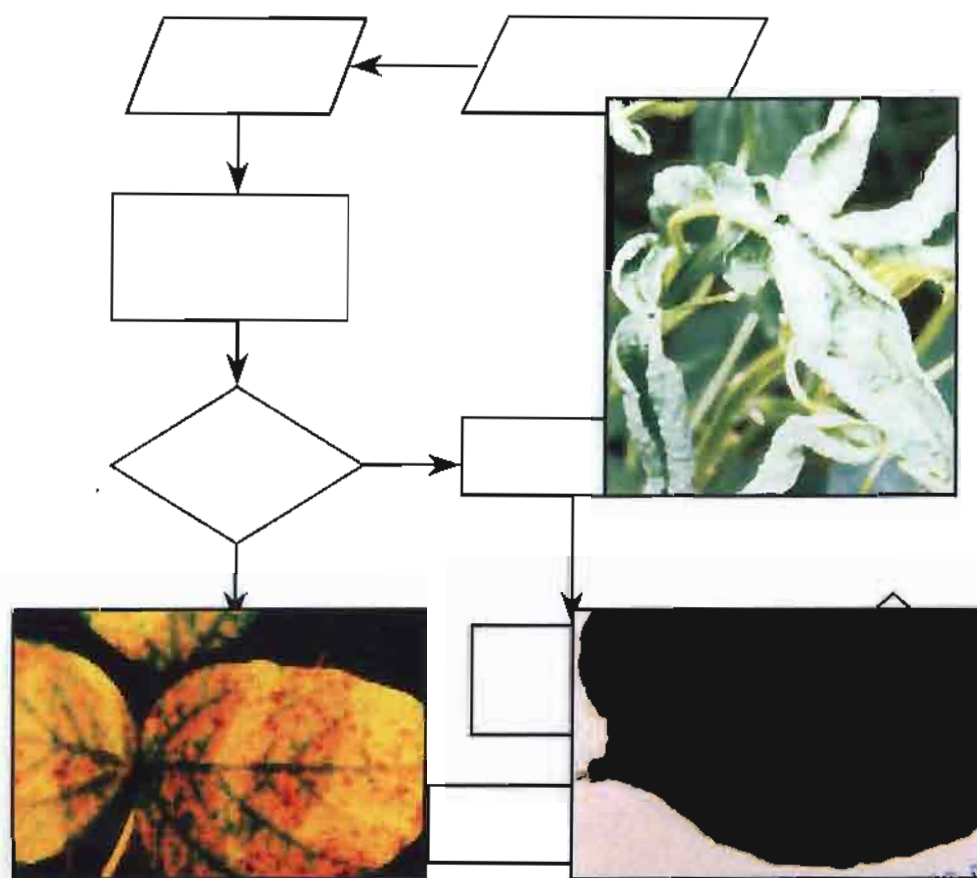
รายงานฉบับสมบูรณ์

FINAL REPORT

โครงการวิจัย

การจัดการโรคทางใบของถั่วเหลือง
โดยใช้ระบบการพยากรณ์และวินิจฉัยโรค

Management of foliar diseases of soybean through
the use of forecasting system and disease diagnosis



เสนอต่อ



สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

รายงานฉบับสมบูรณ์ ต่อสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

การจัดการโรคทางใบของถั่วเหลืองโดยใช้ระบบการพยากรณ์และ
วินิจฉัยโรค

Management of foliar diseases of soybean through the use of forecasting
system and disease diagnosis

สุนทร บุรณะวิริยะกุล และ สมบัติ ศรีชูวงศ์

ภาควิชาพืชไร่ และโรคพืช

Agronomy Department

Plant pathology Department and Multiple Cropping Center

Chiang Mai University, Thailand

June 1999

CONTENTS

Preface	i
Acknowledgments	i
Summary	ii
1. Foliar disease forecasting system and yield loss assessment	1
2. Soybean downy mildew and rust epidemics in 1998 experiment	34
3. Appendix: Publications and material that have resulted from the project	46
1 -An expert system for diagnosis of soybean diseases in Thailand	47
1 -Hand book for using an expert system for diagnosis	55
2 -Compound effects of rust and downy mildew on growth and yield of soybean under Chiang Mai conditions	63
3 -Studies on Charcoal rot (<i>Macrophomina phaseolina</i>) of soybean	77
4 - Listing of RUSCAST MODEL	89
5 - Listing of MILCAST MODLE	103

Preface

A great deal of research is being pursued on biotechnology and genetic engineering to develop technique to overcome pest and the related problems such as environmental hazard and agricultural sustainability. On the other hand, the new microcomputer technology has made it possible to develop various tools for easier access to database and facilitating analysis of the data which provides useful information and facilitates decision making for pest management. Disease forecast and expert systems are ones of those tools; in this project attempt was made to develop such tools for rust and downy mildew diseases of soybean with the emphasis on the former which cause serious yield loss. Those predictive systems were simplified to make use of weather data only and still at the test stage since their development were based on limited environmental conditions. It is hoped that this report will initiate more research in this area. Many years of disease and meteorological records are necessary for creating tools for use in strategic planning; it is time now for those who are concerned with soybean diseases to put concerted effort to obtain reliable data without which progress in pest management has to rely only on the development of resistant variety or an inefficient application of pesticides.

Acknowledgments

This research project was funded by The Thailand Research Fund (TRF). The facility provided by Multiple Cropping Center is sincerely acknowledged. We are most grateful to Dr. P.S. Teng, Plant pathology specialist, International Rice Research Institute for his valuable advice and visiting the experimental site. Thanks to Dr. X.B. Yang, Plant pathology specialist, Iowa State University for providing published materials on rust disease. We also wish to thank Chataporn Kaewyoung and her field staff.

Sunthorn Buranaviriyakul

Sombat Srichuwong

Summary

Three soybean cultivars were grown from May to December during 1996–1998 at Multiple Cropping Center, Chiang Mai, Thailand. Different strategies of fungicide (50 gm/20 L of Ridomil 72% WP and 35 gm/20 L of water of Dithane M-45 80% WP) applications were tested to control soybean downy mildew (*Peronospora manshurica*) and rust (*Phakospora pachyrhizi*). Time of disease occurrence, development and plant growth were recorded and analyzed. The logistic function was fitted and relative area under the disease progress curve (RAUDPC) was estimated up to R7 growth stage which was used for comparing degrees of disease severity, relative susceptibility of cultivars to the diseases, and yield loss evaluation. Forecasting system for both diseases were developed. Moreover, an expert system for soybean disease diagnosis (in Thai) was created (for summary see Appendix 1).

Downy mildew occurs in most planting dates (11–56 days after planting, DAS) started in May to December but the level of infection will vary from trace in early planting dates to slightly moderate severity (about 30% for a susceptible cultivar, OCB) in October or November; during the rainy season the temperature was less favorable (mostly > 26°C) but the relative humidity (RH) was favorably high (mostly > 80%). During the growing period for October to early December planting dates, the daily temperature became favorable (20–25 °C) but the RH was below 80% and no or little rainfall which limited the infestation of the disease; however the disease was more serious than that occurred during the rainy period, it increased rapidly during the early vegetative period (after V2) and reached plateau before R6 stage. In the case of rust disease, it occurred less frequent and could become most serious in October planting (almost 100% in 1966). Time of rust onset was in the range of 18–68 DAS. Cultivar 7608 is the most sensitive while OCB and Sukotai 1 are about the same susceptibility to rust. For October planting date, the level of rust disease depended on the duration of leaf wetness and favorable temperature (night temperature between 15–23 °C) during December to early January, these period had shifted towards January–February, 1999. Under favorable period, rust disease increased rapidly only after R4 or R5 stage.

The forecasting system for both disease (RUSCAST model) and downy mildew (MILCAST model) consists of predicting disease onset and progress. Both systems have the same structure they process daily weather data (daily temperature and RH) every four or five days, find the average, and estimate parameters for logistic function leading to disease estimation. No biological process of plant disease and soybean is involved; instead the temperature and RH are divided into nested layers each to represent different degrees of favorable conditions. The model terminates when it detects a preset physiological day, i.e. the physiological maturity. At the end, the model assesses yield loss using both RAUDPC and single point models attributed to the effects of rust alone (in RUSCAST) or to rust plus the mildew (in MILCAST). The model uses the most susceptible cultivar as a reference and calibrate susceptibility coefficient for a less sensitive cultivar. Results of predicting disease onset were not consistent with the observed, i.e. disease occurs or not, during the early planting dates and less accurate during a transitional period from late to early onset, after that period prediction was within 5 days of the

observation. Although the models have not been well calibrated over the wide range of conditions, the RUSCAST model behaved quite satisfactorily for the calibrated data sets but it tended to underestimate the disease toward a late stage of rust progress. For MILCAST model, the validation tended to produce low prediction of RAUDPC in many cases; more calibration is required.

Rust disease could be suppressed to very low level by using an alternate spray of Ridomil and Dithane (full control treatment); under serious infection the treatment could reduce yield loss by 33-60% depending on the degree of susceptibility of cultivars and still could make a profit even though the cost of Ridomil was high; no gain was made if yield loss was less than 33%. Dithane alone could reduce loss by 33-48% under severe rust epidemic and could make profit almost as high as the full control. It is very risky to recommend a full control for rust disease even for the high yielding and sensitive cultivar; a mixture of the both fungicides at the rate of one-half each was also as effective but at a much less cost, it should be used as an alternative under severe epidemic. For moderate severity Dithane is still the cheapest choice and the lowest risk. A possible suggestion is to spray Dithane 2-3 times for moderate rust severity and 3-4 sprays for high severity; first fungicide spray should be started when approximately 9% rust occurs, if this occurs 55 DAS for OCB or 60 DAS for Sukotai 1 and 7608 then no spray is necessary. For downy mildew disease, it is not serious in the northern soybean growing area but it has the potential to cause some yield loss for sensitive cultivar, especially if it occurs with rust; Dithane could have partial control on the disease. Normally, soybean planted in October with rust control would have higher seed yield than later planting dates but if no control was imposed on the disease, the yield could become less than November planting, so rust control is important; however, spraying according to a fixed schedule may incurred cost without gain as would have happened in 1998 planting date when disease forecast gave only one spray warning instead of 3-4 as would have been recommended.

Only rust and downy mildew at a moderate and high severity could they reduce leaf and shoot weights but the effect was often not detected statistically, whereas seed size and, to a less extend, seed numbers per plant were more sensitive to statistical test.

บทสรุป

ปลูกถั่วเหลืองสามพันธุ์ตั้งแต่พฤษภาคมถึงเดือนธันวาคมปี 2539-2541 ที่ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทำการทดสอบการควบคุมโรคราน้ำค้าง (*Peronospora manshurica*) และราสนิม (*Phakospora pachyrhizi*) โดยใช้สารเคมีพ่นด้วยวิธีการต่างๆ (50 gm/20 L of Ridomil 72% WP and 35 gm/20 L of water of Dithane M-45 80% WP) มีการบันทึกและวิเคราะห์วันเกิดโรค การพัฒนาการของโรค และการเจริญเติบโตของพืช สร้างสมการโดยใช้ logistic function และคำนวณพื้นที่ของโรคได้เส้นกราฟ (RAUDPC) ถึงระยะ R7 เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบความรุนแรงของโรค ระดับความต้านทานต่อโรค และคำนวณความสูญเสียของผลผลิต ได้พัฒนาระบบการพยากรณ์โรคทั้งสอง นอกจากนั้นได้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยโรคถั่วเหลือง(ภาษาไทย) (บทสรุปใน Appendix 1)

โรคราน้ำค้างเกิดขึ้นเกือบทุกวันปลูก (ค่าวันเกิดโรค 11-56 วันหลังวันปลูก) ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนธันวาคม แต่ระดับความรุนแรงของโรคจะมีตั้งแต่เล็กน้อยมากในวันปลูกแรกๆหรือวันปลูกท้ายๆจนถึงระดับเกือบปานกลางในวันปลูกตุลาคมหรือพฤศจิกายน(ประมาณ 30% สำหรับพันธุ์อ่อนแอ OCB) ในช่วงหน้าฝนอุณหภูมิไม่ค่อยเหมาะสม(ส่วนใหญ่ > 26 °c) แต่ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) จะดี (> 80%) ในช่วงปลูกตั้งแต่ตุลาคมถึงธันวาคมระยะแรกๆอุณหภูมิอยู่ในระดับเหมาะสม (20-25 °c) แต่ RH จะต่ำกว่า 80% และไม่มีฝนตกหรือมีน้อยครั้งมากซึ่งจะเป็นตัวจำกัดการระบาดของโรค แต่ความรุนแรงจะมากกว่าหน้าฝน โรคจะเกิดอย่างรวดเร็วในระยะการพัฒนามาใบ (หลังระยะ V2) และถึงจะสูงสุดก่อนระยะ R6 สำหรับโรคราสนิมจะเกิดน้อยครั้งกว่าและจะมีความรุนแรงมากเมื่อปลูกในเดือนตุลาคม (เกือบ 100% ในปี 2539) โดยค่าวันเกิดโรคราสนิมอยู่ในช่วง 18-68 วันหลังวันปลูก พันธุ์ 7608 มีความอ่อนแอต่อโรคราสนิมมากกว่าพันธุ์ OCB และสุโขทัย 1 มีระดับความแตกต่างกันของโรคนี้ใกล้เคียงกันแต่น้อยกว่าพันธุ์ 7608 สำหรับวันปลูกเดือนตุลาคมระดับความรุนแรงของโรคขึ้นอยู่กับความยาวของเวลาที่ใบเปียกและ อุณหภูมิที่เหมาะสม (อุณหภูมิช่วงกลางวันประมาณ 15-23 °c) ของช่วงเดือนธันวาคมถึงช่วงแรกของเดือนมกราคม ช่วงที่เหมาะสมได้เลื่อนไปเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ในปี 2542 โรคราสนิมเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วหลังระยะ R4 หรือ R5 ในสภาพอากาศที่เหมาะสม

ระบบการพยากรณ์โรคราสนิม (โมเดล RUSCAST) และโรคราน้ำค้าง (โมเดล MILCAST) ประกอบด้วยการทำนายวันเกิดโรคและการพัฒนาการของโรค ระบบทั้งสองมีโครงสร้างเหมือนกัน มันจะอ่านข้อมูลอากาศรายวัน (อุณหภูมิและ RH) ทุกสี่หรือห้าวันหาค่าเฉลี่ย และคำนวณค่าพารามิเตอร์ของ logistic function แล้วประเมินค่าความรุนแรง โมเดลจึงไม่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทางชีววิทยาของโรคและของพืช แต่อุณหภูมิและ RH จะถูกแบ่งแยกออกเป็นลำดับขั้นโดยแต่ละระดับเป็นตัวบ่งถึงระดับความเหมาะสมของสภาพอากาศ กระบวนการจะสิ้นสุดเมื่อถึงระยะอายุพืชที่กำหนด เสร็จแล้วจะประเมินความเสียหายของผลผลิตที่เนื่องมาจากโรคราสนิมอย่างเดียว (ใน RUSCAST) หรือผลกระทบรวมของโรคราสนิมและโรคราน้ำค้าง (ใน MILCAST) โดยใช้ RAUDPC และ single point model โมเดลจะใช้พันธุ์ที่อ่อนแอที่สุดเป็นหลักแล้วปรับหาสัมประสิทธิ์ของความต้านทานสำหรับพันธุ์อื่นๆ ผลการพยากรณ์วันเกิดของโรคไม่ค่อยตรงกันหรือว่าโรคจะเกิดหรือไม่ซึ่งมักจะเป็นในวันปลูกแรกๆและระยะที่มีการเปลี่ยน

จากการเกิดซ้ำมาเกิดเร็ว หลังจากช่วงนั้นค่าการพยากรณ์จะแตกต่างจากค่าที่วัดภายในห้าวัน ถึงแม้ว่าได้ยังไม่ได้มีการทดสอบโมเดลอย่างจริงจังสำหรับสภาพแวดล้อมต่างๆกัน โมเดล RUSCAST ก็ให้ผลการ calibrate ที่น่าพอใจแต่ก็มักจะให้ค่าที่ต่ำกว่าที่วัดได้ในช่วงระยะหลังๆของการพัฒนาการของโรคราสนิม สำหรับ MILCAST โมเดล ผลการทดสอบให้ค่า RAUDPC ที่ต่ำกว่าที่ควรจะเป็นในหลายกรณี ยังต้องการ calibrate เพิ่มขึ้น

การควบคุมโรคราสนิมสามารถทำให้มีระดับต่ำมากได้ด้วยการพ่นสาร Ridomil และ Dithane สลับกันไป ในสภาพที่มีโรครุนแรง วิธีการนี้สามารถป้องกันความสูญเสียได้ 33-60% ขึ้นอยู่กับระดับความอ่อนแอของพันธุ์ต่อโรคนี้ แต่วิธีนี้ก็ยังไม่ให้ผลกำไรถึงแม้ว่าสาร Ridomil จะมีราคาแพง ถ้าความสูญเสียมีค่าต่ำกว่า 33 % การควบคุมโรคด้วยวิธีการดังกล่าวจะไม่มีกำไรสาร Dithane ซึ่งสามารถลดความสูญเสียได้ 33-48% และในสภาพที่มีโรครุนแรงการใช้สารนี้ยังให้กำไรสูงใกล้เคียงกับวิธีข้างต้น มันเป็นการเสี่ยงมากที่จะแนะนำวิธีการข้างต้นในการควบคุมโรคราสนิมถึงแม้จะใช้กับพันธุ์ที่มีผลผลิตสูงแต่อ่อนแอ การใช้สารผสมระหว่าง Ridomil และ Dithane ในอัตราครึ่งต่อครึ่งให้ผลดีในการควบคุมโรค และยังคงถูกกว่าด้วย และควรจะใช้เป็นทางเลือกใหม่ในกรณีที่เกิดการระบาดอย่างรุนแรง ในกรณีที่มีความรุนแรงปานกลาง Dithane เป็นสารที่ถูกที่สุดและมีความเสี่ยงน้อยที่สุด โดยการพ่นสาร Dithane 2-3 ครั้ง และในกรณีที่มีความรุนแรงมากควรพ่น 3-4 ครั้ง การพ่นครั้งแรกควรทำเมื่อ โรคแสดงความรุนแรงประมาณ 9% และถ้าความรุนแรงนี้เกิด 55 วันสำหรับพันธุ์ OCB หรือ 60 วันหลังปลูกสำหรับพันธุ์สุโขทัย 1 และ 7608 ก็ไม่ต้องพ่น สำหรับโรคราน้ำค้างซึ่งไม่รุนแรงในพื้นที่ทางภาคเหนือ จึงไม่จำเป็นต้องควบคุม แต่มันมีศักยภาพในการทำให้เกิดความสูญเสียบ้างเล็กน้อยกับพันธุ์ที่อ่อนแอโดยเฉพาะถ้ามันเกิดพร้อมกับโรคราสนิม Dithane มีฤทธิ์ในการควบคุมโรคราน้ำค้างบ้าง ปกติถ้าเห็บหรือที่ปลูกในเดือนตุลาคมจะให้ผลผลิตที่สูงกว่าที่ปลูกในเดือนถัดไป ถ้าหากมีการควบคุมโรค แต่ถ้าไม่มีการควบคุมก็จะทำให้ผลผลิตน้อยกว่าเดือนพฤศจิกายน ดังนั้นการควบคุมโรคราสนิมจึงมีความสำคัญ แต่การพ่นสารเคมีตามกำหนดเวลาจะทำให้ขาดทุนได้อย่างเช่นในวันปลูกเดือนตุลาคมปี 2541 ซึ่งการพยากรณ์มีการเตือนให้พ่นเพียงหนึ่งครั้งแทนที่จะต้องพ่นตามคำแนะนำ 3-4 ครั้ง

การเกิดโรคทั้งสองพร้อมกันหรือโรคราสนิมอย่างเฉียวในระดับปานกลางถึงรุนแรงเท่านั้นที่จะทำให้ น้ำหนักใบและต้นลดลงแต่ก็ยังไม่แสดงออกด้วยการทดสอบทางสถิติ ขณะที่ขนาดของเมล็ดและในบางครั้งจำนวนเมล็ดต่อต้นมักจะแสดงออกทางสถิติ

Part I: Foliar Disease Forecasting System and Yield Loss Assessment

Soybean rust (*Phakospora pachyrhizi*) is an important disease in Asia (Kitani and Inoue, 1960; Ogle et al. 1979) and serious damage has been often reported, whereas downy mildew (*Peronospora manshurica*) can be found worldwide but it seldom causes a serious loss (Sinclair and Backman, 1989). In Thailand, the damage caused by rust disease was 10-30% (Sangawinge, 1973) and by downy mildew was up to 15% (Poonpolkul et al. 1977)

It is well known that plant disease infestation depends on interaction among pathogen, crop and environmental conditions (Zadoks and Schein, 1979). Given that pathogen is present and crop is vulnerable to disease, environment is the major determinant. The best control of foliar disease is of course through breeding for resistant; and if breeding is less successful, the common practice is to use pesticide sprayed at some regular time intervals regardless of what might be the future weather conditions, which is costly as more pesticide is used. Since foliar disease and its severity depending on temperature, air humidity or leaf wetness and/or wind (Zadoks and Schein, 1979) and it has been over 30 years that scientists have tried to develop disease forecasting system so as to minimize the use of pesticides without sacrificing high yield, Zadoks (1984) called such forecast as a warning system. The system can also be used for identifying disease potential area if historical weather data is available, which will lead to better planning of disease management. Many present disease simulation model are based on mechanistic system, i.e. infectious and latent periods (Knudsen et al. 1987, Teng et al., 1980); but a numbers of forecasting systems are based on empirical model having weather conditions as a driving force, some of such systems had been reported to reduce fungicide application. For example, peanut leaf spot uses daily temperature and air humidity (Jensen and Boyle, 1966; Parvin et al., 1974) it could reduce the number of fungicide applications by 4.25 times per season. The FAST forecaster for tomato early blight disease could save the spraying by 70% (Madden et al., 1978). Some of the systems that are in operation are potato blight diseases (BLITECAST, Krause et al. 1975), EPIPRED (Zadoks, 1989). For soybean rust, a number of growth chamber studies on the relationship of environment and certain growth stages of the pathogen has been reported (Casey, 1979; Marchetti et al. 1976; Melching et al. 1979). Many simulation models

created for many crops were based on the control conditions. For practical purpose, the model should be conveniently validated and not very complicated. An extensive field experiments had been done in Taiwan (Tschanz, 1984) from which a rust simulation model was developed and validated by Yang et al. (1991): the model uses dew period and temperature to estimate infection rate, latent period and senescence rate of the disease lesions, in contrast, no model has been created for downy mildew. Although many studies had been done on fungicide control on rust (AVRDC, 1992) but the analysis on the yield loss were rarely reported. Yield loss due to plant disease is an important aspect in crop management, although there were reports of yield loss but no functional form has been established in Thailand. Threshold yield loss is a very nice concept but the market price mechanism is dynamic and complex; in this project a simple price of fungicide and product will be used in evaluating the worth of disease control.

The objective of this report was to 1) develop a forecasting system for both rust and downy mildew diseases under lowland Chiang mai conditions, 2) establish yield loss functions for rust alone and combined effect of rust and Downy mildew, and 3) evaluate fungicide applications on yield loss and cost of control in order to provide basic information on a possible control strategy for practical management.

Materials and methods

The data on downy mildew and rust diseases used in this part of the report were compiled from the experiments conducted from May through December planting dates in 1996-1998 at Multiple Cropping Center (MCC), Chiang mai, Thailand. Three soybean cultivars, Sukotai 1 (about 50% more resistant to downy mildew in comparison to OCB), OCB (sensitive to the mildew), and 7608 (almost completely resistant to the mildew), of different growth durations and degrees of susceptibility were investigated. Various fungicide treatments were applied to study controlling strategies, the experiment was laid out in split-plot design. The full description of a three-years experiment was presented in the progress report 1-5 and Part II in this final report. The data on the time of disease occurrence were obtained from all planting dates whereas those on the severity were mostly derived from October to December planting dates. The disease forecasting model consists of three main parts. The first part is concerned with predicting the time of disease occurrence of downy

mildew and rust; at least five plants showing disease symptom on unifoliate was taken as onset and the relationships between date of onset (DAS) and average five days of weather variables before onset were studied. Two functional relationships were created: one for soybean planted before July, 16, during which diseases usually occurred late, and the other for earlier onset after July, 16.

The second part of the model is concerned with estimating disease severity. In the early period of model development (second year period) the attempt was to directly relate daily change in disease to weather variables, such as temperature or RH or numbers of rainy day alone (in progress report #3) but predicting disease progress was rather poor due to inter-relation among the variables; in the field condition it is not likely that single weather variable could account for disease fluctuation throughout the growing season. In the present version, the disease values of each three cultivars were gathered from no control plots of all sowing dates that had sufficient sample numbers ($n \geq 5$) and were fitted by logistic function. The estimated parameters were then related to average weather variables from 25-60 DAS for downy mildew (OCB), and 45-72 DAS (cv. OCB) and 50-78 DAS (cv. 7608) for rust. Since in each planting date the initial and the final dates of samples were not the same, the logistic function of the form $y = y_m / (1 + \exp(b_0 + b \cdot t))$, where y_m is the maximum disease severity, was fitted and used to calculate relative disease area under the progress curve (RAUDPC) (Fry, 1978), i.e.

$$\text{RAUDPC} = \text{SUM}(Y_i + Y_{i+1}) \cdot (t_{i+1} - t_i) / (2 \cdot (t_n - t_1)) \quad (1)$$

which were used to compare disease severity of different cultivars and planting dates by adjusting the growth stage of the final date. The time interval for calculating RAUDPC was 25-62 DAS and 35-72 for downy mildew and rust diseases on OCB, respectively; and 35-82 DAS for rust on 7608 and Sukotai 1. RAUDPC was also used in predicting percentage of yield loss due to rust alone or both diseases; the yield data were obtained from soybean planted in October-December during which no other diseases would be confounded with rust and/or downy mildew disease effect; the loss was calculated as $(Y_c - Y_i) \cdot 100 / Y_c$, where Y_c and Y_i were the means of dry seed weight (kg/ha) of fully disease-protected plot and diseased one, respectively; in fitting the yield loss function outliers were removed. However, since RAUDPC cannot distinguish disease severity early and late in the season (Campbell and Madden, 1990), a single-point model, which relates yield loss to percent rust disease

at 55 DAS on OCB or 60 DAS on 7608, and 55 DAS for downy mildew, was also established, for the comparison purpose.

The final part considers the yield loss assessment resulting from the impact of downy mildew and/or rust. For OCB cultivar, the rust model was run to produce disease progress curve, RAUDPC, and percentage of rust at 55 DAS, which was saved and used for estimating yield loss in combination with downy mildew effect when downy mildew model was run. Neither simulation of disease progress nor prediction of yield loss caused by downy mildew was made for Sukotai 1 because the function required to estimate a constant which will be used as part of susceptibility coefficient was not reliable and further more the downy mildew severity on cv. Sukotai 1 was very low. The economic return was estimated by assuming that the cost of fungicide and price of soybean remains the same over the three-years period, and no other cost involved in soybean production was included. The price of Ridomil 72% WP and Dithane M-45 80% WP used in calculation was 345 Baht/500 gm and 150 Baht/kg, respectively. Fifty gram of Ridomil and 35 gm of Dithane per 20 L were used which could be sprayed over 200 m². Price of seed yield was 9 Baht/kg for high quality seed with seed moisture at 1.14%. For PD4(17/10) and PD5(11/11) in 1997, the yields of fully controlled treatment and Dithane sprayed at R3 stage were averaged because the effects on yield were about the same; similarly, for PD5(26/11) in 1998, three sprayed treatments were averaged but the costs of sprayed were calculated separately for each treatment.

Model description:

The following description of functional forms does not separate the model for soybean downy mildew and rust since the general structure of the model for the two diseases is similar but differ only in details. The structure of computer model for predicting foliar disease progress over the growing seasons is displayed in Fig. 1 for the main program. Daily maximum and minimum temperature(TMX,TMIN) are read, and daily physiological day(PHYO) of soybean is calculated as (Wilkerson et al.,1985):

$$\begin{aligned} \text{PHYO} &= (T - T_L) / (T_{OP} - T_L), & \text{if } T_L < T < T_{OP} \\ &= (T_X - T) / (T_X - T_{OP}), & \text{if } T_{OP} < T < T_X \end{aligned} \quad (2)$$

$$= 0, \quad \text{if } T > T_x \text{ or } T < T_L$$

where T is the average of TMX and $TMIN$; T_L , T_x , and T_{Op} are lower, upper limit and optimum temperature in Celsius of soybean, which equals to 7, 45 and 30 (Wilkerson et al. 1985), respectively. Daily temperature, relative humidity(RH) and PHYO are stored for retrieval and processed every 4 or 5 days, depending on user. An accumulated PHYO from sowing date to i th day is checked against plant growth stage. The program allows user to enter the date of disease onset if it is known or else it will call subprogram to estimate it. If the date of disease occurrence is beyond the certain growth stage it will not continue i.e. $PHYO > c1$ (Fig. 1), otherwise the system will call subprogram to calculate the disease progress until the accumulated PHYO equals to R6 for downy mildew and about R7 for soybean rust. The model also gives a spray warning if a disease severity has reached the pre-specified level. At present the threshold value is not known but from data it is guessed to be 8.5% and 9.3% for soybean downy mildew and rust, respectively; if the first spray is delayed it is likely that yield loss would increased in proportion to the length of delay. The model stops running when the PHYO has gone beyond R6 growth stage for downy mildew and before R8 stage for rust disease.

At the end of disease estimation a subprogram is called to calculate RAUDPC for early and late-maturity varieties which is then used to predict yield loss. The final step is to call Function subprogram to interpolate percent disease at 55 DAS or 60 DAS use it to estimate yield loss. The functional form for yield loss (YLOS) estimation due to soybean rust was the square-root transformation of YLOS, i.e.

$$YLOS^{1/2} = a * X \quad (3)$$

where X is RAUDPC (an integral model) or percent disease at 60 DAS (a single point model) for rust alone.

In the case of cultivar that is susceptible to both rust and downy mildew, such as OCB, X is a sum of RAUDPC of rust and downy mildew. For a single-point model, the form is:

$$YLOS^{1/2} = a * RS55 + b * DY55 \quad (4)$$

where RS55 and DY55 are % rust and downy mildew at 55 DAS. For OCB the prediction of yield loss will be carried out in the program monitoring downy mildew disease, i.e. at the end of

processing the mildew disease the model will retrieve rust data which was derived from the rust forecasting program.

Onset subprogram: The subprogram (Fig. 2) reads daily weather data and calculate the means over 5 days period and call the function in each path of temperature and RH range. For downy mildew, OCB and Sukotail have different degrees of susceptibility to the pathogen and at present there is no coefficient can be established between the two cultivars to make it possible to use the same submodel. In the models it is assumed that the disease onset time will not occur in 10 days or less for downy mildew and 15 days for rust disease. The start of disease onset for the two cultivars varies among planting dates , therefore, different functions are used for OCB and Sukotail. For OCB the onset function for mildew disease, which is in an exponential form, for soybean seeded after July, 16 is:

$$ONDY = EXP(3.271 - 0.00063*W), \quad \text{if } W < 785 \quad (5.1)$$

$$ONDY = EXP(3.271 - 0.00063*W + 0.00591*(W-785)), \quad \text{if } W \geq 785 \quad (5.2)$$

where $W=(T-10)*(RH-40)$

For Sukotai 1, planted after 16 July, onset function depends on RH only, i.e.

$$ONDY = EXP(4.1161 - 0.01477*RH) \quad (6)$$

For rust, it is assumed to occur about the same time for the three cultivars; the function for sowing dates after July 16 is:

$$ONRS = 33.24 - 0.0162*W, \quad \text{if } W < 745 \quad (7.1)$$

$$ONRS = 33.24 - 0.0162*W + 0.2492*(W-745), \quad \text{if } W \geq 745 \quad (7.2)$$

Disease progress subprogram: Once the onset date is known and it is not beyond the critical growth stage of the crop, the submodel (Fig. 3) is called to find average temperature and RH over 5 days which is used, under a specified temperature and RH path, to estimate the parameters of the logistic function and then calculate the disease at time t , that is, the parameters are not constant over time. The form of functions for estimating a constant and an apparent rate (r_t) of both diseases is the same as shown in equation (5.1) and (5.2) but different coefficients.

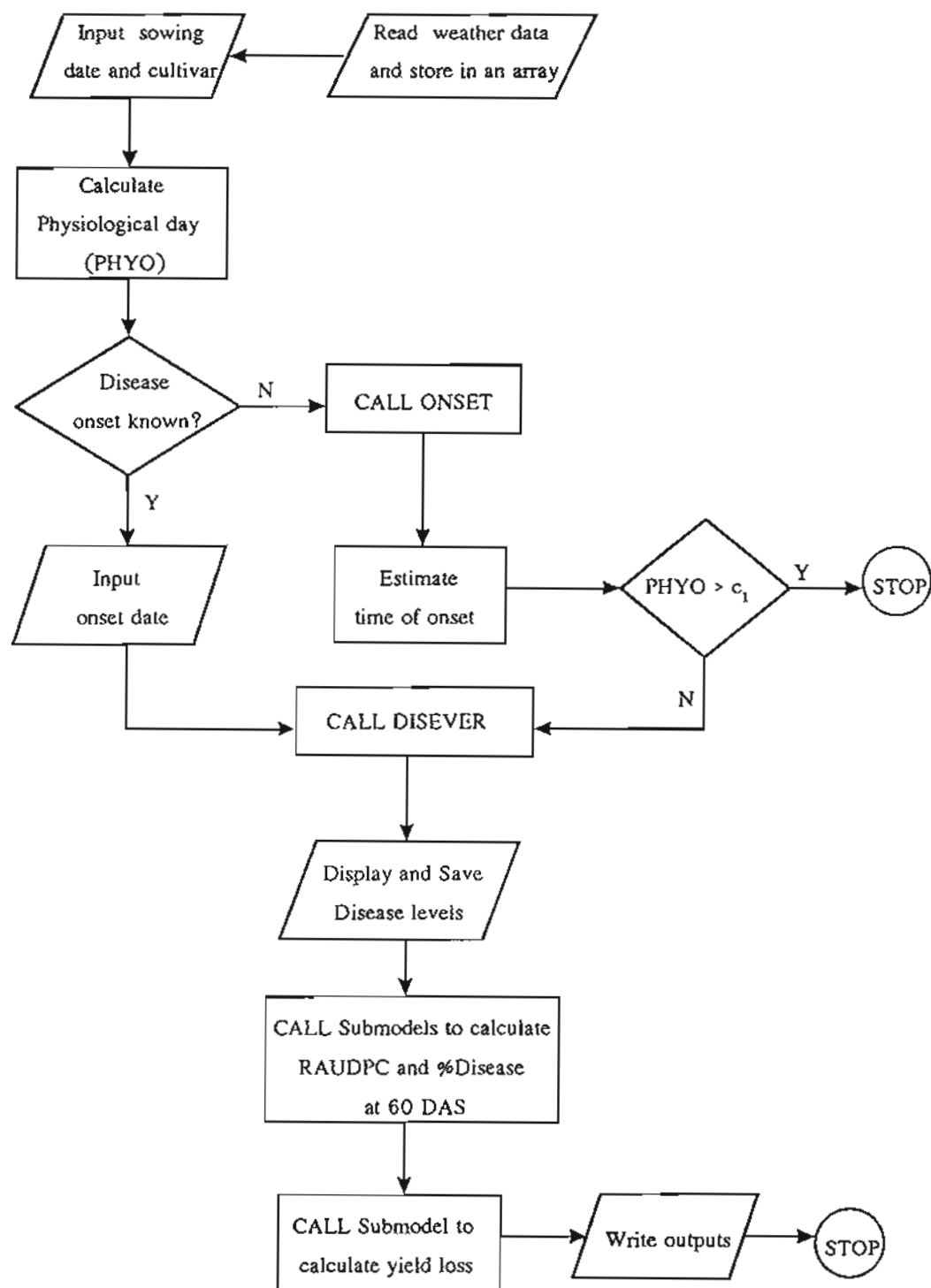


Fig. 1. Flow chart of the main program of the soybean foliar disease.

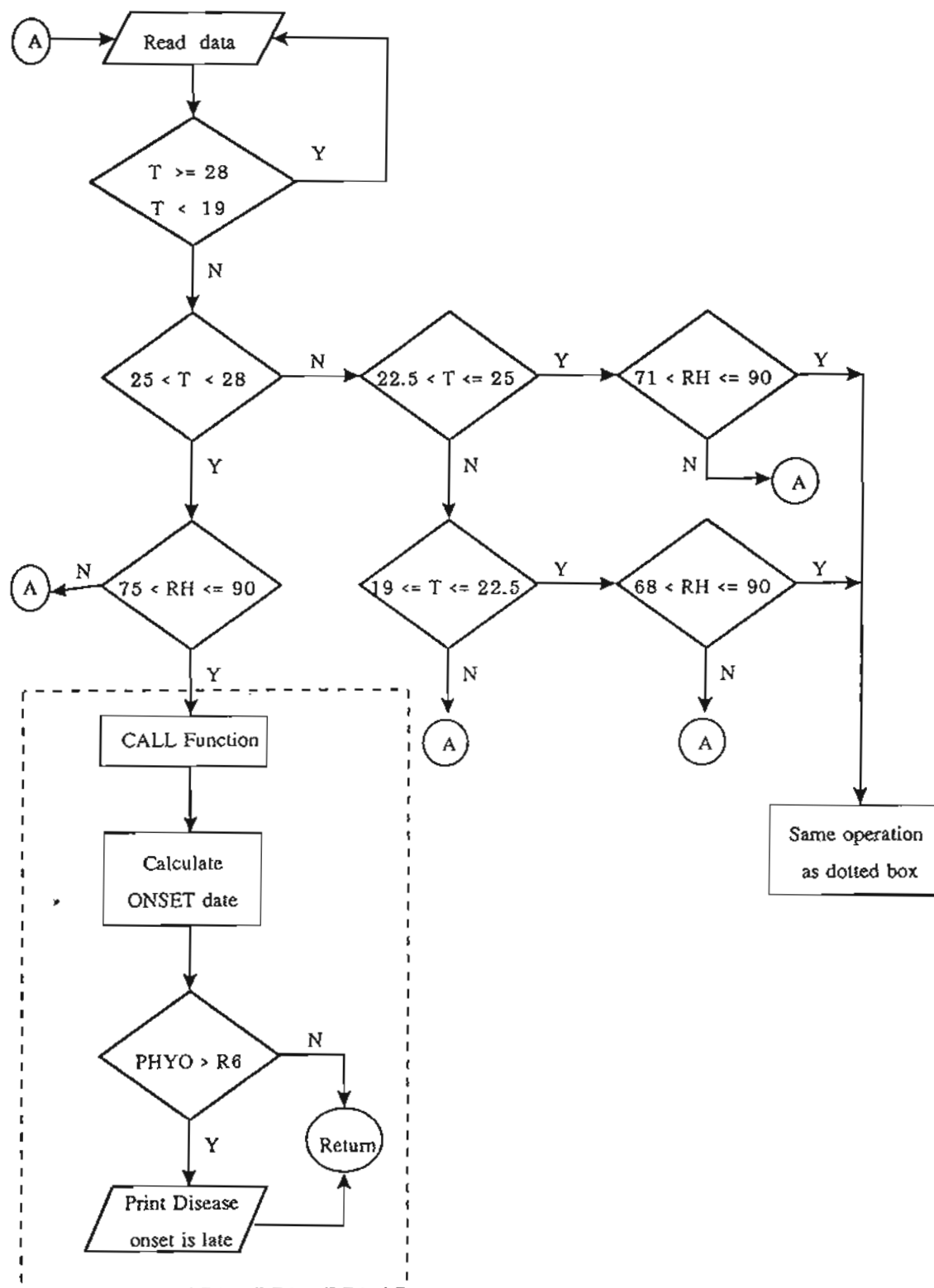


Fig. 2. Flow chart of the onset subprogram for predicting onset time of the soybean foliar disease.

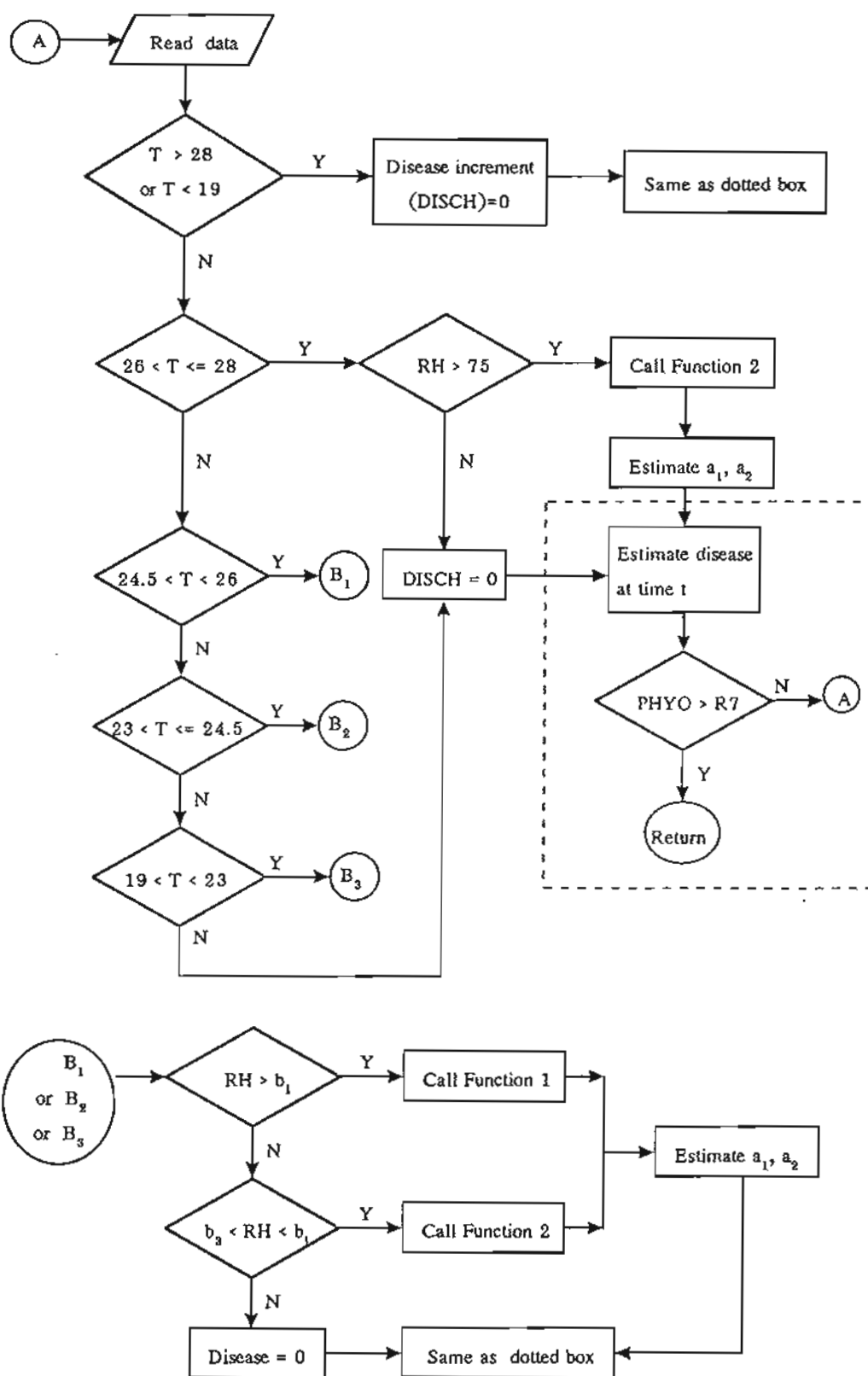


Fig. 3. Flow chart of the disease severity subprogram for estimating disease progress of the soybean foliar disease.

Various paths may use different functions in estimating each set of parameter depending on the conditions of the two weather factors. In the case of rust, during the period prior to R5 stage and after the midway between R6 and R7 stages, if an increment is greater than 3% and 7%, respectively, for each 5 days, then the increment (DISCH) is modified as $DISCH_t = r_t * DISCH_t$ for early stage, and $DISCH_t = r_t * Y_{t-1} * (1 - Y_{t-1})$ for late stage, where Y_{t-1} is disease level at time $t-1$. Although the values used look arbitrary but it appears to work quite well. The forecasting programs for both soybean rust and downy mildew are given in the appendix 4 and 5.

In rust model, simulation of disease progress is based on cultivar 7608 as a reference. when OCB or Sukotai 1 is chosen the logistic function in the model is modified by a susceptibility coefficient (s) of each cultivar, and further more the intercept is also modified, thus now the logistic function is $1/(1 + \exp(s*(a*k*b - bt)))$, where a is a function of RH and temperature, i.e. $a=f(RH*T)$, which indicates that it varies with environment as the logistic parameters, and k is another constant.

