作物生產及運銷專家系統整合與促進研討會論文

農業氣象資訊在專家決策系統之應用與發展方向

申雍[1*]、陳守泓[2]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]農委會農業試驗所農業工程組

摘要

專家系統具有整合、累積領域專家之知識與經驗的功能，將會逐漸被使用於與農業生產活動中各類需要進行判斷與抉擇的工作。農業氣象子系統是農業專家決策系統中重要的一環，若專家決策系統能依據各地區氣候之特性、遭受氣象災害損失的風險評估、以及相關防護和改良措施之經濟效益評估，並配合土壤特性、現有栽培面積和市場行情預測方面的資訊，提供具潛力的作物名單供農會和農友選擇，又能提供適當的栽培管理措施指導、運銷體系規劃等之建議，不僅可以減少市場供需不平衡的發生機會，達到穩定農產品價格的目的；對於農友開發新產品，滿足國人對於產品多樣化的要求也會有所助益。為完成上述之構想，目前已完成農業氣象資料庫及相關查詢介面之建置工作，可提供有關地區氣候特性、農業氣象災害發生頻率及簡易的災害風險和經濟效益評估等資訊；也已開發作物和土壤方面的資料庫及相關查詢介面，可提供作為推薦適栽作物的基礎。期盼能有更多的同好參與，增加資料庫內的基礎資料和相關專家知識，並繼續擴增可用資料庫的種類，共同為朝向建置一個具整合型功能的農業專家決策系統努力。

* 通信作者, yshen@nchu.edu.tw
投稿日期：2005 年 10 月 26 日
接受日期：2005 年 12 月 26 日
作物、環境與生物資訊 3:51-63 (2006)
Crop, Environment & Bioinformatics 3:51-63 (2006)
189 Chung-Cheng Rd., Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC

關鍵詞：專家系統、資料庫、知識經濟、農業生產、氣象災害。

Applications and Directions of Using Agrometeorological Information in Agricultural Decision Expert System

Yuan Shen[1*] and Shou-Hung Chen[2]

[1] Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung 40227, Taiwan ROC

[2] Division of Agricultural Engineering, Taiwan Agriculture Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 41301, Taiwan ROC

ABSTRACT

Expert systems, being capable of integrating and accumulating the knowledge and experiences of domain experts, will gradually be applied in many agricultural activities requiring decision-making. Agrometeorological subsystem is an important portion of an agricultural decision expert system. Based on information regarding climatic characteristics, risks of agrometeorological disasters, and economical feasibility evaluations of mitigation techniques, in conjunction with other information such as soil characteristics, plantation acreages, market prediction, etc., an agricultural decision expert system may supply a recommendation list to farmers and their associations for selecting potentially profitable crops to produce new product. It is expected that, with proper management guidance and marketing assistance from governmental authorities, agricultural commodity's price may be stabilized by reducing the chances of having imbalanced production and marketing. The demand of general public to have a variety of new product can also be satisfied.

With the above mentioned goals in mind, an agrometeorological subsystem and accompanying crop and soil subsystem have been developed. More cooperated colleagues are welcomed to join the project to develop an integrated agricultural expert management system.

Key words: Expert system, Database, Knowledge-based economy, Agricultural production, Agrometeorological disaster.

前言

農業生產是一個依循個人和眾人經驗逐漸改良並獲得精進的事業，舉凡作物種類的選擇、栽培時序的調整、植株的管理、施肥與噴藥的操作、乃至於產品的運銷，都隱含有過去經驗的教訓。因此當農友在生產過程中遇到沒有個人經驗可依循的地方，多會向農會指導員、產銷班班友，以及農改場、試驗所或大學內的專家請教。然而，不論班友、指導員或專家，個人的經驗都極其有限，只能就其所熟悉的部份做出建議，而無法有整體性的考量，因此農友經常仍需從錯誤的教訓中學習新的經驗。

專家系統係將專家的經驗，經過知識獲取、理解、分析等步驟，用合適的表達方法存入知識庫後，再通過推理機制來協助求解，具有整合、累積不同領域專家知識與經驗的功能。專家系統內所含的相關知識越多，所考量的範疇越廣，也就越能提供適切的建議，並減少發生錯誤的機會(Tuthill 1993)。農作物的產量和品質不僅受作物品種遺傳特性的影響，在作物生育過程中也同時受到氣象、土壤、病蟲害、…等立地環境因素的影響；而農產品的價格除受品質影響外，還受到供需、儲藏、運銷、…等社會經濟因素的影響(Barrett and Jones 1989, Plant and Stone 1991, Shen 2001)。因此，一個理想的農業專家決策系統所涵蓋範圍與考量的層面必須既廣且深。