Validation: Since the forecasting system does not simulate biological process, e.g. infectious period, the calibration is undertaken to check whether the temperature and RH divisions produce a reasonable results in most planting dates with moderate and severe rust infestation. The data from PD4(2/10), PD5(14/11) in 1996 and PD5(26/11) in 1998 were used in calibration for rust; and PD4 and PD5(26/11) in 1996 and 1998 for downy mildew, respectively. It should be noted that for this type of simulation model the calibration is not the same as the conventional mechanistic model. The best fit was aimed at October and November planting dates and then adjust the temperature and RH paths so that a reasonable fit was obtained for PD5, 1998 data. A function for estimating the parameter was sometimes modified when a new data were available, and in a rare case the coefficients of the function may be adjusted slightly without re-fitting the function during the calibration. To simulate rust on OCB and Sukotai 1, the values of susceptibility (s) and a constant (k) were introduced and calibrated the results against the rust data of PD4, 1997 and PD5 1997-98 for OCB; and PD4 and PD5, 1997 for Sukotai 1 which gave $s=.92$ and $k=.95$ for OCB, and $s=.85$ and $k=1.065$ for Sukotai 1. These coefficients may have to be calibrated again when the functional relationships in the model are adjusted. In downy mildew model no calibration on the coefficients has not been made for Sukotai 1 since the severity on Sukotai 1 was too low, except for one set. The value of RAUDPC from the simulation was compared with that obtained from logistic function.

Related Data: For comparative study, weather data and spore counts from 1996-1998 are included to show the variations.

Weather data: Five-day average of daily temperature, relative humidity (RH), rainfall and the number of hours during which the $RH \geq 90\%$ from May to December to February 1996-1998 are shown in Fig. 4 to 6. Average temperatures in 1996 tended to be lower than the other two years, while those of 1998 tended to be higher. High RH in the rainy season is usually associated with rainfall but a higher temperature in 1998 and a lower RH in the early rainy season (upto day 215 or week 31) might be accounted for by less frequent rainfall. A low temperature during day 330 to 400 also had low RH this was associated with no or little rainfall. However, from November till December, low temperature at night(around 18-22 °c) is favorable for dew formation. Hours of leafwetness was also recorded but it had low correlation with disease onset and severity therefore it was not utilized in the model even though it is an important factor in the process of spore germination, penetration, and spore production (Zadoks and Schein ,1979); however, dew formation usually associated with high night humidity and suitable temperature, therefore the two variables were used.

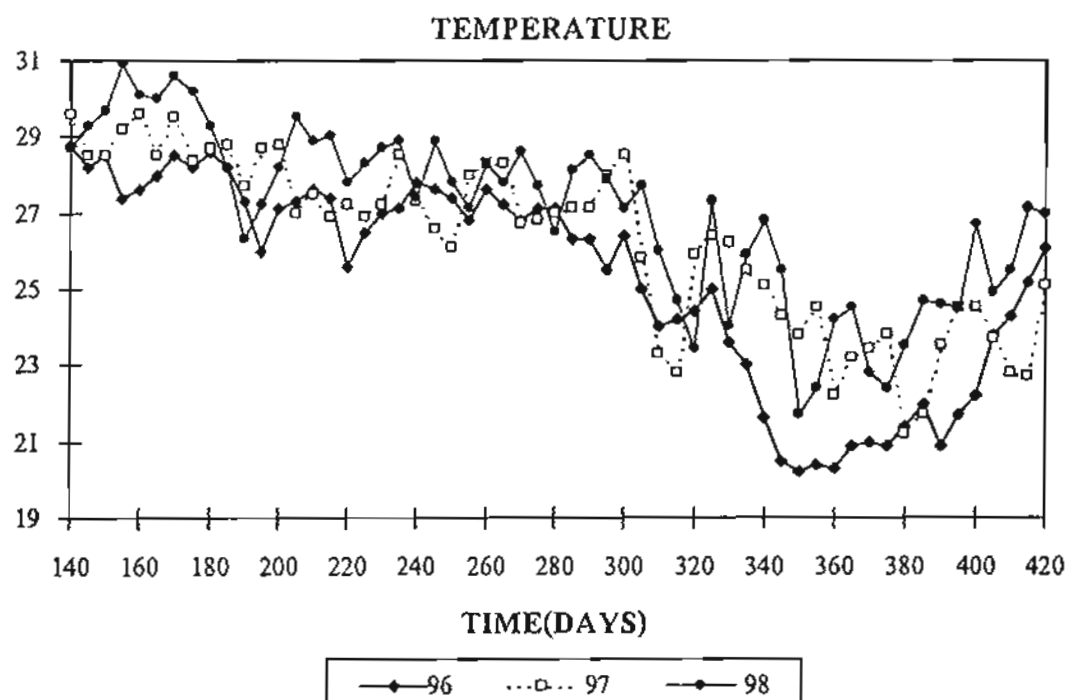


Fig. 4. Average five days temperature (°c) from May to December to February 1996-98.

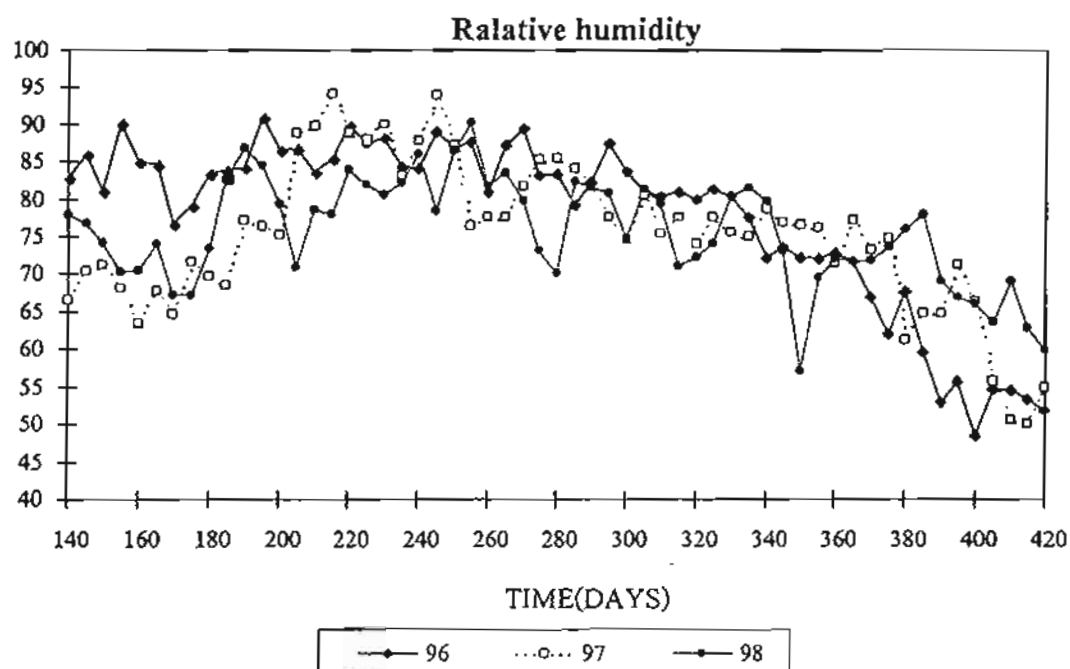


Fig. 5. Average five days relative humidity(%) from May to December to February 1996-98.

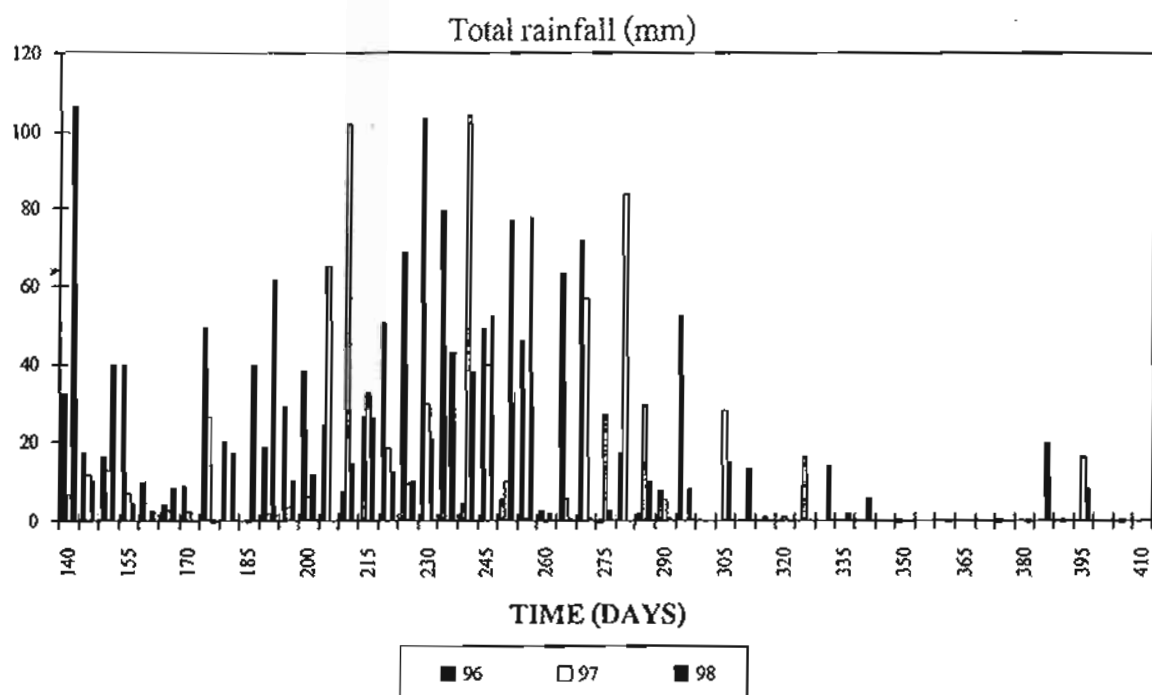


Fig. 6 Five days total rainfall(mm) from May to December 1996-98

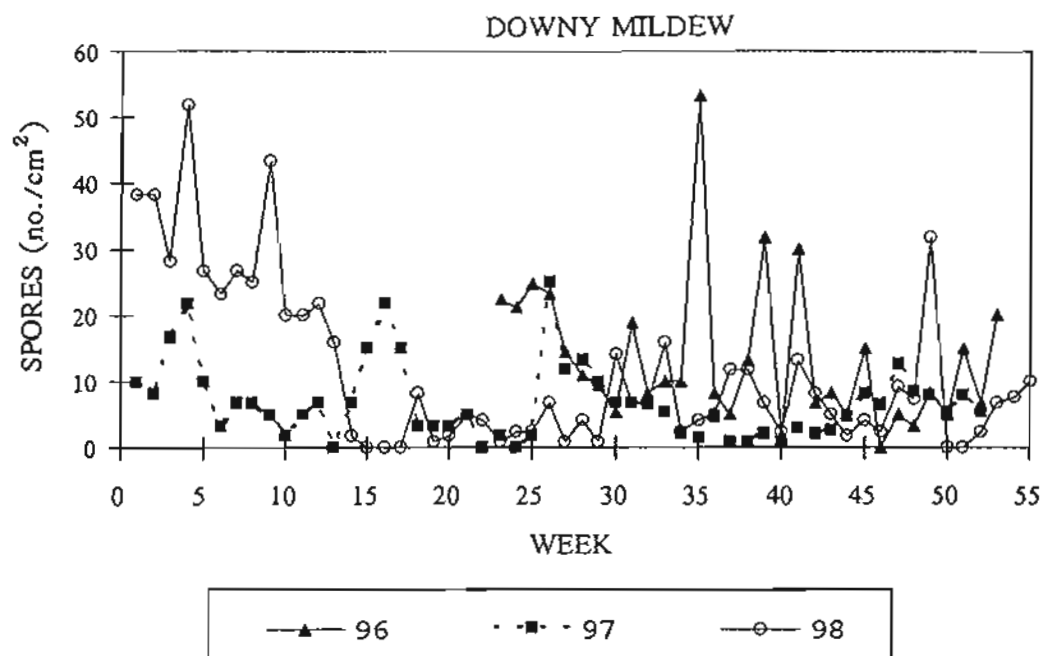


Fig. 7. Average number of spores per cm² per day of *P. manshurica* during 1996-1998. (spore trapping started in June, 1996)

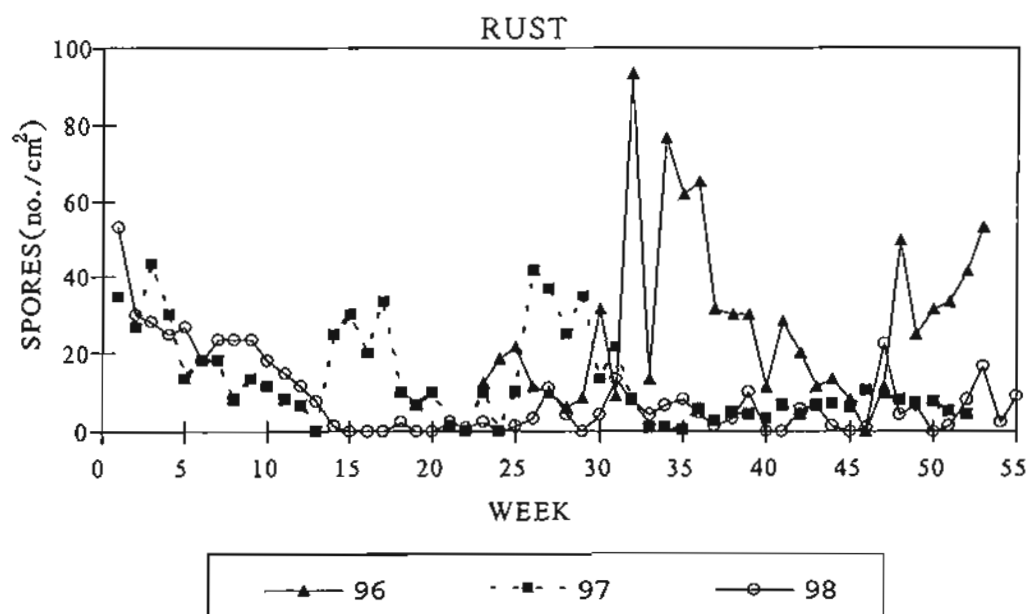


Fig. 8. Average number of spores per cm² per day of *P. pachyrhizi* during 1996-1998.

Spore traps: Spores of *Peronospora manshurica* and *Phakopsora pachyrhizi* were trapped on slide and two slides per week were counted and averaged. The results are shown in Fig. 7 and 8. From

June 1996 (week 23) towards the end of October (week 43), spore population of *P. manshurica* in the air appear to be higher than 1997-98, whereas those of *P. pachyrhizi* increased markedly in August (week 32) in 1996 but the counts are very low in 1997-98. A prolonged period of unfavorable weather conditions (day 140-190) was likely to account for low spore count and distribution in 1998.

Results and discussion

Relationship between diseases and weather variables

Onset parameters: Since the environmental conditions are very important factors influencing disease epidemics (Zadock and Shein, 1979), the relationships between disease onset, its severity and weather variables were investigated. From the initial analysis, the temperature (TM) and relative humidity (RH) were two variables significantly accounting for the variation and because of multicollinearity between the two weather variables, the product between the two was used. Fig. 9 and Fig. 10 illustrate the variation of time of onset of downy mildew on OCB and rust on 7608 with TM*RH over the three-years period, respectively (each symbol is shown with PD: the first character indicate year, the second one is PD (E='98, Si= ith PD in '96, iS= ith PD in '97: for the actual dates see Table 1 and 2)). From Fig. 9 and Fig. 10, it will be noted that it is not possible to fit a single function to the data since values of RHTM were above 700 the onset would be either early or late in the case of mildew disease, the same thing occurred in the case of rust when RHTM was greater than 450; for soybean planted in May till July tend to occur late unless there is a frequent and moderate rainfall such as 1996. The patterns of onset in Fig. 9 and 10 showed that more than two functions may be needed for prediction but the available data were sufficient for two equations: one for planting date before July 16 and one for after. Although rainfall has the effect on spore density in the air (Berger, 1977) no quantitative relationship could be established in using rainfall. If rainfall has the effect on the outbreak of disease, it may be used as a qualitative variable; but to establish rules with regard to rainfall effect more data together with spore count would be needed.

From Fig. 9, the following function was established for estimating downy mildew occurrence on OCB planted before July, 16 is

$$ODY = 55.67 - (9.089 - .9272*HRH9)$$

where HRH9 is numbers of hour that RH>=90%. For rust onset on all cultivars, Fig. 10 gave the function

$$ORS = 1/(.047 + 22.213*W)$$

The functions for planting dates after July 16 are given in equation (5)-(7).

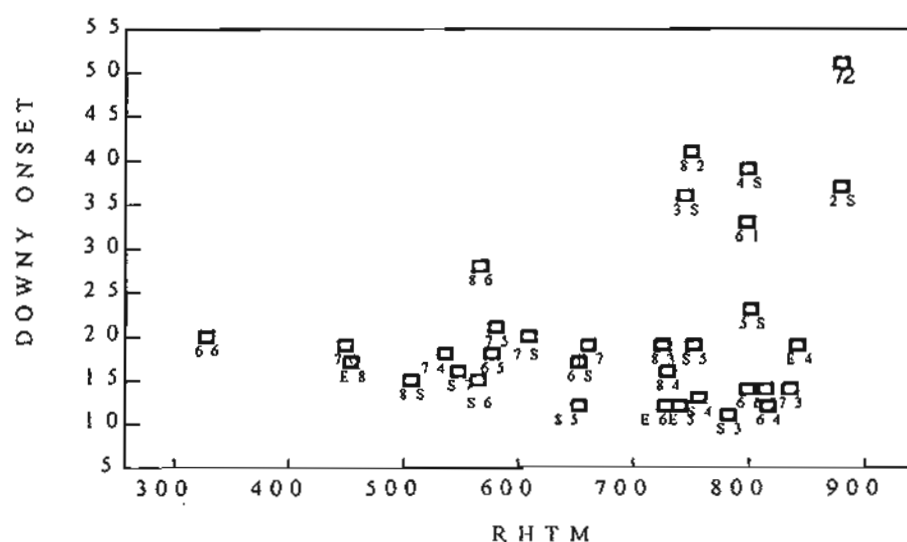


Fig. 9. Onset as DAS of downy mildew on cv. OCB at different planting dates in relation to the product of relative humidity and temperature during 1996-98.

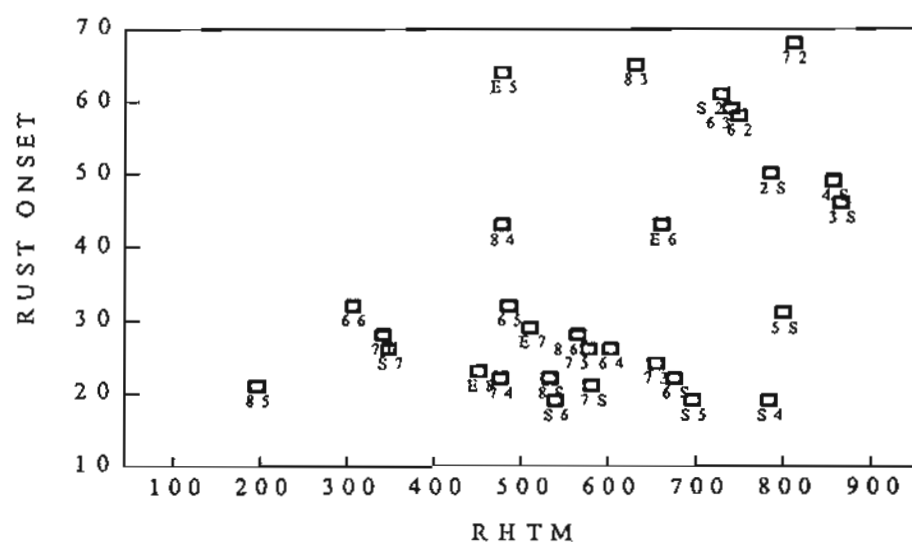


Fig. 10. Days after onset of soybean rust on cv. 7608 at different planting dates in relation to the product of relative humidity and temperature during 1996-98.

Severity parameters: The variation of meteorological conditions over sowing dates and over years (Fig. 4 to 6) has caused a seasonal variation of disease development. Rust severity varied greatly in 1996 from almost 100% in October to practically no rust in December planting dates and it generally decreased in 1997 (Fig. 11) while those in 1998 the slopes appeared to be similar and the curves tended to cluster after PD5(26/11) (Fig. 3 Part II in this report). Those variations can also be demonstrated by the values of parameters obtained from fitting logistic function as displayed in Fig. 13 and 14: rust showed a greater variation, which ranged from 0.047-0.225 /day for the apparent infection rate, while those of downy mildew ranged from 0.014-0.022 /day; Young et al.(1990) reported the values for rust in a range 0.01-0.25 /day. A lower fluctuation of the estimators of downy mildew was due to the limited variation of the disease severity that ranged from zero to the maximum of about 30% which occurred in October-November planting dates and became less for

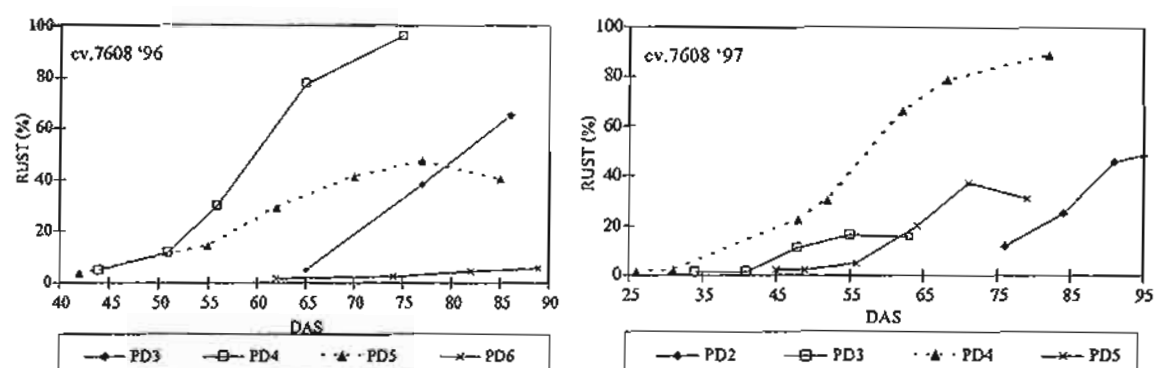


Fig. 11. Progress of soybean rust on cv.7608 planted on 16/7, 2/10, 14/11, and 12/12, 1996; and 6/6, 19/8, 17/10, and 11/11, 1997.

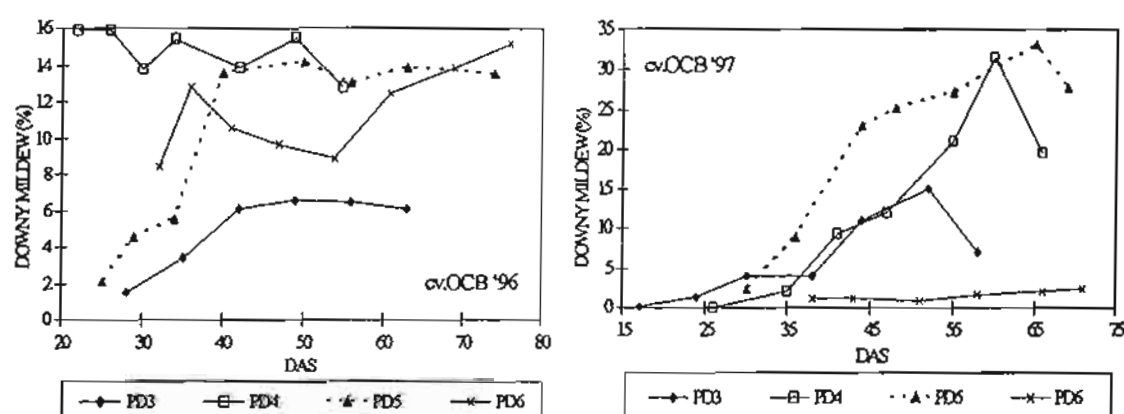


Fig. 12. Progress of soybean downy mildew on cv.OCB planted on 16/7, 2/10, 14/11, and 12/12, 1996; and 19/8, 17/10, 11/11, and 16/12, 1997.

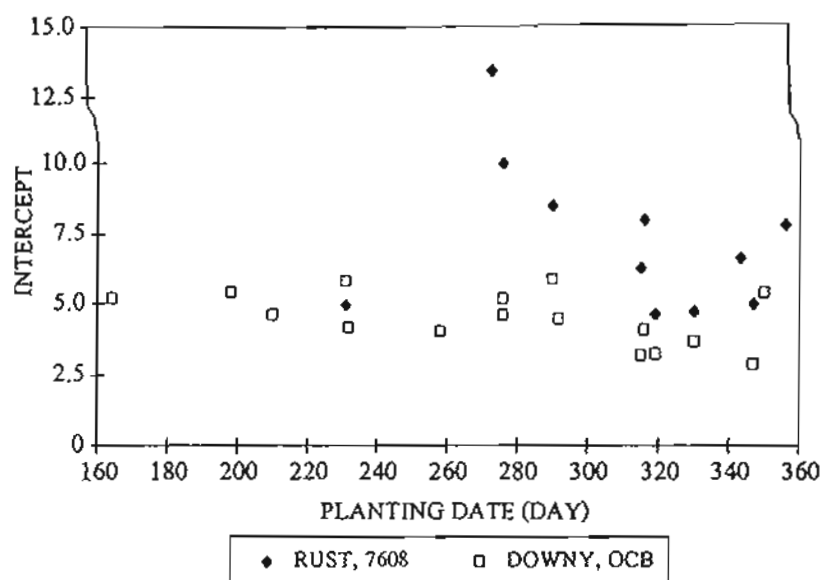


Fig. 13. Intercepts of the logistic function of soybean rust on cv.7608 and downy mildew on cv.OCB at different planting dates during 1996-1998.

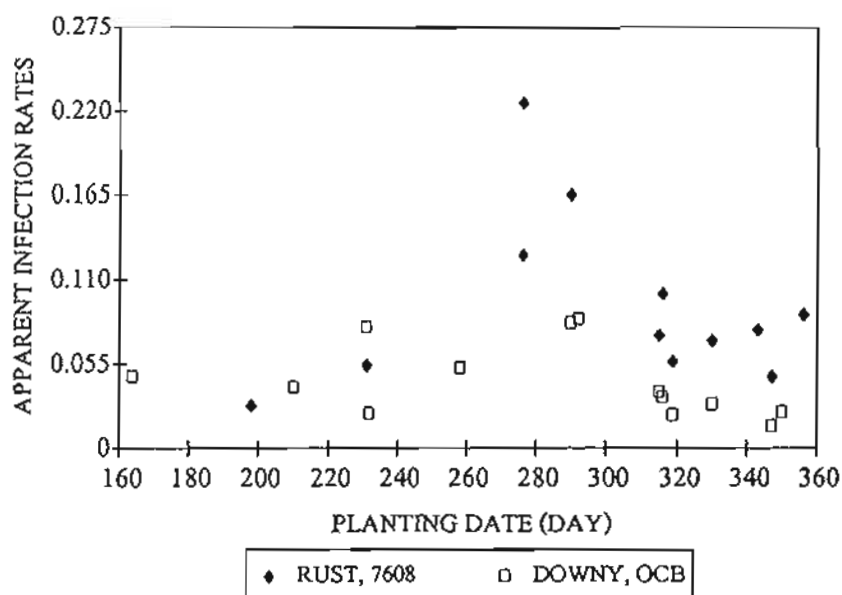


Fig. 14. Apparent infection rates of soybean rust on cv.7608 and downy mildew on cv.OCB at different planting dates during 1996-1998.

soybean planted before and after that period (Fig. 12 and Fig 1. PART I in this report). Intercepts of downy mildew fluctuated less than the apparent infection rates.

A function for estimating apparent infection rate of downy mildew development is

$$r1 = \exp(-5.2997 + .004.85 * W), \quad \text{if } W < 539.6$$

$$r1 = \exp(-5.2997 + .00485 * W - .00687 * (W - 539.6)), \quad \text{if } W \geq 539.6$$

and the rate for soybean rust progress under favorable conditions (see submodel RATE2 in RUSCAST in appendix 4) is

$$r1 = \exp(-3.64 + .00342 * W), \quad \text{if } W < 570$$

$$r1 = \exp(-3.64 + .00342 * W - .0103 * (W - 570)), \quad \text{if } W \geq 570$$

The equations for calculating intercept for downy mildew and rust disease progress under moderately to highly favorable conditions can be obtained from the submodel RATER0 in the programs RUSCAST and MILCAST given in the appendix 4 and 5.

Model performance

1) Prediction of downy mildew and rust occurrence:

Downy mildew: The results of predicting the onset of downy mildew on OCB were not

Table 1. Observed(Y) and predicted time(YH) (days after sowing) of downy mildew onset on cv. OCB at different planting dates(PD) during 1996-1998.

1996			1997			1998		
PD	YH	Y	PD	YH	Y	PD	YH	Y
10/5	35	33	6/6	54	51	15/5	56	-
24/5	35	32	20/6	41	37	24/6	56	41
12/6	36	14	4/7	49	36	14/7	48	-
27/6	36	14	11/7	35	38	28/7	18	19
16/7	16	14	6/8	23	23	20/8	17	20
9/8	16	11	19/8	23	14	15/9	17	13
29/8	16	13	4/9	17	17	6/10*	16	16
2/10*	20	12	17/10*	18	18	19/10	17	12
18/10	18	19	31/10	20	20	12/11	18	19
8/11	18	15	11/11*	18	21	26/11*	17	12
14/11*	18	18	28/11	18	15	9/12	20	17
26/11	18	16	16/12	21	19	22/12	20	28
12/12	21	20						

* referred to as PD4 and PD5 in the text

accurate in some PDs when soybean was planted early in the year (May- July) (Table 1). In 1998 the model produced the results even though no disease was observed, however, the estimates indicated a late occurrence which, in practice, would give the same consequence, that is there would be no further action on the disease: the model will stop running. The same argument is applied if both the observed and predicted differ for 10 days or more but occurred late. An early onset can happen for early sowing date if, as in June, 1996 (Table 1), the number of spores was sufficiently high (no critical value has yet been estimated but it might be over 5 per cm² per day (Fig. 7) and at the same time the temperature was below 29 °c and RH was higher 75% (Fig. 4, and 5); in such cases a large difference between the observed and the predicted would occur, therefore if there exists an area where downy mildew is quite serious in the early rainy season it is necessary that the model has to be modified if the forecasting system happens to predict an early onset because the Sukotai 1, which is much less sensitive to the disease, showed no symptom in many planting dates in 1997-8, but the model still predicted onset (Table 2).

Table 2. Observed(Y) and predicted time(YH) (days after sowing) of downy mildew onset on cv. Sukotai 1 at different planting dates (PD) during 1996-1998.

1996			1997			1998		
PD	YH	Y	PD	YH	Y	PD	YH	Y
10/5	48	57	6/6	54	-**	15/5	56	-
24/5	36	38	20/6	41	-	24/6	46	-
12/6	41	19	4/7	36	-	28/7	41	-
27/6	36	35	11/7	36	-	6/10 ^a	26	20
16/7	18	20	6/8	31	-	12/11	18	n/a
9/8	17	16	19/8	16	n/a*	26/11 ^a	21	16
29/8	16	13	4/9	26	n/a	9/12	21	25
2/10 ^a	18	16	17/10 ^a	19	19	22/12	21	41
18/10	19	18	31/10	21	22			
8/11	19	20	11/11 ^a	20	23			
14/11 ^a	21	20	28/11	20	20			
26/11	18	16	16/12	20	21			
12/12	19	19						

*n/a: not available: symptom was not obvious; a: referred to as PD4 and PD5 in the text

**no disease was observed, Sukotai 1 was not planted in small plots in 1998

Rust: Prediction of rust onset in 1996-1997 is quite satisfactory, especially for October and November sowing dates (Table 3) where rust usually has significant impact on soybean yield. Late occurrence produced epidemic of low or no impact on seed yield. For October planting date, the rust usually occurs early and the model predicted so, but it was in fact late in 1998 this suggested that the model still needs to be modified. It will be noticed that a relatively large difference between the observed and the predicted usually occurs during the transition from late to early onset.

Since the occurrence of foliar plant disease depend primarily on the amount of inoculum in the air, the model always assume that there is always sufficient viable spores and randomly distributed in the air the assumption may not always be valid. The late onset of both diseases during the early rainy season, especially in 1998, implies that inoculum density and/or the number of viable spores was low. However, since spore production and thus its density in the air is related to meteorological conditions (Leach et al. 1977); it might be more accurate in predicting disease onset if the relationship between the density and the weather variables can be established, but this type of data acquisition involves a lot of work and even more time and cost are required if viable spores are to be

Table 3. Observed(Y) and predicted time(YH) (days after sowing) of rust onset on cv.7608 at different planting dates(PD) in three years.

1996			1997			1998		
PD	YH	Y	PD	YH	Y	PD	YH	Y
10/5	53	-	6/6	45	68	15/5	55	-
12/6	57	58	20/6	46	51	14/7	52	-
27/6	48	60	4/7	51	46	28/7	36	64
16/7	54	59	11/7	48	49	20/8	47	-
9/8	29	33	6/8	41	31	15/9	22	64
29/8	30	19	19/8	21	24	6/10*	21	43
2/10*	24	26	4/9	23	22	19/10	22	44
18/10	22	19	17/10*	23	22	12/11	24	29
8/11	24	18	31/10	23	18	26/11*	27	21
14/11*	24	32	11/11*	24	26	9/12	26	23
26/11	24	26	28/11	25	22	22/12	26	27
12/12	28	32	16/12	25	28			

* referred to as PD4 and PD5 in the text

tested also. Many papers concerning with forecasting plant disease hardly mention about predicting the disease onset; the wheat model- EPIPRE (Zadoks ,1989) requires a field data of specific farm. For soybean no criteria is agreed upon at what frequency the plant is infected or which trifoliolate should be infected before the disease is considered to have started.

In practice many soybean cultivars would have different onset times, in that case it would be necessary to classify them into groups such that those of the same group have a similar time of disease occurrence.

2) Disease progress

In this study most of the analysis and computer simulation was made for downy mildew of OCB and rust epidemics of 7608 because the number of data set were larger and they are intended to be used as standard cultivars for the diseases evaluation. The results of calibration itself did not always produce good agreement, such as Oct. 2 ,1996 (Fig. 15) the simulation tended to produce lower severity at late growth stage in October planting (Fig. 15), this appeared to be so for OCB and Sukotai 1(Fig. 17 and Fig. 18). Comparisons of RAUDPCs between those that obtained from the fitted logistic function and the simulation are not all satisfactory (Table 4), predicting the rust epidemics for Sukotai 1 appeared less accurate this might be due to the susceptible coefficient was not as well calibrated as that of OCB. The rust susceptibility coefficients appeared to produce more reasonable results for OCB but less accurate for Sukotai 1 (Table 4, Fig. 18). From the calibration

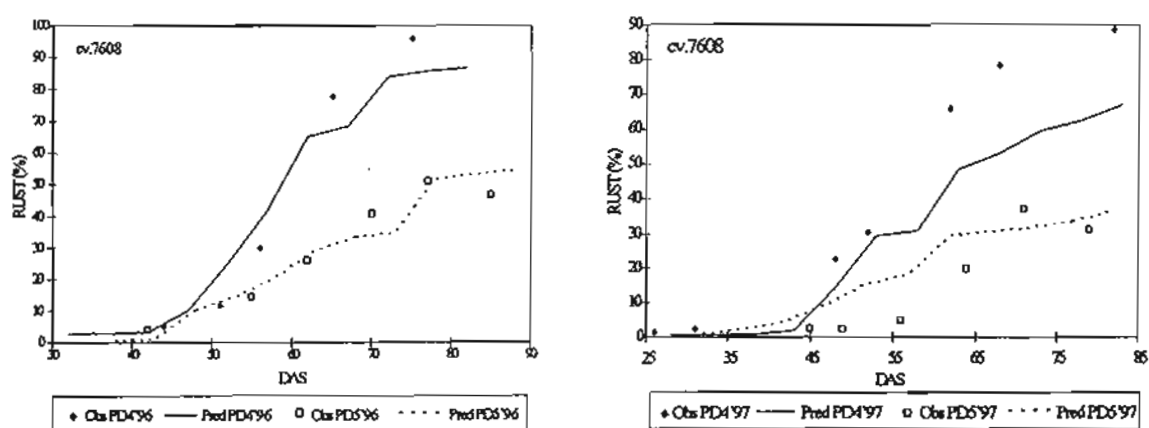


Fig. 15. Observed(symbols) and predicted soybean rust progress on cv.7608 planted on Oct.,2, and Nov.,14, 1996; and Oct.,17, and Nov.,11, 1997.

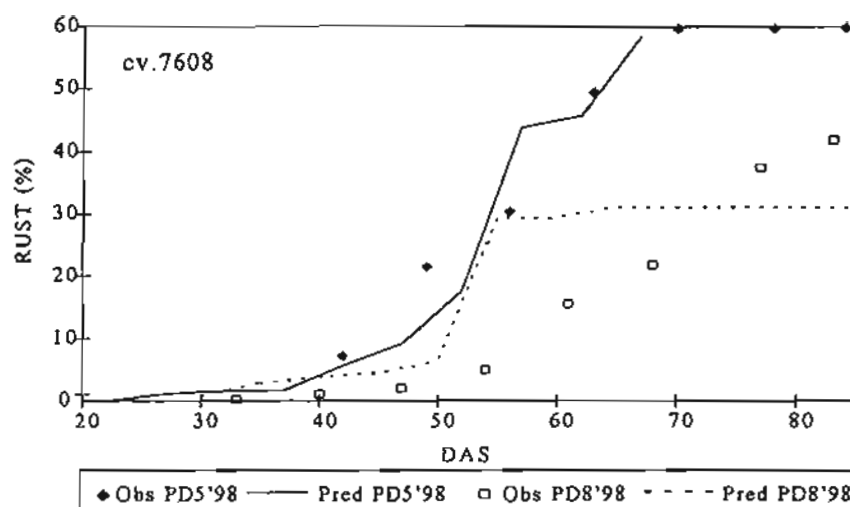


Fig. 16. Observed(symbols) and predicted soybean rust progress on cv.7608 planted on Nov., 26, and Dec., 9, 1998.

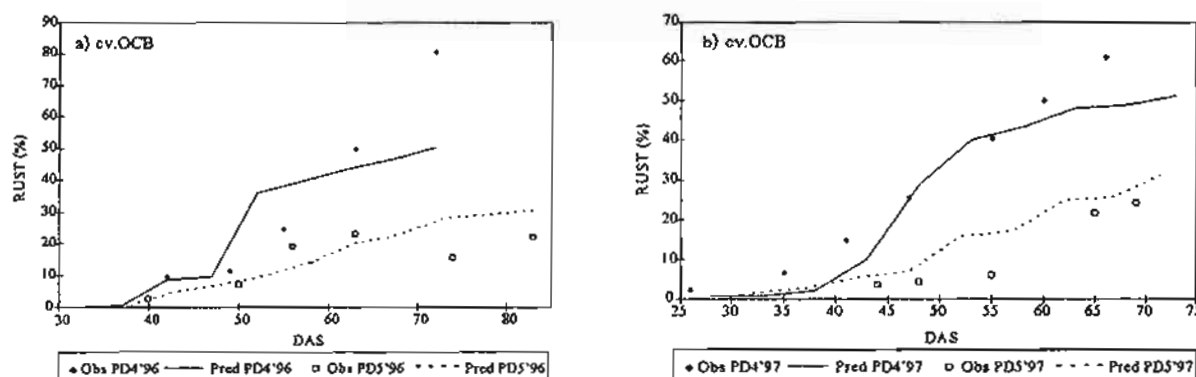


Fig. 17. Observed(symbols) and predicted soybean rust progress on cv. OCB planted on a) Oct., 2, and Nov., 14, 1996; b) Oct., 17, and Nov., 11, 1997.

runs it was found that no single coefficient could be used in estimating the disease progress of another cultivars based on one standard cultivar because the relative severities change with environments. A more refined adjustment might be to use different standard cultivars (at least two) each of which represents a group of short and long duration growth stage or determinate and indeterminate types. In comparing relative resistant to rust disease, the apparent infection rate does not appears to be suitable because it is sensitive to environmental change. Tschanz et al. (1986) had shown that the relative ranks of the apparent rate among twenty cultivars varied with planting dates. On the other hand, the values of RAUDPC, though also varied, appeared to fluctuate less: Table 4 illustrated that RAUDPC of cv. 7608 was almost always greater than the other two cultivars.

For soybean mildew on OCB, the calibration gave reasonable result but most of the validated results were not close to the observed (Fig. 19 and Table 4). For further development of this model additional data with higher severity should be used for calibration. No simulation was done for Sukotai 1 because of very low disease levels in most cases (Table 4).

Table 4. Fitted (from logistic function) and simulated RAUDPC of rust for all cultivars, and downy mildew for OCB and Sukotai 1 in different planting dates and years.

YEAR	PD	RAUDPC(7608)		RAUDPC(OCB)		RAUDPC(Sukotai 1)	
		Fitted	Simulated	Fitted	Simulated	Fitted*	Simulated rust
1996	2/10	49.7	47.6	29.3, 14.7	29.8, 6.7	34.5, 4.1	44.4
	14/11	22.7	24.6	12.8, 11.7	13.2, 10	9.4, 4.9	11.9
1997	17/10	45.3	37.2	37.4, 11.5	35.1, 13.8	21.2, 4.6	22.4
	11/11	14.1	21.3	10.3, 18.3	16.1, 10.3	6.9, 13.2	12.1
1998	6/10	13.1	15.7	0, 22.7	0, 8.9	-	-
	26/11	35.8	33.7	29.4, 9.8	17.6, 11.9	28.2, 0	19.0
	9/12	15.0	20.5	17.2, 12.9	20.6, 7.4	-	-
	22/12 ^a	8.7	4.8	-	-	3.3, 0	2.0

* RAUDPC: the first is for rust and the second for downy mildew

a: no downy mildew

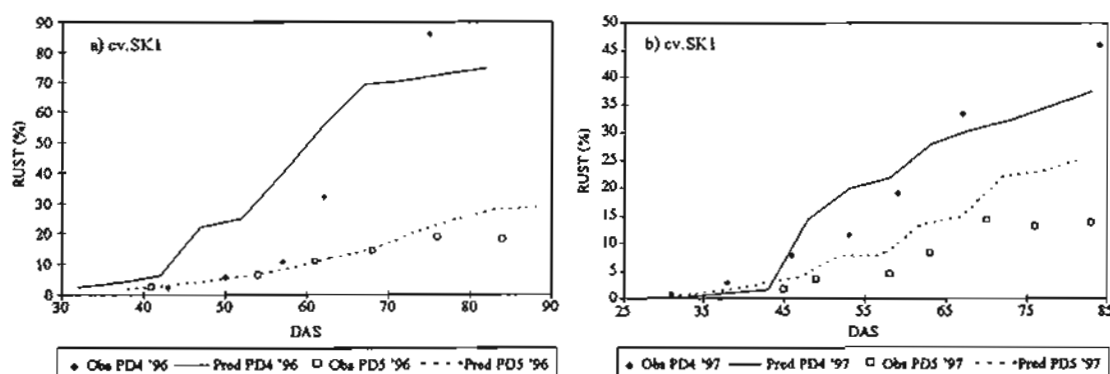


Fig. 18. Observed(symbols) and predicted soybean rust progress on cv. Sukotai 1 planted on a) Oct., 2 and Nov., 14, 1996; b) Oct., 17 and Nov., 11, 1997.

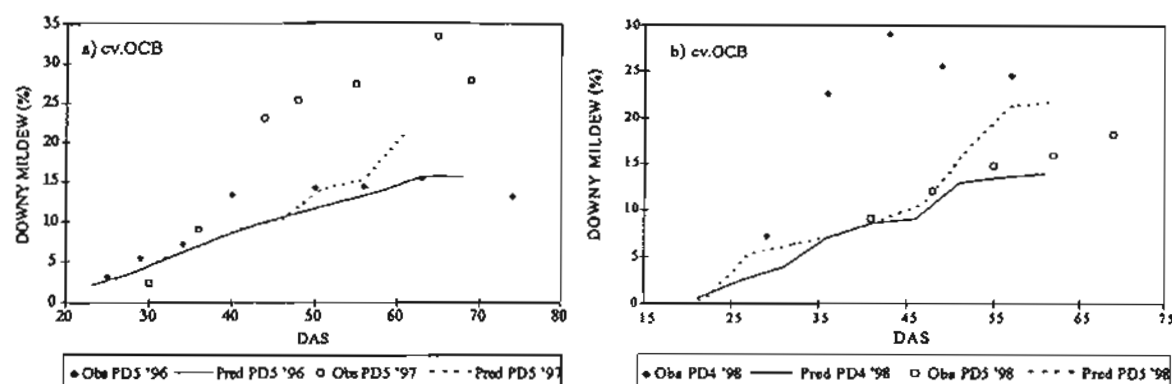


Fig. 19. Observed(symbols) and predicted soybean downy mildew progress on cv. OCB planted on a) Nov.,14, 1996 and Nov. 11, 1997; b) Oct., 6 and Nov., 26, 1998.