氣象環境是作物生長的重要立地環境因子之一，每種作物的發育和生長都需有適當的氣候條件。作物適地適作，不僅生長狀況良好，對病蟲害的抵抗力亦強、品質與產量亦最佳，只要稍加管理即可達到經濟生產；否則即使投下大量的資本及人力以改善立地的微氣象環境，往往仍達不到所要求的品質及產量。因此，氣象條件是否合宜通常是農業專家決策系統首先需要考量的項目之一。一般而言，作物立地環境的氣象條件需分別從平年值、極端值和空間變異三方向進行考量。平年值係該地區長年的平均變化，如利用每月之平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫、累積雨量進行氣候區的分類，可作為選擇適栽作物的初步依據(EcoCrop，2001)。此外，與光週期現象有關的日照時間長短，與春化作用有關的低溫需求，與作物需求和病蟲害有關的相對溼度，以及與空污傷害有關之盛行風向等也都是應該考量之平年資料。極端值則是位居發生頻譜兩端的當地氣象狀況，雖然發生頻率少，但卻是導致作物遭受災損的主要原因。此外，受地形與地貌之影響，田間微氣象環境會有很大的空間變異(Barfield and Gerber 1979, Rosenberg *et al*. 1983, Monteith and Unsworth 1990)，例如南向坡通常較北向坡的溫度高但溼度低，山頂的風速則常較谷地為高，這些細微空間變異之處，常是造成同一地區作物品質不一的重要關鍵。

臺灣地區氣候資源豐富，可以生產之作物種類繁多，但受地形、季風及海洋和大陸相關位置的影響，各類氣象災害亦多。農民為利用所擁有的氣候和土地資源，通常無法兼顧氣候上的安全性，所以經常會因農業氣象災害而蒙受損失。若能依據歷年之氣象觀測資料，提供可能遭受之氣象災害損失的風險評估，並開發相關之防護與栽培管理措施，協助農民因應異常氣象災害，以減輕因異常氣象災害所招致的損失，對於農民將有很大的幫助。此外，價格好之作物的栽培生產面積常不斷擴大，但是當生產面積大幅增加後，即發生嚴重產銷失衡的現象，導致價

格慘跌而使得農民遭受重大經濟損失(92 年柳橙滯銷即為一實例)，且自加入 WTO 後，國內農田休耕面積逐年增加，如何避免優良農地荒廢損失，並提高農民收益(如斗南農會以農企業方式實施計畫生產紅蘿蔔、牛蒡、馬鈴薯外銷日本、香港)，實為農業界所有同仁無法逃避的問題。

依據以往從事農業氣象研究之經驗，深深感到農業氣象在專家決策系統中可以且應該負擔一重要之角色，然而一直缺少適切的應用工具，因此產生自行開發農業氣象專家諮詢系統的想法，擬作為個人為農民服務和進行研究工作時的工具。以下乃就開發農業氣象專家諮詢系統之理念，目前已具備之功能，以及未來仍應加強發展之重點提出報告，敬請諸位先進和同好指正與參考。

農業氣象專家諮詢系統之開發理念

需要農業氣象諮詢服務的農民大約可分為兩大類，一類係對目前所栽種作物的獲益已很滿意，但可能仍遭受某種程度的農業氣象災害損失，因此希望尋求防護措施之建議；另一類則係對目前所栽種作物的獲益並不滿意，希望尋求獲益更高之適栽作物的建議。第一類的問題主要牽涉當地氣象災害的發生機率，以及所建議防護措施的經濟效益。第二類則不只涉及當地氣象環境的評估，還應包括對作物、土壤、產銷等多方面的考量。由於後者的涵蓋範圍較大，且會包含對氣象災害防護之建議，因此以開發可提出適栽作物建議的整合性諮詢系統為主要目標。

由於氣候和土壤特性通常不易變動，但市場價格卻極易受外在因素影響而波動，若推薦的作物具有高收益的潛力，鄰近或其他地區農民一定會仿傚種植，則市場價格很可能因產銷失衡而暴跌。因此本系統所推薦的作物不應僅侷限於臺灣現有的栽培種類，而是應該依據全球已知作物的特性，配合當地氣候與土壤之特性，以及現有種植面積和市場價格等因素，盡量提供具潛力之作物優缺點的評比表(Table 1)，由農民(或農企業)依據所掌握之生產技術以及對市場行銷遠景之看法，自行決定擬投入經營的作物種類。由於生產技術和產銷體系都需一段時日才能建立，因此雖然同一塊土地可有許多種適合栽種的作物，但卻只能選擇一種(或少數幾種)經營，農政單位若能在生產專區規劃和運銷措施等方面給予協助，並藉由相關之輔導和補助措施，將有助於維持生產秩序，減少發生產銷失衡之風險。

基於上述之理念，認知到擬開發的專家諮詢系統至少應包含有關作物、氣候、土壤、產銷等方面的相關資訊。在作物方面，需儘可能含括多種作物有關主要產地、用途、生育期長、可能產量、適合作物生長之氣候與土宜條件、作物遭受氣象災害逆境之條件、以及基本栽培管理措施需求等資料，以做為作物推薦的基礎。在氣候方面，需可依據作物資料中各生育階段的需求和發生氣象逆境的條件，由當地(或鄰近地區)之氣象觀測紀錄，就各氣象因子之平年值、相關氣象災害發生機率、以及田間微氣候環境空間變異等項目進行分析，以便評估該作物是否適合在當地種植，並就可能之氣象災害提出防護措施建議。土壤方面需可依據作物的土宜條件，以及當地土壤的特性，評估是否適合在當地種植，並就可能之土壤改良措施提出建議。產銷方面需可提供有關作物現有種植面積、產期、市場價格走勢、…等相關資訊，以便進行獲利能力之評估。

應用此專家諮詢系統時，若已有特定目標作物，即可依據該作物所需的氣候和土宜條件，分析當地的氣候特性和土壤特性是否合宜，並依據產銷方面的資訊，分析獲利能力。若沒有特定目標作物，則可由使用者設定依當地氣候特性、土壤特性、生產面積最少、或市場價格最高等項目為條件(單一或複選)，篩選出候選作物名單，再依據作物資料

Table 1. Proposed evaluation form for crop recommendation.

Topic	Item	Weighting[1]	Ranking[2]
Basic information	Crop name		
	Acreage to be planted		
	Farm location		
	Target market		
Profit capability	Production cost		
	Gross income		
	Risk cost of agrometeorological disasters		
	Profit for taking mitigation techniques		
	Cost of soil improvement	(to be filled in)	
	Profit for making soil improvement		
	Profit capability score[3]		
Difficulty evaluation	Land acquirement		
	Finance acquirement		
	Labor supply		
	Production techniques		
	Marketing		
	Difficulty evaluation score[3]		
General score[3]			

[1] The importance attached, given based on self-judgement.
[2] Profit ranking from low to high, cost ranking from high to low, difficulty ranking from hard to easy.
[3] Score = ∑weighting × ranking.

檢討分析當地氣候和土壤特性是否合宜，以及該作物的獲利能力。

系統現有功能說明

由於認知到擬完成之系統非常複雜，無法在短期內完成，因此採用分年逐期開發的策略。1994 年起首先開始自行撰寫氣象方面的諮詢功能，並逐步開始發展有關作物和土壤方面的諮詢功能。但受限於個人可投入之時間有限，因此進度並不如預期順利，直至近年得以委託專業公司協助撰寫軟體，系統發展速度才得以加快，目前仍在持續依據上述開發理念逐漸改良與發展中。

慮及在現場推廣應用時，可能沒有網路連線可以運用，因此田間應用時採用可攜式個人電腦為主的單機作業方式為主，使用前由資料庫主機下載最新資料即可。電腦作業系統可使用 Windows 98 或 Windows 2000，資料庫採用 SQL 資料庫格式，應用程式主要採用 Visual Basic 語言撰寫，並搭配地理資訊系統軟體 MapInfo 和電子地圖協助查詢。系統操作介面以圖形視窗及交談命令視窗之架構，配合工具列、狀態列、地圖功能等，讓命令執行及交談作業更為友善與便利。同時也以物件導向(object oriented)觀念及模組化設計，以方便日後程式之更新與維護，未來如要作功能擴充或與其他系統結合，亦具可行性及相容性。並分為管理者、使用者、和查詢者三種等級權限，管理者可使用所有功能；使用者除使用者維護及代碼維護功能外皆可使用；查詢者則僅可使用查詢及列印功能。

氣象資料諮詢部分，已將過去百年的每日氣象觀測紀錄輸入資料庫，包含之氣象測站分為中央氣象局之局屬站，遙測自動氣象雨量站，農業氣象觀測網一、二級測站，和專用站四類。使用者可利用地形圖或直接輸入座標位置，選擇搜尋中心並設定搜尋範圍後，由系統自動列出位於搜尋範圍內四類測站的分佈位置(Photo

1)，使用者即可依需求選擇適當測站進行相關氣象資料查詢。查詢功能包含各種氣象災害發生機率查詢(Photo 2)，各種統計資料查詢(Photo 3)，以及實際觀測記錄查詢(Photo 4)三大部分。其中氣象災害發生機率查詢部分，除可由使用者輸入受損程