Yield loss prediction

Usually different pathogens produce various yield loss patterns (Campbell and Madden, 1990). In this study, it just happened that the form of disease curve of a rust pathogen and a combination of rust and downy mildew pathogens produce similar pattern. In the analysis some of the data points which were detected as outliers were deleted. For cv.7608, the function for yield loss (YLOS) estimation based on relative area under the progress curve (RAUDPC) due to soybean rust (Fig. 20) is

$$YLOS^{1/2} = 0.1522 \cdot RAUDPC, \quad R^2 = .928$$

(se.=0.011)

and for single point model

$$YLOS^{1/2} = 0.136 \cdot RS60 \text{ (se.=0.012)}, \quad R^2 = .914$$

where RS60 is percent rust at 60 DAS. For cv. OCB, the function (Fig. 21) based on RAUDPC is

$$YLOS^{1/2} = 0.1377 \cdot RAUDPC, \quad R^2 = .98$$

(se.=0.006)

here RAUDPC is a sum of the areas of rust and downy mildew progress curves, and for a single point function is

$$YLOS^{1/2} = 0.1276 \cdot RS55 + 0.0817 \cdot DY55, \quad R^2 = .875$$

(se.=0.031) (se.=0.034)

where RS55 and DY55 are percent rust and mildew at 55 DAS, respectively. The last equation shows that the effect of downy mildew disease was about 35% less than that of the rust but this function could only be used in soybean growing areas where the mildew severity is about the same

as in Chiang mai because the maximum level ever recorded for the mildew on OCB was less than 35%. Yield loss function for Sukotai 1 was not accurately fitted because of large variation of the yield data (it was in the program RUSCAST in the appendix 4 for the time being).

Fig. 20 and 21 shows that there was large variation in yield loss measurement, especially between low to moderate values of RAUDPC (few outliers were not included in fig.20). This suggested that yield data should be collected from larger sample than three square meters in studying plant epidemiology. The calibration (1996 and PD5(26/11), 1998) gave good estimate of yield loss for cv. 7608, especially the single point model, except PD5, 1996. The large difference was most likely to be due to yield measurement error rather than model prediction because the rust severity was moderately severe and slightly more severe than that in 1997 (Table 4). For validated planting dates, the yield loss disparity between observed and predicted was partly due to the difference in RAUDPCs (Table 4). For cv. OCB, the calibrated coefficients of rust susceptibility did not give good yield loss prediction even though the simulated values of RAUDPC in 1996 for rust disease were reasonable closed to the fitted ones (Table 4) this was explained partly by the values of RAUDPC simulated by the mildew model or by both models in the case of PD5, 1998. For Sukotai 1, the only one calibrated result showed reasonable agreement in PD4, '97 but not in PD5, 97 (Table 7). Generally, the agreement between observed and predicted yield loss was not satisfactory it

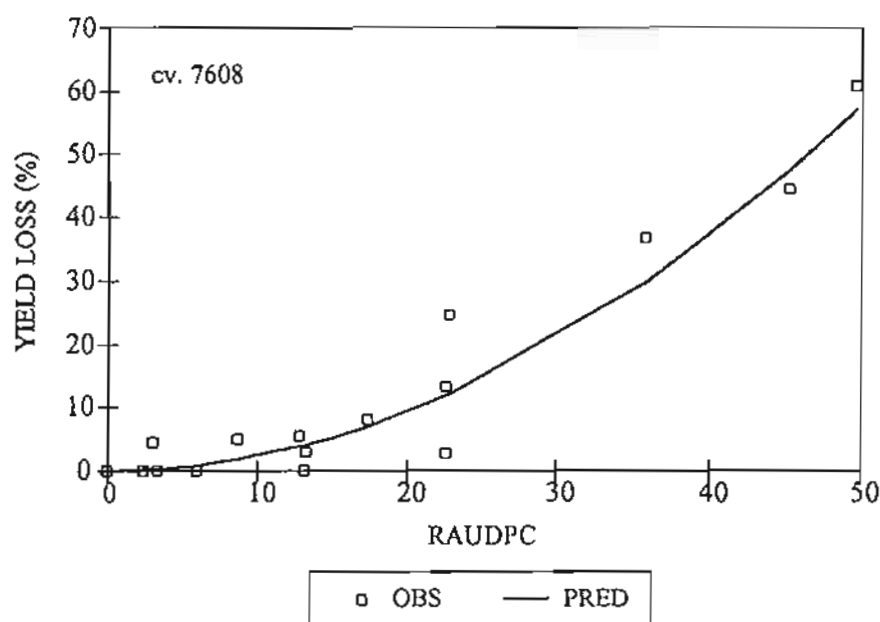


Fig. 20. Observed and predicted yield loss as a function of RAUDPCs for rust infecting cv.7608.

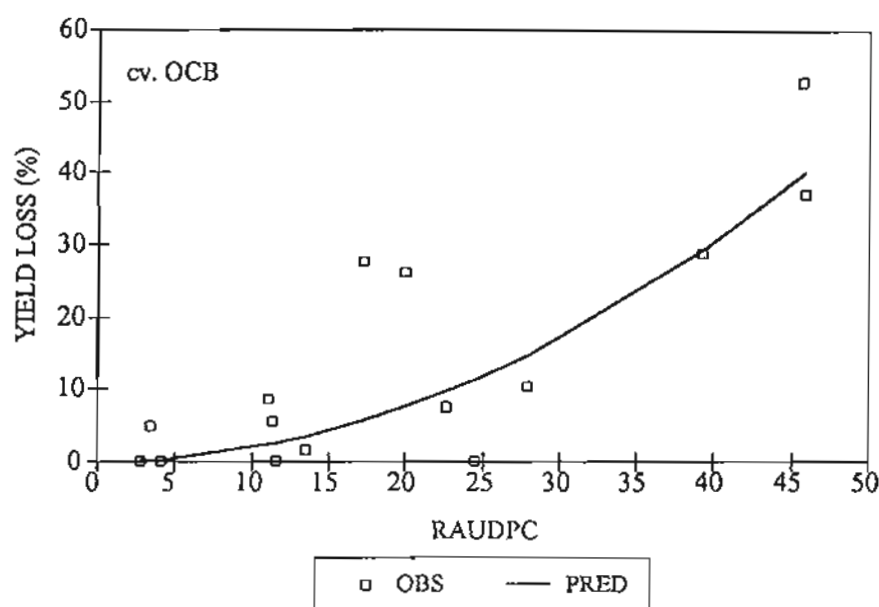


Fig. 21. Observed and predicted yield loss as a function of the sum of RAUDPCs for rust and mildew infecting cv.OCB.

Table 5. Observed and simulated yield loss of 7608 cultivar as affected by rust alone, using RAUDPC and percent rust at 60 days after sowing(DAS) in different planting dates and years

YEAR	PD	Observed loss	Simulated loss based on	
			RAUDPC	60 DAS
1996	2/10	60.6	52.5	57.1
	14/11	3.3	14.0	10.4
1997	17/10	44.8	32.1	26.3
	11/11	13.3	10.5	11.3
1998	6/10	4.8	5.7	7.7
	26/11	36.7	26.4	36.9
	9/12	.*	9.7	15.9
	22/12	0	0.5	.47

* Observation plot- only no control plots

appears that more calibrations of the rust susceptibility in relation to that of cv. 7608 are necessary. Yield loss estimation using single point model appeared to be more accurate than using RAUDPC if the epidemics become serious at late growth stage because RAUDPC method does not take into account the early and late disease epidemics the yield function always under estimate the observed

data (Fig. 20 and 21). The single point model would become less accurate if the disease progress curve fluctuate markedly, in such situation RAUDPC model would be better.

Table 6. Observed and simulated yield loss of OCB cultivar as affected by rust and/or downy mildew, using RAUDPC and percent disease at 55 days after sowing in different planting dates and years.

YEAR	PD	Observed loss	Simulated loss based on RAUDPC* 55 DAS	
1996	2/10	52.6	25.2	32.3
	14/11	0	10.3	7.2
1997	17/10	36.8	45.4	51.1
	11/11	10.3	13.2	12.4
1998	6/10 ^a	8.2	1.5	1.6
	26/11	28.7	16.6	20.2
	9/12	-	9.8	14.9

* RAUDPC is the sum of rust and downy mildew areas; a: no rust

Table 7. Observed and simulated yield loss of Sukotai 1 cultivar as affected by rust alone, using RAUDPC and percent rust at 60 days after sowing(DAS) in different planting dates and years.

YEAR	PD	Observed loss	Simulated loss based on RAUDPC* 60 DAS	
1996	2/10	39.3	51.2	47.8
	14/11	2.1	3.8	1.9
1997	17/10	13.0	13.3	11.6
	11/11	9.7	3.8	2.4
1998	26/11	34.0	9.5	16.6
	22/12	1.6	0.1	0.09

* RAUDPC due to rust alone, downy mildew was very low for October planting and none at all in 1998

From the three-years data, the rust epidemics usually had significant impact on soybean yield reduction when it was planted in October and decrease markedly when planted in November, except in 1998 where the reverse was true (Table 5-7), corresponding to rust level; and the models produced disease severity and yield loss in the same trend suggesting that forecasting system could

plays an important role in disease management. For the field survey purpose, a single point model should be more feasible but it also has the limitation with regard to the time of survey which cannot always be matched; function for different sampling times is necessary.

Cost of disease control

It may be possible to suppress plant disease to a very low level by increasing number of sprays; while soybean yield may be increased with the number of sprays, the cost of production will also increase. Table 8a - Table 8c displayed the calculated yield loss, total cost of fungicides and net returns (the original treatments were recoded and regrouped here, yield loss was also averaged, for some treatments that showed no significant difference or no distinct difference in disease severity,

Table 8a. Cost of fungicides and net return (Baht/ha) from yield loss, percentage of yield loss (YLOSS), and yield (kg/ha, dry) of three cultivars in two planting dates, 1996.

PD	VAR	TRT ^a	COST	PROFIT	YLOSS(%)	YIELD
4	1	1(4)	8275.0	-*	28.8	2376
4	1	2(8)	9175.0	2281	39.3	2786
4	1	3(4)	900.00	7757	32.8	2520
4	2	1(4)	8275.0	-	35.8	1791
4	2	2(8)	9175.0	4155	52.6	2422
4	2	3(4)	900.00	5424	34.5	1753
4	3	1(4)	8275.0	3366	46.3	2403
4	3	2(8)	9175.0	11619	60.6	3279
4	3	3(4)	900.00	11482	47.8	2474
5	1	1(3)	6206.3	-	1.52	1870
5	2	1(3)	6206.3	-	-	1120
5	3	1(3)	6206.3	-	2.9	1922

* no profit; PD; 4=2/10, 5=14/11; VAR: 1= Sukotai1, 2= OCB, 3= 7608; TRT: 1= Ridomil, 2= full control, and 3= Dithane; a: figure in the parenthesis is the number of sprays.

visually).

It will be noticed that only when rust disease was very severe, such as that occurred in October planting date, 1996 where only the full control could give highest returns but only slightly higher

than the least costly treatment (TRT=3, Table 8a) and that happened in cv.7608 only. The largest net returns in cv.7608 was due to the fact that this cultivar had the highest yield and the yield loss was also greatest because it is the most susceptible to rust; for cultivars of less susceptible and lower yield, the net profit were less in a fully control treatment (TRT = 2). It is also interesting to notice in this experiment (PD4, '96) that, although Dithane treatment alone might reduce rust disease to a less level than the full control did, the net profit was as great as or greater; this is due to much cheaper

Table 8b. Cost of fungicides and net returns (Baht/ha) from yield loss, percentage of yield loss (YLOSS), and yield (kg/ha, dry) of three cultivars in two planting dates, 1997.

PD	VAR	TRT*	COST	PROFIT	YLOSS(%)	YIELD
4	1	1(4)	8275.0	-	6.8	2470.6
4	1	2(9)	9400.0	-	11.9	2615.6
4	1	3(8)	9175.0	-	24.1	3034.4
4	2	1(4)	8275.0	-	35.7	2133.1
4	2	2(9)	9175.0	-	31.7	2006.2
4	2	3(8)	8950.0	298	39.2	2254.4
4	3	1(4)	8275.0	3155	40.1	2723.8
4	3	2(9)	9400.0	4012	44.0	2912.8
4	3	3(8)	9175.0	1070	37.5	2610.6
5	1	1(3)	6206.3	-	-	1745.6
5	1	2(6)	6881.3	-	5.6	2151.2
5	1	3(5)	6656.3	-	4.7	2130.0
5	2	1(3)	6206.3	-	5.7	1316.9
5	2	2(6)	6881.3	-	13.9	1441.9
5	2	3(5)	6656.3	-	0.008	1251.9
5	3	1(3)	6206.3	-	9.4	2071.9
5	3	2(6)	6881.3	-	10.8	2105.6
5	3	3(5)	6656.3	-	2.5	2515.6

TRT : 1=Ridomil, 2=full control, 3=Ridomil+Dithane sprayed at R5 stage

* figure in the parenthesis is the number of sprays

fungicide (which costed 900 Baht/ha). In PD5 experiments, 1996 and 1997, the treatments produced no profit in most cases. In PD5, 1998 a mixture of one-half of each fungicide (MIX12 treatment)

gave the best returns but was not as high as that of Dithane treatment in PD4, '96 this was due to a much higher cost of spray and less percentage of yield loss. MIX12 treatment was the second cheapest alternative to Dithane, however there might be other mixtures that contain less amount of Ridomil but as effective as MIX12.

In the experiment the efficiency of fungicide use was not considered, i.e. they tended to be over used, especially if no prior information is available; the purpose of trying to keep the disease as low as possible is that the real effect of diseases on yield loss could be estimated. After looking at the treatments being used in relation to levels of disease in all experiments, it was possible to reduce the number of sprays in most experiments, even the most severe case. In practice it is risky in making a loss or obtaining a lower profit if Ridomil and Dithane is sprayed alternately. MIX12 should be recommended for severe rust epidemic on high yielding cultivar for maximum profit. Usually rust was serious in October planting but it was not so in 1998 (Table 4) and little yield loss was detected on OCB only (Table 8c), therefore if fungicide application was to be carried in fixed schedule in

Table 8c. Cost of fungicides and net return (Baht/ha) from yield loss, percentage of yield loss (YLOSS), and yield (kg/ha,dry) of three cultivars in two planting dates, 1998.

PD	VAR	TRT*	COST	PROFIT	YLOSS(%) ^a	YIELD
4	2	1	6206.3	-	8.2	2252.3
5	1	1	4362.5	1240	32.7	1636.8
5	1	2	6881.3	-	32.7	
5	1	3	3431.3	2171	32.7	
5	2	1	4362.5	-	23.6	1175
5	2	2	6881.3	-	23.6	
5	2	3	3431.3	-	23.6	
5	3	1	4362.5	3009	35.8	1967.5
5	3	2	6881.3	490	35.8	
5	3	3	3431.3	3940	35.8	

* all treatments received three sprays; TRT: 1= full control(PD4: Ridomil alone, and PD5: Ridomil(2) and Dithane(1)), 2=mix Ridomil and Dithane (1:1), and 3=mix at 1/2:1/2; a: percent loss was averaged over three sprayed treatments in PD5 as shown by yield column.

1998, it would have made a great loss; disease warning system can help in this aspect. From the simulation the system gave only one spray warning even though it predicted a lower severity toward the end of season.

Conclusions

- 1) The rust model showed a satisfactory results for moderate disease severity in reference cultivator but less accurate for downy mildew disease. In practice, a field surveillance to check the onset of a disease will enhance severity prediction.
- 2) The approach used for estimating susceptibility coefficients to differentiate cultivar appears to be satisfactory but more calibration would be necessary. Since different cultivars are used by farmers, it is necessary that those soybean should be evaluated and divided into groups of different degrees of rust susceptibility so that correct recommendation on the disease control could be made.
- 3) The forecasting system is built on the limited environments, especially favorable conditions, more replicated samples of the environments are required.
- 4) The rust system should be used in real time, after being satisfactorily validated by connecting the computer to an automatic weather data logger.
- 5) Since this study was based on single plant population, a quantitative effect of plant density on the disease severity should be investigated to make the forecasting model more complete.
- 6) Ridomil is expensive fungicide, it become cheaper if mixed with Dithane; the mixture of one-half should be used for controlling rust disease on high yielding variety, especially when the disease has high potential to become serious. For low yielding variety Dithane is still a good choice. A lower dosage but effective formula of the mixture should be searched for.
- 7) A separate study of epidemiological study of downy mildew may not be worthwhile because it causes no significant economic loss but for commercial cultivars that is susceptible to both rust and downy mildew, it may be included if more accurate assessment of yield loss is required.

1998, it would have made a great loss; disease warning system can help in this aspect. From the simulation the system gave only one spray warning even though it predicted a lower severity toward the end of season.

Conclusions

- 1) The rust model showed a satisfactory results for moderate disease severity in reference cultivator but less accurate for downy mildew disease. In practice, a field surveillance to check the onset of a disease will enhance severity prediction.
- 2) The approach used for estimating susceptibility coefficients to differentiate cultivar appears to be satisfactory but more calibration would be necessary. Since different cultivars are used by farmers, it is necessary that those soybean should be evaluated and divided into groups of different degrees of rust susceptibility so that correct recommendation on the disease control could be made.
- 3) The forecasting system is built on the limited environments, especially favorable conditions, more replicated samples of the environments are required.
- 4) The rust system should be used in real time, after being satisfactorily validated by connecting the computer to an automatic weather data logger.
- 5) Since this study was based on single plant population, a quantitative effect of plant density on the disease severity should be investigated to make the forecasting model more complete.
- 6) Ridomil is expensive fungicide, it become cheaper if mixed with Dithane; the mixture of one-half should be used for controlling rust disease on high yielding variety, especially when the disease has high potential to become serious. For low yielding variety Dithane is still a good choice. A lower dosage but effective formula of the mixture should be searched for.
- 7) A separate study of epidemiological study of downy mildew may not be worthwhile because it causes no significant economic loss but for commercial cultivars that is susceptible to both rust and downy mildew, it may be included if more accurate assessment of yield loss is required.

References

- AVRDC (Asean Vegetable Research and Development Center). 1992. Annotated bibliography of soybean rust (*Phakospora pachyrhizi* Sydow). AVRDC Library Bibliography Series 4-1, Tropical Vegetation Information Service, P.O. Box 205, Taipei 10099. Publ. No. 92-372. 160 p.
- Berger, R.D. 1977. Early blight of celery: analysis of disease spread in Florida. *Phytopathology* 63:1161-1165.
- Campbell, C.L., and L.V. Madden. 1990. Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Son, New York. 532 pp.
- Casey, P.S. 1979. The Epidemiology of Soybean Rust- *Phakospora pachyrhizi* Syd. Ph.D. thesis, University of Sydney, 203 pp.
- Fry, W. E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology* 68:1650-1655.
- Jensen, S.A.J., and L.W. Boyle. 1966. A technique for forecasting leaf spot on peanuts. *Plant Dis. Rep.* 50:810-814.
- Kitani, K., and Y. Inoue, 1960. Studies on the soybean rust and its control measure. *Agric. Hortic.* 27:907-910.
- Krause, R.A., L.B. Massie, and R.A. Hyre. 1975. Blitecast: a computerized forecast of potato late blight. *Plant Dis. Rep.* 59:95-98.
- Knudsen, G.R., H.W. Spurr, Jr., and C.S. Johnson. 1987. A computer simulation model for *Cercospora* leaf spot of peanut. *Phytopathology* 77:1118-1121.
- Leach, C.M., R.A. Fullerton, and K. Young. 1977. Northern leaf blight of maize in New Zealand: release and dispersal of conidia of *Drechslera turcica*. *Phytopathology* 67:380-387.
- Madden, L., S. P. Pennypacker, and A. A. MacNab. 1978. FAST, a forecast system for *Alternaria solani* on tomato. *Phytopathology* 68:1354-1358.
- Marchetti, M.A., J.S. Melching, and K.R. Bromfield. 1975. The effects of temperature and dew period on germination and infection by uredospores of *Phakospora pachyrhizi*. *Phytopathology* 66:461-463.
- Melching, J. S., K.R. Bromfield, and C.H. Kingsolver. 1979. Infection, colonization, and uredospore production on Wayne soybean by four cultivars of *Phakospora pachyrhizi*, the cause of soybean rust. *Phytopathology* 69:1262-1265.
- Parvin, D.W. Jr., D.H. Smith, and F.L. Crosby. 1974. Development and evaluation of a computerized forecasting method for *Cercospora* leaf spot of peanut. *Phytopathology* 64:385-388.
- Poonpikul, Seasuk, M. Nuntapunt, and P. Surin. 1977. Effect of downy mildew on soybean yield. Dept. of Agriculture Annual Report 1977. P 317-321 (in Thai).
- Sangawongse, P. 1973. A preliminary report of study on soybean rust. *Thai J. Agri. Sci.* 6:165-169.
- Sinclair, J. B., and P. A. Backman. 1989. Compendium of soybean diseases. APS press, 3rd. Edition

- Teng, P.S., M.J. Blackie, and R.C. Close. 1980. Simulation of barley leaf rust epidemic: Structure and validation of BARSIM-I. *Ag. System* 5:85-103.
- Tchanz, A.T. 1984. Soybean Rust Epidemiology: Final Report. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, 157 pp.
- Tschanz, A.T., T.C. Wang, and B.Y. Tsai. 1986. Recent advances in soybean research. In: *Soybean in Tropical and Subtropical Cropping System Proceeding of a Symposium*, Tsukuba, Japan, 26 Sept. 1 Oct. 1983. Revised. ed. 1986.
- Wilkerson, G. G., J. W. Jones, K. J. Boote, and J. W. Mishoe. 1985. SOYGRO V5.0: Soybean Crop Growth and Yield Model. University of Florida. 253 pp.
- Yang, X. B., M. H. Royer, A.T. Tschanz, and B. Y. Tsai. 1990. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. *Phytopathology* 80:1421-1427.
- Yang, X. B., W. M. Dowler, and A. T. Tschanz. 1991. A simulation model for assessing soybean rust epidemics. *J. Phytopathology* 133:187-200.
- Zadoks, J.C. 1984. A quarter century of disease warning, 1958-1983. *Plant Dis.*68:352-355.
- Zadoks, J.C. 1989. EPIPRE, a computer-based decision support system for pest and disease control in wheat: its development and implementation in Europe, in *Plant Disease Epidemiology; Genetics, Resistance, and Management*, vol. 2(K.J.Leonard and W.E.Fry eds.) pp 3-29. Macmillan ,N.Y.
- Zadoks, J. C., and R. D. Shein. 1979. *Epidemiology and Plant Disease Management*. Oxford University Press, Inc., N.Y.

Part II: Soybean downy mildew and rust epidemics in 1998 experiment

Dithane M-45 has been widely used in controlling rust disease but this research project has shown that either Ridomil 72% WP or Dithane M-45 80% WP alone may not be sufficient to control rust disease when the weather conditions are very favorable, moreover, Ridomil 72%WP together with the Dithane could suppress the disease much more than using single fungicide. Ridomil has not been recommended for rust control either individually or in combination with Dithane; and so far the amount of Ridomil recommended for other crop types has been used in this research but this chemical is 4-5 times more expensive than Dithane M-45. It is desirable to reduce the amount of application so as to increase the profit; at present no information about its ability to mix with Dithane or how much should it be used in the mixture.

The main objective of this year is: to study the ability of a mixture of Ridomil and Dithane in two proportions to control soybean rust in comparison to an alternate spray of the two fungicides in different favorable conditions (planting dates).

Materials and methods

The experimental report will be confined to treatments in three planting dates that had soybean rust and downy mildew epidemics which were PD4 (6/10/98) PD5 (26/11/98) and PD6 (22/12/98). In PD4 the treatments consisted of 1) no spray (CO), 2) spray Ridomil 72%WP and Dithane M-45 (80% WP) alternately (CT), 3) spray a mixture of Ridomil and Dithane M-45 in the ratio of 1:1 (MIX11) (50 gm of Ridomil and 35 gm of Dithane in 20 lit. of water), and 4) same as 3) but the ratio is 2/3:2/3 (MIX23) (33 gm of Ridomil and 23 gm of Dithane in 20 lit. of water). But soybean rust occurred late (43 days after sowing, DAS) and developed slowly, so only one spray was undertaken for treatment 3 and 4 at 66 DAS on cv. Sukotail and cv. 7608, and treatment 2 received one Ridomil spray, whereas cv OCB received 3 sprays of Ridomil to control downy mildew. In PD5 the treatments consist of 1) no spray, 2) spray Ridomil 72%WP and Dithane M-45 alternately (2 sprays with Ridomil and one with Dithane), 3) spray a mixture of Ridomil 72%WP and Dithane M-45 in the ratio of 1:1, and 4) same as 3) but the ratio is 1/2:1/2 (MIX12), and 5) spray Benlate (BENL) to control powdery mildew but there was no powdery mildew this year so there was no spray (three sprays were applied in treatment 3 and 4). For PD6, usually the weather conditions were not favorable for both soybean rust and downy mildew development: rust severity was

normally below 7% in the previous years, so this planting date is intended for seed production and fungicide was applied only if necessary, this year the treatments in PD6 composed of 1) no spray, 2) spray Ridomil 72%WP and Dithane M-45 alternately, 3) spray Ridomil 72%WP (CDY), and 4) Dithane M-45(CRS): one spray for OCB and two sprays for the others. Sample of eight plants was collected and dry matter of parts was measured. At R8 growth stage three square meter of soybean was harvested and yield and yield components were recorded; only fully filled seeds were considered as yield. Seed growth rate was calculated as $(w7-w5)/days$, where $w5$ and $w7$ was seed weight at R5 and R7 stage, respectively, for PD4 and PD5. All experiments were laid down as split-plot design with three replications. Insecticides (Hostathion 40 EC, Karate and Posse) were sprayed whenever necessary. Moreover, small observation plots without fungicide control and only two cultivars were planted about 15 days after experimental plots because of limited time to assess the diseases of all cultivars.

Assessment of disease severity: Each leaflet was rated as percentage of the leaf area diseased. Eight plants from each corner or within rows were sampled and all leaflets were assessed visually. Disease severity was expressed as the mean severity of all leaflets.

Analysis: Calculate average weather factors during disease development (25 to 62 DAS for downy mildew and 35-78 for rust on 7608. The difference among treatments on each disease was tested separately for each cultivar because cultivars have different growth stages at the time of disease rating and all the rating may not be done at the same date or growth stage. Plant dry matters, yield and yield components were analyzed as split-plot because all cultivars were sampled at the same growth stage, and an approximate LSD for comparisons between fungicide treatments of each cultivar follows that given by Steel and Torrie(1980). Relative(normalized) area under the disease progress curve (RAUDPC) (Fry ,1978) was calculated for treatment comparisons in each cultivar.

Results and Discussion

Disease onset:

1) Downy mildew: It was first detected at very late on OCB in June planing date and although it occurred quite early (19 DAS) in PD3(28/7) (Table 1) there was no disease epidemic. After PD3 the time of occurrence appeared to be normal as in the previous years. However, for Sukotai 1, downy mildew was hardly detected .

2) **Rust:** The onset was also very late compared to previous years. The disease usually occurred in less than 26 DAS in previous years if planted in October, but it took over 40 DAS in 1998 (Table 1).

A late onset of both diseases were likely to be associated with a long period of higher temperature in 1998 than the previous years (see Fig. 4 and 5 in Part I) which resulted in low and/or poor quality of spores (see Fig. 7, and 8 in Part I); daytime cloudiness and heavy rainfall can reduce number of spores in Celery (Berger, 1977).

Disease severity

Downy mildew: 1) Under no control: The epidemics of downy mildew was more rapidly developed in October planting dates (PD4(6/10) and E6(19/10)) (Fig.1, Fig. 2(a)) than other planting dates. The severity in OCB was indicated not only by the percentage of the disease curve but also by the RAUDPC (see $TRT=1$ in Table 2). Planting dates that had RAUDPC below 10% were E4(20/8) and E7(12/11) (Table 2) this may be explained in terms of high temperature in E4, and low RH or, to less extend hrs of $RH \geq 90$, in E7(12/11) (Table 3). There was a drop in severity in E5, E6, and E8 after the rainfall while soybean leaves are still actively expanding as in E6 and E8 or near the

Table 1. Observed time of onset (days after sowing) of soybean rust (all cultivars) and downy mildew of OCB and Sukotai 1 at different planting dates (PD) in 1998.

Rust		Downy mildew	
PD		OCB	SK1
15/5	-	-	-
24/6	-	41	-
14/7*	-	-	-
28/7	64	19	-
20/8*	-	20	n/a
15/9*	64	13	n/a
6/10	43	16	20
19/10*	44	12	n/a
12/11*	29	19	n/a
26/11	21	12	16
9/12*	23	17	25
22/12	27	28	41

* small observation plots; n/a: not available because Sukotai 1 was not planted in small plots in many PDs

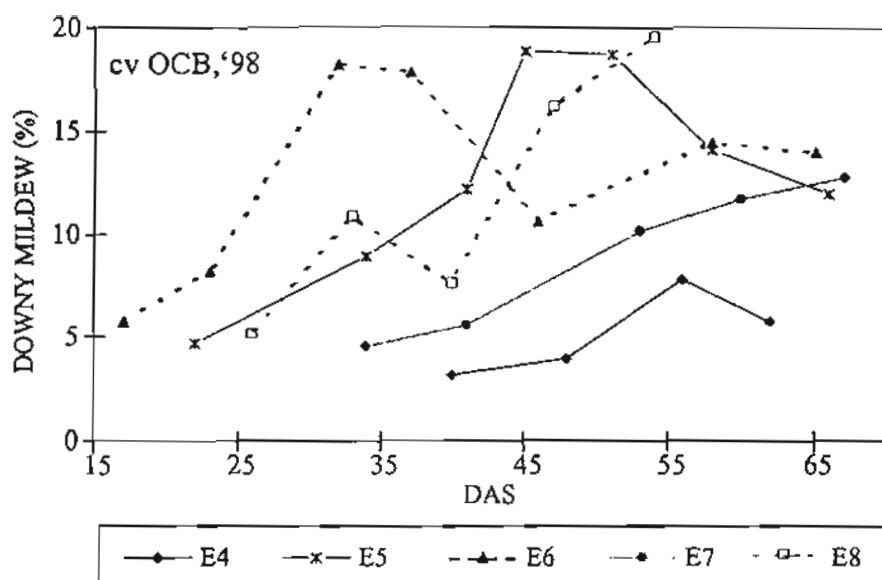


Fig. 1. Progress of downy mildew on OCB planted in a small plots (no control): E4 = 20/8, E5 = 15/9, E6 = 19/10, E7 = 12/11, and E8 = 9/12/98.

non-expanding stage as in E5. It is suspected that if rainfall amount has reached a certain level it may have a deteriorating effect on the pathogen, that is a high rainfall can wash away the spores. Although the disease did set in for Sukotai 1, a less susceptible cultivar, but the disease did not develop to any measurable level it might be that a period of favorable combination of temperature and RH did not last long enough.

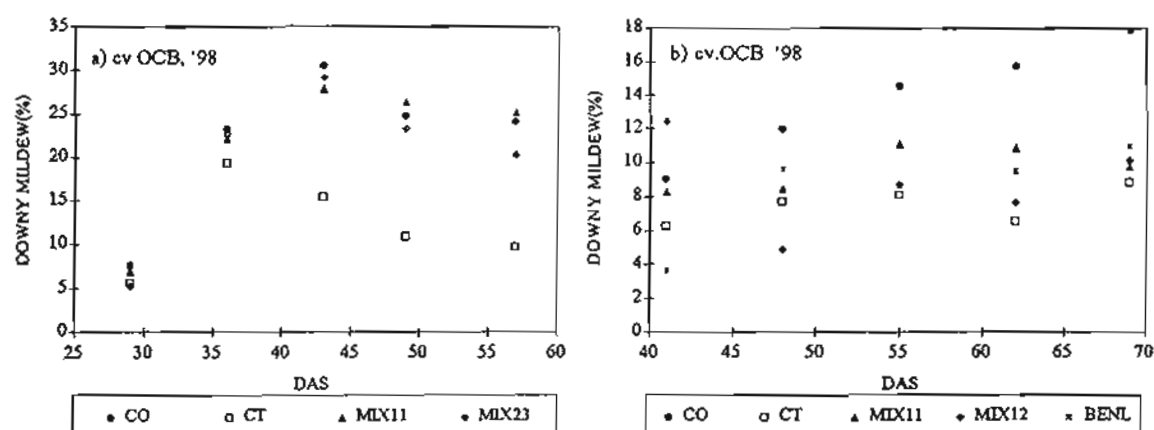


Fig. 2. Effect of fungicide treatments on the level of downy mildew on OCB planted on: a) PD4(6/10); and b) PD5 (26/11).

2) Fungicide treatment: In PD4, there was no rust disease on OCB, therefore only the control treatment (TRT=2) was sprayed with Ridomil three times. Analysis of RAUDPC (Table 2)

showed that Ridomil significantly reduced the level of the mildew in PD4 but not in PD5, even though the difference in severity between TRT 2 and 1 was 46%, this was due to large variation among treatments in different blocks, as indicated by the value of coefficient of variation: the variation can be observed in Fig. 2(b).

Table 2. Observed RAUDPC of downy mildew and rust on cv. OCB under different treatments in three planting dates, and five no-treatment PDs in small plots, 1998.

TRT	PD4(6/10)	PD5(26/11)		PD6(22/12)	OCB in Small plots	
	Mildew	Mildew	Rust	Rust	PD	Mildew
1	23.4	13.9	33.7	14.2	20/8	5.5
2	13.2	7.5	17.8	14.6	15/9	12.5
3	23.0	9.9	19.8	14.5	19/10	13.1
4	21.8	8.1	13.6	14.8	12/11	9.4
5	-	8.8	30.5	-	9/12	11.8
LSD*	8.2	NS	16.7	NS		
CV(%)	20.3	48.7	38.5	50.1		

* significantly different at .05 probability. TRT: PD4: 1=3=4=no spray, 2=Ridomil; PD5: 1=no spray, 2=Ridomil and Dithane, 3=a mixture of Ridomil and Dithane at the rate of 1:1, 3=4= a mixture of Ridomil and Dithane at the rate of 2/3:2/3, and 5=1. PD6: 1=no spray, 2= Ridomil and Dithane, 3= Ridomil, and 4= Dithane.

Rust severity: 1) No control treatment: Rust epidemics usually is serious if soybean is planted in October but in 1998 the symptom appeared quite late(about 43 DAS) and it remained low until day 344(65 DAS, almost R6 for cv. 7608) where it started to shoot up and reached 51% at day 359 (this was the same in cultivars Sukotai 1 and 7608), an increased at the rate of 2.7%/day, during which the weather conditions were moderately favorable(temperature: 21-25° c and RH: 70-75%). In PD5, the rust epidemics was highest; the disease started to increase rapidly after about 42 DAS (cv.7608) (Fig. 3) it was more severe than other PDs because it has longer time for development during which the conditions were favorable. It will be noted that the weather average(temperature and RH) during a high rust development in October and November PDs were not much different (Table 5); the difference in severity among PDs was due to difference in duration of soybean exposed to favorable conditions in conjunction with the sensitive period of the crop. In terms of area under the disease progress curve of Sukotai 1 was slightly less than that of OCB cultivars (TRT 1 in Table 2 and 4).

Table 3. Average mean temperature (ATM), relative humidity (RH,%), and number of hours that RH>=90% (HrH9), and total rainfall(TOTRF, mm) from 25 until 65 DAS, during downy mildew development on OCB in different planting dates, 1998.

PD	ATM	RH	TOTRF	HrH9
20/8	27.9	78.9	16.6	8
15/9	27.0	78.0	46.6	7
6/10	25.5	76.8	28.8	7
19/10	24.9	73.9	21.6	6
12/11	23.4	69.7	20.0	4
26/11	23.6	71.9	20.2	5
9/12	24.2	71.0	28.0	4

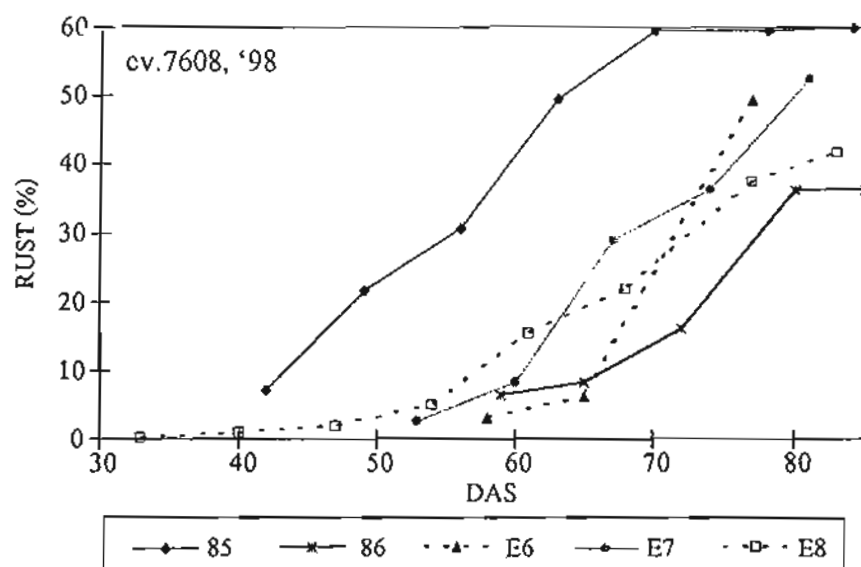


Fig. 3. Progress of soybean rust on 7608 (no control) planted on: E6 = 19/10, E7 = 12/11, 85(PD5) = 26/11, E8 = 9/12, and 86(PD6) = 22/12/98.

2) Fungicide treatments: All cultivars showed a significant reduction of rust epidemics when fungicide was used in PD5 (Table2, and 4, Fig. 4(a)). An alternate fungicide spray and a mixture of Ridomil and Dithane at both proportions gave about the same effect on the pathogen which suggest that if one wants to mix the fungicides it would give more saving by using half of each. Besides, only three sprays during the early stage (39-53 DAS) of rust development were necessary to suppress the disease, but whether this is true or not when the conditions are very favorable is needed to be confirmed. In PD6, one or two sprays of either fungicide, which were applied at late growth stage (at 66 and 76 DAS) was not likely to be worthwhile because the severity

was rather low during seed development stage (i.e. 55-72 DAS) (Fig. 4(b)); a relatively large RAUDPC of cv.7608 (Table 4) was due to high level of disease after R6 stage.

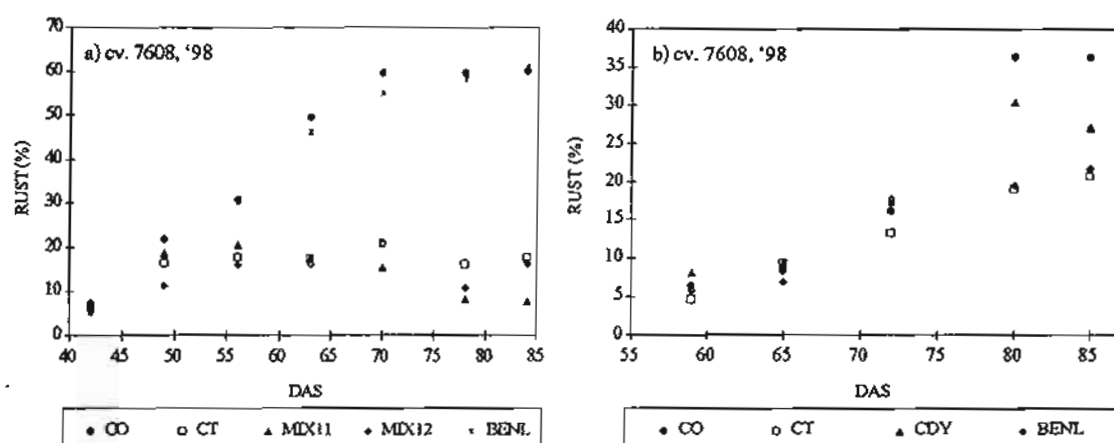


Fig. 4. Effect of fungicide treatments on the level of rust on cv7608 planted on: a) PD5(26/11), b) PD6(22/12).

Table 4. Observed RAUDPC of rust on cultivars Sukotai 1(SK 1) and 7808 under different treatments in two planting dates (PD5(26/11) and PD6(22/12)), and five no-treatment PDs in small plots,1998.

TRT	Rust(SK 1)		Rust(7608)		Rust in small plots(7608)	
	PD5	PD6	PD5	PD6	PD	RUST
1	32.1	8.6	44.8	20.0	20/8	-
2	8.6	4.8	16.7	13.4	15/9	trace
3	7.4	4.8	14.7	18.5	19/10	19.6
4	6.6	4.7	14.3	14.5	12/11	25.2
5	28.9	-	40.0	-	9/12	14.9
LSD*	6.3	NS	9.7	NS		
CV(%)	19.9	50.1	19.8	26.5		

* significantly different (P=0.05)

Table 5. Average mean temperature, relative humidity and number of hours that RH>= 90%, and total rainfall (mm) from 55 until 78 DAS, during rust development on 7608 in different planting dates.

PD	ATM	RH	TOTRF	HrH9
19/10	22.8	71.8	0.2	5
12/11	23.6	73.3	20.0	5
26/11	23.8	70.3	28.0	4
9/12	26.2	65.0	8.0	1
22/12	26.5	62.0	46.6	2

Table 6. Leaf and shoot dry weight (gm/m²) at R6 growth stage of three soybean cultivars planted at three planting dates, 1998.

CULT.	TRT	Leaf weight			Shoot weight		
		PD4	PD5	PD6	PD4	PD5	PD6
1	1	136.3	88.6	79.9	194.7	89.8	72.1
1	2	130.5	86.7	87.1	178.3	90.9	81.6
1	3	161.7	87.2	86.2	211.6	85.9	78.5
1	4	124.3	86.4	68.0	166.6	84.6	74.7
1	5	-	91.6	-	-	84.1	-
2	1	121.7	78.5	62.6	100.7	49.6	41.9
2	2	128.9	90.2	61.7	114.6	58.0	39.4
2	3	143.6	74.7	63.1	127.0	51.8	40.5
2	4	129.2	87.9	62.2	107.8	57.3	39.0
2	5	-	85.6	-	-	56.0	-
3	1	149.6	73.2	70.7	169.1	72.5	61.3
3	2	151.2	89.3	73.3	167.0	86.9	67.7
3	3	145.3	93.4	68.8	167.0	91.4	63.9
3	4	136.7	85.4	77.4	156.5	77.9	72.7
3	5	-	88.1	-	-	80.1	-
S.E.*		13.7	7.6	6.1	12.2	7.6	6.9
CV(%)		17.3	17.7	14.8	13.7	15.4	19.6

* Since no statistically significant for all variable, standard error of a treatment mean at each cultivar is given. CULT. 1=Sukotai 1, 2=OCB, 3=7608; PD4: TRT. 1=CO, 2=CT, 3=MIX11, 4=MIX23; PD5: TRT. 1=CO, 2=CT, 3=MIX11, 4=MIX12, 5=BENL; PD6: TRT. 1=CO, 2=CT, 3=CDY, and 4=CRS

Dry matter development

Since vegetative growth almost stops in intermediate soybean type at R6 growth stage, the analysis of leaf and shoot weight at this stage should indicate some degree of effect of foliar disease on those plant parts. However, the analysis showed no statistically significant effect of the diseases on the leaves and shoot weight during seed development in all three planting dates in all three cultivars (Table 6). In PD4, only downy mildew was the only disease that could influence photosynthesis on OCB but the no-spray treatment had only slightly lower leaf and shoot weight, while 7608 showed no trend of the treatment effect on the dry weight. In PD5, no-spray treatment had the lowest dry weight at R6 and R7 in cv. 7608 (Fig. 5); a large difference of dry weight at R5 stage was due to sampling variation because the difference in rust severity at this stage was still

small (Fig. 4(a)); this suggested that rust severity was sufficiently great enough to have the effect on photosynthesis of the plant growth. Ogle et al. (1979) also found a significant reduction of above ground dry weight due to rust.

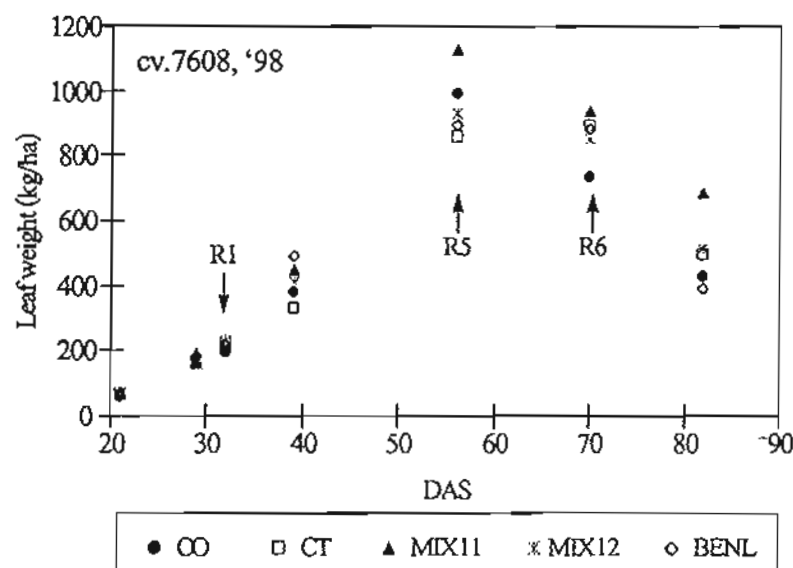


Fig. 5. Development of leaf weight(kg/ha) of cv.7608 planted on PD5 (26/11/98) under different fungicide treatments.