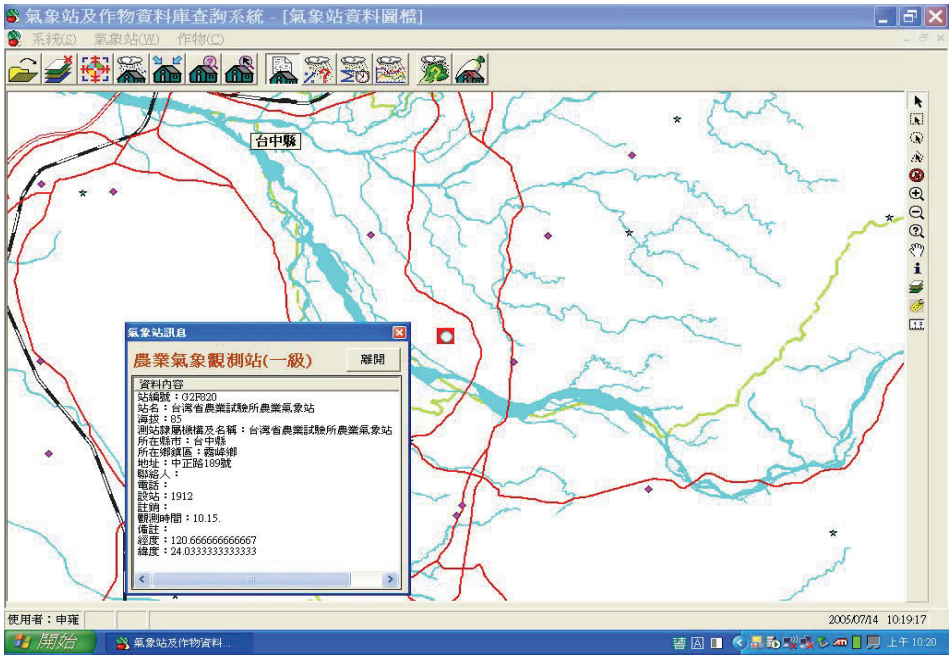


Photo 1. Reading information of meteorological stations.

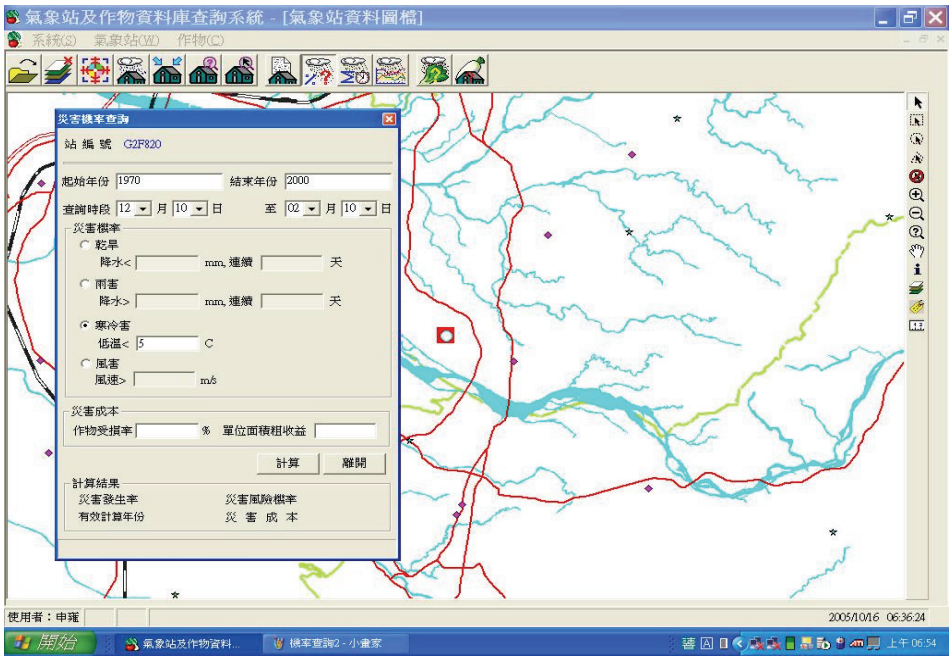


Photo 2. Computing occurring probabilities of agrometeorological disasters.

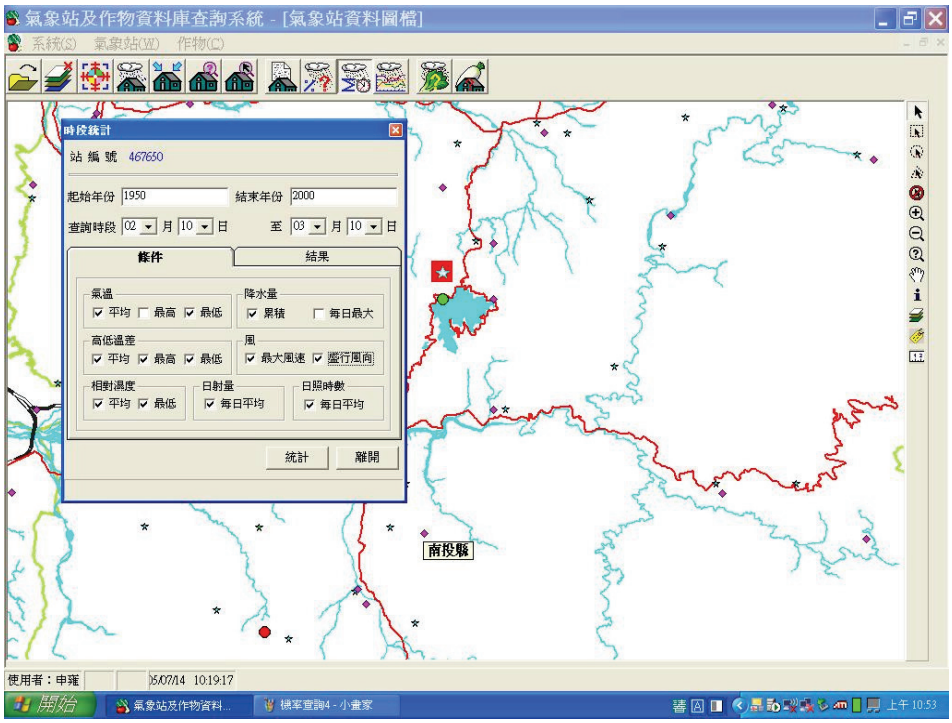


Photo 3. Selecting items of meteorological observation for making statistics.

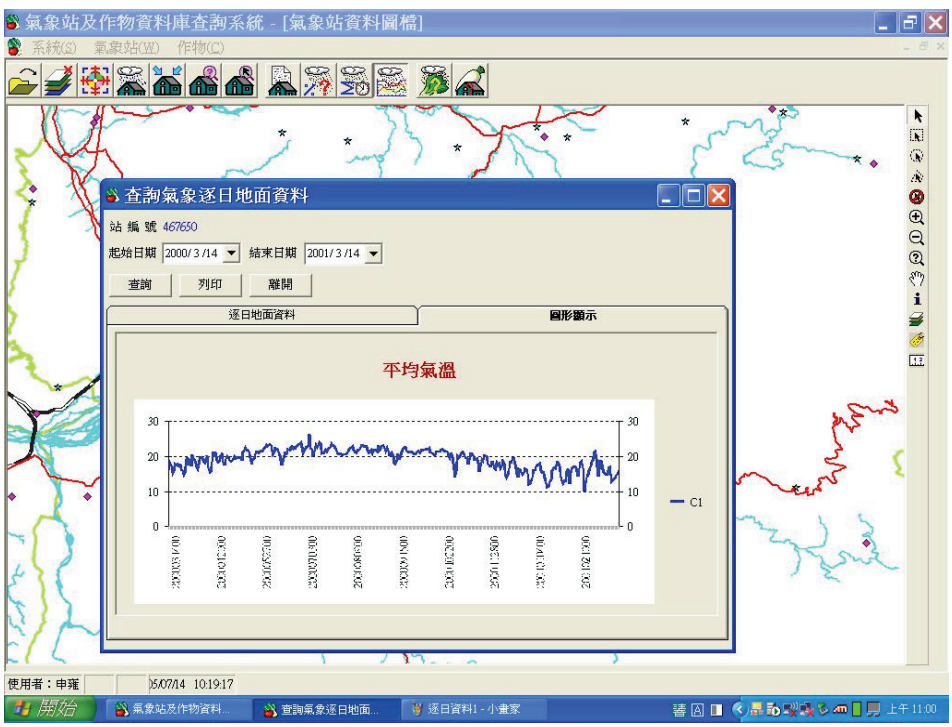


Photo 4. Displaying historical weather data.