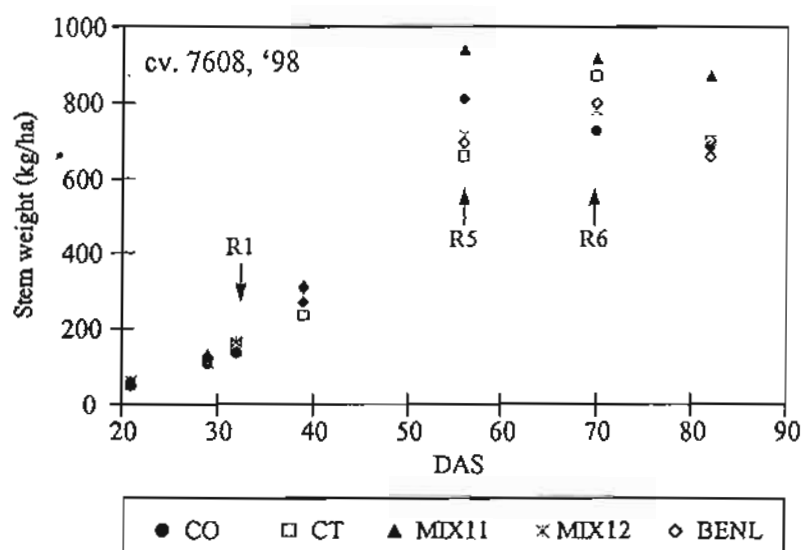


Fig. 6. Development of stem weight(kg/ha) of cv.7608 planted on PD5 (26/11/98) under different fungicide treatments.

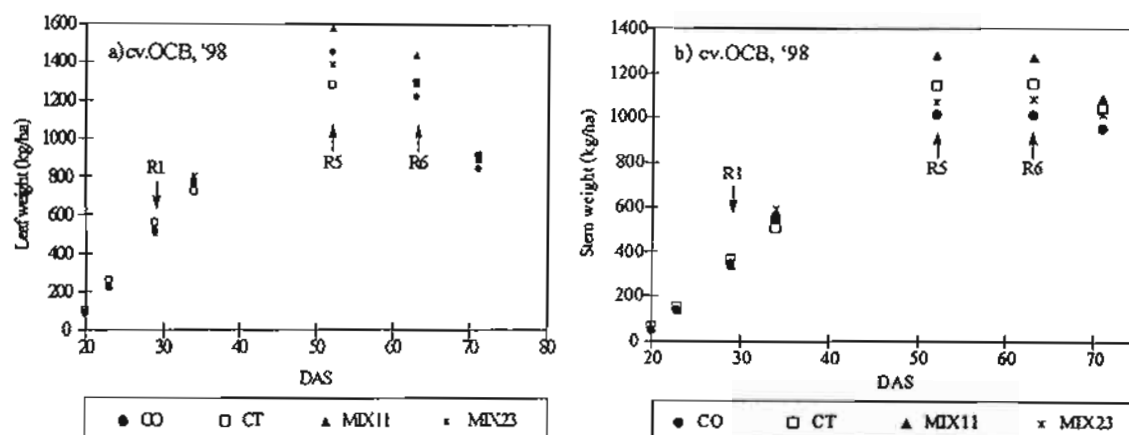


Fig. 7. Development of a) leaf and b) stem weight(kg/ha) of cv. OCB planted on PD5 (26/11/98) under different fungicide treatments.

Yield and yield components:

The results of yield from the three planting dates indicated that only PD5 had a significant reduction in no control treatment in all cultivars (Table 7a); 7608 had the largest yield loss of about 37% (compared with the average of TRT 1 and 5 in PD5), while that of OCB was 29%. In PD4 there was a small yield loss about 5-7% in cultivars Sukotai 1 and OCB, this could not be explained for certain by a rapid increase in rust epidemics (jumped from 12.8% to 33.8%) in 6-7 days before R6 stage in Sukotai 1 because cv.7608, which had the same severity, did not show a yield loss, that is the measurable yield loss could be due to sampling variation as can be noticed in PD6 where a very small yield loss occurred in all cultivars (compared average TRT 2,3, and 4 with 1) even though the RAUDPC was less than that in PD5. The yield reduction of OCB in PD4 was due only to downy mildew. The three yield components affected by rust and/or mildew diseases were seed size (1000 seed weight) and number of seeds and pods. In PD5, cv.7608 had a reduction of 12.9%, 26.9%, and 26% in seed size, number of seeds and pods (Table 7a and 7b), respectively; whereas OCB had a reduction of 9.2%, 13.4%, and 13.3% in that order even though the cultivar was infected by both diseases and the value of the total RAUDPC was slightly greater than that of cv.7608 (Table 3, and 4), this suggested that the effect of the mildew itself might not large.

The effect of rust alone or rust and downy mildew on yield can be observed on the rate of seed growth; in PD5 the seed growth rate of fungicide control (TRT 2-4) was obviously greater than that of no control (TRT 1 and 5) (Table 7b); the results agree well with that obtained in October planting date in 1996.(see Appendix 2). In PD4 where the effect was due to downy mildew alone(cv.OCB) or late increase in rust disease, the difference between treatments was small (cv. Sukotai 1 and 7608). There was no significant effect of rust epidemic on yield components and thus

Table 7a. Seed yield(kg/ha, dry) and 1000 seed weight(gm) of three cultivars(CULT) in PD4, PD5, and PD6 under different treatments(TRT), 1998.

CULT.	TRT	Yield			1000 Seed weight		
		PD4	PD5	PD6	PD4	PD5	PD6
1	1	2190.9	1268.4	1219.4	110.2	99.5	111.5
1	2	2306.3	1669.0	1150.8	107.8	118.1	109.9
1	3	2248.7	1774.3	1168.2	110.1	120.7	113.5
1	4	2049.4	1467.1	1398.1	106.3	115.0	110.1
1	5	-	934.6	-	-	97.6	-
2	1	2086.7	842.9	994.88	166.2	141.7	159.0
2	2	2252.3	1260.1	1018.1	178.4	158.8	155.4
2	3	2125.1	1037.1	1140.5	169.2	155.5	154.1
2	4	1992.2	1228.3	1254.2	172.0	156.4	151.9
2	5	-	953.6	-	-	146.8	-
3	1	3105.9	1190.1	1417.1	142.1	109.6	117.1
3	2	2861.4	1996.6	1618.6	143.9	127.9	122.7
3	3	2905.9	2069.3	1391.2	146.2	132.6	119.9
3	4	2846.0	1839.6	1454.5	146.7	131.4	120.5
3	5	-	1338.8	-	-	113.2	-
LSD*		NS	621.7	NS	NS	8.1	NS
CV(%)		12.3	25.4	16	2.5	3.1	6.6

* significantly different (P=0.05) among treatments at a given cultivar.

on yield in PD6. Ogle et al. (1979) also found a significant reduction of those yield components when rust epidemics become severe. Table 7a showed that soybean planted on October gave higher yield than those planted in November and December if fungicide was applied, therefore if farmer does not want to control rust and rust is moderate or serious in Oct. or Nov. he can earn more money by planting in early December.

It can be concluded that: 1) Ridomil can be mixed with Dithane and gives the same effectiveness as using both fungicides alternately in controlling rust disease, 2) this study cannot give the best amount of each fungicide in the mixing in rust control but at present the results show that one-half of each compound is as good as the alternate spray of the chemicals. Since Ridomil contains certain component of the Dithane, it might be possible to reduce the amount of Ridomil in the mixture to less than one-half, and 3) under moderate rust epidemic, the number of sprays should

be 2-3 times and should start spraying at about 9-10% severity; furthermore, for late disease development (about R6 stage), no spray is necessary.

Table 7b. Number of seeds, and pods/m² and seed growth rate(kg/ha/day) of three cultivars(CULT) in PD4, PD5 and PD6 under different treatments(TRT), 1998.

CULT.	TRT	No. of seeds			No. of pods		Growth rate	
		PD4	PD5	PD6	PD5	PD6	PD4	PD5
1	1	2207	1269	1430	906	618	92.9	55.4
1	2	2068	1381	1267	902	578	104.1	68.5
1	3	2281	1681	1456	1010	640	91.3	83.4
1	4	1969	1582	1441	912	619	85.3	75.4
1	5	-	985	-	733	-	-	51.4
2	1	1291	589	824	431	456	114.3	45.9
2	2	1168	764	766	561	412	116.8	62.2
2	3	1295	838	749	538	428	113.8	55.8
2	4	1298	852	694	701	381	106.8	61.8
2	5	-	735	-	542	-	-	48.7
3	1	2043	1287	1245	769	668	136.8	58.7
3	2	1744	1664	1347	986	596	129.6	78.1
3	3	2090	1598	1369	919	615	140.8	71.1
3	4	1896	1582	1266	892	570	100.3	74.0
3	5	-	1145	-	690	-	-	57.2
LSD(.05)		NS	305	NS	229	NS		
CV(%)		14.1	13.6	17.2	13.7	19.4		

References

- Berger, R.D. 1977. Early blight of celery: analysis of disease spread in Florida. *Phytopathology* 63:1161-1165.
- Fry, W. E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology* 68:1650-1655.
- Ogle H.J., D.E. Byth, and R. Mclean. 1979. Effect of rust (*Phakospora pachyrhizi*) on soybean yield and quality in South-eastern Queensland. *Aust. J. Agric. Res.* 30:883-893.
- Steel, R.G. and J. H. Torrie. 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach*. 2 Ed. McGraw-Hill LTD. Japan.

Appendix 1: An expert system for diagnosis of soybean diseases in Thailand-ระบบการวินิจฉัยโรคถั่วเหลือง

ระบบนี้ได้พัฒนามาสองปีและได้ทำคู่มือการใช้ในรายงานความก้าวหน้าครั้งที่ 4 ได้เสนอเรื่องนี้ในการประชุมวิชาการถั่วเหลืองแห่งชาติครั้งที่ 7 ที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ซึ่งจัดขึ้นเมื่อวันที่ 25-27 สิงหาคม 2541 จึงได้แนบมาในรายงานนี้พร้อมกับคู่มือการใช้ หลังจากนั้นก็ไม่มีการเพิ่มเติมอาการอื่นๆนอกจากวิธีการควบคุมโรคหรืออาการบางชนิด เนื่องจากระบบเป็นภาษาไทยที่ใช้ Windows 3.11 ผู้เขียนไม่สามารถจะทำให้ใช้กับ Windows 95 หรือ 97 ได้เนื่องจากระบบภาษาไทยมีความยุ่งยากมากกว่า เป็นไปได้ที่จะมีผู้รู้ซึ่งกับการทำงานในระบบอักษรไทยของ Windows รุ่นใหม่จะสามารถช่วยได้ มิฉะนั้นก็ต้องติดตั้ง Windows ทั้งสองชนิดบน Notebook เนื่องจากระบบนี้ใช้งานเพียงฝึกหัดเพียง 2-3 ชม ก็จะคุ้นเคยโดยไม่จำเป็นต้องมีการอบรมถ้าผู้ใช้รู้จักการใช้เครื่อง PC สำหรับคู่มือในการใช้ระบบวินิจฉัยได้แนบมาด้วยกับรายงานนี้

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยโรคถั่วเหลืองที่เกิดในเมืองไทย

An expert system for diagnosis of soybean diseases in Thailand

สุนทร บุรณะวิริยะกุล¹ และ สมบัติ ศรีชูวงศ์²

Sunthorn Buranaviriyakul¹ and Sombat Shechuwong²

ABSTRACT

Agronomist or agricultural extension officer who are not familiar with soybean diseases or other disease-like symptoms will need help from an expert when these problems occur but it usually takes time to get help or in some cases can get no help at all. To alleviate the problem, attempts have been made to develop an expert system for diagnosis of plant disorders. This diagnostic system for soybean diseases (TSOYDIS) occurring in Thailand was developed by using EXSYS shell which run on Windows 3.xx. All information, which are written in Thai, are stored in Rule-based form. User of TSOYDIS needs not bring plant sample to laboratory for diagnosis. With the help of small magnifier (10x), symptom characteristics and certain field conditions are fed into the system to produce the result which there may be more than one solutions together with the confidence levels of 0-10. Moreover, in some cases methods of control and a picture of a symptom is provided.

Keywords: Expert system, soybean diseases

บทคัดย่อ

นักวิจัยพืชไร่ที่ทำงานกับถั่วเหลืองหรือนักส่งเสริมการเกษตรที่ไม่คุ้นเคยกับอาการต่างๆของโรคถั่วเหลืองหรืออาการที่คล้ายโรค เมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวจะต้องขอความช่วยเหลือจากผู้รู้ซึ่งโดยทั่วไปต้องใช้เวลาหรือในหลายกรณีอาจไม่มีใครไปช่วยได้ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้มีความพยายามในการพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยอาการผิดปกติต่างๆของพืช ระบบการวินิจฉัยโรคถั่วเหลืองที่เกิดในประเทศไทยนี้ (TSOYDIS) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยใช้ shell EXSYS ซึ่งทำงานในระบบ Windows 3.xx ข้อมูลต่างๆซึ่งเขียนเป็นภาษาไทย จะถูกเก็บไว้ในรูปของกฎเป็นข้อๆ โดยผู้ใช้ TSOYDIS ไม่จำเป็นต้องนำตัวอย่างพืชไปตรวจสอบในห้องทดลอง แต่ใช้

¹ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

² ภาควิชาโรคพืช คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

ข้อมูลของอาการที่เห็นโดยอาศัยเส้นสัณยชนขนาดเล็กเท่านั้น (10X) และของสภาพแวดล้อม แล้วตอบคำถามต่างๆ ผลลัพธ์จากการใช้ระบบจะให้คำตอบซึ่งอาจจะมีมากกว่าหนึ่งคำตอบโดยแสดงค่าความเชื่อมั่น 0-10 นอกจากนั้น ในบางกรณีระบบจะให้คำแนะนำเกี่ยวกับการจัดการของอาการที่เกิดขึ้นและแสดงรูปภาพด้วย

คำนำ

โดยที่สภาพแวดล้อมที่มีการปลูกกล้วยในประเทศไทยมีความแตกต่างกันทั้งในสภาพอากาศ และ สภาพแวดล้อมอื่นๆ จึงมีโรคหลายชนิดที่เกิดขึ้นกับกล้วยที่มีความรุนแรงแตกต่างกันไป นอกจากนั้นยังมีอาการอื่นๆบางชนิดที่มีลักษณะคล้ายกับอาการของโรคพืช อาการเหล่านั้นอาจเกิดจากการใช้สารป้องกันศัตรูพืชบางชนิด หรือความไม่สมดุลของธาตุอาหารในดินรวมถึงความเป็นกรดหรือด่างของดิน หรือแม้แต่ผลจากการรบกวนของแมลง จึงเป็นการยากที่เกษตรกร นักส่งเสริมการเกษตรรวมถึงนักวิชาการที่ไม่มีความคุ้นเคยกับโรคกล้วยหรืออาการคล้ายโรคกล้วยจะสามารถบ่งชี้ถึงสาเหตุของอาการที่เกิดขึ้นและวิธีการแก้ปัญหา การวินิจฉัยที่ต้องนำเอาตัวอย่างไปวิเคราะห์ในห้องทดลองย่อมจะใช้เวลานานเกินไปและไม่สะดวกในหลายกรณี สำหรับการให้บริการหรือแก้ปัญหาที่ต้องการคำตอบด่วน การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญในการวินิจฉัยปัญหาจะช่วยลดปัญหาดังกล่าว

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ได้รุดหน้าไปไกลทำให้สามารถนำเครื่องคอมพิวเตอร์ไปใช้ ในกิจกรรมประจำวันของการเกษตรได้ (Holt, 1985) โดยเฉพาะการสร้างเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่พกพาไปที่ต่างๆ ได้สะดวกและมีความสามารถในการทำงานและการเก็บข้อมูลได้สูง จึงได้มีความพยายามในการสร้างระบบที่รวบรวมความรู้ต่างๆ ไว้ในที่เดียวกันเพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ โดยระบบเหล่านั้นยังเป็นชนิดที่เรียนแบบการปรึกษากับผู้เชี่ยวชาญที่มีการถามและตอบ แนวความคิดดังกล่าวได้นำไปสู่ความพยายามพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญในหลายสาขาวิชา และศักยภาพในการนำระบบผู้เชี่ยวชาญมาช่วยในการตัดสินใจในทางเกษตรนั้นมีสูง (McKinion and Lemmon, 1985) กอปรกับได้มีการพัฒนาโปรแกรม (shell) ชนิดต่างๆ ให้เลือก ทำให้การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญเฉพาะด้านที่ต้องการมีความสะดวกขึ้น สำหรับกล้วยได้มีการสร้างระบบการวินิจฉัยโรคกล้วยบนเครื่อง VAX (Michalski et al., 1976) ICRISAT(1994) ได้พัฒนาระบบวินิจฉัยโรคกล้วยถึงปัญหาที่สำคัญก็คือการได้มาซึ่งข้อมูลที่มีความถูกต้องสูง ถึงกระนั้นก็ตามการที่จะสร้างระบบวินิจฉัยโรคพืชที่ให้คำตอบที่ถูกต้องทุกโรคโดยอาศัยเพียงอาการที่เห็นและลักษณะบางอย่างของสภาพแวดล้อมคงเป็นไปได้ยาก และถ้าต้องรวมอาการอื่นๆที่คล้ายโรคพืชก็คงมีโอกาสดีผลตกมากขึ้นถ้าไม่อาศัยการวินิจฉัยในห้องทดลอง อย่างไรก็ตามอาการหลายอย่างที่เกิดขึ้นกับกล้วยถ้าทำการตรวจสอบในระยะอาการที่เหมาะสมจะสามารถวินิจฉัยได้โดยไม่ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญหรือการวิเคราะห์ในห้องทดลอง ดังนั้นการมีระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยโรคกล้วยโดยใช้คอมพิวเตอร์จึงเป็นแนวทางหนึ่งของการส่งเสริมและเผยแพร่ความรู้และการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการในกระบวนการตัดสินใจ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของการพัฒนาระบบ ISOYDIS โดยระบบวินิจฉัยนี้เขียนเป็นภาษาไทย และในระยะแรกจะรวบรวมอาการผิดปกติที่เกิดจากโรคกล้วยที่เกิดขึ้นในประเทศไทยเป็นหลัก ส่วนอาการที่คล้ายโรคที่เนื่องมาจากแมลง การขาดธาตุอาหารและสารเคมีมีรวมอยู่เป็นเพียงส่วนน้อย นอกจากนั้นจะรวบรวมวิธีการควบคุมหรือป้องกันอาการบางอย่างที่สำคัญไว้ด้วย

คำร้องขอใช้สิทธิ์ในระบบ: ระบบวินโดวส์ใช้สิทธิ์ในการใช้โปรแกรม(Shell) EXSYS Professional สำหรับ Windows 3.xx รุ่นที่ 5 จากบริษัท EXSYS เป็นโปรแกรมที่ใช้สำหรับการอบรมและศึกษาใช้ทั้งระบบบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โปรแกรมนี้สามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรมฐานข้อมูลได้หลายโปรแกรมและสามารถนำข้อมูลรวมไปใช้ในการเชื่อมโยงกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองได้ โปรแกรมนี้ใช้สำหรับระบบผู้เชี่ยวชาญโดยอาศัย Rule-based system ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ความรู้ความชำนาญเฉพาะด้านมาประกอบ (Waterman,1986) โดยแสดงในกฎ IF-THEN คำว่าผู้ใช้งานจะถูกรวบรวมไว้ในรูปแบบของโปรแกรม EXSYS

ขบวนการการพัฒนากระบวนกรวินิจฉัย:

โดยหลักการในการพัฒนาระบบนี้ควรมีผู้ที่เกี่ยวข้องที่มีความรู้ทางระบบผู้เชี่ยวชาญและความรู้ทางด้านโรคพืชด้วยนอกเหนือไปจากผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางอีกหลายทาง แต่เนื่องจากงานวิจัยจำกัดวงอยู่เฉพาะโรคถั่วเหลือง ขอบเขตของระบบที่ตั้งใจจะสร้างจึงมุ่งเน้นอยู่ที่อาการที่สืบเนื่องมาจากโรคถั่วเหลือง และจะพัฒนาเฉพาะโรคที่เกิดในประเทศไทยเท่านั้น โดยไม่คำนึงว่าในปัจจุบันโรคนั้นจะมีความสำคัญทางเศรษฐกิจหรือไม่ อาการส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโรคที่เกิดจากเชื้อรา ส่วนที่เนื่องมาจากสาเหตุอื่นๆ เช่นมาจากเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส ไส้เดือนฝอย จะมีน้อย นอกจากนั้นถ้าหากมีอาการอื่นๆที่เกิดในแปลงทดมีลักษณะคล้ายโรคพืช และสามารถวินิจฉัยได้ถึงสาเหตุก็จะนำไปในระบบด้วย เช่นอาการที่เกิดจากสารกำจัดวัชพืช (สำหรับผู้ที่ไม่คุ้นกับถั่วเหลือง)จะดูคล้ายกับโรคพืชมาก อาการที่เกิดจากการขาดธาตุอาหารหรืออาหารเป็นพิษก็เช่นเดียวกัน

ลักษณะใหญ่ๆของอาการจัดเป็นกลุ่มของอาการ ได้ดังนี้

- 1) พวกที่เหี่ยวตาย ซึ่งสามารถเกิดได้จากโรคพืชหรือแมลง
- 2) พวกที่แสดงออกทางใบ ซึ่งมีหลายสาเหตุ- โรคพืชหรือแมลง สารเคมี หรือ การขาดธาตุอาหาร
- 3) พวกที่มีใบเหี่ยวบางที่หรือบางส่วนซึ่งมักเกิดจากแมลง
- 4) พวกที่ต้นแคระแกรนอาจเกิดจากปัญหาโรค Nematode หรือ โรคไวรัส

1) การรวบรวมความรู้(Knowledge acquisition)

โดยหลักการข้อมูลหรือความรู้ส่วนใหญ่ควรมาจากผู้เชี่ยวชาญหลายคน ถ้าหาไม่ได้ก็ใช้เอกสารอ้างอิงต่างๆหรือตำรา ถ้าเอกสารไม่สมบูรณ์และไม่มีใครให้ข้อมูลที่ชัดเจนก็จำเป็นต้องหาจากการทดลอง สำหรับการวินิจฉัยโรคพืชข้อมูลที่ได้จากการทดลองโดยตรงจะให้อาการที่ชัดเจนกว่า เพราะอาการโรคจะเปลี่ยนแปลงกับเวลาซึ่งมีผลต่อการสร้าง knowledge representation ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญจึงขึ้นอยู่กับขนาดของฐานข้อมูลที่จะสามารถหาได้ สำหรับในโครงการนี้ ข้อมูลส่วนใหญ่ของโรคหลายชนิดได้จากการรวบรวมจากเอกสารอ้างอิง Compendium of soybean diseases (Sinclair and Backman, 1989) และข้อมูลบางส่วนของอาการต่างๆเช่น อายุถั่วที่เริ่มแสดงอาการ ตำแหน่งที่เริ่มเกิด และการเปลี่ยนแปลงของอาการ และในบางกรณีจะรวมถึงสภาพแวดล้อม ซึ่งจะได้จากแปลงทดลองข้อมูลเหล่านี้จะช่วยเสริมให้การสร้างระบบผู้เชี่ยวชาญได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

1) การแสดงรูปแบบของความรู้ (Knowledge representation)

เครื่องมือที่ใช้สร้างระบบ: ระบบวินิจฉัยโรคสร้างขึ้นด้วยการใช้โปรแกรม(Shell) EXSYS Professional สำหรับ Windows 3.xx รุ่นที่ 5 จากบริษัท EXSYS เป็นโปรแกรมที่ได้รับการยอมรับและถูกนำไปใช้สร้างระบบควบคุมในด้านโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โปรแกรมนี้สามารถเชื่อมโยงกับโปรแกรมฐานข้อมูลได้หลายชนิดและแสดงภาพได้ด้วย รวมไปถึงการเชื่อมโยงกับโปรแกรมที่เขียนขึ้นเองได้ โปรแกรมนี้ใช้สร้างระบบผู้เชี่ยวชาญโดยอาศัย Rule-based system ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับความนิยมตั้งแต่ได้มีพัฒนาความนึกคิด(Waterman,1986) โดยแสดงเป็นกฎ IF-THEN ความรู้ต่างๆจะถูกรวบรวมไว้ในรูปของกฎ โปรแกรม EXSYS

ยังมีระบบ hypertext ซึ่งจะช่วยให้ผู้สร้างสามารถเพิ่มข้อมูลที่จะช่วยผู้ใช้ให้เข้าใจข้อความบางอย่างในคำถามมากขึ้น

การสร้างกฎ (Inference mechanism): จากข้อมูลที่อยู่ใน qualifiers หรือ ตัวแปร การจะได้คำตอบที่ต้องการจำเป็นจะต้องสร้างกฎ ซึ่งเป็นกฎที่เรียกว่า Heuristic rule เนื่องจากระบบนี้จะบรรยายสภาพของโรคที่เป็นเพียงภายนอกและไม่แน่นอนเหมือนการคำนวณทางคณิตศาสตร์ กฎที่สร้างขึ้นอยู่ในรูปของ IF-THEN ดังนี้

IF condition 1

and condition 2

THEN condition 3 or choices

โดยที่ condition คือข้อความที่เป็นจริงหรือน่าจะเป็น ซึ่งมาจากส่วนประกอบที่เรียกว่า qualifiers และ values, หรือ variables และ value โดยที่ value จะเป็นส่วนที่ทำให้ qualifier สมบูรณ์ซึ่งสามารถมีมากกว่าหนึ่งค่า ส่วน choices คือคำตอบที่น่าจะเป็นภายใต้ conditions ที่ให้ไว้ในกฎ ตัวอย่างการรวบรวมความรู้ของระบบแสดงดังต่อไปนี้

IF:

อาการของพืชที่เห็นน่าจะเกิดจาก เชื้อที่มาจากดินหรือเมล็ด

and บริเวณโคนต้น ไม่มีใบราสีขาวหรือครีม

and บริเวณโคนต้นที่ผิวดิน มีก้อน sclerotium สีขาวหรือครีม

and ที่บริเวณแผลสีน้ำตาลบนต้น(บนหรือใต้ผิว) ไม่มีจุดสีดำกระจาย

THEN:

อาการแผลบนลำต้นจัดอยู่ในกลุ่ม มีใบราแต่ไม่มีจุดดำ

โรค Sclerotia stem rot - Confidence=8/10

โรค Phytophthora rot - Confidence=3/10

ในกฎข้างต้น Qualier ของ condition ที่ 1 คืออาการของพืชที่เห็นน่าจะเกิดจาก และของ condition ที่ 2 คือ บริเวณโคนต้น ส่วน values ของ Qualifier ทั้งสอง คือ เชื้อที่มาจากดินหรือเมล็ด และ ไม่มีใบราสีขาวหรือครีม ตามลำดับ ในส่วนของ THEN ที่เป็น Choice คือชื่อโรค

3) การทดสอบกฎ

การตรวจสอบระบบวินิจฉัยมีอยู่สองขั้นตอนดังนี้

(1) ทำการทดสอบ (verification) กฎที่ได้สร้างขึ้น เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของคำถามในเส้นทาง (path) ที่นำไปสู่คำตอบที่คาดหวังไว้ เนื่องจากการตรวจสอบทุกอาการในแต่ละกลุ่มของอาการจะใช้เวลาค่อนข้างมาก จึงจำกัดการตรวจสอบอาการบางชนิดในแต่ละกลุ่ม

(2) การทดสอบในแปลง (validation): เพื่อให้ทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นแล้วนำไปปรับปรุง โดยการระบบเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ Notebook และนำไปใช้ที่ร่มใกล้กับแปลงถั่วเหลือง จะมีการอธิบายแบบสั้นๆ ถึงวิธีการใช้ให้กับกลุ่มนักศึกษา แล้วให้นักศึกษาเก็บตัวอย่างและบันทึกสภาพบางประการในแปลงที่จำเป็นในการตอบปัญหาแล้วนำไปตรวจสอบอาการกับระบบ

Confidence mode:(ค่าความเชื่อมั่น)

เนื่องจากระบบผู้เชี่ยวชาญสร้างขึ้นมาจากอาศัยหลักเกณฑ์ของความชำนาญ จึงอาจมีความไม่แน่นอนเข้าเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของผู้ให้คำแนะนำ ระบบจึงต้องมีการประมาณค่าความเชื่อมั่นกำกับผลที่ได้รับ ใน EXSYS มีระบบการให้ความเชื่อมั่นหลายรูปแบบ สำหรับค่าที่ใช้ใน TSOYDIS นี้จะเป็น 0-10 ถ้าในกฎใดมีคำตอบของอาการมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 10 ผลลัพธ์สุดท้ายจะมีค่าต่ำสุดหรือสูงสุดของอาการดังกล่าวเป็น 0 หรือ 10 ส่วนอาการอื่นๆที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 10 จะเป็นค่าเฉลี่ยจากหลายกฎโดยอาการที่มีค่าสูงสุดแสดงถึงความเป็นไปได้มากที่สุด

การทดสอบผล

ในการที่จะใช้ระบบวินิจฉัยนั้นจะต้องมีการแก้ไขไฟล์ WIN.INI โดยการเอา Fonts ที่ไม่แสดงภาษาไทยออก แล้วใช้ RUN TSOYDIS หลังจากอ่านคำแนะนำผู้ใช้จะตอบคำถาม ซึ่งหลักการทั่วไปก็คือผู้ใช้ต้องพยายามวินิจฉัยในเบื้องต้นว่าอาการที่เห็นควรอยู่ในหัวข้อใดในข้อหนึ่งดังนี้

1). ในหน้าจอที่สองให้ผู้ผู้ใช้เลือกหัวข้อของอาการของพืชที่เห็นซึ่งมีดังนี้:

ลักษณะทั่วไปของถั่ว

1. มีใบเหี่ยวเฉาจากส่วนบนลงไปเกือบทั้งต้นหรือกำลังจะตาย
2. ถั่วงอก หรือต้นอ่อนเหี่ยวหรือเน่าตาย
3. ไม่มีอาการเหี่ยวเฉาของต้น แต่มีเพียงบางก้านใบหรือบางส่วนของใบย่อยที่เหี่ยวเฉา
4. ใบมีสีหรือรูปร่างผิดปกติแต่ไม่มีอาการใบเหี่ยวหรือตายก่อนกำหนดและต้นไม่แคระแกรน
5. ต้นแคระแกรน ส่วนใบหรือรากอาจจะปกติหรือผิดปกติ
6. ฝักและเมล็ดมีสีผิดปกติก่อนเก็บเกี่ยว

อาการที่เลือกจะนำไปสู่การวินิจฉัยของโรคในแต่ละกลุ่ม หน้าจอที่สามจะมีอาการคล้ายจอหน้าที่สองแต่จะละเอียดกว่าและจะถูกนำไปใช้ในกฎอื่นๆ การเลือกทั้งสองครั้งจะต้องตรงกัน มิฉะนั้นจะนำไปสู่คำตอบที่ผิด

ในตัวอย่างนี้จะเลือกข้อ 4

2). คำถามต่อไปคือ

ต้นถั่วมีใบส่วนใหญ่เล็กกว่าหรือมีรูปร่างผิดปกติมาก ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างนี้จะเลือก: ไม่ใช่

3). คำถามต่อไปคือ

ต้นถั่วมีความสูงน้อยกว่าปกติมากหรือโตช้า ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างนี้จะเลือก: ไม่ใช่

คำถามที่ 2 และ 3 จะตรวจว่าต้นแคระแกรนหรือไม่

4). คำถามต่อไปคือ

รูปร่างทั่วไปของใบกล้วยจะมี-

1. ผิวขรุขระและขนาดของใบอาจจะเล็กหรือใหญ่กว่าปกติ
2. ขอบใบโค้งไปมาหรือรูปร่างผิดปกติมาก
3. ขอบใบห่อเหมือนถ้วย(ไม่มีใบแมลง)
4. โครงสร้างทั่วไปปกติ(ไม่รวมสี)

ในตัวอย่างจะเลือกข้อ 4

ณ จุดนี้ระบบจะสรุปว่าแผลเป็นเกิดจากโรคทางใบ

5). คำถามต่อไปคือ

แผลที่ผิวหนังบนของใบโดยทั่วไปจะมี -

1. ลักษณะเหมือนผิวใบพุพองหรือมีแผลเป็นทางคดๆ
2. ไม่มีลักษณะผิวพุพองดังกล่าว

ในตัวอย่างตอบว่า: ไม่มีลักษณะผิวพุพองดังกล่าว

คำถามนี้จะแยกอาการที่เกิดจากแมลงออกจากอาการที่ไม่ใช่แมลงในตัวอย่างตอบว่า: ไม่มีลักษณะผิว

พุพองดังกล่าว

6). คำถามต่อไปคือ

มีจุดศูนย์กลาง(ไม่รวมถึงใบรา)ที่ได้ผิวใบหรือไม่ (ต้องดูด้วยแว่นขยาย) ? มี, ไม่มี

ในตัวอย่างตอบว่า: มี

7). คำถามต่อไปคือ

ขอบแผลมีสีเหลืองชัดเจน ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างตอบว่า: ไม่ใช่

8). คำถามต่อไปคือ

50% ถ้วยเหลือง

1. มีอายุตั้งแต่ออกถึงระยะสามใบเถาใบที่สามเริ่มจะคลี่ออก (<V3)
2. มีระยะตั้งแต่สามใบเถาใบที่สามแผ่ออกแต่ยังไม่ออกดอก (<R1)
3. มีระยะเริ่มตั้งแต่ออกดอกถึงระยะที่ 50% ต้นมีฝักสีน้ำตาล (R7)
4. ไม่โผล่เหนือดิน (Emergence)

ในตัวอย่างเลือกข้อ 2

9). คำถามต่อไปคือ

ลักษณะเฉพาะของแผลที่ใบคือ (เนื่องจากมีหลายข้อ จึงเลือกมาเฉพาะข้อมาแสดง)

1. มีสีเขียวอ่อนหรือเหลืองส่วนใหญ่มีขนาด 1-5 มม^๒ ที่ผิวหนังบนในระยะแผลยังไม่แก่และรูปร่างไม่แน่นอน ส่วนด้านล่างจะมีสีเทาหรือม่วงอ่อนของใบเรื่อรา (เห็นชัดด้วยแว่นขยาย)
2. เป็นจุดสีน้ำตาลโดยที่ผิวด้านบนจะมีสีเข้ม แต่ผิวด้านล่างสีไม่เข้าและจะมีจุดศูนย์กลางลักษณะเป็นขุยๆ (ใช้แว่นขยายจะเห็นรูปร่างเป็นตุ่มเล็กๆติดกัน)แต่ไม่มีขอบสีเหลือง
3. ใบที่ส่วนล่างของต้น(มักมีบางส่วนมีสีเหลือง)แผลที่ผิวด้านล่างเป็นจุดศูนย์กลางมีสีน้ำตาล และมักอยู่ติดกันมีลักษณะเหมือนแป้ง เมื่อดูกับกระดาษขาวจะเห็นรอยสนิม หรือเวลาเคาะมักจะเห็นละอองสปอร์

4. แผลที่ยังไม่แก่สุดจะเหมือนกับข้อ 1 ข้างต้น ส่วนแผลเก่าที่ด้านบนมีแผลสีน้ำตาลหลายแผลหรือแผลเดี่ยวเกิดที่ใบตื้นหรือบางส่วนหรือทั้งหมด ส่วนด้านล่างมีใบราสีเทาหรือน้ำตาล(เห็นชัดด้วยแว่นขยาย)

ในตัวอย่างเลือกข้อ 2

10). คำถามต่อไปคือ

ตำแหน่งใบที่มีสีเปลี่ยนโดยทั่วไปเริ่มจาก

1. ใบส่วนล่างขึ้นไป(ใบแก่)
2. ใบบนหรือใบส่วนกลางที่ยังไม่แก่

ในตัวอย่างเลือกข้อ 1

ผลของการวินิจฉัยจะให้คำแนะนำวิธีการควบคุมอาการที่เกิดขึ้น (เฉพาะอาการที่มีวิธีการควบคุมที่ได้ผล) และในกรณีที่มีรูปก็จะแสดงรูปภาพประกอบ และผลลัพธ์สุดท้ายคือแสดงชื่ออาการต่างๆซึ่งในตัวอย่างข้างต้นได้ผลดังต่อไปนี้

*โรคราสนิม- Rust	9
*โรคใบจุดนูน- Bacterial Pustule	1
อาการของพืชที่เห็นน่าจะเกิดจากโรคทางใบหรือก้านใบที่รูปร่างใบปกติ	
Choice with highest value = Rust	
picture of a chosen value = RUSTLUT.PCX	

ผลที่ได้แสดงว่าอาการที่เกิดน่าจะเป็นราสนิมมากที่สุด โอกาสที่จะเป็นโรคใบจุดนูนมีน้อยมาก บันทึกที่สามแสดงกลุ่มของอาการ ส่วนบันทึกสุดท้ายเป็นชื่อไฟล์ของรูปภาพ

ถึงแม้ว่าระบบนี้ได้ผ่านการทดสอบในภาคสนามมาไม่มาก แต่ผู้พัฒนาระบบการวินิจฉัยรุ่นที่หนึ่งนี้มีความเชื่อมั่นว่าสามารถวินิจฉัยอาการที่สำคัญได้ด้วยความแม่นยำที่สูง เนื่องจากระบบการวินิจฉัยโรคนี้เป็นรุ่นที่หนึ่งที่พัฒนาขึ้นมาในระยะเวลาที่จำกัดจึงไม่สามารถจะรวบรวมอาการทั้งหมดที่เคยเกิดขึ้นกับถั่วเหลืองที่ปลูกในประเทศไทย และเนื่องจากการสร้างระบบฐานข้อมูลในแบบ Rule-based ต้องการข้อมูลที่ค่อนข้างละเอียด การพัฒนาระบบให้สมบูรณ์จึงค่อนข้างลำบากและใช้เวลามาก จึงจะต้องมีการปรับปรุงทั้งชนิดของอาการและวิธีการควบคุมอาการในแต่ละพันธุ์ที่ใช้ในการผลิต ผู้พัฒนาหวังว่าจะมีผู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่นๆที่ทำงานเกี่ยวกับถั่วเหลืองจะให้คำแนะนำและข้อมูลเพิ่มเติมในอนาคตเพื่อพัฒนาระบบนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และยังคงมีการทดสอบจากผู้ใช้อีกด้วย

สรุป

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวินิจฉัยอาการโรคถั่วเหลืองที่ได้พัฒนาขึ้นมาได้รวบรวมอาการบางส่วน ของโรคและคล้ายโรคจะช่วยเสริมความคล่องตัวในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับอาการที่เกิดขึ้นให้แก่เกษตรกรและการเกษตรและนักวิจัยที่ไม่ชำนาญโรคพืช ระบบจะสมบูรณ์มากขึ้นถ้าสามารถรวบรวมอาการต่างๆที่ปลูก ถั่วเหลืองอื่นๆพร้อมกับมีคำแนะนำถึงวิธีการควบคุมหรือป้องกันให้ผู้ใช้ด้วย

คำขอบคุณ

การพัฒนาแบบวินิจฉัยโรคนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการงานวิจัยการระบาดของโรคทางใบของถั่วเหลืองที่ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว) ผู้วิจัยขอขอบคุณ สกว ไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- EXSYS Professional for Windowed environments. EXSYS Inc. Albuquerque, NM.
- Holt, D. A. 1985. Computers in production agriculture. Science 228:422-427.
- McKinion, J. M., and H. E. Lemmon. 1985. Expert system for agriculture. Comput. Electron. Agric.1:31-40.
- Michalski, R. S., J. H. Davis, V. S. Bisht, and J. B. Sinclair. 1983. A computer-based advisory system for diagnosing soybean diseases in Illinois. Plant Dis. 67:459-463.
- ICRISAT(International Crop Research institute of the Semi-Arid Tropics). 1994. ICRISAT Now Sowing for the future. April 1994. Andhra pradesh, India. 88pp.
- Sinclair, J.B., and P.A. Backman. 1989. Compendium of soybean diseases. APS press, 3rd. edition
- Waterman, D. A. 1986. A guide to expert systems. Addison-Wesley publishing Co., Inc., Reading, MA.

คู่มือการใช้ TSOYDIS

An expert system for diagnosis of soybean diseases in Thailand
ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับวินิจฉัยโรคถั่วเหลืองในประเทศไทย
(Version 1)

สุนทร บุรณะวิริยะกุล
สมบัติ ศรีสูงค์

Agronomy Department Plant pathology Department and Multiple Cropping
Center Chiang Mai University
Chiang Mai, Thailand

คำนำ

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวินิจฉัยโรคผิวหนังนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดยใช้ shell EXSYS Profession ของบริษัท EXSYS Inc. ซึ่งเป็น shell ที่ใช้วิธี rule-based expert system ที่เรียนแบบการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญ

เนื่องจากความตั้งใจของการพัฒนาระบบวินิจฉัยโรคผิวหนังก็เพื่อความรวดเร็วในการแก้ปัญหาจึงต้องการให้ผู้ใช้สามารถนำติดตัวไปใช้ในที่ต่างๆ โดยการติดตั้งไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบกระเป๋า(NoteBook) ถึงแม้ว่าระบบนี้สร้างขึ้นเพื่อให้ผู้ใช้นำไปใช้ในสถานที่ที่มีปัญหา แต่การใช้ NoteBook บางยี่ห้ออาจมีปัญหาอ่านหน้าจอไม่ชัดเจนเมื่อใช้ในที่แจ้ง ดังนั้นจึงต้องนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในที่ร่มที่ใกล้จุดที่มีปัญหามากที่สุด หรือถ้าจำเป็นต้องใช้วิธีการนำตัวอย่างมาวิเคราะห์ในที่สำนักงานก็สามารถทำได้แต่ต้องระวังการเก็บตัวอย่าง ถ้าอาการเป็นที่ใบควรระวังไม่ให้ใบเหี่ยว และก่อนที่จะนำตัวอย่างไปวินิจฉัยผู้ใช้ควรสำรวจผิวหนังใน แปลงทดลองหรือในไร่แล้วบันทึกข้อมูลต่อไป (ข้อ 1-5 จะใช้กับอาการที่เกิดขึ้นกับใบเท่านั้น)

- 1) อาการเกิดต่อเนื่องหรือไม่ หมายถึงการที่อาการเกิดขึ้นติดต่อกันต่อเนื่องกันซึ่งอาจกินบริเวณกว้างหรือเป็นข้อมา
 - 2) อาการที่เกิดมีทิศทางของความรุนแรงหรือไม่จากทิศทางใดทางหนึ่งโดยเฉพาะจากขอบแปลง
 - 3) อาการที่เกิดมีความเหมือนกันหรือคล้ายคลึงกันมากระหว่างใบของต้นที่แสดงอาการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างต้นและใบที่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันนับจากยอดหรือจากโคนต้น
 - 4) มีการใช้สารเคมีควบคุมโรคหรือแมลงหรือไม่ เมื่อไร
 - 5) ตรวจค้นด้วยหลายๆต้นว่าอาการที่เกิดบนใบเกิดที่ส่วนไหนก่อน
 - 6) ต้นมีลักษณะกระแจะแกรนหรือไม่โดยดูจากความสูงหรือขนาดของใบโดยรวม และลักษณะการกระจายตัวของต้นแถวเหลืองที่แสดงอาการ ต้องตรวจอาการที่รากด้วย ถ้ามีอาการต้องนำไปด้วย
 - 7) บริเวณที่แสดงอาการเป็นแฉ่งหรือน้ำขังหรือไม่ หรือดินมีความชื้นนานกว่าบางที่หรือไม่
 - 8) ถ้าต้นเหี่ยวหรือตายก็ควรตรวจสอบรากด้วย
-

อุปกรณ์ การติดตั้งและวิธีการของระบบการวินิจฉัยของ TSOYDIS

- A. เครื่องคอมพิวเตอร์: 1) IBM compatible PC or NoteBook, 486DX หรือสูงขึ้นไป 2) Window 3.xx, 4MB Ram(ต่ำสุด) สามารถติดตั้งระบบ Windows3.xx กับ Windows 97 ได้ในเครื่องเดียวกัน โดยใช้ชื่อ path ใหม่สำหรับ Windows 3.xx 3) Color monitor
- B. การติดตั้งและวิธีการใช้ระบบการวินิจฉัยโรค 1). ติดตั้ง Runtime program คือ EXSYSP.EXE, EXSYSP.LGO, EXSYSP.HLP และมีโปรแกรม ที่เกี่ยวข้องอีก 14 ไฟล์ คือพวก *.DLL ใน Windows โดยการสร้าง subdirectory เช่น WEXSYS ในระบบการวินิจฉัยโรคผิวหนังซึ่งประกอบด้วยไฟล์ TSOYDIS.TXT, TSOYDIS.RUL, TSOYDIS.CMD, TSOYDIS.HYT, TSOYDIS.SCR, TSOYDIS.OUT, TSOYDIS.OU1, และ TSOYDIS.NBK ไฟล์เหล่านี้ถูก zip ไว้ใน TSOYEXS.ZIP ส่วน picture files(*.PCX) ซึ่งเป็นรูปถ่ายของอาการต่างๆ ไฟล์เหล่านี้ถูก zip ไว้ใน TDATA1.ZIP และ text files(*.DAT) ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการแนะนำการพ่นสารเคมีและการจัดการอื่นๆของโรคที่สำคัญ ไฟล์เหล่านี้ถูก zip ไว้ใน DISPIC1.ZIP และ DISPIC2.ZIP ใช้โปรแกรมเช่น PKZIP.exe unzip ไฟล์ลงใน Subdirectory ที่มี

Runtime program เสร็จแล้วสร้าง Runtime icon 2). สร้าง batch file (WIEX.bat) สำหรับเรียกใช้ Windows (WIN.INI ที่ได้ดัดแปลงใหม่) ซึ่งมีคำสั่งดังนี้

```
COPY C:\WINDOWS\WIN-MAS.INI C:\WINDOWS\WIN.INI
COPY C:\WINDOWS\WIN-EXP.INI C:\WINDOWS\WIN.INI
WIN
COPY C:\WINDOWS\WIN-MAS.INI C:\WINDOWS\WIN.INI
```

โดยที่ WIN-MAS.INI เป็น Backup of WIN.INI ดังนั้นในการติดตั้งระบบครั้งแรกจะต้อง copy WIN.INI เก็บไว้ใน WIN-MAS.INI ในกรณีที่เครื่อง hang หรือเครื่องดับโดยบังเอิญก่อนจะออกจาก Windows บรรทัดแรกของ batch file จะช่วยให้ไม่ต้อง copy WIN.INI ใหม่ ถ้าไม่สร้างเองก็ copy WIEX.bat ที่มีคำสั่งข้างต้น WIN-EXP.INI คือ WIN.INI ที่ถูกดัดแปลงให้มีแค่ Thai Fonts เท่านั้น เมื่อต้องการจะใช้ระบบก็พิมพ์ WIEX 3). เมื่อเลือก Runtime icon แล้วเปิดชื่อไฟล์ TSOYDIS

4). Click ที่ Runtime Expert system ระบบการวินิจฉัยจะเริ่มขึ้นโดยจะแสดงคำถามเกี่ยวกับระบบต่างๆซึ่งมีข้อความดังต่อไปนี้ที่จะแสดงคำถามให้เลือก

ระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวินิจฉัยโรคกล้วยเหลืองรวบรวมอาการต่างๆที่เป็นอาการที่เกิดจากโรคกล้วยเหลืองเป็นส่วนใหญ่และบางอาการที่เกิดจากสาเหตุอื่นๆที่ดูเหมือนโรคที่เกิดในประเทศไทย แต่อาจจะมีอาการอื่นๆอีกที่ไม่ได้ปรากฏในระบบนี้เพราะไม่ได้มีการรายงานเนื่องจากว่าไม่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และไม่ได้เกิดในแปลงทดลอง ตัวเลขที่ปรากฏในแต่ละบรรทัดของผลลัพธ์เป็นค่าความเชื่อมั่นของความถูกต้องโดยใช้ระบบ 0-10 ค่า 10 เป็นค่าที่ถูกต้องที่สุด ข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาการวินิจฉัยโรคบางส่วนได้มาจากโรคที่เกิดในแปลงทดลองที่ ม.ช แต่ส่วนใหญ่ได้มาจากหนังสือ Compendium of Soybean Diseases Edited by Sinclair and Backman(1989).