度估計值，計算災害發生的風險機率外，若使用者能提供成本資料，系統將進一步計算該氣象災害所需負擔的風險成本(Photo 5)，可供協助農民判斷設置防護措施是否合乎經濟效益。

在作物諮詢方面，許多前輩的知識和經驗仍多以文字敘述方式表之，必須先轉換成資料庫的型態才能由電腦程式進行搜尋和利用，因此將作物資料分為基本資料、生育需求、氣象災害、以及栽培管理技術四大部分。基本資料部分主要包含作物的名稱、產地、用途、氣候和土宜等項目(Photo 6)。生育需

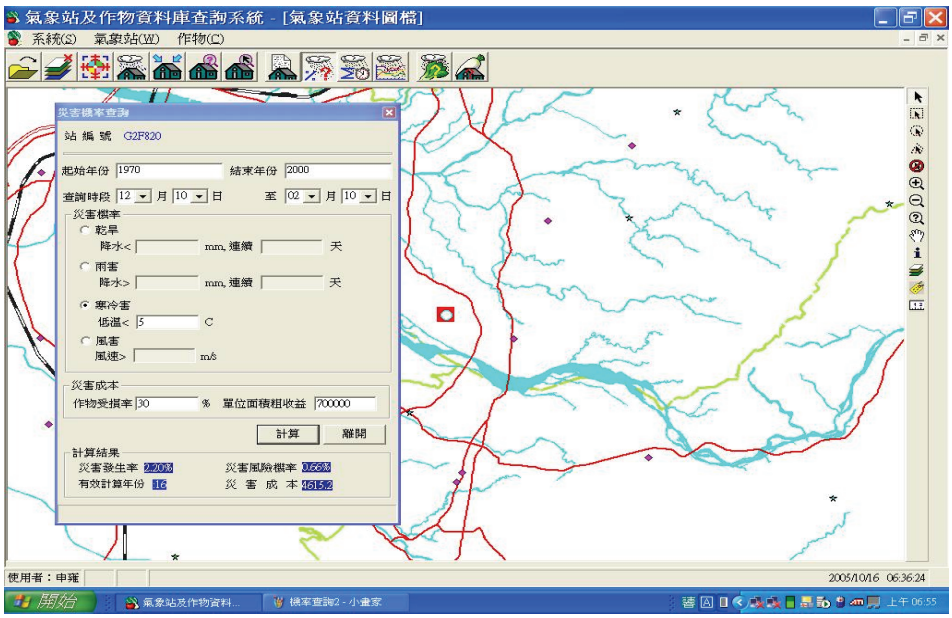


Photo 5. Displaying risk cost estimation of agromeorological disasters.

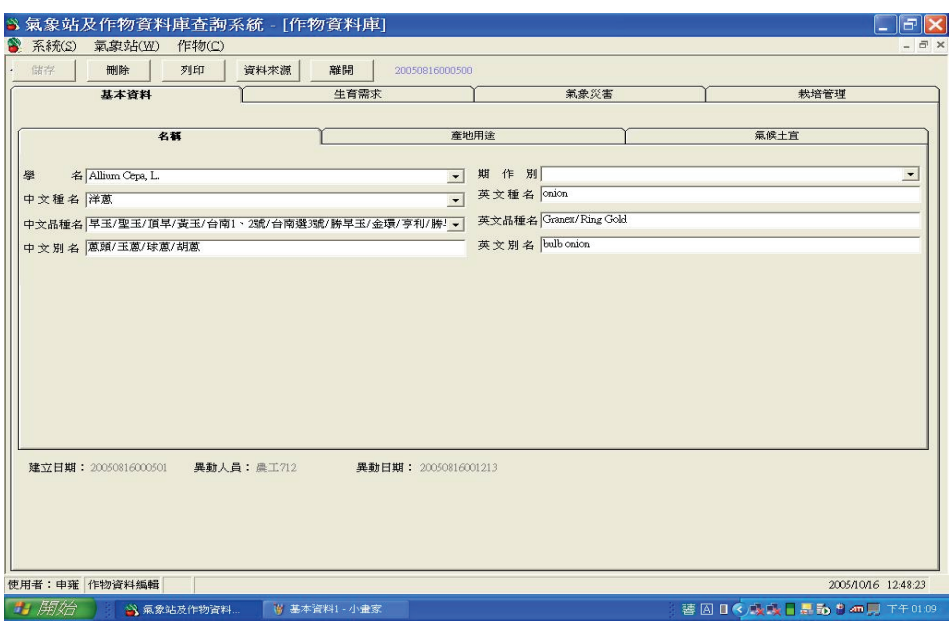


Photo 6. Entering crop variety information.