ระบบที่ใช้จะแบ่งการเจริญเติบโตออกเป็น ระยะต้นอ่อน(นับถึง V3) ระยะก่อนเจริญพันธุ์ และระยะเจริญพันธุ์ โดยถือเอาค่าประมาณ 50% ของต้นเป็นเกณฑ์(เปิด Notebook file, *.NBK ดูเป็นตัวอย่าง) ในการวิเคราะห์ถ้ามีต้นที่แสดงอาการเหี่ยวหรือตายผู้ใช้ควรเลือกว่าต้นนั้นมีอาการเหี่ยว แล้วทำการตรวจดูลำต้นและรากของต้นที่เหี่ยว และไม่เหี่ยวด้วยซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโรคเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวินิจฉัยโรค ในระยะมีฝักถ้าทั้งใบและฝักแสดงอาการของโรค ควรตอบคำถามของแต่ละส่วนแยกกัน ในทำนองเดียวกันบางครั้งอาจมีโรคมามากกว่าหนึ่งชนิดเกิดในบริเวณเดียวกัน การตอบคำถามควรดูผลของโรคเพียงชนิดเดียว และควรเลือกโรคที่สำคัญหรือมีความรุนแรงก่อนโดยเฉพาะโรคที่ทำให้ต้นตาย การตรวจโรคบางชนิดจะมีความแม่นยำมากขึ้นถ้าใช้แว่นขยายขนาดเล็กด้วย อย่างน้อยขยายได้ 10 เท่า ระบบนี้ควรอยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook เพื่อนำไปใช้ในแปลงทดลองหรือในไร่นาเกษตรกรเนื่องจากว่าในบางขั้นตอนต้องการข้อมูลในสภาพที่เป็นจริง ถ้านำเพียงตัวอย่างมาตรวจอาจไม่สามารถตอบคำถามบางคำถามได้

เมื่ออ่านแล้วให้กดปุ่ม Continue

1). จอหน้าที่สองให้ผู้ใช้เลือกหัวข้อของอาการของพืชที่เห็นซึ่งมีดังนี้:

ลักษณะทั่วไปของตัว

1. มีใบเขียวแดงจากส่วนบนลงไปเกือบทั้งต้นหรือกำลังจะตาย
2. ถั่วงอก หรือต้นอ่อนเขียวหรือเน่าตาย
3. ไม่มีอาการเหี่ยวตายของต้น แต่มีเพียงบางก้านใบหรือบางส่วนของใบย่อยที่เหี่ยวตาย
4. ใบมีสีหรือรูปร่างผิดปกติแต่ไม่มีอาการใบเหี่ยวหรือตายก่อนกำหนดและต้นไม่แคระแกรน
5. ต้นแคระแกรน ส่วนใบหรือรากอาจจะปกติหรือผิดปกติ
6. ผักและเมล็ดมีสีผิดปกติก่อนเก็บเกี่ยว

อาการที่เลือกจะนำไปสู่การวินิจฉัยของโรคในแต่ละกลุ่ม

ในตัวอย่างนี้จะเลือกข้อ 4 ซึ่งจะรวมอาการที่เป็นโรคและไม่ใช่โรคที่เกิดบนใบ

2). คำถามต่อไปคือ

ต้นถั่วมีใบส่วนใหญ่เล็กกว่าหรือมีรูปร่างผิดปกติมาก ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างนี้จะเลือก: ไม่ใช่

3). คำถามต่อไปคือ

ต้นถั่วมีความสูงน้อยกว่าปกติมากหรือโตช้า ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างนี้จะเลือก: ไม่ใช่

4). คำถามต่อไปคือ

รูปร่างทั่วไปของใบถั่วเหลืองมี-

1. ผิวขรุขระและขนาดของใบอาจจะเล็กหรือใหญ่กว่าปกติ
2. ขอบใบโค้งไปมาหรือรูปร่างผิดปกติมาก
3. ขอบใบห่อเหมือนถ้วย(ไม่มีใบแมลง)
4. โครงสร้างทั่วไปปกติ(ไม่รวมสี)

ในตัวอย่างจะเลือกข้อ 4

ณ จุดนี้ระบบจะสรุปว่าผลเป็นเกิดจากโรคทางใบ

5). คำถามต่อไปคือ

ผลที่ผิวด้านบนของใบโดยทั่วไปจะมี -

1. ลักษณะเหมือนผิวใบพุพองหรือมีแผลเป็นทางคดๆ
2. ไม่มีลักษณะผิวพุพองคดงอ

คำถามนี้จะแยกอาการที่เกิดจากแมลงออกจากอาการที่ไม่ใช่แมลงในตัวอย่างตอบว่า: ไม่มีลักษณะผิวพุพองคดงอ

6). คำถามต่อไปคือ

มีจุดบนสีน้ำตาล(ไม่รวมถึงใบรา)ที่ได้ผิวใบหรือไม่ (ต้องดูด้วยแว่นขยาย) ? มี, ไม่มี

ในตัวอย่างตอบว่า: มี

7). คำถามต่อไปคือ

ขอบผลมีสีเหลืองชัดเจน ? ใช่, ไม่ใช่

ในตัวอย่างตอบว่า: ไม่ใช่

8). คำถามต่อไปคือ

50% ถ้าวเหลือง

1. มีอายุตั้งแต่แรกเกิดถึงระยะสามใบอ่อนของก้านที่สามเริ่มจะคลี่ออก ($\leq V3$)
2. มีระยะตั้งแต่สามใบอ่อนของก้านที่สามแผ่อกแต่ยังไม่ออกดอก ($< R1$)
3. มีระยะเริ่มตั้งแต่ออกดอกถึงระยะที่ 50% ต้นมีฝักสีน้ำตาล (R7)
4. ไม่โผล่เหนือดิน (Emergence)

ในตัวอย่างเลือกข้อ 2

9). คำถามต่อไปคือ

ลักษณะเฉพาะของผลที่ใบคือ (เนื่องจากมีหลายข้อ เลือกมาแสดงเฉพาะ 5 ข้อ)

1. มีสีเขียวอ่อนหรือเหลืองส่วนใหญ่มีขนาด 1-5 มม^๒ ที่ผิวด้านบนในระยะผลยังไม่แก่และรูปร่างไม่แน่นอน ส่วนด้านล่างจะมีสีเทาหรือม่วงอ่อนของไขเชื้อรา (เห็นชัดด้วยแว่นขยาย)
2. เป็นจุดสีน้ำตาลโดยที่ผิวด้านบนจะมีสีเข้ม แต่ผิวด้านล่างสีไม่เข้มและจะมีจุดบูนลักษณะเป็นขุย (ใช้แว่นขยายจะเห็นรูปร่างเป็นตุ่มเล็กๆติดกัน)แต่ไม่มีขอบสีเหลือง
3. ใบที่ส่วนล่างของต้น(มักมีบางส่วนมีสีเหลือง)ผลที่ผิวด้านล่างเป็นจุดบูนมีสีน้ำตาล และมักอยู่ติดกันมีลักษณะเหมือนแป้ง เมื่อถูกับกระดาษขาวจะเห็นรอยสนิม หรือเวลาเคาะมักจะเห็นละอองสปอร์
4. ผลที่ยังไม่แก่สุดจะเหมือนกับข้อ 1 ข้างต้น ส่วนผลเก่าที่ด้านบนมีผลสีน้ำตาลหลายผลหรือผลเดี่ยวเกิดทับสีเหลืองบางส่วนหรือทั้งหมด ส่วนด้านล่างมีใบราสีเทาหรือน้ำตาล(เห็นชัดด้วยแว่นขยาย)
5. มีสีน้ำตาลอ่อนและมีน้ำขุ่นเล็กน้อยในระยะแรกแล้วจะแห้งและมีสีเหลืองบางๆ ล้อมรอบ ส่วนใบแก่ผลรวมกันใหญ่ขึ้นมีสีน้ำตาลเข้มและรูปร่างไม่แน่นอนและมักจะขาดวันหรือเป็นรู

ในตัวอย่างเลือกข้อ 2

10). คำถามต่อไปคือ

ตำแหน่งใบที่มีสีเปลี่ยนโดยทั่วไปเริ่มจาก

1. ใบส่วนล่างขึ้นไป(ใบแก่)
2. ใบบนหรือใบส่วนกลางที่ยังไม่แก่

ในตัวอย่างเลือกข้อ 1

ระบบจะแนะนำการควบคุมโรคที่ได้วินิจฉัย(ถ้ามี) สำหรับโรคราสนิมจะแสดงผลดังรูปที่ 1 เมื่อกดปุ่ม OK ระบบจะแสดงรูปภาพของอาการ(ถ้ามี ถ้าไม่มีก็จะเป็นจั่วว่าง) เมื่อตรวจดูรูปภาพแล้วกดปุ่ม OK แล้วจะแสดงผลของการวินิจฉัยดังรูปที่ 2 บรรทัดที่ 1 และ 2 คืออาการที่ได้ ในกรณีที่แสดงผลของอาการมากกว่าหนึ่งชนิดดังตัวอย่างข้างต้นนี้ ก็ให้ถือเอาอาการที่มีค่า Conf (เป็นค่าแสดงความเป็นไปได้)สูงสุดเป็นอาการที่น่าจะถูกต้องมากที่สุด บรรทัดที่ 3 เป็นผลสรุปกลุ่มของอาการที่ได้มาจากการตอบคำถาม ส่วนบรรทัดที่ 4 แสดงชื่อไฟล์ของรูปภาพของอาการ

ถ้าอาการตรงกับรูปภาพก็กดปุ่ม OK ระบบก็จะสิ้นสุด ถ้าอาการไม่ตรงกับภาพที่แสดงให้กดปุ่ม OK แล้วกลับไปเริ่มต้นเลือกใหม่

การควบคุมโรคราสนิม (Rust) :

- 1) ถ้าปลูกข้าวในช่วงที่มีโอกาสเกิดโรคราสนิมที่ภาคเหนือถ้าปลูกปลายเดือน กันยายน จนถึงกลางเดือนตุลาคม ควรพ่นสารเคมีโดยเริ่มพ่นเมื่อโรครามีค่าประมาณ 10% ถ้าโรคเกิดที่ 55 วันหลังปลูก(พันธุ์อายุสั้น หรือ 60 วัน(อายุยาว) ก็ไม่ต้องพ่น ควรพ่นทุก 9-13 วัน แล้วแต่ความรุนแรง สารเคมีที่มีผลคือ :
Mancozeb (Dithane M-45 80% WP) โดยผสมกับสาร ridomil 72% WP ในอัตรา 1/2 : 1/2 ถ้าหากมีโรครุนแรงพ่น 3-4 ครั้ง ถ้าไม่รุนแรงมากใช้ Dithane อย่างเดียวพ่น 2-3 ครั้ง (Mancozeb เป็นสารป้องกัน) ใช้อัตรา 35 ก/20 ลิตร
- 2) ถ้าข้าวเป็น โรคควรจะเผาทั้งหลังเก็บเกี่ยว
- 3) ถ้าวางพันธุ์มีความต้านทานโรคราสนิมได้พอสมควรถ้าปลูกไม่ตรงช่วงที่อากาศเหมาะสม (แต่ไม่มีพันธุ์ต้านทาน)

OK Notebook

รูปที่ 1. หน้าจอแสดงคำแนะนำการควบคุมโรค

*โรคราสนิม- Rust	9
*โรคใบจุดนูน- Bacterial Pustule	1

อาการของพืชที่เห็นน่าจะเป็นโรคทางใบหรือก้านใบที่รูปร่างใบปกติ

Choice with highest value = Rust

picture of a chosen value = RUSTLUT.PCX

OK HOW Change/Rerun ALL

รูปที่ 2. อาการที่ได้จากการวินิจฉัย

การบันทึกข้อความและการตรวจที่มาของผล

ในกรณีที่ผู้ใช้มีความรู้หรือประสบการณ์เกี่ยวกับการจัดการโรคข้าวเหลืองแต่ละชนิดหรือมีข้อมูลบางอย่างที่จะมีประโยชน์แก่ผู้ที่พัฒนาระบบวินิจฉัยนี้จะนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบ สามารถจะเขียนข้อเสนอแนะลงในไฟล์ โดยกดปุ่ม Notebook ในรูปที่ 1 จะแสดงหน้าจอ ดังรูปที่ 3

โดยหน้าจอจะมีคำสั่งให้เลือกที่จะอ่านหรือเขียนหรือแก้ไขข้อความในไฟล์ Notebook ซึ่งถ้าหากผู้ใช้ต้องการจะเขียนข้อความแนะนำเพิ่มเติมก็ทำได้โดยเลือก WRITE จะแสดงหน้าจอใหม่ซึ่งผู้ใช้สามารถ พิมพ์ข้อความที่ต้องการ เสร็จแล้วกดปุ่ม OK ข้อความจะไปปรากฏในจอก่อนหน้าพร้อมกับลงวันที่กำกับ เมื่ออ่านแล้วและกด OK

Notebook Functions:	
Write to Notebook	<input type="button" value="WRITE"/>
Read From Notebook	<input type="button" value="READ"/>
Change Notebook File	<input type="button" value="Cancel"/>
Notebook File : <input type="text" value="C:\WEXSYS\TSOYDIS.NBK"/>	

รูปที่ 3 หน้าจอที่ได้จากการกดปุ่ม Notebook ของรูปที่ 1

IF:
อาการใบหรือฝักผิดปกติแต่ต้นไม่แกรนอาจเกิดจาก โรคใบจุดนูน and อายุถั่วเหลืองอยู่ในระยะ หักนาคต้นและราก(vegetative) and ลักษณะเฉพาะของแผลที่ใบคือ เป็นจุดสีน้ำตาลโดยที่ผิวด้านบนจะมีสีเข้ม แต่ผิวด้านล่างสีไม่เข้มและจะมีจุดนูนลักษณะเป็นขุยๆ(ใช้แว่นขยายจะ เห็นรูปร่างเป็นคุ่มเล็กๆติดกัน)แต่ไม่มีขอบสีเหลือง and ตำแหน่งใบที่มีสีเปลี่ยนโดยทั่วไปเริ่มจาก ใบส่วนล่างขึ้นไป(ใบแก่)
THEN:
*โรคราสนิม- Rust - Confidence=9/10 and *โรคใบจุดนูน- Bacterial Pustule - Confidence=1/10 and STOP
โรคราสนิมเกิดจากเชื้อ <i>Phakospora pachyrhizi</i>
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Source"/> <input type="button" value="Cancel 'HOW' Display"/>

รูปที่ 4. แสดงกฎที่ได้จากการเลือกบรรทัดที่หนึ่งของรูปที่ 2 และกดปุ่ม HOW

หลังจากที่โปรแกรมได้แสดงผลดังรูปที่ 2 แล้ว ผู้ใช้ต้องการทราบว่าโรคราสนิมได้มาจากกฎข้อใดก็ให้ click บรรทัดโรคราสนิมแล้ว click ที่ HOW ซึ่งจะให้กฎที่ให้คำตอบ ดังแสดงในรูปที่ 4 และผู้ใช้สามารถเลือกข้อความในส่วนของ IF ได้อีกด้วยการ click ข้อความที่ต้องการแล้วกดปุ่ม SOURCE ระบบก็จะแสดงคำตอบ เมื่ออ่านเสร็จแล้วให้ กด OK

ถ้ากด Change/Rerun แทนที่จะกด HOW ระบบก็จะแสดงค่าต่าง ๆ ที่เลือกมาตั้งแต่ต้น ดังแสดงในรูปที่ 5 Click บรรทัดที่มีข้อความที่ต้องการเปลี่ยน เช่น ต้องการเปลี่ยนระยะที่พืชแสดงอาการแล้วกด Change

ระบบก็จะแสดง Qualifier เกี่ยวกับระยะการพัฒนา(ข้อ 8)แล้วผู้ใช้ก็เลือกระยะการพัฒนาใหม่แล้วกด Run ก็จะทำให้
จะแสดงผลลัพธ์ใหม่ ในบางครั้งอาจต้องตอบปัญหาเพิ่มเติม

<p>ลักษณะเฉพาะของผลที่ใบคือ เป็นจุดสีน้ำตาลโดยที่ผิวด้านบนจะมีสีเข้ม แต่ผิวด้านล่างสีไม่เข้มและจะมีจุดบนลักษณะเป็นขุยๆ(ใช้แว่นขยายจะเห็นรูปร่าง เป็นตุ่มเล็กๆติดกัน)แต่ไม่มีขอบสีเหลือง 50% ถั่วเหลือง มีระยะตั้งแต่ใบอ่อนของก้านใบที่สามแผ่ออกแต่ยังไม่ออกดอก(<R1) ลักษณะทั่วไปของถั่ว ใบมีสีหรือรูปร่างผิดปกติแต่ไม่มีอาการใบเหี่ยวเฉาหรือตายก่อนกำหนด และต้นไม่แคระแกรน รูปร่างทั่วไปของใบถั่วเหลืองมี- โครงสร้างทั่วไปปกติ(ไม่รวมสี) ผลที่ผิวด้านบนของใบโดยทั่วไปจะมี- ไม่มีลักษณะผิวพุพองดังกล่าว ต้นถั่วมีความสูงน้อยกว่าปกติมากหรือโตช้า ? ไม่ใช่ มีจุดบนสีน้ำตาล(ไม่รวมถึงใบรา)ที่ได้ผิวใบหรือไม่(ต้องดูด้วยแว่นขยาย) ? มี ตำแหน่งใบที่มีสีเปลี่ยนไปทั่วไปเริ่มจาก ใบส่วนล่างขึ้นไป(ใบแก่)</p>				
<table border="0"><tr><td><input type="button" value="RUN"/></td><td><input type="button" value="Change"/></td><td><input type="button" value="Cancel"/></td><td><input type="button" value="Original Data"/></td></tr></table>	<input type="button" value="RUN"/>	<input type="button" value="Change"/>	<input type="button" value="Cancel"/>	<input type="button" value="Original Data"/>
<input type="button" value="RUN"/>	<input type="button" value="Change"/>	<input type="button" value="Cancel"/>	<input type="button" value="Original Data"/>	

รูปที่ 5. ข้อมูลทั้งหมดที่ผู้ใช้ได้เลือกตอบ

Hypertext: ในระบบวินิจฉัยนี้มีการใช้ hypertext ซึ่งจะปรากฏเป็นแถบสีทับตัวหนังสือหรือข้อความในคำถามที่
คาดว่าผู้ใช้จะไม่เข้าใจชัดเจน ดังนั้นก่อนที่จะตอบคำถามผู้ใช้สามารถเรียกอ่านได้โดยการใช้ mouse จิ้มบริเวณ
แถบสีแล้วกดปุ่มสองครั้งก็จะปรากฏข้อความ เมื่ออ่านเสร็จก็กดปุ่ม OK เพื่อกลับไปสู่คำถามเดิม

Appendix 2: Compound effects of rust and downy mildew on growth and yield of soybean under Chiang Mai conditions.

ในปี 2539 มีการระบาดของโรคราสนิมในแปลงทดลอง ที่ปลูกในวันที่ 2 ตุลาคม และเมื่อได้ไร่ เกษตรกรที่อำเภอจอมทอง จ. เชียงใหม่ ได้วิเคราะห์การระบาดของโรคและผลของการใช้สารเคมีที่มีต่อการ พัฒนาของโรคราสนิมและ ราน้ำค้างที่มีต่อการเจริญเติบโตของถั่วเหลืองและผลผลิตผล ได้เสนอผลการทดลอง เรื่องนี้ในการประชุมถั่วเหลืองแห่งชาติครั้งที่ 7 ที่มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ซึ่งจัดขึ้นเมื่อวันที่ 25-27 สิงหาคม 2541 จึงได้แนบมาในรายงานนี้

Compound effects of rust and downy mildew on growth and yield of soybean grown under Chiang Mai conditions

Sunthorn Buranaviriyakul¹, Paul S. Teng² and Sombat Srichuwong³

ABSTRACT

Three soybean cultivars with different in susceptibility to downy mildew and rust were grown in October 1996 under natural inoculum. Ridomil MZ and Dithane M-45 were applied individually or together but alternately to control the diseases after the disease onset. Relative area under the disease progress curve was used for comparison. OCB was about 3.8 times more susceptible to downy mildew than Sukotai-1. For rust cv.7608 was the most susceptible which was about 1.62 and 1.38 times more than that of OCB and Sukotai-1, respectively. Ridomil MZ and Dithane M-45 individually gave about equal control on rust but together they produced an effective control. Dithane M-45 alone gave less control on downy mildew in comparison to Ridomil MZ. There was a tendency but inconsistent among cultivars that an effective rust control to produce a higher leaf and shoot weight than unsprayed treatment from growth stage R6 to R7. A considerable yield loss occurred in all cultivars (39-61%) when no fungicide was sprayed; and the loss was reduced to about 25% or less when a single fungicide was applied. The effect of rust or in combination with downy mildew on yield worked through a reduction in seed size and increase in unfilled pods or unfilled seed which was related to a slower rate of seed development, while pods/plant and seeds/pod were not significantly affected. The effect due to downy mildew alone could not yet be accurately estimated.

Key words: Soybean rust, downy mildew, yield loss

บทคัดย่อ

ผลกระทบของโรคราสนิมและราน้ำค้างต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของถั่วเหลืองในสภาพเชียงใหม่

ปลูกถั่วเหลืองสามพันธุ์ซึ่งมีความแตกต่างกันต่อการเป็นโรคราน้ำค้างและราสนิมในเดือนตุลาคม 2539 โดยใช้เชื้อสาเหตุจากธรรมชาติ พันธุ์สารเคมีรีโดมิล MZ และ ไดเทน M-45 อย่างเดียวหรือร่วมกัน ในการควบคุมโรคทั้งสองหลังจากเกิดโรค ใช้คำนวณพื้นที่ใต้เส้นกราฟในการเปรียบเทียบความรุนแรงของโรค พันธุ์ OCB มีความอ่อนแอต่อโรคราน้ำค้าง 3.8 เท่าของพันธุ์สุโขทัย 1 สำหรับโรคราสนิมถั่วเหลืองพันธุ์ 7608 มีความอ่อนแอ 1.62 เท่า และ 1.38 เท่า ของพันธุ์ OCB และ สุโขทัย 1 ตามลำดับ สารรีโดมิลและไดเทนเมื่อใช้เดี่ยวๆให้ผลในการควบคุมโรคราสนิมใกล้เคียงกัน แต่ถ้าใช้ร่วมกันจะสามารถควบคุมโรคได้ดีมาก สำหรับโรคราน้ำค้างยาไดเทนอย่างเดียวมียieldต่อโรคน้อยกว่า

¹Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

²Entomology and Plant Pathology Division, International Rice Research Institute, Philippines

³Department of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Chiang Mai University

สารโรคไหม้ การไม่พ่นสารควบคุมโรคราสนิมมีแนวโน้มที่จะทำให้หน้าหนักของใบและต้นน้อยลงจากระยะ R6 ถึง R7 และการไม่ควบคุมโรคราสนิมจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างมากในทุกพันธุ์ (39-61%) เมื่อใช้สารเคียวความสูญเสียลดลงประมาณ 25% หรือน้อยกว่า การเกิดโรคราสนิมอย่างเฉียบพลันหรือร่วมกับราน้ำค้างทำให้ขนาดของเมล็ดลดลง และจำนวนฝักไม่มีเมล็ดหรือมีเมล็ดไม่เต็มเพิ่มขึ้นซึ่งเกี่ยวข้องไปถึงการลดลงของอัตราการพัฒนาของเมล็ด แต่ไม่มีผลทางสถิติต่อจำนวนฝักต่อต้นและเมล็ดต่อฝัก ผลการพบของโรคราน้ำค้างอย่างเฉียบพลันยังไม่สามารถประเมินได้แม่นยำ

INTRODUCTION

Soybean rust is caused by *Phakospora pachyrhizi* it widely occurs in tropics and subtropics (Bromfield, 1984; Sinclair, 1989). A significant yield loss caused by the disease had been reported in many Asean countries: 20-30% in Taiwan (Liu, 1966), and as much as 80% in China (Hsu and Wu, 1968). The disease also occurs in several parts of Thailand (Poonpunkul, 1976), and is considered to be quite serious. A survey reported that soybean rust caused a yield loss of 10-30% (Sangawongse, 1973). A field experiment at Phrao and Chomtong, Chiang Mai showed a yield loss of about 15% (Charumas, 1988). Plant disease control through pesticide is one of the means, and an important one, in an integrated system of pest management. Numerous papers report on the use of fungicides to control rust. Bayleton 25 WP (not available now in Thailand) was found to give the best control, whereas Mancozeb (Dithane M-45) was, though better than many others, less effective (AVRDC, 1992). Ogle et al. (1979) also concluded that Mancozeb was partially effective. Downy mildew (*Peronospora manshurica*) is a common disease in the north of Thailand (Suzui, 1976) and an experimental yield loss was estimated to be 15% or less (Poonpunkul et al. 1977).

Information on level of disease resistance of commercial varieties is useful for disease management. Quantitative analysis of relative susceptibility of soybean cultivars to rust and downy mildew, based on natural occurrence in the field experiment, is rarely made in Thailand. This report attempted to quantify susceptibility of three cultivars to soybean rust and downy mildew. In relation to disease susceptibility, one is also concerning with yield loss. The yield loss assessment resulting from foliar diseases is difficult to be accurately evaluated in field experiment, especially if more than one foliar diseases that can influence crop growth occur together; an estimate of actual yield loss cannot be made unless there is an effective method to control a specific disease or there is a cultivar specifically resistant to the disease. The following experiment reports the effectiveness of fungicides in controlling rust and downy mildew and their effect on yield components and yield loss.

MATERIALS AND METHODS

A field experiment was conducted at Multiple cropping Center, Chiang Mai University, Chiang Mai, using natural inoculum. The experiment was started on October, 2, 1996 using split-plot design with three replications. Twenty kg N/ha of urea and 131 kg/ha of potassium sulphate were applied at sowing. The main-plot treatments consisted of: 1) no fungicide spray for rust nor downy mildew(CO), 2) spray Dithane M-45 80% WP and metalaxyl (Ridomil MZ 25% WP) alternately to control both rust and downy mildew(CC), 3) spray Ridomil MZ 25% WP to control downy mildew (DNY), and 4) spray Dithane M-45 to control rust (RUS). Sub-plot treatments consist of three cultivars: Sukotai-1, OCB both of which are susceptible to both rust and downy mildew, and cv.7608 is susceptible to rust only. Corn strips were planted between main-plot to reduce possible inter-plot interference. The size of subplot was 5.5x5.5 m. Plant density was 20x40 cm with two plants per hill (after thinning). The fungicide was applied 18 days after sowing (DAS) for Ridomil MZ, and 27 DAS for Dithane M-45 and four applications were made for both chemicals but not on the same day. Insecticide was sprayed whenever necessary. Six plants were sampled and rating was made for all leaves the severity was the average over the number of leaflets. Soybean growth stage (Fehr et al., 1971) was recorded. Dry plant weights were measured at certain growth stages starting from V4. For seed components good and unfilled seeds were separated. Unfilled pods (contains no filled seed) were counted. Leaf and seed nitrogen content was determined at R7. At harvest, seed yield was taken from two square meters, number of filled seeds and 1000 dry weight were also recorded. Fraction of filled seed and yield loss was estimated. The proportion of defoliation was roughly estimated from the petioles without leaves. Average seed growth rate (gm/day) was estimated by taking the difference between seed weights at R5 and R7.

To compare disease severity among fungicide controls, relative area under the disease progress curve (RAUDPC) was estimated (Fry, 1978; and Yang et al., 1990) as follows:

$$RAUDPC = \sum (Y_{i+1} + Y_i) * (t_{i+1} - t_i) / 2 * (t_n - t_1)$$

where Y_i is percent leaf area infected at time t_i

. Logistic function was used to estimate the rate of disease development in each cultivars, where the dependent variable was a proportion of lesion area, and then used the function to estimate RAUDPC up to R7 for comparison among cultivars and to combine the effect of rust and downy mildew. The absolute rate of disease progress (Park and Lim, 1985), $A * k / (2m + 2)$, was also calculated

for cultivars comparison, where A is a maximum disease level, k is a rate parameter and m is a shape parameter, which equals to 2 in the case of logistic function.

RESULTS AND DISCUSSION

Disease severity: The occurrence of downy mildew was quite early after sowing (12-13 DAS). It took about 20 days for downy mildew to cover about 16% of leaf area in OCB and it had never gone beyond that throughout the growing season (Fig. 1). For Sukotai-1 the development of downy mildew was much lower and its maximum value was less than 6% this indicate that the cultivar is much more resistant to the disease in this growing period; expressing disease severity in terms of RAUDPC, it was 14.7% for OCB but only 3.9% for Sukotai-1 (Table 1a). One may be tempted to express the relative resistance to downy mildew of the two cultivars by the ratio of the RAUDPCs, which in this case OCB was about 3.8 time more susceptible than Skotai-1. Although downy mildew appears to

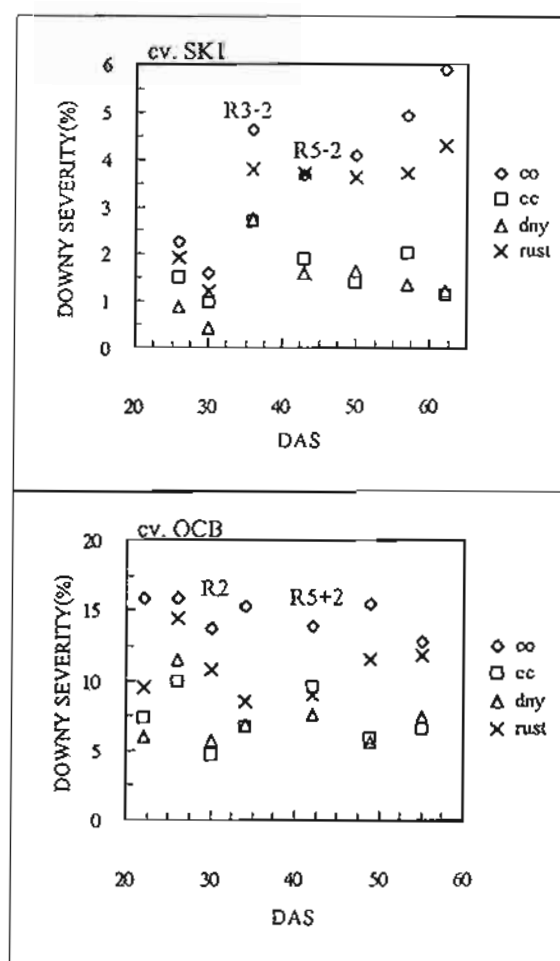


Fig.1. Progress of soybean downy mildew on OCB and Sukotai-1 in different fungicide treatments.

have no agronomic effect in this experiment, the disease control gave a significant lower severity, the values of RAUDPC showed that Ridomil MZ alone was effective in suppressing the disease, whereas Dithane M-45 had little effect (Table 1a).

Table 1a. Observed RAUDPC (%) for downy mildew and rust of three soybean cultivars in four treatments.

Treatment	Downy*		Rust		
	OCB	Sukotai-1	OCB	Sukotai-1	7608
CO	14.7	3.9	35.6	29.9	48.9
CT	7.3	1.8	7.5	4.0	4.5
DNY	7.1	1.5	21.7	8.6	16.8
RUS	10.5	3.3	20.2	10.2	21.2

CO= No spray, DNY = spray Ridomil MZ, RUS = spray Dithane M-45, CC = spray both

* cv.7608 is resistant to downy mildew

LSD (5%) for rust: main factor is 14.7 (approximately (Steel and Torrie, 1980)).

LSD (5%) for downy mildew: main factor is 3.9 (approximately).

Table 1b. RAUDPC (%) for rust estimated from logistic function up to R7 and the combined rust and downy mildew effects in three cultivars.

Treatment	OCB	Sukotai-1	Rust		
	(combine)	(combine)	OCB	Sukotai-1	7608
CO	45.4	39.8	30.7	35.9	49.7
DNY	27.1	11.3	20.0	9.8	18.8
RUS	27.8	14.3	17.3	11.3	22.9

For rust development, although the disease occurred 24-26 days after sowing but it remained low until the growth stage has gone beyond R5 (Fig. 2), which was true for all cultivars. To compare the degree of resistance to rust among cultivars, the mean absolute rate (r_a) was used; the disease development in no spray condition was greatest in cv.7608 with r_a value of 0.0375/day, and lowest in OCB ($r_a = 0.0238$), whereas Sukotai-1 had a value of 0.0342/day, indicating that cv.7608 was the most susceptible to the disease and not much greater than that of Sukotai-1. The same conclusion was derived using an estimated RAUDPC (Table 1b) but now the difference in susceptibility to rust

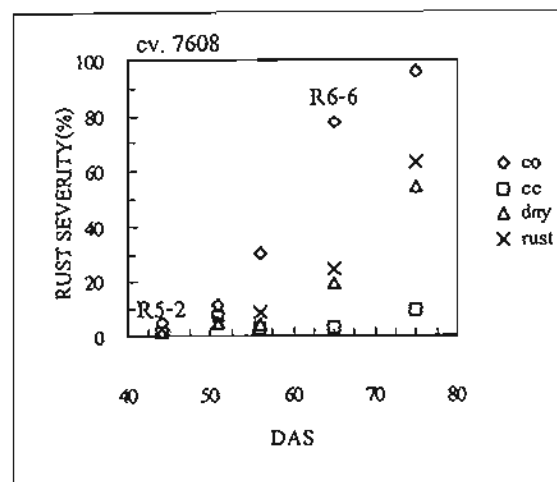
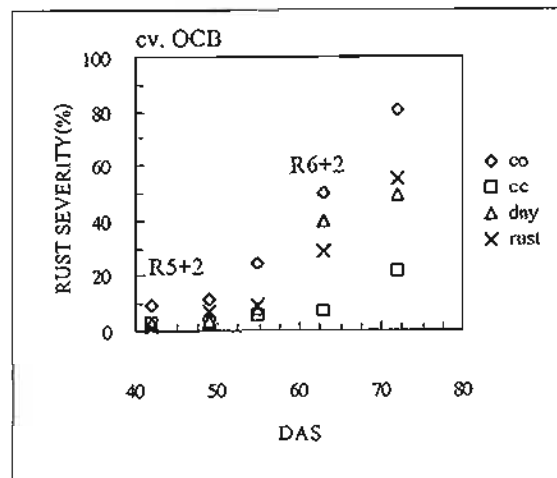
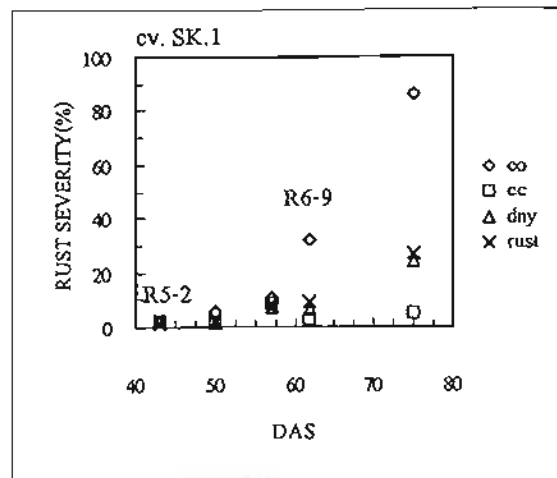


Fig. 2. Progress of soybean rust on three cultivars in different fungicide treatments

between Sukotai-1 and cv.7608 is more obvious (Table 1a). Ridomil MZ has not been recommended for rust control in soybean but it had about the same effect as Dithane M-45 in all cultivars (Table 1a) but to keep the rust really low it is necessary to apply both fungicides. It should also be noted that the relative susceptibility of cultivars to rust appear to change when soybean received a fungicide. Since both fungicides were not sprayed at the same time, in practice it still needs to determine the number of sprays required in keeping the disease below the economic threshold. The results of a complete fungicide control show that no symptom condition is not possible even with effective control but the level would have no impact on plant performance.

Vegetative growth: Leaf and shoot weights in all fungicide treatments were very similar up to growth stage R5 for Sukotai-1 and OCB (Fig. 3, Fig. 4) as was expected since rust severity did not start until after R5. It also indicated that downy mildew which infected 15% leaf area in OCB since the onset up to R5 had no influence at all on vegetative growth. Due to large variation in variances among cultivars, a separated analysis of variance was performed for each cultivar at growth stage R6 and R7 the difference between spray and no spray treatments varied with cultivars, which showed a significant reduction in leaf and shoot weight at R6 for OCB whereas cv.7608 had a significant leaf weight reduction at R7 only even though the difference was also obvious at R6 this was due to large experimental error. Although the results showed no conclusive evidence that soybean rust caused a significant reduction in leaf and shoot weight in all cultivars, there was a tendency for the CC treatment to have higher weights in OCB and 7608. A reduction in the weight was expected for CO treatment due to premature yellowing of leaves during the R6 stage; the estimated percentage of defoliation of OCB was 43 for CO treatment compared to 29 for CC one at R7. For Sukotai-1 and 7608 the defoliation was

Table 2. Proportion of defoliation in four treatments of three cultivars at growth stage R6 and R7.

Treatment	OCB (R6)	OCB (R7)	Sukotai-1 (R6)	7608 (R6)
CO	.128	.434	.246	.463
CC	.106	.286	.151	.098
DNY	.178	.343	.138	.153
RUS	.164	.306	.156	.120
LSD(.05)	NS	.093	.075	.158

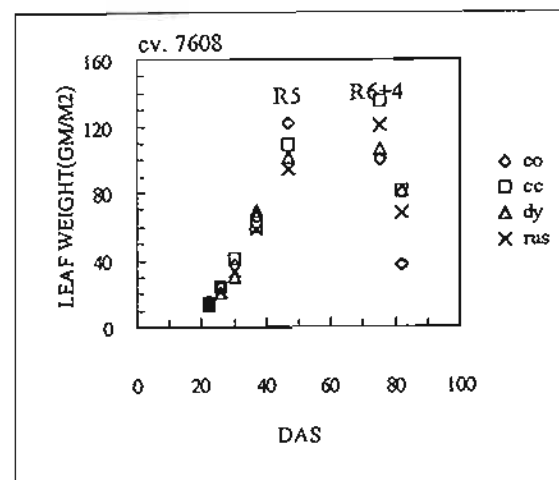
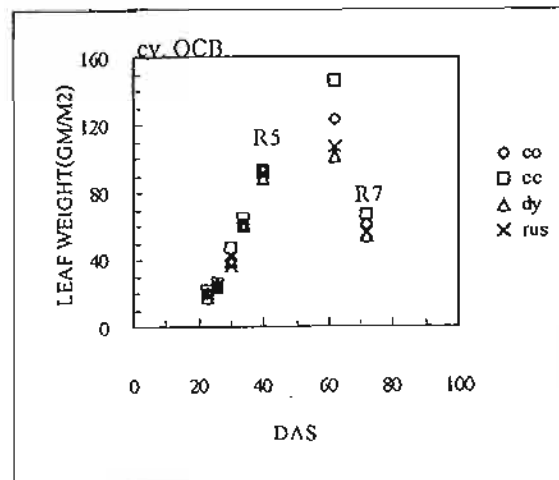
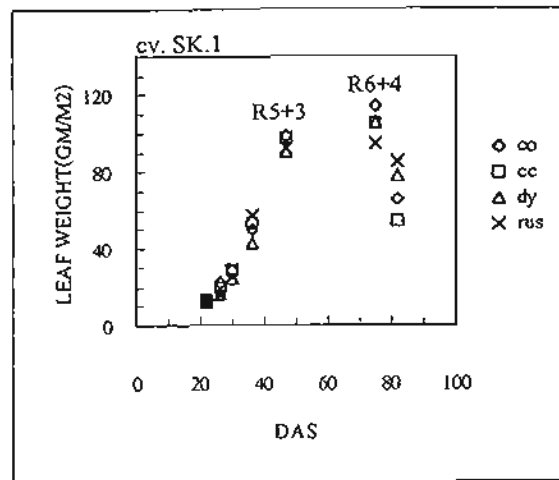


Fig. 3. Leaf dry weight (g/m²) of three soybean cultivars in different fungicide treatments.

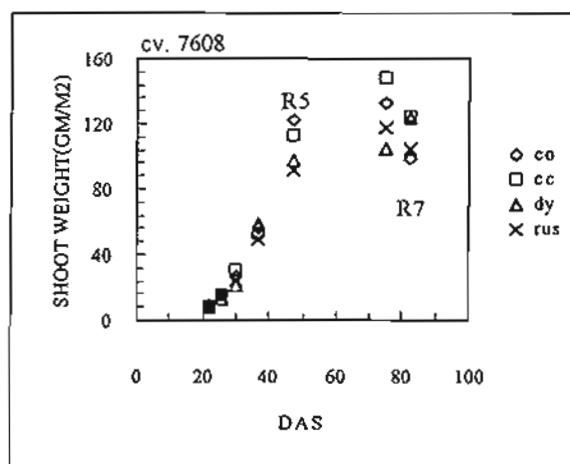
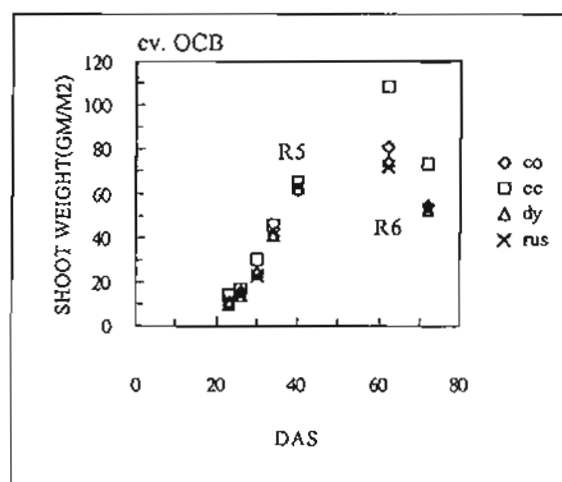
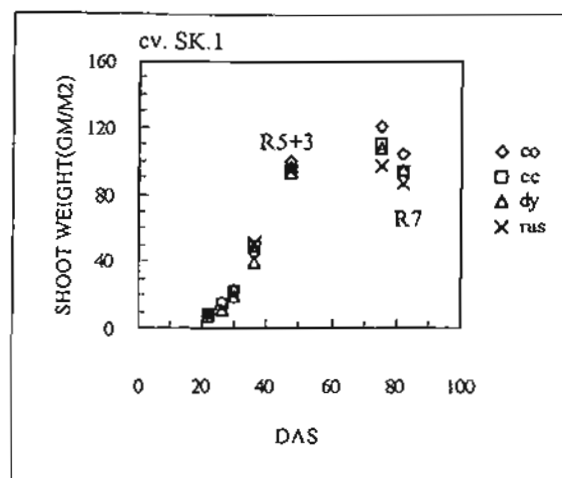


Fig. 4. Shoot dry weight (g/m²) of three soybean cultivars in different fungicide treatments.

25% and 46%, respectively, just after R6, in CO treatment, compared to 15% and 10% in CC one (Table 2). It will also be noted that defoliation at growth stage R6 in OCB was not significantly different among treatments. Ogle et al. (1979) reported a non-significant effect of rust on stem thickness and height but it had a significant impact on non-seed dry weight only when the rust became severe. Yang et al. (1991,1992) also found no consistent reduction in leaf and shoot weights even of the sensitive cultivars.

Yield and yield components

All cultivars showed a mark decline in seed yield when no fungicide was used. Among the three cultivars infected by rust, cv.7608 had the highest yield reduction of 61% and the lowest was 39% in Sukotai-1 between no spray and complete control. A reduction in yield appeared to be related mostly to a decrease in seed size (Table 3)- 34% for cv7608 and 24-25% for the other two cultivars, such reduction could be attributed to a slower seed growth rate which declined by 29 % for cv.7608 and about 13% for Sukotai-1. Other factors contributed significantly to lower yield in unsprayed treatment as a result of rust were unfilled pods/plant or fraction of unfilled seeds (Table 3). Although rust did not affect seeds/pod and pods/plant significantly it showed the tendency for no control treatment to have lower value-a decline was in the range of 5-7% for seeds/pod depending on cultivars, in the opposite pods/plant tend to be higher. Ogle et al. (1979) found that yield loss was associated with reductions in the number of pods per plant, number of filled seeds and seed weight. Yang et al. (1991) reported a significant effect of rust on pods/plant but not seeds/pod. Yang et al. (1992) using path analysis showed that a reduction in seed size but not in seeds/pod was the most important cause of yield loss.

The effect of downy mildew on yield and yield components are not obvious since its severity was rather low. By itself, the downy appeared to have no effect, especially in Sukotai-1, but in combination with rust it could have additive effect. As shown by values of RAUDPC in Table 1b, the rust severity alone of the CO treatment on OCB was less than that of Sukotai-1 but together with downy mildew gave a higher value of RAUDPC which explained a greater yield loss. A rough estimate of yield loss due to downy mildew in unsprayed treatment of OCB was 17% (from the ratio of RAUDPC). There were no significant differences in yield between DNY and RUST treatments in all cultivars as delineated in Fig. 2, and the yield loss in each of those treatments was about the same except for Sukotai-1 (Table 3).

Table 3. Dry seed weight, fraction of good seed (FRAC), 1000 seed weight (S1000), unfilled pods/plant, seeds/pod at R7, and pods/plant at R7 and mean seed growth rate of three cultivars (Sukotail (1), OCB (2), and 7608 (3)) in four treatments.

CULT	TRT [#]	FRAC R8	Seed/pod R7	Pod/plant R7	Unfilled Pod/plant	Yield kg/rai	Yield loss(%)	S1000 gm	Growth rate
1	CO	0.913	2.32	45.2	2.2	270.8	39.3	106.2	7.34
1	CC	0.986	2.45	38.1	0.8	445.8	0	139.2	9.12
1	DNY	0.983	2.21	38.8	1.0	380.2	14.7	129.0	8.49
1	RUS	0.966	2.46	39.2	0.6	403.2	9.5	132.1	8.40
2	CO	0.956	1.82	33.0	3.4	183.8	52.6	140.8	6.53
2	CC	0.980	1.95	31.8	1.5	387.5	0	186.7	8.12
2	DNY	0.960	1.94	29.2	1.9	286.5	26.1	174.2	7.04
2	RUS	0.976	1.85	29.0	2.3	280.5	27.6	163.1	6.18
3	CO	0.883	2.17	45.7	5.5	206.5	60.6	97.7	6.97
3	CC	0.990	2.33	40.4	1.7	524.6	0	148.3	9.81
3	DNY	0.990	2.22	41.2	2.2	384.5	26.7	130.1	8.38
3	RUS	0.980	2.33	38.5	2.0	395.8	24.6	130.7	8.14
LSD**		0.057	NS	NS	1.3	108.1	-	12.4	2.01

CO= No spray, DNY = spray Ridomil MZ, RUS = spray Dithane M-45, CC = spray both

**LSD(6%) for comparing main-plot level of the same cultivar

CONCLUSIONS

Although the results of the experiment provided an estimate of relative resistance of soybean cultivars to soybean rust and downy mildew but this was derived from only one data set. In order to have better conclusive evidence, more data are needed to evaluate how the relative susceptibility change with environments. Since both diseases occur in many soybean growing areas, more studies over wider environmental conditions are necessary to estimate economic threshold of both diseases as the level of damage at Chiang Mai, especially caused by downy mildew, may not large enough to justify the spray. Lastly, more elaborate evaluation of both fungicides used in controlling serious disease such as rust is also important to increase efficiency of control management.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is part of the research project on the epidemiology of soybean foliar diseases supported by The Thailand Research Fund (TRF.) We also acknowledge the Multiple Cropping Center, Chiang Mai University for the use of their facilities.

REFERENCES

- AVRDC Library Bibliography Series 4-11. Tropical Vegetable Information service. 1978.
- Ferh, W.R., and C.E. Caviness. 1977. Stages of soybean development. Iowa Crop Ext. Serv. Spec. Rep. 80. 12pp.
- Bromfield, K.R. 1984. Soybean Rust. Monogr. 11. American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Charumas, V. 1988. Epidemiology of major soybean diseases in relation to environment and farming practice in rainfed area. Master of Science in Agriculture, Chiang Mai university. 101 pp (In Thai).
- Fehr, W.R., D.T. Burmood, and J.S. Pennington. 1971. Stage of development descriptions for soybean *Glycine max* (L.) Merrill. Crop Sci. 11:929-931.
- Fry, W.E. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. Phytopathology 68: 1650-1655.
- Hsu, C.M., and L.C. Wu. 1968. Study on soybean rust. Sci. Agric.(China) 16: 186.
- Liu, K.C. 1966. Studies on soybean rust and its control. Taiwan Agric. Q. 2: 92.
- Park, E.W., and S.M. Lim. 1985. Empirical estimation of the asymptote of disease progress curves and the use of the Richards generalized rate parameters for describing disease progress. Phytopathology 75: 786-791.
- Ogle H.J., D.E. Byth, and R. Mclean. 1979. Effect of rust (*Phakospora pachyrhizi*) on soybean yield and quality in South-eastern Queensland. Aust. J. Agric. Res. 30: 883-893.
- Poonpunkul, S. 1976. A survey report on soybean diseases in different growing areas of Thailand 1976. Oil crop Division, Plant Path. Res. Unit, Dept of Agric.. 9 pp (In Thai).
- Poonpunkul, S, M. Nuntapunt, and P. Surin. 1977. Study of soybean yield in response to downy mildew. Annual Research Report 1977. Dept. of Agric. p317-321. (inThai).
- Sangawongse, P. 1973. A preliminary report of study on soybean rust. Thai J. Agri. Sci. 6:165-169.
- Sinclair, J. B. 1989. Threats to soybean production in the tropics: red leaf blotch and leaf rust. Plant Dis. 73: 604-606.

- Steel, R.G. and J. H. Torrie. 1980. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. 2Ed. McGraw-Hill LTD. Japan.
- Suzui, T., and T. Kamhangridthirong. 1976. Report on the description and the prevalence of maize and soybean disease in Thailand. Plant Path. Div., Dept. Agri. Thailand. 114p.
- Yang, X. B., M. H. Royer, A.T. Tschanz, and B. Y. Tsai. 1990. Analysis and quantification of soybean rust epidemics from seventy-three sequential planting experiments. Phytopathology 80: 1421-1427.
- Yang, X. B., A. T. Tschanz, W. M. Dowler, and T. C. Wang. 1991. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakospora pachyrhizi* . Phytopathology 81: 1420-1425.
- Yang, X. B., W. M. Dowler, A. T. Tschanz, and T. C. Wang. 1992. Comparing the effects of rust on plot yield, plant yield, yield components, and vegetative parts of soybean. J Phytopathology 136: 46-56.

Appendix 3: Studies on Charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) of soybean

ถึงโครงการนี้ไม่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการระบาดของโรคทางดิน โรคทางดินบางชนิดมักจะเกิดในช่วงหน้าฝนบางปีโดยแต่ละปีจะเกิดความรุนแรงที่แตกต่างกัน ข้อมูลที่สังเกตได้จากแปลงและรู้ว่าเป็นโรคนั้นใดจะนำไปใช้ในการสร้างระบบวินิจฉัยโรค โดยทั่วไปโรคทางดินจะป้องกันยากหรือควบคุมไม่ค่อยได้ผลด้วยสารเคมี โรค Charcoal rot มีความรุนแรงมากในปี 2541 จึงได้ทำการศึกษาค้นคว้าของเชื้อโรคต่อแสงและอุณหภูมิ และ ต่อสารเคมีบางชนิดในห้องทดลอง และได้นำผลการทดลองมารวมไว้ด้วย

การศึกษาโรคเน่าดำของถั่วเหลืองที่เกิดจากเชื้อรา *Macrophomina phaseolina* (Studies on Charcoal rot (*Macrophomina phaseolina*) of soybean

สมบัติ ศรีสูงศรี¹ สุนทร บุรณะวิริยะกุล² ดวงใจ ณ เชียงใหม่¹ ญัฐิกา แก้วรัตน¹
¹ภาควิชาโรคพืช และ ²ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

คำนำ

Macrophomina phaseolina เป็นเชื้อราที่พบได้ทั่วไปทุกแห่ง และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโรคเน่าดำ (charcoal rot) กับพืชต่าง ๆ ได้มากกว่า 500 ชนิด (Sinclair and Backman, 1989) และสามารถพบอาศัยอยู่ในดินได้นาน รวมทั้งในเศษซากพืชและในเมล็ดพืชหลายชนิด ในถั่วเหลืองเชื้อรานี้สามารถเข้าทำลายได้ทุกระยะการเจริญเติบโต แต่ในช่วงอากาศร้อนและแห้งแล้งจะพบการระบาดของโรคเกิดขึ้นอย่างรุนแรง Gangopadhyay et al. (1970) รายงานว่าเชื้อรา *M. phaseolina* ทำให้เกิดโรคเน่าคอดินกับถั่วเหลือง และทำให้เกิดความเสียหายสูงถึงร้อยละ 77 นอกจากนั้นในระยะที่ถั่วเหลืองเริ่มสร้างฝักจนถึงระยะใกล้เก็บเกี่ยว ถ้าเป็นโรคเน่าดำอย่างรุนแรงจะทำให้ถั่วเหลืองขาดความแข็งแรง ใบเริ่มเหลือง และแห้ง ต้นถั่วเกิดการเหี่ยว และยืนต้นแห้งตายก่อนกำหนด ซึ่งทำให้ผลผลิตลดลงมาก (ศรีสุข และอุดม, 2521; Walter, 1961; Sinclair and Backman, 1989) จากการสังเกตต้นถั่วเหลืองหลายพันธุ์ที่ปลูกทดลอง ในศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2540 พบว่าถั่วเหลืองบางพันธุ์เกิดโรคเน่าดำอย่างรุนแรงจนทำให้เกิดความเสียหายมาก การป้องกันกำจัดโรคในสภาพแปลงปลูกยังไม่มีวิธีการใดที่มีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จ ทั้งนี้เนื่องจากเชื้อโรคมียืดอายุกว้างแล้ว ยังสามารถอาศัยอยู่ในดิน (soil-borne) ได้เป็นเวลานาน และติดไปกับเมล็ดพันธุ์ที่ปลูกได้ การใช้เมล็ดพันธุ์ที่ปราศจากเชื้อโรคหรือการกำจัดเชื้อโรคบนเมล็ด จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่จะช่วยลดการเกิดโรคในระยะต้นกล้าได้

วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ เพื่อศึกษาลักษณะอาการของโรคและเชื้อรา *M. phaseolina* สาเหตุของโรค ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเจริญของเชื้อรา การตรวจหาเชื้อราที่ติดมากับเมล็ด และการศึกษาเบื้องต้นในการใช้สารฆ่าเชื้อราควบคุมการเจริญของเชื้อรา การใช้สารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์ควบคุมเมล็ดเพื่อกำจัดเชื้อบนเมล็ดและการควบคุมโรคเน่าคอดินในระยะต้นกล้า

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาลักษณะอาการของโรค การแยกเชื้อสาเหตุและลักษณะของเชื้อโรค

เก็บตัวอย่างต้นถั่วเหลืองพันธุ์ 7608 ที่แสดงอาการเหี่ยวในระยะ R_5 - R_7 ซึ่งปลูกทดสอบไว้ที่แปลงทดลองของศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร โดยทำการศึกษาลักษณะอาการของโรคโดยละเอียด รวมทั้งการตรวจหาเชื้อสาเหตุของโรคซึ่งอาจพบบนส่วนต่าง ๆ ของต้นพืช และทำการแยกเชื้อสาเหตุของโรคจากชิ้นพืชที่เลี้ยงบนอาหาร PDA โดยวิธี hyphal tip isolation technique เชื้อที่แยกได้เก็บไว้ในอาหาร PDA เพื่อใช้เป็น stock culture สำหรับไว้ศึกษาในการทดลองด้านอื่น ๆ ต่อไป

2. การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ต่อการเจริญของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina*

2.1 ชนิดของอาหารฐาน (artificial media)

เปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการสร้างโครงสร้างต่าง ๆ ของเชื้อราบนอาหาร 7 ชนิด ได้แก่ PDA (potato dextrose agar), MA (malt extract agar, A (V-8 juice agar), SLS (soybean leaf agar), SSA (soybean seed agar, CZA (czapek agar) และ WA (water agar) โดยเลี้ยงเชื้อราไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$) บันทึกการเจริญของเชื้อราทุกวันจนเชื้อราเจริญเต็มจานอาหารใดอาหารหนึ่ง

2.2 ระดับของอุณหภูมิ (temperature)

ปลูกเชื้อรา *M. phaseolina* ลงบนอาหาร PDA แล้วนำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ 20°C , 25°C , 30°C และอุณหภูมิห้อง ทำกรรมวิธีละ 10 จ้า บันทึกการเจริญของเชื้อราทุกวันจนเชื้อราเจริญเต็มจานที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง

2.3 ความแตกต่างของแสง (light)

ปลูกเชื้อรา *M. phaseolina* บนอาหาร PDA แล้วนำไปบ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิห้องภายใต้สภาพแสงที่ต่างกัน 4 ชนิด ได้แก่ แสงธรรมชาติ, แสงฟลูออเรสเซนต์สลับมืด 12 ชม. แสงจากหลอด block light lamp (NUV) สลับมืด 12 ชม. และมีดตลอดทำกรรมวิธีละ 10 จ้า บันทึกการเจริญของเชื้อราทุกวันจนเชื้อราเจริญเต็มจานที่สภาพแสงใดแสงหนึ่ง

3. การศึกษาประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *M. phaseolina*

ในการศึกษาใช้สารฆ่าเชื้อรา 5 ชนิด คือ Benlate (benomyl), Cupravil (copperoxychloride), Captan (captan), Terrachlor (PCNB) และ Vitavax (carboxin) โดยใช้ที่ระดับความเข้มข้นค่าเฉลี่ยตามที่ฉลากระบุไว้ในภาชนะ ตามลำดับดังนี้ 562.5 ppm, 2310 ppm, 875 ppm, 1125 ppm และ 562.5 ppm ทำการปลูกเชื้อราลงบนอาหาร PDA ผสมสารต่าง ๆ แต่ละชนิด นำเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง ทำทั้งหมดกรรมวิธีละ 10 จ้า เปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารแต่ละชนิด โดยวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีทุก ๆ วันจนกว่าชุดเปรียบเทียบจะเจริญเป็นจานเลี้ยงเชื้อ

4. การตรวจหาเชื้อรา *M. phaseolina* ที่ติดมากับเมล็ดถั่วเหลือง

สุ่มตัวอย่างเมล็ดถั่วเหลืองพันธุ์สุโขทัย และสายพันธุ์ 7608 ซึ่งเก็บเกี่ยวในเดือน ตุลาคม 2540 จากแปลงทดลองของศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ นำไปตรวจหาปริมาณของเชื้อรา *M. phaseolina* ที่ติดมากับเมล็ดถั่วเหลืองโดยวิธีเพาะบนกระดาษขึ้น (Blotter method) ตามวิธีของ Neergaard (1979) เมล็ดที่นำมาทดสอบแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเมล็ดที่ได้จากฝักส่วนโคนต้น กลุ่มที่ 2 และ 3 เป็นเมล็ดที่ได้จากฝักส่วนกลางต้น และส่วนปลายของต้นตามลำดับ เมื่อเพาะเมล็ดได้ 7 วัน ตรวจหาปริมาณของเชื้อรา *M. phaseolina* และเชื้อราอื่น ๆ ภายใต้กล้อง stereo microscope และกล้องจุลทรรศน์ (compound microscope)

5. ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์ต่อการกำจัดเชื้อรา *M. phaseolina* บนเมล็ด และ

การป้องกันโรคเน่าคอดินของถั่วเหลือง

5.1 การกำจัดเชื้อบนเมล็ด

ผสมเมล็ดถั่วเหลืองสายพันธุ์ 7608 มาจำนวนหนึ่ง คลุกด้วยสารฆ่าเชื้อรา 4 ชนิด ได้แก่ Benlate (benomyl), Captan 50 WP (paptan) Brassicol (PCNB) และ Vitavax (carboxin) และสารชีวภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ Laminar (*Bacillus subtilis*), Rotary (*B. subtilis* AP-04) และ Trisan (*Trichoderma* spp.) โดยใช้สารแต่ละชนิดคลุกเมล็ดในอัตรา 3 กรัมต่อเมล็ด 1 กิโลกรัม นำเมล็ดทั้งหมดไปตรวจหาปริมาณเชื้อรา *M. phaseolina* และเชื้อราอื่น ๆ รวมทั้งเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ด โดยวิธีเพาะบนกระดาษขึ้น

5.2 การป้องกันกำจัดโรคเน่าคอดินในเรือนเพาะชำ

นำเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการคลุกสารต่าง ๆ จากการทดลองที่ 2.1 และเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการคลุกสารใด ๆ เพาะในกระบะทรายที่ผ่านการคลุกด้วยเชื้อรา *M. phaseolina* มาแล้ว 3 วัน วางกระบะเพาะไว้ในเรือนเพาะชำและให้ความชื้นในสภาพที่เหมาะสม บันทึกจำนวนต้นอ่อนที่งอกปกติและเป็นโรคเน่าคอดินหลังปลูกได้ 2 สัปดาห์

ผลการทดลอง

1. ลักษณะอาการของโรค การแยกเชื้อสาเหตุ, และลักษณะของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina*

จากการศึกษาพบว่าต้นที่เป็นโรคทำให้ใบถั่วเหลืองมีขนาดเล็กลง ต่อมาใบจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเหี่ยวแต่ไม่ร่วง ลำต้นที่อยู่เหนือดินมีลักษณะเป็นแผล โดยเนื้อเยื่อผิวนอกและเนื้อเยื่อชั้นถัดไปเปลี่ยนเป็นสีเทาอ่อนหรือสีเงิน สามารถลอกออกได้ง่าย บนเนื้อไม้บริเวณโคนต้นที่ลอกเปลือกออกแล้วพบเม็ดสเคลอโรเทียม (microsclerotium) สีดำมีขนาดเล็กมากมีลักษณะคล้าย ๆ ผงถ่านเกิดกระจุกกระจายทั่วไป ต้นที่เป็นโรครุนแรงเมื่อผ่าลำต้นตามยาวพบว่าภายในลำต้นเนื้อไม้จะแห้งแตกเป็นเส้น ๆ และมีเม็ดสเคลอโรเทียมสีดำมากมายแทรกอยู่ระหว่างเนื้อไม้ที่แตกออก

เมื่อนำเนื้อเยื่อบริเวณโคนต้นที่แสดงอาการของโรคไปแยกหาเชื้อราสาเหตุบนอาหาร PDA ปรากฏว่าเป็นเชื้อรา *M. phaseolina* ซึ่งเจริญเติบโตได้รวดเร็วมากและสามารถเริ่มสร้างเม็ดสเคลอโรเทียมได้ภายใน 3-4 วัน หลังจากเริ่มเจริญโดยเชื้อราจะสร้างเส้นใยสีขาวลักษณะฟูเล็กน้อยต่อมาสีของเส้นใยเริ่มเข้มขึ้นพร้อมกับการสร้างเม็ดสเคลอโรเทียม เมื่อมีอายุมากขึ้นจึงทำให้เห็นโคโลนีของเชื้อรานี้เป็นสีดำ

2. การศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ต่อการเจริญและการสร้างเม็ดสเคลอโรเทียมของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina*

2.1 อิทธิพลของอาหารแข็งชนิดต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อราบนอาหารเลี้ยงเชื้อ 7 ชนิด ที่ 24 ซม. หลังทำการทดลองพบว่าเชื้อราเจริญบนอาหาร VA เจริญได้ดีที่สุด รองลงมาคือ บนอาหาร PDA, อาหาร SLA, อาหาร CZ, อาหาร MA และอาหาร WA ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลทางสถิติที่ $P=0.01$ พบว่า การเจริญของเชื้อราบนอาหาร PDA และ SLA ไม่มีความแตกต่างกัน รวมทั้งการเจริญของเชื้อราบนอาหาร MA และอาหาร WA ก็ไม่มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ ส่วนอาหารอื่นนอกจากนี้มีความแตกต่างกันทางนัยสำคัญ (Table 1) เมื่อเชื้อราอายุ 48 ชม.

ปรากฏว่าการเจริญของเชื้อรามีการเปลี่ยนแปลงไปมากและเห็นได้ชัดเจนขึ้นกล่าวคือ การเจริญของเชื้อราที่อาหาร SLA ดีกว่าที่อาหาร PDA แต่ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ และในอาหาร MA เชื้อเจริญเร็วกว่าในอาหาร WA โดยมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P=0.01$ (Table 1)

Table 1 Growth of *Macrophomina phaseolina* (colony diameter) on various media, measured at 24 and 48 hour after inoculation.

Media*	diameter of colony (cm) ¹	
	24 h.	48 h.
VA	3.835 a ²	8.285 a
PDA	3.455 b	7.610 b
SLA	3.4000 b	7.660 b
Cz	2.735 c	5.300 c
SSA	2.195 d	5.050 c
MA	1.825 e	1.845 d
WA	1.800 e	2.573 e

¹Average from 10 replication

²The difference were compared by Duncan's new multiple range test

*Media: VA = V-8 juice agar, PDA = Potato dextrose agar

SLA = Soybean leaf agar, Cz = Czapek agar

SSA = Soybean seed agar, MA = Malt extract agar

WA = Water agar

2.2 อิทธิพลของอุณหภูมิระดับต่าง ๆ

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อราบนอาหาร PDA ในสภาพอุณหภูมิ 4 อุณหภูมิพบว่า การเจริญของเชื้อราในอุณหภูมิ 25°C ดีที่สุดรองลงมาก็คืออุณหภูมิ 30°C อุณหภูมิห้อง ($25\pm 3^{\circ}\text{C}$) และอุณหภูมิ 20°C ตามลำดับ การเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า เมื่อเชื้อราอายุ 24 ชม. การเจริญของเชื้อราในทุกสภาพอุณหภูมิแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ $P=0.01$ แต่ผลการเปรียบเทียบทางสถิติเมื่อเชื้อราอายุ 48 ชม. กลับพบว่า เชื้อที่เจริญในอุณหภูมิ 25°C และ 30°C ไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญ (Table 2) อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิ 30°C พบเชื้อราสร้างเส้นใยและเม็ดสเคลอโรเดียมได้หนาแน่นกว่าที่อุณหภูมิระดับอื่น ๆ

2.3 อิทธิพลของแสงชนิดต่าง ๆ

จากการศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อรา *M. phaseolina* บนอาหาร PDA ภายใต้แสงทั้ง 4 สภาพ พบว่าส่วนใหญ่ในทุกสภาพแสงเชื้อราเจริญเติบโตได้ดี โดยเชื้อราที่เจริญเติบโตมีลักษณะเป็นเส้นใยสีขาวฟูในช่วง 24 ชั่วโมง หลังจากเริ่มทำการทดลอง 48 ชั่วโมง ต่อมามีเม็ดสเคลอโรเดียมเจริญบาง ๆ บริเวณขอบในก่อน จากนั้นจึงเริ่มเจริญกระจายออกไปจนเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อมองเห็นโคโลนีของเชื้อเป็นสีดำเข้มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเวลานานขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบการเจริญของเชื้อ *M. phaseolina* บนอาหาร PDA ในสภาพแสงทั้ง 4 สภาพ เมื่อเวลา 24 ชั่วโมง พบว่า การเจริญในสภาพแสง NUV เป็นไปอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับ การเจริญของเชื้อราในสภาพแสงอื่น ๆ การเจริญของเชื้อราในสภาพไม่ให้แสง, ในสภาพให้แสงฟลูออเรสเซนต์ตลอดการทดลองและในสภาพแสงธรรมชาติ เจริญได้ดีเป็นอันดับรองลงมา เมื่อเปรียบเทียบผลทางสถิติพบว่า การเจริญของเชื้อในสภาพไม่ให้แสงแตกต่างจากการเจริญในสภาพแสง NUV อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่แตกต่างกับสภาพให้แสงฟลูออเรสเซนต์ ส่วนการเจริญของเชื้อในสภาพแสงธรรมชาติ เมื่อเทียบกับการเจริญของเชื้อราในสภาพแสงอื่น ๆ ทั้ง 3 สภาพ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $P=0.01$ (Table 3) การเจริญของเชื้อราหลังจากการทดลอง 48 ชั่วโมง พบว่าเหมือนกับเมื่อ 24 ชั่วโมงแรก ยกเว้นการเจริญของเชื้อราในสภาพให้แสงฟลูออเรสเซนต์ตลอดการทดลองดีกว่าในสภาพไม่ให้แสงเมื่อวัดค่าทางสถิติที่ $P=0.01$ พบว่าการเจริญของเชื้อในสภาพไม่ให้แสงไม่มีความแตกต่างทางนัยสำคัญกับสภาพให้แสงฟลูออเรสเซนต์และสภาพแสงธรรมชาติ (Table 3)

Table 2 Growth of *Macrophomina phaseolina* (colony diameter) on PDA under 4 levels of temperature, measured at 24 and 48 hour after inoculation.

Temperature (°C)	Diameter of colony (cm) ¹	
	24 h.	48 h.
20	2.735 a ²	4.930 a
25	5.188 b	8.957 b
30	4.705 c	8.887 b
Room (25±3)	3.455 d	7.610 c

¹Average from 10 replications

²The difference were compared by Duncan's new multiple range test

Table 3 Growth of *Macrophomina phaseolina* (colony diameter) on PDA under 4 sources of light, measured at 24 and 48 hour after inoculation.

Light*	Diameter of colony (cm) ¹	
	24 h.	48 h.
F	3.307 a ²	7.740 a
Dark	3.355 a	7.610 ab
Natural	2.895 b	7.015 b
NUV	3.790 c	9.000 c

¹Average from 10 replicates; ²The difference were compared by Duncan's

new multiple range test; *Light: F = fluorescent, Dark = darkness

Natural = natural light; NUV = near ultra violet (black light lamp)

3. ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อราต่อการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *Macrophomina phaseolina*

จากการทดลองปลูกเชื้อลงบนอาหารผสมสารฆ่าเชื้อราได้ 3 วัน แล้ววัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโคโลนีพบว่าสารฆ่าเชื้อราทุกชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *M. phaseolina* โดย Benlate ให้ผลดีที่สุดซึ่งสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้อย่างสมบูรณ์ ส่วน Vitavax, Brassicol และ Captan ให้ผลดีรองลงมาตามลำดับ โดยเชื้อราสามารถเจริญออกมาได้บ้างเล็กน้อย แต่ cupravit มีประสิทธิภาพต่ำมากเมื่อเทียบกับ control เนื่องจากเชื้อรายังคงเจริญออกมาได้อย่างรวดเร็ว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของโคโลนีใกล้เคียงกับ control อย่างไรก็ตามพบว่าสารฆ่าเชื้อราทุกชนิดให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเทียบกับ control (Table 4)

Table 4 Effectiveness of five fungicides mixed with PDA on growth reduction of *Macrophomina phaseolina*; recorded at 1, 2 and 3 days after inoculation

Fungicides	Colony in diameter (cm) ¹		
	1 day	2 days	3 days ²
Benlate	0.30	0.30	0.30
Vitavax	0.48	0.59	0.78
Brassiccol	0.40	0.76	1.25
Captan	0.60	1.27	2.56
Cupravit	2.89	4.63	6.75
Control	3.17	7.43	8.96

¹Average from 10 replications; ²Statistical analysis LSD p 0.05 = 0.53

p 0.01 = 0.69

4. การตรวจหาเชื้อรา *M. phaseolina* ที่ติดมากับเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

จากการศึกษาพบว่าเชื้อรา *M. phaseolina* ติดมากับเมล็ดพันธุ์ทั้ง 6 ตัวอย่าง แต่ปริมาณการติดเชื้อแตกต่างกันไปตั้งแต่ 0.5-8.0 % โดยพบในเมล็ดที่ได้มาจากฝักบริเวณโคนต้นมากกว่าเมล็ดที่ได้จากฝักส่วนกลางและส่วนปลายของต้นตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์ถั่วเหลืองปรากฏว่าเชื้อรา *M. phaseolina* ติดมากับสายพันธุ์ 7608 มากกว่าพันธุ์สุโขทัย ส่วนเชื้อราอื่น ๆ

ที่พบติดมากับเมล็ดในปริมาณสูงได้แก่ *Cladosporium* sp. และ *Fusarium* spp. ตามลำดับ (Table 5)

5. ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์ต่อการกำจัดเชื้อรา *M. phaseolina* บนเมล็ดและการป้องกันโรคเน่าคอดินของถั่วเหลือง

5.1 การกำจัดเชื้อรา *M. phaseolina* และเชื้อราอื่น ๆ ที่ติดมากับเมล็ด

จากการใช้สารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์คลุกเมล็ดแล้วนำไปตรวจสอบโดยเพาะบนกระดาศขึ้น ปรากฏว่า สารฆ่าเชื้อราทุกชนิด สามารถกำจัดเชื้อ *M. phaseolina* ได้อย่างสมบูรณ์ เมื่อเปรียบเทียบเมล็ดที่ไม่ผ่านการคลุกสารใด ๆ ที่พบเชื้อราในปริมาณ 7.75 % สารชีวภัณฑ์ Rotary และ Trisan ก็ให้ผลในการกำจัดเชื้อรา *M. phaseolina* ที่ติดมากับเมล็ดได้เหมือนสารฆ่าเชื้อรา ส่วน Larminar พบว่า สามารถใช้กำจัดเชื้อรานี้ได้เช่น

Table 5 Percentage of *Macrophomina phaseolina* and some fungi associated with soybean seeds, detected by blotter method

Kind of fungi		different portions of plant					
		base		middle		top	
		A	B	A	B	A	B
<i>Macrophomina phaseolina</i>	8.00 ¹	5.00	3.50	1.50	1.00	0.50	
<i>Cladosporium</i> sp.		91.00	87.50	90.00	80.00	71.00	74.50
<i>Fusarium</i> spp.		45.00	12.50	40.50	11.50	28.00	10.50

¹ Average value from 4 replications (400 seeds)

A = Soybean cultivar - line 7608; B = Soybean cultivar - Sukhothai

Table 6 The effect of seed treatment with fungicides and biofungicides on incidence of *Macrophomina phaseolina* and some fungi associated with soybean seed and seed germination after blotter test.

Treatments		kind of fungi (%)*		seed germination (%)
		<i>M. phaseolina</i>	<i>Cladosporium</i> sp.	<i>Fusarium</i> spp.
Fungicides				
Benlate	-	28.00	-	89.00
Brassiccol	-	47.00	-	87.00
Captan	-	-	-	87.00
Vitavax	-	9.00	-	88.00
Biofungicides				
Larminar	2.25	97.00	1.00	87.00
Rotary	-	98.00	2.00	87.00
Trisan	-	98.00	17.00	86.00
Control	7.75	98.00	65.00	85.00

*Average value from 4 replications (400 seeds)

เดียวกับสารอื่น ๆ แต่มีประสิทธิภาพต่ำกว่า โดยช่วยลดการติดเชื้อบนเมล็ดจาก 7.25 % เหลือ 2.25 % (Table 6) นอกจากนั้นยังพบว่าเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองที่ผ่านการคลุกสารทุกชนิดมีความงอกเพิ่มขึ้น 1-4% เมื่อเปรียบเทียบกับเมล็ด

ที่ไม่ผ่านการคลุกสารใด ๆ ซึ่งมีความงอก 85 % โดย Benlate ให้ผลสูงสุด คือ 89 % รองลงมาได้แก่ Vitavax (88 %), Brassicol (87 %), Rotary (87 %), Captan (86 %) และ Trisan (86 %) (Table 6)

5.2 การป้องกันกำจัดโรคเน่าคอดินของถั่วเหลืองในเรือนเพาะชำ

สารทุกชนิดที่ใช้คลุกเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองก่อนปลูก สามารถควบคุมการเกิดโรคเน่าคอดินที่เกิดจากเชื้อรา *M. phaseolina* ได้ โดยต้นอ่อนที่ได้จากเมล็ดที่ไม่ผ่านการคลุกสารใด ๆ แสดงอาการของโรคสูงถึง 43.5 % ส่วนต้นอ่อนซึ่งออกจากเมล็ดที่ผ่านการคลุกสารฆ่าเชื้อรา Benlate, Captan, Brassicol และ Vitavax เกิดโรคเพียง 1.25 %, 1.75 %, 2.25 % และ 3.00 % ตามลำดับ แต่สารทุกชนิดให้ผลในการควบคุมโรคได้ไม่แตกต่างกัน (Table 7) สำหรับสารชีวภัณฑ์นั้น Trisan เมื่อใช้คลุกเมล็ดให้ผลดีมากในการควบคุมโรคเน่าคอดินโดยต้นอ่อนแสดงอาการของโรคเพียง 6.00 % ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้สารฆ่าเชื้อราทุกชนิด ส่วนสาร Larminar และ Rotary เมื่อใช้คลุกเมล็ดสามารถควบคุมโรคได้ปานกลาง โดยพบโรค 17.50 % และ 28.75 % ตามลำดับ สารชีวภัณฑ์ทั้งสองชนิดให้ผลในการควบคุมโรคไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างจากสารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์ Trisan (Table 7)

Table 7 The effect of seed treatment with fungicides and biofungicides on incidence of damping off of soybean seedling. The test was done after 2 weeks of planting.

Treatments	percentage of damping off ¹
Fungicides	
Benlate	1.25 c ²
Brassiccol	1.75 c
Captan	2.25 c
Vitavax	3.00 c
Biofungicides	
Larminar	17.50 b
Rotary	28.75 b
Trisan	6.00 c
Control	43.50 a

1. Average value from 4 replications (400 seeds)

2. The difference were compared by Duncan's new multiple range test.

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เชื้อรา *Macrophomina phaseolina* สาเหตุโรคเน่าดำของถั่วเหลืองที่แยกได้และนำมาศึกษาไม่พบโครงสร้างให้กำเนิดสปอร์ มีการเจริญของเส้นใยและการสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมเพียงอย่างเดียว ในส่วนของลักษณะการสร้างเม็ดสเคลอโรเตียมมีการพัฒนาจากเส้นใยโดยตรงมีส่วนใกล้เคียงกับรายงานของ Wyllie และ Brown (1970) นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดและรูปร่างของเม็ดสเคลอโรเตียมมีความหลากหลาย ซึ่งอาจสันนิษฐานตามรายงานของ Sinclair (1984) ได้ว่าการผันแปรของขนาดเม็ดสเคลอโรเตียมขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของเชื้อราหรืออาหารที่ใช้เลี้ยงเชื้อราได้

การเจริญของเชื้อราบนอาหารวันชนิดต่าง ๆ เห็นได้ว่า เชื้อราเจริญได้ดีบนอาหาร VA และอาหารอื่น ๆ ที่ใส่น้ำตาล dextrose ได้แก่อาหาร PDA และ SLA ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอาหารเลี้ยงเชื้อในกลุ่มนี้มีส่วนประกอบของอาหารที่เชื้อราต้องการใช้ในการเจริญเติบโต ส่วนลักษณะการเจริญของเชื้อราในแต่ละอาหารค่อนข้างแตกต่างกัน อาจอธิบายได้ว่าเป็นความแตกต่างที่เกิดมาจากลักษณะ polykaryotic ของเส้นใยเชื้อรา

ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการเจริญของเชื้อรา พบว่าที่อุณหภูมิ 25 และ 30°C เชื้อราเจริญได้ดีกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ ผลการศึกษานี้ใกล้เคียงกับ Sinclair (1984) ที่รายงานว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราที่อยู่ระหว่าง 28-35°C ส่วนการเจริญของเชื้อราบนอาหาร PDA ภายใต้แสงต่าง ๆ พบว่าเชื้อราเจริญเติบโตได้รวดเร็วที่สุดในสภาพแสง NUV ทั้งนี้อาจเป็นเพราะแสง NUV มีส่วนช่วยกระตุ้นการเจริญของเชื้อรานี้ได้ดีกว่าแสงชนิดอื่น ๆ

การศึกษาประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อรา 5 ชนิด ผสมอาหาร PDA ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อรา *M. phaseolina* พบว่าสารฆ่าเชื้อราทุกชนิดสามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้ แต่ให้ผลแตกต่างกันออกไป เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติแล้วปรากฏว่าทั้ง Benlate และ Vitavax ให้ผลสูงสุดตามลำดับ แต่สามารถควบคุมเชื้อราได้ไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจใช้เป็นแนวทางในการนำไปใช้ควบคุมโรคในแปลงต่อไป

เชื้อรา *M. phaseolina* สาเหตุโรคเน่าดำของถั่วเหลือง สามารถติดมากับเมล็ดถั่วเหลือง ได้ทั้ง 2 พันธุ์ที่ทดสอบ โดยพบในเมล็ดที่ได้จากฝัก ส่วนล่าง ๆ ของต้นมากกว่าส่วนอื่น ๆ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโดยธรรมชาติของเชื้อรานี้อาศัยอยู่ในดินได้นาน ในรูปของเม็ด microsclerotia และเข้าทำลายต้นถั่วเหลืองจากส่วนโคนต้นบริเวณผิวดินก่อนแล้วลุกลามขึ้นสู่ลำต้น (Sinclair and Bockman, 1989) ดังนั้นการเคลื่อนย้ายของเชื้อราจากบริเวณโคนต้นเข้าสู่ฝักและเมล็ดที่อยู่ส่วนล่าง ๆ ของต้นจึงเป็นไปได้มากกว่าส่วนอื่น ๆ

การใช้สารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์กลุ่มเมลิทพันธุ์ถั่วเหลือง สามารถกำจัดหรือลดปริมาณของเชื้อรา *M. phaseolina* ได้แต่ประสิทธิภาพของสารฆ่าเชื้อราค่อนข้างสูงกว่า เนื่องจากสามารถช่วยกำจัดหรือลดปริมาณของเชื้อราอื่น ๆ ได้มากกว่าสารชีวภัณฑ์ (Table 6) ในเมล็ดถั่วเขียวผิวดำ ซึ่งมีปัญหาเกี่ยวกับการติดเชื้อรานี้เช่นเดียวกัน ญูณนาและปรีชา (2531) พบว่ามีสารฆ่าเชื้อราหลายชนิดที่ใช้ควบคุมเชื้อรานี้ได้ดีซึ่งได้แก่ Benlate, Captan และสารฆ่าเชื้อราอื่น ๆ ในกลุ่ม thiabendazole และจากการศึกษาครั้งนี้พบว่าสารชีวภัณฑ์ที่ผลิตจาก *Trichoderma* spp. และ *Bacillus subtilis* เมื่อใช้ควบคุมเมล็ดให้ผลค่อนข้างดีในการควบคุมเชื้อโรคต่าง ๆ บนเมล็ดถั่วเหลือง ในอนาคตจึงน่าจะนำมาใช้ทดแทนสารฆ่าเชื้อราได้ แต่จะต้องมีการศึกษาถึงอัตราที่เหมาะสมในการใช้ควบคุมเมล็ดพืชแต่ละชนิดเสียก่อน ที่อาจต้องใช้ความเข้มข้นของสารที่มากกว่าอัตราของสารฆ่าเชื้อราหลายเท่าก็ได้

จากผลการศึกษาการป้องกันกำจัดโรคเน่าคอดินของถั่วเหลืองที่เกิดจากเชื้อรา *M. phaseolina* แสดงให้เห็นว่าการใช้เมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการคลุกด้วยสารฆ่าเชื้อรา หรือสารชีวภัณฑ์ไปปลูก สามารถควบคุมการเกิดโรคได้มาก โดยเฉพาะสารฆ่าเชื้อราและสารชีวภัณฑ์ Trisan ให้ผลดีไม่แตกต่างกัน ส่วน Rotary และ Larminar แม้ว่า จะควบคุมโรคได้ไม่ดัดนัก แต่ก็มีแนวโน้มให้เห็นว่า หากมีการเพิ่มปริมาณของสารชีวภัณฑ์ให้สูงขึ้นจากเดิมที่ใช้ในการทดลองนี้ ซึ่งใช้เพียง 3 กรัมต่อเมล็ดพันธุ์ 1 กิโลกรัม คาดว่าจะเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพของสารชีวภัณฑ์ในการกำจัดเชื้อบนเมล็ดและการควบคุมโรคเน่าคอดินของถั่วเหลืองให้ใกล้เคียงกับสารฆ่าเชื้อราได้

เอกสารอ้างอิง

- กาญจนา พุทธสมัย และปรีชา สุรินทร์. 2531. โรคเน่าดำของถั่วเขียวผิวดำ, น. 243-257. รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการ งานวิจัยถั่วเขียว ครั้งที่ 3 วันที่ 21-23 พฤศจิกายน 2531 กาญจนบุรี.
- ศรีสุข พูนผลกุล และ อุดม ภูพิพัฒน์. 2521. โรคของถั่วเหลืองในประเทศไทย. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ 12 : 143-154.
- Gangapadhyay, S., Agrawal, O.K. Sarbhoy, A.K. and Wadhi, S.R.. 1973. Charcoal rot disease of soybean in India. Indian Phytopathology 26 : 730-732.
- Neergaard, P. 1979. Seed pathology Vol. 1. The MacMillan Press, Ltd. London. 839 p.
- Sinclair, J.B. 1982. Compendium of soybean diseases, Second edition, American Phytopathology Society. St. Paul., MN. 104 pp.
- Sinclair, J.B. and Backman, P.A. 1989. Compendium of soybean diseases, Third edition. American Phytopathological Society. St. Paul., MN. 106 pp.
- Walter, H.J. 1961. A premature drying of soybean in Arkansas. (Abstr.) Phytopathology. 51 : 646.
- Willie, T.D. and Brown, M.F. 1970. Ultrastructural formation of sclerotia of *Macrophomina phaseolina*. Phytopathology. 60 : 524-528.

Appendix 4-5: Listing of RUSCAST and MILCAST MODELS

The program was written using Quick Basic version 4. The daily weather data input contains many variables some of which are not used in running the model but they are included for the ease of file management and a possible future use; some of the statements may not be used but they are included for future modification. The data file, an ASCII format, must contain part of first few months of the second year if planting date is in October or November. The variables that are required are maximum, minimum temperature, relative humidity (RH), and/or no. of hours of $RH \geq 90\%$. The RUSCAST model is built on cultivars 7608, OCB, and Sukotai 1, whereas MILCAST model is for OCB. Quick Basic has not been commercially available after the invention of Visual Basic, but the models can be used as a stand alone executable program. Since the model is still under validation process, more adjustment is necessary before it could be utilized.