求部分主要包含各生育階段的最高和最低適溫、日夜溫差、日照需求、日射需求、灌溉需求等項目(Photo 7)。氣象災害部分主要包含各生育階段發生低溫、暴雨、降雨、淹水、乾旱、強風、焚風等氣象逆境之條件(Photo 8)。生育需求和氣象災害之項目可視需要再

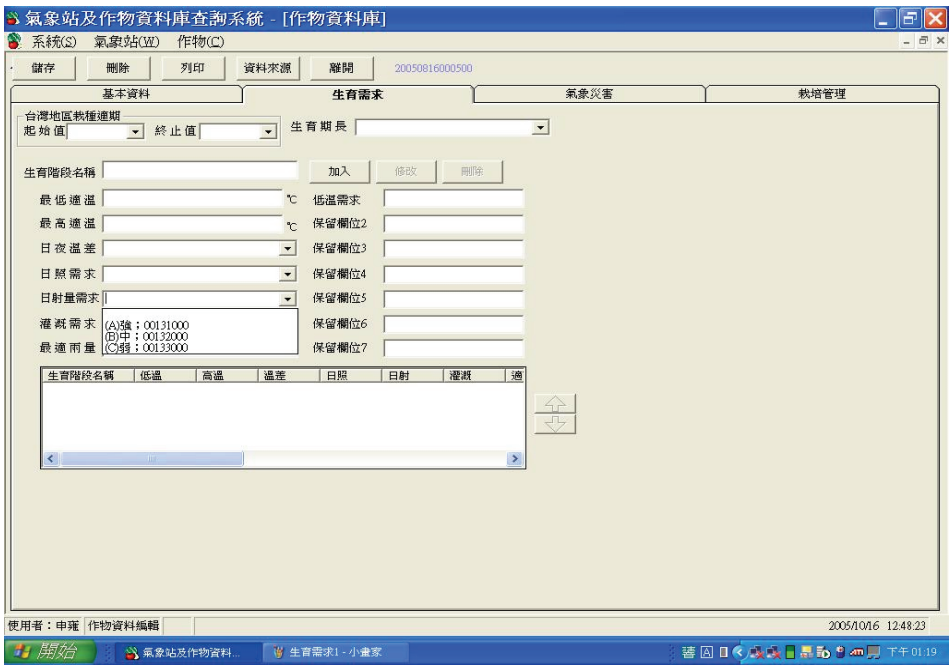


Photo 7. Entering growth demand information.

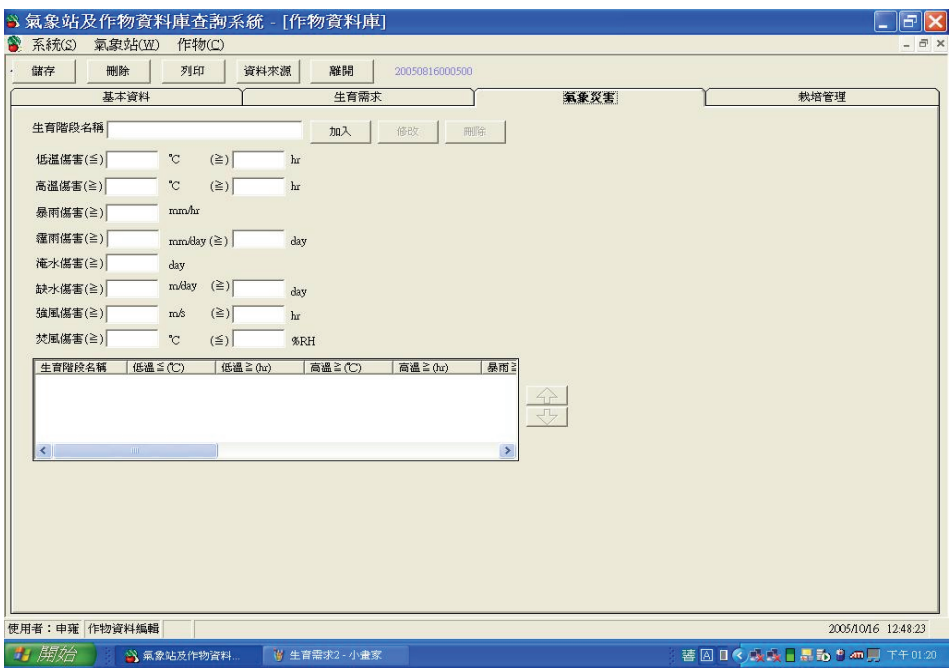


Photo 8. Entering agrometeorological disaster conditions.