Appendix 4: RUSCAST MODEL

```

COMMON SHARED ISOW%, NPE%, IRO%, JDAS%, IEND%, CVARS, CULT%, SDCH
COMMON SHARED HUR5, HUR6, HUR7, HUR67, COEF2, COEF3, ONSET%
DECLARE FUNCTION YDLOS (RAUDPC)
DECLARE FUNCTION ONRSCAL (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RHTMINV (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RATERS (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RATRS2 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RATER0 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RESIS1 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION CEPTER (MTM, MRH)
DECLARE SUB AUDPC (RAUDPC)
DECLARE SUB CHKRSON (IFAG%)
DECLARE SUB CUMDISR (DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
DECLARE SUB GSRSR6 (IDAS%, KFAGO%)
DECLARE SUB JULIAN (DS, MS, YRS, NDAY)
DECLARE SUB RSPRAY (FLAG%, NSPRA)
DECLARE SUB RUSTSEV (FLAG%)
DECLARE SUB YLOSCRI (CRIDAS%, CRIDIS, PTYLOS)
DIM SHARED ATM(1 TO 366), JDAY(1 TO 366), RH(1 TO 366), HRW(1 TO 366)
DIM SHARED MTM, MRH, MHRW, RF(1 TO 200), HRH9(1 TO 366)
DIM SHARED GDD(366), TDCH(200), TDISV(200)
DIM SHARED SPRAYS(100), SPRADAY%, NSPRA
DIM SHARED MN(12)
CLS
PRINT "PROG check favorable weather factors for Soybean disease warning"
REM Prog stored in the file -- RUSCAST --, the program read daily weather data and store in arrays
REM to be used in subprog. This prog will include subprog to estimate time of rust onset and Yield loss
FOR I = 1 TO 12
  READ MN(I): NEXT
DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
PRINT : PRINT
PRINT "-----"
PRINT "  * Forecasting System for Soybean Rust *  "
PRINT "===== "
PRINT
PRINT "-----"
PRINT "    Sunthorn Buranaviriyakul    "
PRINT "    Faculty of Agriculture, CMU    "
PRINT "-----"
PRINT : PRINT : PRINT " Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
PRINT "1: Enter the SOWING date of the experiment(DD,MN,YR(BC)) "
INPUT "--> "; DDE, MNE, YRE
JDAY = 365: YRS = YRE: DAYN = 0
IF YRE MOD 4 = 0 THEN JDAY = 366: MN(2) = 29
CALL JULIAN(DDE, MNE, YRE, DAYN)
ISOW% = DAYN: JDAYF = JDAY: PRINT " SOWING DATE "; ISOW%
PRINT : PRINT " 2: ENTER the date you want to STOP reading(dd,mn,yr) "
INPUT "--> "; DDE, MNE, YRE
JDAY = 365: DAYN = 0
IF YRE MOD 4 = 0 THEN
  JDAY = 366: MN(2) = 29
END IF
CALL JULIAN(DDE, MNE, YRE, DAYN)
PRINT " Stop date,JDAYF "; DAYN, JDAYF
IF YRE = YRS THEN
  IEND% = DAYN
ELSE
  IEND% = JDAYF + DAYN
END IF
PRINT "Ending time "; IEND%
PRINT " Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
PRINT
INPUT "3: Enter a file name of CLIMATE data( With Extension) "; WTHN$
RESTAR:
PRINT : PRINT "4: Enter any information you need (limited to one line)"
INPUT TI$
PRINT : CLS
PRINT " 5: Which variety does farmer plant ?"
PRINT "-----"

```

```

PRINT " 1: 7608"          'Long season crop CM60
PRINT " 2: OCB"          'Short season crop
PRINT " 3: Sukolai 1"
PRINT " _____"
INPUT "6:* Select one of them --> "; CULT%
PRINT: PRINT "*** The following susceptible coefficient to rust should be used: "
COEF2=.92: COEF3 = .85
PRINT "Sensitive Coef for OCB = .92 FOR SK = .85 "
PRINT
  IF CULT% = 1 THEN
    CVAR$ = "7608"
  ELSEIF CULT% = 2 THEN
    CVAR$ = "OCB"
  ELSE
    CVAR$ = "SK1"
  END IF
  'CULT%
PRINT
REENTS:
PRINT " ENTER the #DAYS to find AVERAGE of weather(Range:4-5 days) ";
INPUT "--> "; NPE%
  IF NPE% < 4 OR NPE% > 5 THEN
    PRINT " Try again "
    GOTO REENTS
  END IF
PRINT: PRINT: PRINT "8:* DO you know the date of disease onset (Y/N) ? "
INPUT RSS
IF UCASE$(RSS) = "Y" THEN
  PRINT: PRINT "9:* Enter the ONSET date of the disease(DD,MN,YR(BC)) "
  INPUT "--> "; DDE, MNE, YRE
  JDAY = 365: DAYN = 0
  IF YRE MOD 4 = 0 THEN JDAY = 366: MN(2) = 29
  CALL JULIAN(DDE, MNE, YRE, DAYN)
  IF YRE = YRS + 1 THEN
    ONSET% = DAYN + JDAYF
  ELSE
    ONSET% = DAYN
  END IF
  IRO% = ONSET% - ISOW% + 1 'DAS of ONSET
  JDAS% = IRO%: RSON$ = "Y"
  PRINT " ONSET, AS DAS :"; ONSET%, IRO%
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
'RSS onset
CLS
FOR I% = 1 TO 100
  GDD(I%) = 0
NEXT I%
REM SET TEMPERATURE LIMIT OF SOYBEAN
TOPT = 30: LTEM = 7: XTEM = 45: GDD(0) = 0: NSPRA = 0
OPEN WITHNS FOR INPUT AS #1
INPUT #1, LINA1$
INPUT #1, LINA2$
FSTART:
INPUT #1, JDATE, TMX, TMIN, ATM, RF, RHA, HLWETO, TEMWO, SR, HRRH8, HRRH9
INPUT #1, NTEMP, DTEMP
  YR = VAL(LEFT$(STR$(JDATE), 3))
  DAYS% = VAL(RIGHT$(STR$(JDATE), 3))
  PRINT "DATE before sowing: "; DAYS%
  IF YR > YRS THEN
    CHKD% = DAYS% + JDAYF
  ELSE CHKD% = DAYS%
  END IF
REM store weather in arrays after sowing
  IF CHKD% < ISOW% - 1 THEN GOTO FSTART
  CHKD% = CHKD% + 1 'increase one to make it=isow to read isow record
ND% = 0
NSTART:
INPUT #1, JDATE, TMX, TMIN, ATM, RF, RHA, HLWET, TEMWO, SR, HRRH8, HRRH9
INPUT #1, NTEMP, DTEMP
  YR = VAL(LEFT$(STR$(JDATE), 3))
  DAYS% = VAL(RIGHT$(STR$(JDATE), 3))
  PRINT " YR,DAYS = "; YR; SPC(3); DAYS%
  IF YR > YRS THEN
    CHKD1% = DAYS% + JDAYF

```

```

ELSE
  CHKD1% = DAYS%
END IF
K% = CHKD1% - ISOW% + 1 'Initialize sowing as 1
ATM(K%) = (TMX + TMIN) / 2 'Store with at sowing as day 1
RH(K%) = RHA: RF(K%) = RF
HRW(K%) = HLWET: HRH9(K%) = HRRH9
JDAY(K%) = CHKD1% 'store jday starting from sowing
IF ATM(K%) < LTEM OR ATM(K%) > XTEM THEN PDAY = 0
IF ATM(K%) < TOPT AND ATM(K%) > LTEM THEN
  PDAY = (ATM(K%) - LTEM) / (TOPT - LTEM) 'Physiol. day
ELSEIF ATM(K%) > TOPT AND ATM(K%) < XTEM THEN
  PDAY = (XTEM - ATM(K%)) / (XTEM - TOPT)
END IF
GDD(K%) = GDD(K% - 1) + PDAY 'Sum of heat unit
ND% = ND% + 1 'Count #days read
IF CHKD1% <= IEND% THEN GOTO NSTART
CLOSE #1
REM Check the no. of 2 days of consecutive rainfalls, the values obtained
REM will be 1 day less than NRF(in 5 days period) except the series ynyy
REM Calc Physiological day at R1 R5 R6 R7 for a given sowing date for
REM 7608(HU3R1) SUKOTAI1 use the same values as 7608. It is limited to 26 Nov
IF ISOW% < 31 AND ISOW% > 0 THEN ISOW% = JDAY + ISOW%
IF ISOW% <= 330 THEN
  HU3R1 = 43.461 - .0603 * ISOW%: HU3R5 = 74.976 - .13266 * ISOW%
  HU3R6 = 94.541 - .1324 * ISOW%: HU3R7 = 117.849 - .1932 * ISOW%
  HU2R1 = 37.49 - .0469 * ISOW%: HU2R5 = 52.447 - .06803 * ISOW%
  HU2R6 = 78.664 - .1051 * ISOW%: HU2R7 = 95.277 - .1366 * ISOW%
  ' HU3R8 = 120.76 - .1916 * ISOW% 'R2=.98
  ' HU2R8 = EXP(4.8316 - .00266 * ISOW%) 'R2=.929
ELSE
  HU3R1 = 10.56 + .0436 * ISOW%: HU3R5 = -30.65 + .1986 * ISOW%
  HU3R6 = 5.985 + .1488 * ISOW%: HU3R7 = 610.7 * ISOW% / (2881.8 + ISOW%)
  HU2R1 = 37.49 - .0469 * ISOW%: HU2R5 = .0945 * ISOW%
  HU2R6 = .1467 * ISOW%: HU2R7 = 22.617 + .1071 * ISOW%
  ' HU3R8 = 120.76 - .1916 * ISOW% 'R2=.98
  ' HU2R8 = EXP(4.8316 - .00266 * ISOW%) 'R2=.929
END IF
REM Calc gdd between r6-r7
IF CULT% = 1 OR CULT% = 3 THEN
  HUR1 = INT(HU3R1): HUR5 = INT(HU3R5): HUR6 = INT(HU3R6)
  HUR67 = INT(((HU3R6 + HU3R7) / 2) + .3)
  HUR7 = INT(HU3R7 + .3)
END IF
IF CULT% = 2 THEN
  HUR1 = INT(HU2R1): HUR5 = INT(HU2R5): HUR6 = INT(HU2R6)
  HUR67 = INT(((HU2R6 + HU2R7) / 2) + .3)
  HUR7 = INT(HU2R7 + .3)
END IF
PRINT " HUR5, HUR6, HUR67 : "; HUR5; SPC(5); HUR6; SPC(5); HUR67
IKEY$ = INPUT$(1)
REM estimate rust onset
IF UCASE$(R5$) = "N" THEN
  CALL CHKRSON(IFAG%)
  IF IFAG% = 2 THEN
    JDAS% = IRO%: RSON$ = "Y"
    PRINT " Rust onset(IRO%)(M/P) : "; IRO%
  ELSEIF IFAG% = 1 THEN
    RSON$ = "Y"
    PRINT
    PRINT " GDD : "; GDD(JDAS%)
    PRINT " Rust occurs late there is no need to spray "
  ELSEIF IFAG% = -1 THEN
    RSON$ = "N"
    PRINT: PRINT " No rust occur "
  END IF
  'FLAG
  IKEY$ = INPUT$(1)
  PRINT: PRINT " Press any key "
END IF
' Ask Onset
' Call subprogram to calculate rust progress
IF RSON$ = "Y" THEN
  IF GDD(JDAS%) <= HUR6 THEN 'if GS not beyond r6(70DAS) calc severe
    CALL RUSTSEV(FLAG%)

```

```

CLS
PRINT "JDAS after est sev "; JDAS%
PRINT "-----"
PRINT "      RUST      "
PRINT "    DAS    SEVERITY "
PRINT "-----"
FOR I = IRO% TO JDAS% STEP NPE%
  PRINT SPC(7); TDISV%(I); SPC(6); TDCH(I)
NEXT I
PRINT "-----"
PRINT
INPUT "Want to save ouput (Y/N): "; OP$
IF UCASE$(OP$) = "Y" THEN
  PRINT : INPUT "Enter file name (w/o ".xxx) > "; NAM$
  NAM$ = NAM$ + ".DIS"
  OPEN NAM$ FOR OUTPUT AS #1
  PRINT #1, "TIS"; TIS$
  PRINT #1, "DAS  %RUST"
  FOR I = IRO% TO JDAS% STEP NPE%
    PRINT #1, USING "####"; TDISV%(I);
    PRINT #1, USING "####,####"; TDCH(I)
  NEXT I
  CLOSE #1
END IF
' OP$
REM Call subpro to calc area under the diseased curve when rust occurs
CALL AUDPC(RAUDP)
PRINT: PRINT "** Area Under the Curve(Rust severity) > "; RAUDP
REM Calculate yield loss due to rust effect alone
IF RAUDP >= .17 THEN
  RAUDPC = RAUDP
  RSYLOS = YDLOS(RAUDPC)
  PRINT
  ELSE
  PRINT
  PRINT "Rust severity(RAUDPC) is below 17% no yield loss is estimated "
END IF
' RAUDP
REM calculate yield loss using % rust at time 1
IF CULT% = 1 OR CULT% = 3 THEN
  CRIDAS% = 60
  ELSEIF CULT% = 2 THEN
  CRIDAS% = 55
END IF
CALL YLOSCRI(CRIDAS%, CRIDIS, PTYLOS)
PRINT "YIELD LOSS estimated using point value "; PTYLOS
CRIDIS = CRIDIS * 100
REM save raudpc and % rust in the file
IF CVAR$ = "OCB" THEN
  RAU$ = "RAUDV2.RUS"
  ELSEIF CVAR$ = "SK1" THEN
  RAU$ = "RAUDV1.RUS"
  ELSE
  RAU$ = ""
END IF
IF RAU$ <> "" THEN
  OPEN RAU$ FOR OUTPUT AS #1
  PRINT #1, TIS$
  PRINT #1, USING "###,##"; RAUDP
  PRINT #1, USING "###.##"; CRIDIS
  CLOSE #1
END IF
' RAU$
ELSE
  PRINT : PRINT "*** There is rust but it occurs late ***"
END IF
' GDD
ELSE
  PRINT "There is no rust "
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
' RSON$
END
' M/P
'+++++
SUB AUDPC (RAUDP) STATIC
REM Calculate area under the progress curve
STATIC AUDP, COUNT%, KLAS%
AUDP = 0: COUNT% = 0

```

```

REM Calculate area under the curve It checks that the second value <> 0
FOR K% = IRO% TO JDAS% - NPE% STEP NPE%
  IF CULT% = 1 OR CULT% = 3 THEN
    IF TDISV%(K%) >= 35 AND TDISV%(K%) <= 78 THEN
      KLAS% = K% + NPE%
      IF TDCH(K%) = 0 AND TDCH(KLAS%) = 0 THEN GOTO NEXROUND
      COUNT% = COUNT% + 1: IF COUNT% = 1 THEN DAY1% = TDISV%(K%)
      Y1 = TDCH(K%): Y2 = TDCH(KLAS%)
      AREAF = (Y1 + Y2) * (TDISV%(KLAS%) - TDISV%(K%)) / 2
      AUDP = AUDP + AREAF
      PRINT " K,AUDP V1 : ", K%: SPC(5): AUDP
    END IF
    'TIME < 78
  ELSEIF CULT% = 2 THEN
    IF TDISV%(K%) >= 35 AND TDISV%(K%) <= 68 THEN
      COUNT% = COUNT% + 1: KLAS% = K% + NPE%
      IF TDCH(K%) = 0 AND TDCH(KLAS%) = 0 THEN GOTO NEXROUND
      IF COUNT% = 1 THEN DAY1% = TDISV%(K%)
      Y1 = TDCH(K%): Y2 = TDCH(KLAS%)
      AREAF = (Y1 + Y2) * (TDISV%(KLAS%) - TDISV%(K%)) / 2
      AUDP = AUDP + AREAF
      PRINT " K,AUDP V2 : ", K%: SPC(5): AUDP
    END IF
    'TIME < 68
  END IF
  'CULT%
NEXROUND:
NEXT K%
  RAUDP = AUDP * 100 / (TDISV%(KLAS%) - DAY1%)
  PRINT " RAUDPC(%) under no control > ", RAUDP
  PRINT " First and last date ", DAY1%, TDISV%(KLAS%)
  SKEY$ = INPUT$(1)
END SUB
'====
FUNCTION CEPTER (MTM, MRH)
STATIC CEP2
' Calculate intercept for less favorable conditions
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 646 THEN
  CEP2 = EXP(1.1755 + .00186 * TRH) 'Calc rate having y=1
ELSE
  CEP2 = EXP(1.1755 + .00186 * TRH - .00786 * (TRH - 610))
END IF
PRINT " * Intercept in FN2 : ", CEP2
IKEY$ = INPUT$(1)
IF RUS < 0 THEN RUS = 0
CEPTER = CEP2
END FUNCTION
'BO
'+++++-----+++'
SUB CHKRSON (IFAG%) STATIC
SHARED FKAGO%
STATIC I1%, IDAY%
REM Sub prog to estimate time of rust onset
REM SPRDAY-for counting # days from the start of processing
REM IFAG% = 1 for onset signal BUT the plant is too old to be worried
REM IFAG% = -1 for the NO disease onset and IFAG%=2 Downy Onset
REM IDAS% # days after sowing that calc the onset but it is not the DAS
REM that the ONSET is estimated so cannot set JDAS=IDAS at the end
NDIF% = IEND% - ISOW%: L1% = NDIF% MOD NPE%
ENDON% = IEND% - L1% 'Calc new value of stopping date
DLENO% = ENDON% - ISOW%: GLENON% = ISOW% + DLENO%
PRINT "Adj stopping time(CHK) : ", GLENON%
PRINT " CULT # : ", CULT%
IKEY$ = INPUT$(1)
NFAV = 0: UNFAV = 0: IDAY% = ISOW%
READCYC:
STM = 0: SRH = 0: NRF = 0: SHR9 = 0: I1% = IDAY%
IF I1% > GLENON% THEN
  IFAG% = -1: RSON$ = "N"
  PRINT " End of estim ": IDAY%
  IKEY$ = INPUT$(1)
  EXIT SUB
END IF
FOR J% = 1 TO NPE%

```

```

L% = I% + J% - ISOW%
STM = STM + ATM(L%)           'Calc mean temp over NPE% days
SRH = SRH + RH(L%)           'starting from SOWING
SHR9 = SHR9 + HRH9(L%)
NEXT J%
IDAY% = IDAY% + NPE%
IDAS% = IDAY% - ISOW% + 1      'True DAS
PRINT : PRINT " +++++ NEW ROUND +++++"
PRINT "IDAS% in SUB(chkrs) "; IDAS%
IKEY$ = INPUT$(1)
MTM = STM / NPE%; MRH = SRH / NPE%; MHR9 = SHR9 / NPE%
PRINT "MTM, MRH, MHR9 : "; MTM, MRH, MHR9
REM If sowing is early than 16 July then use Hrrh9 for calc onset
IF ISOW% <= 198 AND ISOW% >= 122 THEN
  IF MTM >= 28 OR MTM < 19 THEN
    PRINT "Temp is unfavorable low or high"
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :"; IDAS%
    GOTO READCYC
  ELSE
    'T >28 OR < 19 --on-- 1
    NFAV = NFAV + 1
    IF IDAS% > 40 THEN
      IF MHR9 > 15 THEN GOTO READCYC
      IF MRH >= 84 THEN
        IRO% = RHTMINV(MTM, MRH)
        PRINT "ONSET TIME when sowing is before July "; IRO%
        BEEP
        IKEY$ = INPUT$(1)
        CALL GSRSR6(IDAS%, KFAGO%)
        IFAG% = KFAGO%
      ELSE
        PRINT "RH is unfavorable for rust development"
        UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
        PRINT " IDAS% :"; IDAS%
        GOTO READCYC
      END IF
    ELSE
      'MRH > 84
      GOTO READCYC
    END IF
  END IF
  'When das < 40
  IDAS > 40
  'T > 28
  '1 MAY < SOWING < 16 JULY
END IF
IF ISOW% > 198 AND ISOW% < 350 THEN
  IF MTM >= 28 OR MTM < 19 THEN
    PRINT "Temp is unfavorable for rust development"
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :"; IDAS%
    GOTO READCYC
  END IF
  'T > 28 OR < 19 --on-- 2
  IF MTM > 25 AND MTM < 28 THEN
    IF MRH > 90 THEN GOTO READCYC
    IF MRH > 75 THEN
      NFAV = NFAV + 1
      PRINT " IDAS% :"; IDAS%
      IF IDAS% >= 14 THEN
        IRO% = ONRSCAL(MTM, MRH)
        IDAS% = IRO%
        PRINT
        PRINT "Das RUST(IRO) is on, 2: "; IRO%
        BEEP
        IKEY$ = INPUT$(1)
        CALL GSRSR6(IDAS%, KFAGO%)
        IFAG% = KFAGO%
      ELSE
        GOTO READCYC
      END IF
    ELSE
      'IDAS% > 10
      PRINT "RH is unfavorable for rust development"
      UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
      PRINT " IDAS% :"; IDAS%
      GOTO READCYC
    END IF
  END IF
  'RH > 75
  'T > 25 OR < 28 --on-- 3
  IF MTM <= 25 AND MTM > 22.5 THEN

```



```

IF MRH > 90 THEN GOTO READCYC
IF MRH >= 71 THEN
  NFAV = NFAV + 1
  PRINT " IDAS%, NFAV 3 :"; IDAS%, NFAV
  IF IDAS% >= 15 THEN
    IRO% = ONRSCAL(MTM, MRH)
    IDAS% = IRO%
    PRINT : PRINT " Das RUST(IRO) is on,3: "; IRO%
    BEEP
    IKEY$ = INPUT$(1)
    CALL GSRSR6(IDAS%, KFAGO%)
    IFAG% = KFAGO%
  ELSE
    GOTO READCYC
  END IF
  'JDAS% > 15
ELSE
  PRINT "RH is unfavorable for rust development "
  UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
  PRINT " IDAS% :"; IDAS%
  GOTO READCYC
END IF
' RH > 71
END IF
'T > 22.5 OR < 25 --on--- 4
IF MTM <= 22.5 AND MTM >= 19 THEN
  IF MRH > 90 THEN GOTO READCYC
  IF MRH > 68 THEN
    NFAV = NFAV + 1
    PRINT " IDAS%, NFAV 3 :"; IDAS%, NFAV
    IF IDAS% >= 20 THEN
      IRO% = ONRSCAL(MTM, MRH)
      IDAS% = IRO%
      PRINT : PRINT " Das RUST(IRO) is on,4: "; IRO%
      BEEP: IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSRSR6(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYC
    END IF
    'jdass% > 20
  ELSE
    PRINT "RH is unfavorable for rust development "
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :"; IDAS%
    GOTO READCYC
  END IF
  ' RH > 68
END IF
'1y < T <= 22.5 --on-- 5
END IF
' SOWNING > 16 JULY
BEEP
REM cannot set onset=jdass since IRO is estimated which not coincide
REM JDAS% in this sub cannot be used in other sub
ONSET% = IRO% + ISOW%: JDAS% = IRO%
PRINT " RUST onset(JDAY),JDAS% :"; ONSET%, JDAS%
PRINT " Flag IN CHKRSON > "; IFAG%
PRINT : PRINT "PRESS ANY KEY TO CONTINUE"
IKEY$ = INPUT$(1)
END SUB
'CHKRSON
'++-----++
SUB CUMDISR (DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%) STATIC
REM Subprog to accumulate rust%
REM TDISV%() is DAS at which disease level is assessed
REM check R5 and r6 to prevent over estimate
IF JDAS% - IRO% = NPE% THEN 'At this pt JDAS%>IRO% by NPE%
  TDISV%(IRO%) = IRO%
  IF DISCH <= 0 THEN
    TDCH = 0
  ELSE
    TDCH = .0003
  END IF
END IF
TDD = TDCH(JDAS% - NPE%)
IF CULT% = 1 OR CULT% = 3 THEN
  IF GDD(JDAS%) < HUR5 THEN
    IF DISCH >= .03 THEN
      DISCH = RATEL * DISCH
    ELSEIF DISCH < 0 THEN

```

```

DISCH = 0
END IF
ELSEIF GDD(JDAS%) >= HUR5 AND GDD(JDAS%) <= HUR67 THEN
  IF DISCH > .265 OR DISCH < 0 THEN DISCH = RATEL * TOD * (1 - TOD)
END IF
  ' GDD < HUR5
  IF GDD(JDAS%) > HUR67 THEN
    '56
    IF DISCH >= .07 OR DISCH < 0 THEN
      DISCH = RATEL * TOD * (1 - TOD)
    END IF
    'DISCH
  END IF
  'GDD > R67
ELSEIF CULT% = 2 THEN
  IF GDD(JDAS%) < HUR5 THEN
    IF DISCH >= .03 THEN
      DISCH = RATEL * DISCH
      ' for early period
    ELSEIF DISCH < 0 THEN
      DISCH = 0
    END IF
  ELSEIF GDD(JDAS%) >= HUR5 AND GDD(JDAS%) <= HUR67 THEN
    IF DISCH > .265 OR DISCH < 0 THEN DISCH = RATEL * TOD * (1 - TOD)
  END IF
    'GDD < HUR5
    IF GDD(JDAS%) > HUR67 AND DISCH >= .07 THEN
      IF DISCH >= .07 OR DISCH < 0 THEN
        DISCH = RATEL * TOD * (1 - TOD)
      END IF
      'DISCH
    END IF
    'GDD
  END IF
    'CULT
  SDCH = SDCH + DISCH
  PRINT "Check final SDCH :"; SDCH
  IF SDCH < 0 THEN SDCH = 0
  TDCH = TDCH + DISCH
  IF TDCH < 0 THEN TDCH = 0
  TDCH(JDAS%) = TDCH
  ' total disease severity at DAS
  ' TDISV%() time when severity is recorded
  TDISV%(JDAS%) = JDAS%
  PRINT "HuR6,Hu67, R7 "; HUR6: SPC(3); HUR67: SPC(3); HUR7
  PRINT "Disch in CUM > "; DISCH
  PRINT : PRINT "TDCH() At DAS in CUM sub "; TDCH(JDAS%), TDISV%(JDAS%)
  IKEY$ = INPUT$(1)
  IF SDCH >= .1 THEN
    IF SPRADAY% > 8 THEN
      GDD = GDD(JDAS%)
      IF GDD <= HUR6 AND GDD > 0 THEN
        CALL RSPRAY(FLAG%, NSPRA)
        SPRAY$(JDAS%) = "Y"
      ELSEIF GDD > HUR6 THEN
        BEEP
        PRINT
        PRINT "+-----+"
        PRINT "+ "
        PRINT "+ NO Spray the plant is beyond critical age. +"
        PRINT "+++++"
        PRINT : PRINT "Press any key to continue "
        IKEY$ = INPUT$(1)
        SPRAY$(JDAS%) = "N"
        SDCH = 0
      END IF
      'GDD
    ELSEIF SPRADAY% <= 9 THEN
      FLAG% = 1
      'spraying time not due
      'SPRAY>8
    END IF
    ELSE
      FLAG% = 1
      'Severity is still low <.17
    END IF
    'SDCH=.17
  END SUB
  'SUB CUMDISRS
  '+++-----+++
SUB GRSR6 (IDAS%, KFAGO%)
REM Check whether onset time is beyond threshold age
REM use this sub to check whether onset is late
  IF GDD(IDAS%) > HUR6 THEN
    KFAGO% = 1
    'SK1 group
  ELSE
    KFAGO% = 2
  END IF
  'GDD
END SUB
'GSR6

```

```

'++-----++
SUB JULIAN (DS, MS, YRS, NDAY) STATIC
REM To calculate Julian day
REM PRINT " SUB TRANS (DS,MS) "; DS, MS
FOR I = 1 TO 12: NOY = MN(I)
  IF I < MS THEN
    FOR J = 1 TO NOY
      NDAY = NDAY + 1
    NEXT J
  ELSEIF I = MS THEN
    FOR J = 1 TO DS
      NDAY = NDAY + 1
    NEXT J
  END IF
NEXT I
END SUB
'Julian
'++-----++

FUNCTION ONRSCAL (MTM, MRH)
' Calculate onset time of rust using 7608 as basic cultivar during late rainy season sowing
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
REM PRINT " RH*T IN FN : "; TRH
IF TRH < 745 THEN
  ONRS = 33.245 - .0162 * TRH 'Calc onset having y=1
ELSE
  ONRS = 33.245 - .0162 * TRH + .2492 * (TRH - 745)
END IF
PRINT "Onset IN FN: "; ONRS
!KEY$ = INPUT$(1)
ONRSCAL = CINT(ONRS)
END FUNCTION
'++-----++

FUNCTION RATER0 (MTM, MRH)
' Calculate intercept of the logistic function
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 570 THEN
  RUS = EXP(1.0424 + .00231 * TRH) 'Calc rate having y=1
ELSE
  RUS = EXP(1.0424 + .00231 * TRH - .00709 * (TRH - 570))
END IF
PRINT " * Intercept in FN : "; RUS
!KEY$ = INPUT$(1)
IF RUS < 0 THEN RUS = 0
RATER0 = RUS
END FUNCTION
'Bo
'++-----++

FUNCTION RATER5 (MTM, MRH)
' Calculate apparent infection rate
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 570 THEN
  RUS = EXP(-3.64 + .00342 * TRH)
ELSE
  RUS = EXP(-3.64 + .00342 * TRH - .0103 * (TRH - 570))
END IF
RATER5 = RUS
END FUNCTION
'Rate
'++-----++

FUNCTION RATER2 (MTM, MRH)
' Calculate apparent rate for less favorable conditions
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 646 THEN
  RUS2 = EXP(-3.47 + .00228 * TRH)
ELSE
  RUS2 = EXP(-3.47 + .00228 * TRH - .0133 * (TRH - 646))

```

```

END IF
RATRS2 = RUS2
END FUNCTION
'+++++-----+++++
FUNCTION RESIS1 (MTM, MRH)
STATIC SUS1
' Calculate the ratio a/b of logistic parameters
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM*RH
IF TRH < 610 THEN
SUS1 = 127.486 - .1229 * TRH
ELSE
SUS1 = 127.486 - .1229 * TRH + .4537 * (TRH - 610)
ENDIF
PRINT "coeff in FN : "; SUS1
RESIS1 = SUS1
END FUNCTION
'+++++-----+++++
FUNCTION RHTMINV (MTM, MRH)
' Calculate rust onset for early planting dates
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40)
ONRST = .04713 - 22.213 / TRH
ONRS = 1 / ONRST
PRINT "RS onset for early pd > "; ONRS
RHTMINV = CINT(ONRS)
END FUNCTION 'rhtminv
'++-----++
SUB RSPRAY (FLAG%, NSPRA)
' Check whether to SPRAY or not and keep records of #sprays
IF NSPRA < 5 THEN
BEEP
PRINT "+++++-----+++++
PRINT "+ Warning +
PRINT "+ Spray now if it looks serious OR in +
PRINT "+ the next few days +
PRINT "+++++-----+++++
PRINT : PRINT " Waring on day(DAS) :"; JDAS%
PRINT "Press any key to continue"
IKEY$ = INPUT$(1)
NSPRA = NSPRA + 1 'NSPRAYS
FLAG% = 2 'Spray is needed
ELSE
PRINT
PRINT "Don't Spray because it has sprayed >=5 times"
PRINT "Press any key to continue"
IKEY$ = INPUT$(1)
FLAG% = -1
END IF
END SUB 'RSpray warning
'++-----++
SUB RUSTSEV (FLAG%) STATIC
STATIC I1%
' Estimate rust development using logistic model
REM FLAG%=-1 if no spray is needed due to plant is aging or enough sprays have been done
REM SPRADAY% #DAYS between two sprays, NSPRA=#sprays
REM FLAG%=2 for spray needed and FLAG%=1 no spray because time is not due
REM GETDATA1 after spray is done GETDATA2 spray condition is not met
REM IRO% disease onset(DAS%) I1% also DAS
I1% = ONSET%: NSPRA = 0: NFAV = 0: JDAS% = IRO% 'JDAS%<>1
GLENG% = IEND% 'Calc new value of stopping date
PRINT " GLENG%, I1%(onset) :"; GLENG%, I1%
PRINT " HUR7 in RUSTSEV "; HUR7
IKEY$ = INPUT$(1)
TDCH(IRO%) = .0003
GETDATA1:
PRINT "GDD 1 : "; GDD(JDAS%)
IF GDD(JDAS%) <= HUR7 + .8 THEN
SPRADAY% = NPE%: SDCH = 0
ELSEIF GDD(JDAS%) = 0 THEN
PRINT "End of epidemic 1 at "; JDAS%

```

```

PRINT "Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
EXIT SUB
END IF
PRINT " GETDATA 1,II% > ", SPRADAY%, II%
GOTO CONTNU
GETDATA2:
IF GDD(JDAS%) = 0 THEN EXIT SUB
PRINT "GDD in RSEV 2 : ", GDD(JDAS%)
IF GDD(JDAS%) <= HUR7 + .8 THEN
    SPRADAY% = SPRADAY% + NPE%
ELSE
    PRINT " End of epidemic2 ", II%
    IKEY$ = INPUT$(1)
    EXIT SUB 'not appear to work
END IF
PRINT " GETDATA 2,II > ", SPRADAY%, II%
CONTNU:
STM = 0: SRH = 0: NRF = 0: I% = JDAS%: SHRH = 0: SHRW = 0
FOR J% = 1 TO NPE%
    STM = STM + ATM(I% + J% - 1) 'Calc mean temp over 5 days
    SRH = SRH + RH(I% + J% - 1) 'starting from ONSET
    SHRH = SHRH + HRH9(I% + J% - 1)
    SHRW = SHRW + HRW(I% + J% - 1)
NEXT J%
II% = II% + NPE%
JDAS% = JDAS% + NPE%
NDAS% = JDAS% - NPE% 'Check the rel records
PRINT: PRINT " +++++ NEW ROUND +++++"
PRINT "JDAS% SPRADAY% in SUBSEV : ", JDAS%, SPRADAY%
IKEY$ = INPUT$(1)
MTM = STM / NPE%: MRH = SRH / NPE%: MHR9 = SHRH / NPE%: MHRW = SHRW / NPE%
PRINT
PRINT "MTM, RH,HRH9,HRW : ", MTM: SPC(4): MRH: SPC(4): MHR9: SPC(4): MHRW
PRINT " RH*T in rsev : ", (MTM - 10) * (MRH - 40)
IKEY$ = INPUT$(1)
IF MTM > 28 OR MTM < 19 THEN '-----SEV-----1
    DISCH = 0
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    IF FLAG% = -1 THEN
        EXIT SUB
    ELSEIF FLAG% = 1 THEN
        GOTO GETDATA2
    ELSE
        GOTO GETDATA1
    END IF
END IF 'FLAG
END IF 'MTM > 28
IF MTM <= 28 AND MTM >= 26 THEN '-----SEV-----2
    IF MRH > 75 THEN
        RATEL = RATRS2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER(MTM, MRH)
        PRINT " rate before adj. 1: ", RATEL
        IF CULT% = 1 THEN
            RATEL = RATEL: RATE0 = RATE0
        ELSEIF CULT% = 2 THEN
            NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL
            RATEL = COEF2 * RATEL
        ELSE
            NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = K0E * COEF3 * NRATE * RATEL
            RATEL = COEF3 * RATEL
        END IF 'CULT%
        PRINT " B0, RATEL IN SUB1 : ", RATE0, RATEL
        IKEY$ = INPUT$(1)
        YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
        DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
        PRINT " DISEV(Yt) 1: ", DISEV
        DISCH = (DISEV - YPREV)
        PRINT "DISCH, TDCH(t-1) 1: ", DISCH, YPREV
        CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    ELSE
        DISCH = 0
        CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    END IF 'RH > 75
    PRINT " JDAS, TDCH() in sub 1: ", JDAS%, TDCH(JDAS%)

```

```

IF FLAG% = -1 THEN
  EXIT SUB
ELSEIF FLAG% = 1 THEN
  GOTO GETDATA2
ELSEIF FLAG% = 2 THEN
  GOTO GETDATA1
END IF
PRINT " Check FLAG(TEM(25,28) 1 = "; FLAG%
PRINT " Press any key to continue "
END IF
IF MTM < 26 AND MTM > 24.5 THEN '---SEV---3
  IF MRH > 69 THEN
    RATEL = RATER(MTM, MRH); RATE0 = RATER0(MTM, MRH)
    PRINT " Rate before adj. 2 : "; RATEL
    IF CULT% = 1 THEN
      RATEL = RATEL; RATE0 = RATE0
    ELSEIF CULT% = 2 THEN
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH); RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF2 * RATEL
    ELSE
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH); RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF3 * RATEL
    END IF
    PRINT " " B0, RATEL IN SUB2_1 : "; RATE0, RATEL
    YMAXW = 1; YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%)) 'Calc new sev
    PRINT " DISEV(Y) 2 : "; DISEV
    DISCH = (DISEV - YPREV)
    PRINT "Daily DIS,TDCH(-1) 2 : "; DISCH, YPREV
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSEIF MRH > 48 AND MRH <= 69 THEN
    RATEL = RATER2(MTM, MRH); RATE0 = CEPTER(MTM, MRH)
    PRINT " Rate before adj. 2_2 : "; RATEL
    IF CULT% = 1 THEN
      RATEL = RATEL; RATE0 = RATE0
    ELSEIF CULT% = 2 THEN
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH); RATE0 = .95 * COEF3 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF2 * RATEL
    ELSE
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH); RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF3 * RATEL
    END IF
    PRINT " " B0, RATEL IN SUB 2_2 : "; RATE0, RATEL
    YMAXW = 1; YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%)) 'Calc new sev
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT " DISEV(Y) 2_2 : "; DISEV
    PRINT "Daily DIS, TDCH(-1) 2_2 : "; DISCH, YPREV
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSE
    DISCH = 0
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  END IF
  PRINT " JDAS, TDCH() in sub 2_2 : "; JDAS%, TDCH(JDAS%)
  IF FLAG% = -1 THEN
    EXIT SUB
  ELSEIF FLAG% = 1 THEN
    GOTO GETDATA2
  ELSE
    GOTO GETDATA1
  END IF
  PRINT " Check FLAG(TEM(17,25) 2 = "; FLAG%
  PRINT " Press any key to continue "
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
IF MTM <= 24.5 AND MTM >= 23 THEN '---SEV-----4
  IF MRH >= 73 THEN
    RATEL = RATER(MTM, MRH); RATE0 = RATER0(MTM, MRH)
    PRINT " " Rate before adj.3 : "; RATEL
    IF CULT% = 1 THEN
      RATEL = RATEL; RATE0 = RATE0
    ELSEIF CULT% = 2 THEN
      RATE = RESIS1(MTM, MRH); RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL

```

```

      RATEL = COEF2 * RATEL
    ELSE
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF30 * RATEL
    END IF
  ' CULT%
PRINT "B0, RATEL IN SUB 3: "; RATE0, RATEL
YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
PRINT "DISEV(Y) 3: "; DISEV
DISCH = (DISEV - YPREV)
PRINT "DISCH, TDCH(-1) 3: "; DISCH, YPREV
CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
ELSEIF MRH < 73 AND MRH > 50 THEN
  RATEL = RATES2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER(MTM, MRH)
  PRINT "Rate before adj. 3_2: "; RATEL
  IF CULT% = 1 THEN
    RATEL = RATEL: RATE0 = RATE0
  ELSEIF CULT% = 2 THEN
    NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL
    RATEL = COEF2 * RATEL
  ELSE
    NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
    RATEL = COEF3 * RATEL
  END IF
  ' CULT%
  PRINT "B0, RATEL IN SUB 3_2: "; RATE0, RATEL
  YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
  DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
  DISCH = (DISEV - YPREV)
  PRINT "DISEV(Y) 3_2: "; DISEV
  PRINT "Daily DIS, TDCH(-1) 3_2: "; DISCH, YPREV
  CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
ELSE
  DISCH = 0
  CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
END IF
  'RH > 70
PRINT "JDAS, TDCH() in sub 3: "; JDAS%, TDCH(JDAS%)
IF FLAG% = -1 THEN
  EXIT SUB
ELSEIF FLAG% = 1 THEN
  GOTO GETDATA2
ELSE
  GOTO GETDATA1
END IF
  'FLAG
PRINT "Check FLAG(TEM(17,25) 3 = "; FLAG%
PRINT "Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
  '23 < T < 24.5
IF MTM < 23 AND MTM >= 19 THEN
  '----SEV-----5
  IF MRH >= 67 THEN
    RATEL = RATES(MTM, MRH): RATE0 = RATE0(MTM, MRH)
    PRINT "B0, Rate before adj.4: "; RATE0, RATEL
    IF CULT% = 1 THEN
      RATEL = RATEL: RATE0 = RATE0
    ELSEIF CULT% = 2 THEN
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF2 * RATEL
    ELSE
      NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
      RATEL = COEF3 * RATEL
    END IF
    ' CULT%
    PRINT "B0, RATEL, SUB 4: "; RATE0, RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    PRINT "DISEV(Y) 4: "; DISEV
    DISCH = (DISEV - YPREV)
    PRINT "Daily DIS, TDCH(-1) 4: "; DISCH, YPREV
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSEIF MRH < 67 AND MRH > 48 THEN
    RATEL = RATES2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER(MTM, MRH)
    PRINT "Rate before adj. 4_2: "; RATEL
    IF CULT% = 1 THEN
      RATEL = RATEL: RATE0 = RATE0
    ELSEIF CULT% = 2 THEN

```

```

        NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = .95 * COEF2 * NRATE * RATEL
        RATEL = COEF2 * RATEL
    ELSE
        NRATE = RESIS1(MTM, MRH): RATE0 = KOE * COEF3 * NRATE * RATEL
        RATEL = COEF3 * RATEL
    END IF
    PRINT " B0, RATEL in SUB 4_2: "; RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    DISCH = (DISEV - YPREV)
    PRINT " Daily DIS, TDCH(-1) 4_2: "; DISCH, YPREV
    CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    ELSE
        DISCH = 0
        CALL CUMDISR(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    END IF
    PRINT " JDAS, TDCH() in sub 4_2: "; JDAS%, TDCH(JDAS%)
    IF FLAG% = -1 THEN
        EXIT SUB
    ELSEIF FLAG% = 1 THEN
        GOTO GETDATA2
    ELSE
        GOTO GETDATA1
    END IF
    PRINT " Check FLAG(TEM(17,25) 4 = "; FLAG%
    PRINT " Press any key to continue "
    IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
END SUB
'19 < T < 23
'RSTSEV
'++-----++
FUNCTION YDLOS (RAUDPC) STATIC
STATIC SQROO
' Estimate yield loss due to rust alone using cv 7608 as reference, the estimation uses area under the curve
IF CULT% = 1 THEN
    SQROO = .1522 * RAUDPC
    LOSS = SQROO * SQROO
    ELSEIF CULT% = 3 THEN
        SQROO = .1622 * RAUDPC
        LOSS = SQROO * SQROO
    ENDIF
    YDLOS = LOSS
    PRINT " Yield loss(%): "; USING "####.#"; LOSS
END FUNCTION
'++-----++
SUB YLOSSCRI (CRIDAS%, CRIDIS, PTYLOS) STATIC
STATIC DISDIF, TDIFF, SQROO
' Estimate yield loss due to rust alone using single point of the curve
IRS% = IRO% + NPE%
FOR I% = IRS% TO JDAS% - NPE% STEP NPE%
    IF I% = CRIDAS% THEN
        CRIDIS = TDCH(I%)
        EXIT FOR
    ELSEIF I% > CRIDAS% THEN
        DISDIF = TDCH(I%) - TDCH(I% - NPE%)
        TDIFF = TDISV%(I%) - TDISV%(I% - NPE%)
        DISCR = DISDIF * (CRIDAS% - TDISV%(I% - NPE%)) / TDIFF
        CRIDIS = TDCH(I% - NPE%) + DISCR
        EXIT FOR
    END IF
NEXT I%
IF CULT% = 1 THEN
    SQROO = .135 * CRIDIS * 100
    ELSEIF CULT% = 3 THEN
        SQROO = .1399 * CRIDIS * 100
    END IF
    PTYLOS = SQROO * SQROO
    PRINT " % Rust at a given time: "; CRIDIS * 100
    PRINT " YIELD LOSS estimated at "; CRIDAS%; " DAS = "; PTYLOS
    PRINT: PRINT " This value is likely to be under estimated if there are other diseases as well "
    IKEY$ = INPUT$(1)
END SUB

```


Appendix 5: MILCAST MODEL

```

COMMON SHARED ISOW%, NPE%, IRO%, JDAS%, IEND%, CVAR$
COMMON SHARED HUR5, HUR6, HUR7, HUR87, HUR56, ONSET%, CULT%, SDCH
DECLARE FUNCTION CEPTER2 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION FHRRH9 (MHR9)
DECLARE FUNCTION ONDYCAL (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION ONDYCSK (MRH)
DECLARE FUNCTION ONDSK (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION YLOSCRI (CRIDAS%, PTRUS)
DECLARE FUNCTION YLOSS (RAUDPC, RAUDY)
DECLARE FUNCTION RATER5 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RATER2 (MTM, MRH)
DECLARE FUNCTION RATER0 (MTM, MRH)
DECLARE SUB DNYCUM (DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
DECLARE SUB GSR5 (IDAS%, KFAGO%)
DECLARE SUB JULIAN (DS, MS, YRS, NDAY)
DECLARE SUB AUDPC (RAUDY)
DECLARE SUB DYSPRAY (FLAG%, NSPRA)
DECLARE SUB DNYONS (IFAG%)
DECLARE SUB SKDYONS (IFAG%)
DECLARE SUB DNYSEV (FLAG%)
DIM SHARED ATM(1 TO 366), JDAY(1 TO 366), RH(1 TO 366), HRW(1 TO 366)
DIM SHARED MTM, MRH, MHRW, RF(1 TO 300), HRH9(1 TO 200)
DIM SHARED GDD(366), TDCH(200), TDISV%(200), MN(12)
DIM SHARED SPRAY$(100), SPRADAY%, DISEV(1 TO 100)
PRINT "PROG for estimating the occurrence of downy mildew and calculate"
PRINT " downy severity, and estimate yield loss of Soybean"
REM Prog stored in the file MILCAST.BAS, the program read daily wth and store in arrays to be used in subprog.
PRINT : PRINT
PRINT "-----"
PRINT " * Forecasting System for Downy Mildew of Soybean * "
PRINT " ====="
PRINT
PRINT "-----"
PRINT " Sunthorn Buranaviriyakul "
PRINT " Faculty of Agriculture, CMU * "
PRINT "-----"
PRINT
PRINT " Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
FOR I = 1 TO 12
  READ MN(I): NEXT
DATA 31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31
CLS
PRINT : PRINT
PRINT "1: Enter the SOWING date of the experiment(DD.MN.YR(BC)) "
INPUT "--> "; DDE, MND, YRE
JDAY = 365: YRS = YRE: DAYN = 0
IF YRE MOD 4 = 0 THEN JDAY = 366: MN(2) = 29
CALL JULIAN(DDE, MND, YRE, DAYN)
ISOW% = DAYN: JDAYF = JDAY: PRINT " SOWING DATE "; ISOW%
PRINT
PRINT "2: ENTER the date you want to STOP reading(dd,mn,yr) "
INPUT "--> "; DDE, MND, YRE
JDAY = 365: DAYN = 0
IF YRE MOD 4 = 0 THEN
  JDAY = 366: MN(2) = 29
END IF
CALL JULIAN(DDE, MND, YRE, DAYN)
PRINT " Stop date, JDAYF "; DAYN, JDAYF
IF YRE = YRS THEN
  IEND% = DAYN
ELSE
  IEND% = JDAYF + DAYN
END IF
PRINT "Ending time "; IEND%
PRINT " Press any key to continue "
KKEY$ = INPUT$(1)
PRINT
INPUT "3: Enter a file name of * CLIMATE data( With Extension) "; WTHN$
RESTAR:
PRINT "4: Enter any information you need( limited to one line): "

```

```

INPUT TI$
PRINT : PRINT " 5: Which variety does farmer plant ?"
PRINT " _____"
PRINT " 1: OCB" 'Short season crop CM60
PRINT " 2: Sukotai 1" 'Long season crop
PRINT " _____"
INPUT " 5: Enter the number --> "; CULT%
IF CULT% = 1 THEN
  CVAR$ = "OCB"
ELSE CVAR$ = "SK1"
END IF
PRINT
PRINT " 6: ENTER the #DAYS to find the AVERAGE OVER(4-5 days) ";
INPUT "--> "; NPE%
CLS
PRINT : PRINT " 7: DO you know the date of downy onset (Y/N) ?"
INPUT DY$
IF UCASE$(DY$) = "Y" THEN
  PRINT
  PRINT " 8: Enter the ONSET date of the disease(DD,MN,YR(BC) "
  INPUT "> "; DDE, MND, YRE
  JDAY = 365: DAYN = 0
  IF YRE MOD 4 = 0 THEN JDAY = 366: MN(2) = 29
  CALL JULIAN(DDE, MND, YRE, DAYN)
  IF YRE = YRS1 + 1 THEN
    ONSET% = DAYN + JDAYF
  ELSE
    ONSET% = DAYN
  END IF
  IRO% = ONSET% - ISOW% 'DAS of ONSET
  JDAS% = IRO%: DYONS = "Y"
  PRINT " ONSET, AS DAS :"; ONSET%, IRO%
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
'DY$ ONST
CLS
FOR I% = 1 TO 100
  GDD(I%) = 0
NEXT I%
NCOU = 0
REM SET TEMPERATURE LIMIT OF SOYBEAN
TOPT = 30: LTEM = 7: XTEM = 45: GDD(0) = 0
OPEN WITHN$ FOR INPUT AS #1
INPUT #1, LINA1$
INPUT #1, LINA2$
FSTART:
INPUT #1, JDATE, TMX, TMIN, ATM, RF, RHA, HLWETO, TEMWO, SR, HRRH8, HRRH9
INPUT #1, NTEMP, DTEMP
YR = VAL(LEFT$(STR$(JDATE), 3))
DAYS% = VAL(RIGHT$(STR$(JDATE), 3))
PRINT "DATE before sowing: "; DAYS%
IF YR > YRS THEN
  CHKD% = DAYS% + JDAYF
ELSE CHKD% = DAYS%
END IF
REM store weather in arrays after sowing
IF CHKD% < ISOW% - 1 THEN GOTO FSTART
CHKD% = CHKD% + 1 'increase one to make it=isow to read isow record
ND% = 0
NSTART:
INPUT #1, JDATE, TMX, TMIN, ATM, RF, RHA, HLWET, TEMWO, SR, HRRH8, HRRH9
INPUT #1, NTEMP, DTEMP
YR = VAL(LEFT$(STR$(JDATE), 3))
DAYS% = VAL(RIGHT$(STR$(JDATE), 3))
PRINT " YR,DAYS = "; YR; SPC(3); DAYS%
IF YR > YRS THEN
  CHKD1% = DAYS% + JDAYF
ELSE
  CHKD1% = DAYS%
END IF
K% = CHKD1% - ISOW% + 1 'Initialize sowing as 1
ATM(K%) = (TMX + TMIN) / 2 'Store with at sowing as day 1
RH(K%) = RHA: RF(K%) = RF
HRW(K%) = HLWET: HRRH9(K%) = HRRH9

```

```

      JDAY(K%) = CHKD1%      'store jday starting from sowing
      IF ATM(K%) < LTEM OR ATM(K%) > XTEM THEN PDAY = 0
      IF ATM(K%) < TOPT AND ATM(K%) > LTEM THEN
        PDAY = (ATM(K%) - LTEM) / (TOPT - LTEM)      'Physiol. day
      ELSEIF ATM(K%) > TOPT AND ATM(K%) < XTEM THEN
        PDAY = (XTEM - ATM(K%)) / (XTEM - TOPT)
      END IF
      GDD(K%) = GDD(K% - 1) + PDAY      'Sum of heat unit
      ND% = ND% + 1      'Count #days read
      IF CHKD1% < IEND% THEN GOTO NSTART
    CLOSE #1
    PRINT "DAS,JDAY(K) : ", K%, JDAY(K%)
    IKEY$ = INPUT$(1)
    PRINT
    REM Calculate heat unit as biological scale, HU is limited to plantin date before 26 Nov
    REM SUKOTA1 use the same values as 7608
    IF ISOW% <= 330 THEN
      HU3R1 = 43.819 - .06239 * ISOW%: HU3R5 = 75.068 - .13107 * ISOW%
      HU3R6 = 95.013 - .1337 * ISOW%: HU3R7 = 117.849 - .1932 * ISOW%
      HU2R1 = 37.49 - .0469 * ISOW%: HU2R5 = 52.821 - .0699 * ISOW%
      HU2R6 = 78.664 - .1051 * ISOW%: HU2R7 = 95.277 - .1366 * ISOW%
      HU3R8 = 120.76 - .1916 * ISOW%      'R2=.98
      HU2R8 = EXP(4.8316 - .00266 * ISOW%)      'R2=.929
    ELSE
      HU3R1 = 10.56 + .0436 * ISOW%: HU3R5 = -30.65 + .1986 * ISOW%
      HU3R6 = 5.985 + .1488 * ISOW%: HU3R7 = 610.7 * ISOW% / (2881.8 + ISOW%)
      HU2R1 = 37.49 - .0469 * ISOW%: HU2R5 = .0945 * ISOW%
      HU2R6 = .1467 * ISOW%: HU2R7 = 22.617 + .1071 * ISOW%
      HU3R8 = 120.76 - .1916 * ISOW%      'R2=.98
      HU2R8 = EXP(4.8316 - .00266 * ISOW%)      'R2=.929
    END IF
    PRINT " GDD R1 : ", HU3R1
    REM Calc gdd between r6-r7
    IF CULT% = 1 THEN
      HUR1 = HU2R1: HUR5 = HU2R5: HUR6 = HU2R6: HUR7 = HU2R7
      HUR67 = INT((HU2R6 + HU2R7) / 2 + .3)      'OCB
      HUR56 = INT((HU2R5 + HU2R6) / 2 + .3)
      HUR8 = INT(HU2R8 + .3)
    END IF
    IF CULT% = 2 THEN
      HUR1 = HU3R1: HUR5 = HU3R5: HUR6 = HU3R6: HUR7 = HU3R7
      HUR67 = INT((HU3R6 + HU3R7) / 2 + .3)      'SK1
      HUR56 = INT((HU3R5 + HU3R6) / 2 + .3)
      HUR8 = INT(HU3R8 + .3)
    END IF
    PRINT " HUR5, HUR6, HUR67 : ", HUR5, HUR6, HUR67
    IKEY$ = INPUT$(1)
    REM Estimate downy onset when it is not known
    IF UCASE$(DY$) = "N" THEN
      IF CULT% = 1 THEN CALL DNYONS(IFAG%)
      IF CULT% = 2 THEN CALL SKDYONS(IFAG%)
      IF IFAG% = 2 THEN
        JDAS% = IRO%: DYON$ = "Y"
        PRINT " Downy onset(IRO%)(M/P) of CULT% : ", IRO%, CVAR$
      ELSEIF IFAG% = 1 THEN
        DYON$ = "Y"
        PRINT : PRINT " GDD : ", GDD(JDAS%)
        PRINT " Downy occurs late there is no need to spray "
      ELSEIF IFAG% = -1 THEN
        DYON$ = "N"
        PRINT : PRINT " No downy occur "
      END IF
      IF FLAG = 1 THEN
        IKEY$ = INPUT$(1)
        PRINT : PRINT " Press any key "
      END IF
      IF IRO% >= 25 THEN
        PRINT " Since Downy starts at or after 25 DAS, it is most likely "
        PRINT " that the disease will not be serious "
      END IF
    END IF
    ROCOU = 0
    IF DYON$ = "Y" THEN
      IF GDD(JDAS%) <= HUR5 THEN
        CALL DNYSEV(FLAG%)
      END IF
    END IF

```

```

IRS% = IRO% + NPE%
CLS
PRINT "-----"
PRINT "      %DOWNY      "
PRINT "      DAS      SEVERITY      "
PRINT "-----"
FOR I = IRS% TO JDAS% STEP NPE%
  PRINT SPC(7); TDISV%(I); SPC(6); TDCH(I)
  ROCOU = ROCOU + 1
NEXT I
PRINT "-----"
PRINT
INPUT "Want to save output (Y/N): "; OP$
IF UCASE$(OP$) = "Y" THEN
  PRINT : INPUT "Enter file name(W/O *.xxx) > "; NAM$
  NAM$ = NAM$ + ".DIS"
  OPEN NAM$ FOR OUTPUT AS #1
  PRINT #1, "TIS"; TIS
  PRINT #1, "DAS %DOWNY ATM RH"
  FOR I = IRS% TO JDAS% STEP NPE%
    PRINT #1, USING "####"; TDISV%(I);
    PRINT #1, USING "####.####"; TDCH(I)
  NEXT I
  CLOSE #1
END IF
'OP$
'Call subpro to calc area under the diseased curve when downy occurs
CALL AUDPC(RAUDY)
PRINT
PRINT " ** Area under the curve (of Downy) > "; RAUDY
REM Retrieve Raudpc of rust from the file
IF CULT% = 1 THEN RAUS$ = "RAUDV2.RUS"
IF CULT% = 2 THEN RAUS$ = "RAUDV1.RUS"
PRINT " File rust name : "; RAUS$
'INPUT "Enter rust file name : "; RAUS$
OPEN RAUS$ FOR INPUT AS #1
INPUT #1, TIS
INPUT #1, TI2$
INPUT #1, AURS, PTRUS
CLOSE #1
RAUDPC = AURS
PRINT " Area under the curve(from rust file): "; RAUDPC
REM Caccluate yield loss by combining the effect of two diseases
DYLOS = YLOSS(RAUDPC, RAUDY)
PRINT
PRINT " ** Yield Loss(%) due to downy and rust: 1 > ";
PRINT , USING "####.#"; DYLOS
print
REM CALL function to estimate % downy mildew at 55 or 60(SK1) DAS
IF CULT% = 1 THEN
  CRIDAS% = 55
ELSEIF CULT% = 2 THEN
  CRIDAS% = 60
END IF
PTYLOS = YLOSCRI(CRIDAS%, PTRUS)
PRINT " YIELD LOSS estiamted using point value > ";
PRINT , USING "####.#"; PTYLOS
IKEY$ = INPUT$(1)
ELSE
  PRINT : PRINT " ** Downy onset occurs but it is late **"
END IF
'GDD
ELSE
  PRINT " ** No Downy Mildew occur **"
END IF
'DYON$
END
'+++++
SUB AUDPC (RAUDY) STATIC
' Calculate relative area under the disease progress curve
STATIC AUDP, COUNT%, KLAS%
AUDP = 0: COUNT% = 0: KOUT = 0
FOR K% = IRO% TO JDAS% - NPE% STEP NPE%
  IF CULT% = 1 THEN
    IF TDISV%(K%) >= 25 AND TDISV%(K%) <= 58 THEN
      KLAS% = K% + NPE%

```

```

IF TDCH(K%) = 0 AND TDCH(KLAS%) = 0 THEN GOTO NEXROUN
COUNT% = COUNT% + 1: IF COUNT% = 1 THEN DAY1% = TDISV%(K%)
Y1 = TDCH(K%): Y2 = TDCH(KLAS%)
AREAF = (Y1 + Y2) * (TDISV%(KLAS%) - TDISV%(K%)) / 2
AUDP = AUDP + AREAF
PRINT " K,AUDP : ", K%, AUDP
END IF 'TIME < 58
ELSEIF CULT% = 2 THEN
IF TDISV%(K%) >= 29 AND TDISV%(K%) <= 68 THEN
COUNT% = COUNT% + 1: KLAS% = K% + NPE%
IF TDCH(K%) = 0 AND TDCH(KLAS%) = 0 THEN GOTO NEXROUN
IF COUNT% = 1 THEN DAY1% = TDISV%(K%)
Y1 = TDCH(K%): Y2 = TDCH(KLAS%)
AREAF = (Y1 + Y2) * (TDISV%(KLAS%) - TDISV%(K%)) / 2
AUDP = AUDP + AREAF
END IF 'TDCH < 71
END IF 'CULT%
NEXROUN:
NEXT K%
RAUDY = AUDP * 100 / (TDISV%(KLAS%) - DAY1%)
PRINT " RAUDPC(%) under no Downy control > ", RAUDY
PRINT " Belong to Cultivar : ", CVAR$
PRINT " First and last date ", DAY1%, TDISV%(KLAS%)
PRINT : PRINT " * Press any key to continue "
SKEY$ = INPUT$(1)
END SUB 'AUDPC
'++++-----++++
FUNCTION CEPTER2 (MTM, MRH)
STATIC CEP%2
' Estimate intercept of logistic function under less favorable conditions
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 506 THEN
CEPT2 = EXP(.7387 + .001357 * TRH) 'Calc rate having y=1
ELSE
CEPT2 = EXP(.7387 + .001357 * TRH - .001413 * (TRH - 506))
END IF
PRINT " * Intercept in FN : ", CEP%2
IF CEP%2 < 0 THEN CEP%2 = 0
CEPTER2 = CEP%2
END FUNCTION 'rater0 fn
'++-----++
SUB DNYCUM (DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%) STATIC
' To accumulate downy mildew
REM TDISV%( ) time when severity is recorded
IF JDAS% - IRO% = NPE% THEN 'At this pt JDAS%>IRO% by NPE%
TDISV%(IRO%) = IRO%
IF DISCH <= 0 THEN
TDCH = 0
ELSE
TDCH = .0003
END IF
END IF
PRINT " HUR5, HUR56 : ", HUR5, HUR56
TDD = TDCH(JDAS% - NPE%)
IF GDD(JDAS%) >= 17 AND CINT(DISCH * 1000) < .014 THEN
DISCH = RATEL * (1 - TDD) * TDD
END IF
IF CVAR$ = "OCB" THEN
IF GDD(JDAS%) < 17 THEN
IF DISCH > .03 THEN
DISCH = RATEL * DISCH
ELSEIF DISCH < 0 THEN
DISCH = 0
END IF
END IF
IF GDD(JDAS%) > HUR56 AND DISCH > .065 THEN
DISCH = RATEL * TDD * (1 - TDD)
END IF
ELSEIF CVAR$ = "SK1" THEN
IF GDD(JDAS%) < 17 THEN
IF DISCH > .03 THEN

```

```

        DISCH = RATEL * DISCH
    ELSEIF DISCH < 0 THEN
        DISCH = 0
    END IF
    ELSEIF GDD(JDAS%) > HUR56 AND DISCH > .065 THEN
        DISCH = RATEL * TOD
    END IF
END IF
IF GDD(JDAS%) >= HUR5 AND DISCH < 0 THEN
    SDCH = SDCH
ELSE
    SDCH = SDCH + DISCH
END IF
    TDCH = TDCH + DISCH
IF SDCH < 0 THEN SDCH = 0
    TDCH(JDAS%) = TDCH          ' total disease severity at DAS
IF GDD(JDAS%) > HUR56 AND TDCH(JDAS%) > 1 THEN
    FLAG% = -1
    EXIT SUB
END IF
    TDISV%(JDAS%) = JDAS%
    PRINT " DISCH in CUM : ", DISCH
    PRINT " SDCH, JDAS% in CUM > ", SDCH, JDAS%
    PRINT "TDCH(I) at DAS in CUM sub ", TDCH(JDAS%)
IF SDCH >= .085 THEN
    IF SPRADAY% > (6 + NSPRA) THEN
        IF GDD(JDAS%) <= HUR56 THEN
            CALL DYSPRAY(FLAG%, NSPRA)
            SPRAY$(JDAS%) = "Y"
        ELSE
            BEEP
            PRINT
            PRINT "+-----+"
            PRINT "+                                +"
            PRINT "+ NO Spray. the plant is beyond critical age  +"
            PRINT "+++++++"
            PRINT " Press any key to continue "
            IKEY$ = INPUT$(1)
            SDCH = 0: SPRAY$(JDAS%) = "N"
        END IF
        'GDD < 51
    ELSEIF SPRADAY% <= (6 + NSPRA) THEN
        FLAG% = 1          'spraying time not due
    END IF
    ELSE
        FLAG% = 1          'Severity is still low <.12
    END IF
END SUB          'SUB DNYCUM
'++-----++
SUB DNYONS (IFAG%) STATIC
    SHARED KFAGO%
    STATIC I1%, IDAY%
    ' Estimate time of downy mildew onset for OCB
    REM SPRDAY-for counting # days from the start of processing
    REM IFAG% = 1 for onset signal and the plant is too old
    REM IFAG% = -1 for the NO disease onset and IFAG%=2 Downy Onset
    NDIF% = IEND% - ISOW%: L1% = NDIF% MOD NPE%
    ENDON% = IEND% - L1%          'Calc new value of stopping date
    DLENON% = ENDON% - ISOW%: GLENON% = ISOW% + DLENON%
    PRINT "Adj growing season : ", GLENON%
    PRINT " CULT # : ", CULT%
    IKEY$ = INPUT$(1)
    NFAV = 0: UNFAV = 0: IDAY% = ISOW%
READCY:
    STM = 0: SRH = 0: NRF = 0: SHR9 = 0: I1% = IDAY%
    IF I1% > GLENON% THEN
        IFAG% = -1: DYON$ = "N"
        PRINT " End of estimation ": IDAY%
        EXIT SUB
    END IF
    FOR J% = 1 TO NPE%
        L% = I1% + J% - ISOW%
        STM = STM + ATM(L%)          'Calc mean temp over NPE% days
        SRH = SRH + RH(L%)          'starting from SOWING
    
```

```

    SHR9 = SHR9 + HRH9(L%)
NEXT J%
IDAY% = IDAY% + NPE%
IDAS% = IDAY% - ISOW%
PRINT : PRINT " +++++ NEW ROUND +++++" 'True DAS used to +1
PRINT "IDAS% in SUB "; IDAS%
IKEY$ = INPUT$(1)
MTM = STM / NPE%; MRH = SRH / NPE%; MHR9 = SHR9 / NPE%
PRINT "MTM, MRH, MHR9 : "; MTM, MRH, MHR9
REM If sowing is early than 16 July then use HRH9 for calc onset
IF ISOW% < 198 AND ISOW% >= 122 THEN
IF MTM >= 29 OR MTM < 18 THEN
PRINT: PRINT "Temp is unfavorable for downy development "
UNFAV = UNFAV + 1; IFAG% = -1
PRINT "JDAS% :"; IDAS%
GOTO READCYI
ELSE 'T>29 OR <18 ---on--- 1
IF IDAS% > 25 THEN
IF MHR9 > 15 THEN MHR9 = 15
IF MHR9 >= 6 THEN
NFAV = NFAV + 1
IF NFAV >= 2 THEN
IRO% = FHRRH9(MHR9)
IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
BEEP: IDAS% = IRO%
PRINT "ONSET TIME when pd before July :"; IRO%
BEEP
IKEY$ = INPUT$(1)
CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
IFAG% = KFAGO%
ELSE
GOTO READCYI
END IF
ELSE 'of hrh9
PRINT
PRINT "RH is unfavorable for downy development "
UNFAV = UNFAV + 1; IFAG% = -1
PRINT "IDAS% :"; IDAS%
GOTO READCYI
END IF
ELSE 'MHR9 > 6
GOTO READCYI 'When das < 25
END IF 'IDAS > 25
END IF 'T > 29
END IF '1 MAY< SOWING < 16 JULY
IF ISOW% >= 198 AND ISOW% < 360 THEN
IF MTM >= 29 OR MTM < 18 THEN
PRINT
PRINT "Temp is unfavorable for downy development "
UNFAV = UNFAV + 1; IFAG% = -1
PRINT "IDAS% :"; IDAS%
GOTO READCYI
END IF 'T>29 OR <18 ---on--- 2
IF MTM > 25 AND MTM < 29 THEN
IF MRH > 75 THEN
PRINT "IDAS% :"; IDAS%
IF IDAS% > 10 THEN
NFAV = NFAV + 1
IRO% = ONDYCAL(MTM, MRH)
IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
BEEP: IDAS% = IRO%
PRINT
PRINT "Das DOWNY is on,DAYS, 2: "; IRO%, TDISV%(IDAS%)
BEEP
IKEY$ = INPUT$(1)
CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
IFAG% = KFAGO%
ELSE
GOTO READCYI
END IF 'IDAS% > 10
ELSE
PRINT
PRINT "Temp is unfavorable for downy development "

```



```

II% = ONSET%: NSPRA = 0: NFAV = 0: JDAS% = IRO%      'JDAS% <> 1
COEFS = .594      'Susceptibility to downy of SK1
HUNI = 15      ' Define heat unit for v3 onward
TDCH(IRO%) = .0005
GETDATA1:
IF GDD(JDAS%) <= HUR6 THEN
    SPRADAY% = NPE%: SDCH = 0
ELSE
    PRINT "End of epidemic 1 "; II%
    PRINT "Press any key to continue "
    IKEY$ = INPUT$(1)
    EXIT SUB
END IF
PRINT " GETDATA 1 (SPRADAY%) > "; SPRADAY%
GOTO CONTNU
GETDATA2:
IF GDD(JDAS%) <= HUR6 THEN
    SPRADAY% = SPRADAY% + NPE%
ELSE
    PRINT " End of epidemic 2 "; II%
    EXIT SUB
END IF
PRINT " GETDATA 2 (SPRADAY%) > "; SPRADAY%
PRINT " GDD in DNYSEV "; GDD(JDAS%)
IKEY$ = INPUT$(1)
CONTNU:
STM = 0: SRH = 0: NRF = 0: I% = JDAS%: SHRW = 0: SHR9 = 0
FOR J% = 1 TO NPE%
    M% = I% + J% - 1
    STM = STM + ATM(M%)      'Calc mean temp over 5 days
    SRH = SRH + RH(M%)      'starting from ONSET
    SHR9 = SHR9 + HRH9(M%)
NEXT J%
II% = II% + NPE%
JDAS% = JDAS% + NPE%
NDAS% = JDAS% - NPE%      'Check the rel records
PRINT : PRINT " ++++++ NEW ROUND ++++++ ++++++ ++++++ "
PRINT : PRINT " JDAS% in DSEV "; JDAS%
MTM = STM / NPE%: MRH = SRH / NPE%: MHR9 = SHR9 / NPE%
PRINT "MTM, RH, HRH9 : "; MTM: SPC(4); MRH: SPC(4); MHR9
PRINT " RH*T in DYsev : "; (MTM - 10) * (MRH - 40)
IF MTM > 28.5 OR MTM < 19 THEN      '----sev----1
    DISCH = 0
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    IF FLAG% = -1 THEN
        EXIT SUB
    ELSEIF FLAG% = 1 THEN
        GOTO GETDATA2
    ELSEIF FLAG% = 2 THEN
        GOTO GETDATA1
    END IF
END IF
IF MTM <= 28.5 AND MTM >= 25.9 THEN      '----sev----2
    IF MRH > 75 THEN
        RATEL = RATER2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER2(MTM, MRH)
        PRINT "RATEL IN SUB 1 : "; RATEL
        YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
        DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
        IF CULT% = 1 THEN
            DISEV = DISEV
        ELSE
            DISEV = COEFS * DISEV
        END IF
        DISCH = DISEV - YPREV
        PRINT "DISCH, TDCH(t-1) SUB 1 : "; DISCH, YPREV
        CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    ELSEIF MRH < 75 AND MRH > 65 THEN
        DISCH = .005
        CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    ELSE
        DISCH = 0
        CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
    END IF
END IF

```

```

PRINT "JDAS,TDIS(t) TDCH(t) in sub 1: ", JDAS%, TDISV%(JDAS%), TDCH(JDAS%)
IF FLAG% = -1 THEN
  EXIT SUB
ELSEIF FLAG% = 1 THEN
  GOTO GETDATA2
ELSEIF FLAG% = 2 THEN
  GOTO GETDATA1
END IF
PRINT "Check FLAG(TEM(25,28)) = ", FLAG%
PRINT "Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
IF MTM < 25.9 AND MTM >= 24.5 THEN
  '25.5 < T <= 28
  '----sev----3
  IF MRH >= 72 THEN
    RATEL = RATER0(MTM, MRH): RATE0 = RATER0(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL IN SUB 3: ", RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    IF CULT% = 1 THEN
      DISEV = DISEV
    ELSE
      DISEV = COEFS * DISEV
    END IF
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT "Daily DIS,TDCH(t-1) SUB 2: ", DISCH, YPREV
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSEIF MRH < 72 AND MRH >= 65 THEN
    RATEL = RATER2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER2(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL IN SUB 2_2: ", RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    IF CULT% = 1 THEN
      DISEV = DISEV
    ELSE
      DISEV = COEFS * DISEV
    END IF
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT "Daily DIS,TDCH(t-1) SUB 2_2: ", DISCH, YPREV
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSE
    DISCH = 0
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  END IF
  PRINT " TDIS() TDCH() in sub 2: ", TDISV%(JDAS%), TDCH(JDAS%)
  IF FLAG% = -1 THEN
    EXIT SUB
  ELSEIF FLAG% = 1 THEN
    GOTO GETDATA2
  ELSE
    GOTO GETDATA1
  END IF
  PRINT "Check FLAG(TEM(17,25)) = ", FLAG%
  PRINT "Press any key to continue "
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF
IF MTM < 24.5 AND MTM > 23 THEN
  '24.5 < T < 25.9
  '----sev----4
  IF MRH >= 70 THEN
    RATEL = RATER0(MTM, MRH): RATE0 = RATER0(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL IN SUB 3: ", RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    IF CULT% = 1 THEN
      DISEV = DISEV
    ELSE
      DISEV = COEFS * DISEV
    END IF
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT "Daily DIS,TDCH(t-1) SUB 3: ", DISCH, YPREV
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSEIF MRH < 70 AND MRH >= 65 THEN
    RATEL = RATER2(MTM, MRH): RATE0 = CEPTER2(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL IN SUB 3_2: ", RATEL
    YMAXW = 1: YPREV = TDCH(NDAS%)

```

```

DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%)) 'Calc new sev
IF CULT% = 1 THEN
  DISEV = DISEV
ELSE
  DISEV = COEFS * DISEV
END IF 'CULT%
DISCH = DISEV - YPREV
PRINT "Daily DIS,TDCH(t-1) SUB 3_2: "; DISCH, YPREV
CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
ELSE
  DISCH = 0
  CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
END IF 'RH > 55
PRINT "TDIS() TDCH() in sub 3: "; TDISV%(JDAS%), TDCH(JDAS%)
IF FLAG% = -1 THEN
  EXIT SUB
ELSEIF FLAG% = 1 THEN
  GOTO GETDATA2
ELSE
  GOTO GETDATA1
END IF 'FLAG
PRINT "Check FLAG(TEM(17,25)) = "; FLAG%
PRINT "Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
END IF '23 < T < 24.5
IF MTM <= 23 AND MTM > 19 THEN '-----sev-----5
  IF MRH >= 71 THEN
    REM no cases have happened when rh > 75
    RATEL = RATER5(MTM, MRH); RATE0 = RATER0(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL IN SUB 4: "; RATEL
    YMAXW = 1; YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%))
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT "DISCH,TDCH(t-1) 4: "; DISCH, YPREV
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSEIF MRH < 71 AND MRH >= 57 THEN
    RATEL = RATER2(MTM, MRH)
    RATE0 = CEPTER2(MTM, MRH)
    PRINT "RATEL, YMAX IN SUB 4_2: "; RATEL
    YMAXW = 1; YPREV = TDCH(NDAS%)
    DISEV = YMAXW / (1 + EXP(RATE0 - RATEL * JDAS%)) 'Calc new sev
    IF CULT% = 1 THEN
      DISEV = DISEV
    ELSE
      DISEV = COEFS * DISEV
    END IF 'CULT%
    DISCH = DISEV - YPREV
    PRINT "Daily DIS,TDCH(t-1) SUB 4_2: "; DISCH, YPREV
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  ELSE
    DISCH = 0
    CALL DNYCUM(DISCH, RATEL, SPRADAY%, FLAG%)
  END IF 'RH > 70
  PRINT "TDIS() TOCH() in sub 4: "; TDISV%(JDAS%), TDCH(JDAS%)
  IF FLAG% = -1 THEN
    EXIT SUB
  ELSEIF FLAG% = 1 THEN
    GOTO GETDATA2
  ELSE
    GOTO GETDATA1
  END IF 'FLAG
  PRINT "Check FLAG(TEM(17,25)) = "; FLAG%
  PRINT "Press any key to continue "
  IKEY$ = INPUT$(1)
END IF '19 < T < 23
END SUB 'DNYSEV
'++-----++
SUB DYSPRAY (FLAG%, NSPRA)
'Check whether to SPRAY or not
IF NSPRA < 4 THEN
  IF GDD(JDAS%) <= HUR56 THEN
    BEEP
    PRINT "+++++++-----+++++++"
  
```

```

PRINT "+      Warning      +"
PRINT "+  Spray now if it looks serious OR in  +"
PRINT "+  the next few days      +"
PRINT "+++++++"
PRINT : PRINT " Waring on day(DAS) : ", JDAS%
PRINT "Press any key to continue"
IKEY$ = INPUT$(1)
NSPRA = NSPRA + 1      '#SPRAYS
FLAG% = 2      'Spray is needed
ELSE
PRINT "+++-----+++"
PRINT "+  There is no need to spray the      +"
PRINT "+  plant is beyond critical stage      +"
PRINT "+++-----+++"
END IF
ELSE
PRINT
PRINT " Don't Spray because it has sprayed >=4 times"
PRINT " Press any key to continue "
IKEY$ = INPUT$(1)
FLAG% = -1
END IF
END SUB      'DYSpray
+++++
FUNCTION FHRRH9 (MHR9)
' Estimate downy mildew onset for early rainy season sowing dates for
' OCB
AHRH9 = MHR9 - 6
ONDY = 55.67 - (9.0899 - .9272 * AHRH9) * AHRH9
FHRRH9 = CINT(ONDY)
END FUNCTION
+++++
SUB GSR5 (IDAS%, KFAGO%)
' Check whether DOWNY onset is too late to go on predicting disease progress
IF GDD(IDAS%) > HUR5 THEN
KFAGO% = 1      ' DYON$ = N OCB group
ELSE
KFAGO% = 2      ' DYON$ = Y
END IF
END SUB      'GDD
'GSR5
+++++
SUB JULIAN (DS, MS, YRS, NDAY) STATIC
' To convert date to Julian day
NDAY = 0
FOR I = 1 TO 12: NDY = MN(I)
IF I < MS THEN
FOR J = 1 TO NDY
NDAY = NDAY + 1
NEXT J
ELSEIF I = MS THEN
FOR J = 1 TO DS
NDAY = NDAY + 1
NEXT J
END IF
NEXT I
END SUB      'Julian
+++++
FUNCTION ONDSK (MTM, MRH)
' Estimate DOWNY onset for sowing dates before July 16, for Sukolai 1
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40)      'TEM* RH
PRINT " RH*T IN FN: ", TRH
ONDY = EXP(7.007 - .00424 * TRH)      'Calc onset having y=1
PRINT "Onset sk in FN: ", ONDY
IKEY$ = INPUT$(1)
ONDSK = CINT(ONDY)
END FUNCTION      'ondsk
+++++
FUNCTION ONDYCAL (MTM, MRH)
'Estimate onset on OCB for sowing date after 16 July season sowing
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1

```

```

TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
REM PRINT "RH*T IN FN: "; TRH
IF TRH < 785 THEN
  ONDY = EXP(3.271 - .00063 * TRH) 'Calc onset having y=1
ELSE
  ONDY = EXP(3.271 - .00063 * TRH + .00591 * (TRH - 785))
END IF
PRINT "Onset IN FN: "; ONDY
IKEY$ = INPUT$(1)
ONDYCAL = CINT(ONDY)
END FUNCTION
'++-----++
FUNCTION ONDYCSK (MRH)
' Estimate downy ONSET for sowing dates after July 16 for Sukotai 1
  ONDY = EXP(4.1161 - .01477 * MRH) 'Calc onset having y=1
  PRINT "Onset sk in FN: "; ONDY
  IKEY$ = INPUT$(1)
  ONDYCSK = CINT(ONDY)
END FUNCTION 'sk onset
'++-----++
FUNCTION RATER0 (MTM, MRH)
' Calculate intercept of logistic function
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
  TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
  INW = 1 / TRH
IF TRH <= 542 THEN
  DNY0 = EXP(.4932 + .00209 * TRH) 'Calc rate having y=1
ELSE
  DNY0 = EXP(.4932 + .00209 * TRH - .00179 * (TRH - 542))
END IF
REM An alternative FUNCTION
PRINT " " Intercept in FN: "; DNY0
IF DNY0 < 0 THEN DNY0 = 0
RATER0 = DNY0
END FUNCTION 'rater0 fn
'++-----++
FUNCTION RATER2 (MTM, MRH)
STATIC RAT2
' Calculate apparent rate of downy mildew for less favorable conditions
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
  TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
IF TRH < 600 THEN
  RAT2 = EXP(-4.844 + .003354 * TRH) 'Rate for ymx=1 use lin
ELSE
  RAT2 = EXP(-4.844 + .003354 * TRH - .01335 * (TRH - 600))
END IF
PRINT " " RATE IN FN: "; RAT2
IF RAT2 < 0 THEN RAT2 = 0
RATER2 = RAT2
END FUNCTION 'raters fn
'++-----++
FUNCTION RATERS (MTM, MRH)
' Calculate apparent rate of downy mildew for more favorable conditions
IF MTM <= 10 THEN MTM = 10.1
IF MRH <= 40 THEN MRH = 40.1
  TRH = (MTM - 10) * (MRH - 40) 'TEM* RH
  INW = 1 / TRH; TRH2 = TRH * TRH
IF TRH < 539.6 THEN
  RAT1 = EXP(-5.2997 + .00485 * TRH)
ELSE
  RAT1 = EXP(-5.2997 + .00485 * TRH - .00687 * (TRH - 539.6))
END IF
REM An alternative
PRINT " " RATE IN FN: "; RAT1
IF RAT1 < 0 THEN RAT1 = 0
RATERS = RAT1
END FUNCTION 'raters fn
'++-----++
SUB SKDYONS (IFAG%) STATIC
STATIC I1%, IDAY%
SHARED KFAGO%

```

```

* Estimate downy onset for Sukotai 1
REM SPRDAY-for counting # days from the start of processing
REM IFAG% = 1 for onset signal and the plant is not too old
REM IFAG% = -1 for the NO disease onset and IFAG%=2 Downy Onset
NDIF% = IEND% - ISOW%: L1% = NDIF% MOD NPE%
ENDON% = IEND% - L1% 'Calc new value of stopping date
DLENON% = ENDON% - ISOW%: GLENON% = ISOW% + DLENON%
PRINT "Adj growing season :"; GLENON%
PRINT " CULT # :"; CULT%
IKEY$ = INPUT$(1)
NFAV = 0: UNFAV = 0: IDAY% = ISOW%
READCYS:
STM = 0: SRH = 0: NRF = 0: SHR9 = 0: I1% = IDAY%
IF I1% > GLENON% THEN
  IFAG% = -1: DYON$ = "N"
  PRINT "End of estimation "; IDAY%
  EXIT SUB
END IF
FOR J% = 1 TO NPE%
  L% = I1% + J% - ISOW%
  STM = STM + ATM(L%) 'Calc mean temp over NPE% days
  SRH = SRH + RH(L%) 'starting from SOWING
  SHR9 = SHR9 + HRH9(L%)
NEXT J%
IDAY% = IDAY% + NPE%
IDAS% = IDAY% - ISOW% + 1 'True DAS
PRINT : PRINT "++++ NEW ROUND +++++"
PRINT "IDAS% in SUB "; IDAS%
IKEY$ = INPUT$(1)
MTM = STM / NPE%: MRH = SRH / NPE%: MHR9 = SHR9 / NPE%
PRINT "MTM, MRH, MHR9 : "; MTM, MRH, MHR9
'If sowing is early than 16 July then use Hrrh9 for calc onset
IF ISOW% < 198 AND ISOW% >= 122 THEN
  IF MTM >= 29 OR MTM < 18 THEN
    PRINT "Temp is unfavorable for downy development "
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :"; IDAS%
    GOTO READCYS
  ELSE 'T>29 OR <18 ---sko--- 1
    IF IDAS% > 40 THEN
      IF MHR9 > 15 THEN MHR9 = 15 'indicate lot of rain
      IF MHR9 >= 8 THEN
        NFAV = NFAV + 1
        IF NFAV >= 2 THEN
          IRO% = ONDSK(MTM, MRH)
          IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
          BEEP: IDAS% = IRO%
          PRINT " ONSET when pd before Jul, IDAS 1 :"; IRO%, IDAS%
          BEEP
          IKEY$ = INPUT$(1)
          CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
          IFAG% = KFAGO%
        ELSE
          GOTO READCYS
        END IF
      ELSE 'NFAV
        'OF HRH9
        PRINT " RH is unfavorable too low "
        UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
        PRINT " IDAS% :"; IDAS%
        GOTO READCYS
      END IF
    ELSE 'MHR9 > 6
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSE 'When das < 25
    IF IDAS% > 40
    END IF
  ELSE 'T > 29
    IF IDAS% >= 198 AND ISOW% < 360 THEN
      IF MTM >= 28.5 OR MTM <= 18 THEN
        PRINT "Temp is unfavorable for downy development "
        UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
        PRINT " IDAS% :"; IDAS%
        GOTO READCYS
      END IF
    ELSE 'T >29 OR <18 ---sko--- 2

```

```

IF MTM >= 26.5 AND MTM <= 28.5 THEN
  IF MRH > 80 THEN
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    IF IDAS% >= 40 THEN
      IRO% = ONDYCSK(MRH)
      IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
      BEEP: IDAS% = IRO%
      PRINT
      PRINT " Das DOWNY(IRO) is on, 2: ", IRO%
      IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSEIF MRH > 75 AND MRH <= 80 THEN
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    IF IDAS% >= 35 THEN
      IRO% = ONDYCSK(MRH)
      IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
      BEEP: IDAS% = IRO%
      PRINT
      PRINT " Das DOWNY(IRO) is on, 2_2: ", IRO%
      IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSE
    PRINT "Temp is unfavorable too low or high"
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    GOTO READCYS
  END IF
END IF
IF MTM >= 24 AND MTM < 26.5 THEN
  IF MRH > 76 THEN
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    IF IDAS% > 12 THEN
      IRO% = ONDYCSK(MRH)
      IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
      BEEP: IDAS% = IRO%
      PRINT
      PRINT " Das DOWNY(IRO) is on, 3: ", IRO%
      IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSE
    PRINT "Temp is unfavorable for downy development"
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    GOTO READCYS
  END IF
END IF
IF MTM < 24 AND MTM > 18 THEN
  IF MRH > 71 THEN
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    IF IDAS% > 12 THEN
      IRO% = ONDYCSK(MRH)
      IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
      BEEP: IDAS% = IRO%
      PRINT : PRINT " Das DOWNY(IRO) is on, 4: ", IRO%
      IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSE
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    IF IDAS% > 10 THEN
      IRO% = ONDYCSK(MRH)
      IF IRO% < IDAS% THEN IRO% = IDAS%
      BEEP: IDAS% = IRO%
      PRINT
      PRINT " Das DOWNY(IRO) is on, 4: ", IRO%
      IKEY$ = INPUT$(1)
      CALL GSR5(IDAS%, KFAGO%)
      IFAG% = KFAGO%
    ELSE
      GOTO READCYS
    END IF
  ELSE
    PRINT "Temp is unfavorable too low or high"
    UNFAV = UNFAV + 1: IFAG% = -1
    PRINT " IDAS% :", IDAS%
    GOTO READCYS
  END IF
END IF

```

```

PRINT "Temp is unfavorable too low or high "
UNFAV = UNFAV + 1; IFAG% = -1
PRINT " IDAS% :"; IDAS%
GOTO READCYS

END IF
' RH > 71
END IF
'T > 18 OR < 24 --SKO--- 4
ND IF
' SOWNING > 16 JULY
ONSET% = IRO% + ISOW%: JDAS% = IDAS%
PRINT " Downy onset(DAS,jday) :"; IRO%, ONSET%
PRINT " Flag IN DYNON > "; IFAG%
PRINT : PRINT "PRESS ANY KEY TO CONTINUE"
IKEY$ = INPUT$(1)
ND SUB
'SKDYNON
+++++
UNCTION YLOSCRI (CRIDAS%, PTRUS)
TATIC DISDIF, TDIFF, SQROO, PTDNY, PTLOS
Estimate yield loss due to rust and downy mildew using single-point model
RS% = IRO% + NPE%
OR I% = IRS% TO JDAS% - NPE% STEP NPE%
IF I% = CRIDAS% THEN
PTDNY = TDCH(I%)
EXIT FOR
ELSEIF I% > CRIDAS% THEN
DISDIF = TDCH(I%) - TDCH(I% - NPE%) 'dis difference
TDIFF = TDISV%(I%) - TDISV%(I% - NPE%) 'Time diff
DISCR = DISDIF * (CRIDAS% - TDISV%(I% - NPE%)) / TDIFF 'dis increm
PTDNY = TDCH(I% - NPE%) + DISCR 'dis at CRIDAS
EXIT FOR
END IF
NEXT I%
IF CULT% = 1 THEN
SQROO = .1276 * PTRUS + .0939 * PTDNY * 100
PTLOS = SQROO * SQROO 'OCB
ELSEIF CULT% = 2 THEN
SQROO = .1864 * PTRUS + .0872 * PTDNY * 100
PTLOS = SQROO * SQROO 'SK
END IF
YLOSCRI = PTLOS
PRINT " % Downy at a given time : "; PTDNY * 100
PRINT " YIELD LOSS estimated at "; CRIDAS%: " DAS = "; PTLOS
IKEY$ = INPUT$(1)
ND FUNCTION
+++++
UNCTION YLOSS (RAUDPC, RAUDY)
TATIC SQROO, SAREA
Estimate yield loss when RAUDPC is the sum of downy and rust using
SAREA = RAUDPC + RAUDY
F CULT% = 1 THEN
SQROO = .1377 * SAREA 'ocb
LOSS = SQROO * SQROO
ELSEIF CULT% = 2 THEN
SQROO = .1611 * SAREA 'SK1
LOSS = SQROO * SQROO
END IF
YLOSS = LOSS
ND FUNCTION
YLOSS

```