新增。栽培管理技術部分主要包含栽培法、肥培法、病蟲害和空污傷害等項目(Photo 9)。填報資料來源和填報人也都有記錄可查，以便利確認資料的正確性(Photo 10)。目前作物資料庫的內容正在依據已出版的書籍、研究報告和網路資料逐步充實與改正中，若有學者專家願意提供個人經驗與知識，以豐富作物資料庫的內容，可安排以遠端連線的方式進入資料庫主機，以方便填寫或修正相關資料。

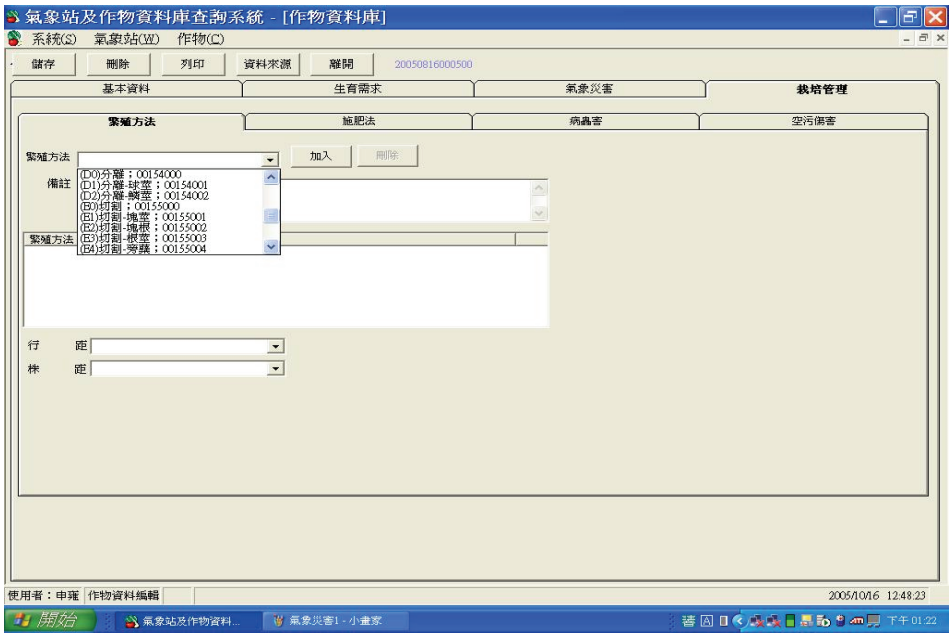


Photo 9. Entering crop management information.

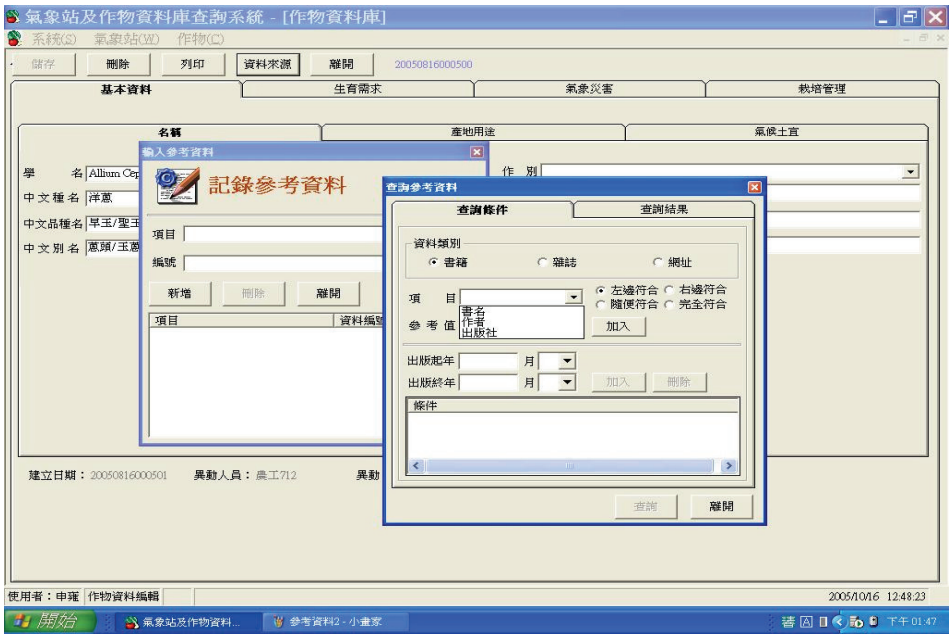


Photo 10. Entering reference information.

土壤諮詢部分，所使用資料主要採用農試所建置完成的臺灣耕地土壤調查資料，但新增由中興大學土壤環境科學系楊策群教授所創議的土壤內部排水等級屬性(Chen 1994)。可以直接查詢所在農地的土壤性質是否符合作物需求(Photo 11)；也可以依據 Guo *et al*. (2003)或 Hseu *et al*. (2003)提出之土壤管理組，或由使用者自行定義適當之土壤管理組(Photo 12)，進行有關作物推薦和土壤管理等方面之應用；也可套疊農業氣候分區圖(Kuo 1980)、行政區域圖或遙測影像分析圖，進行區內土壤管理組分佈區位與面積調查，是查詢最適種植區位分佈位置的有利工具。

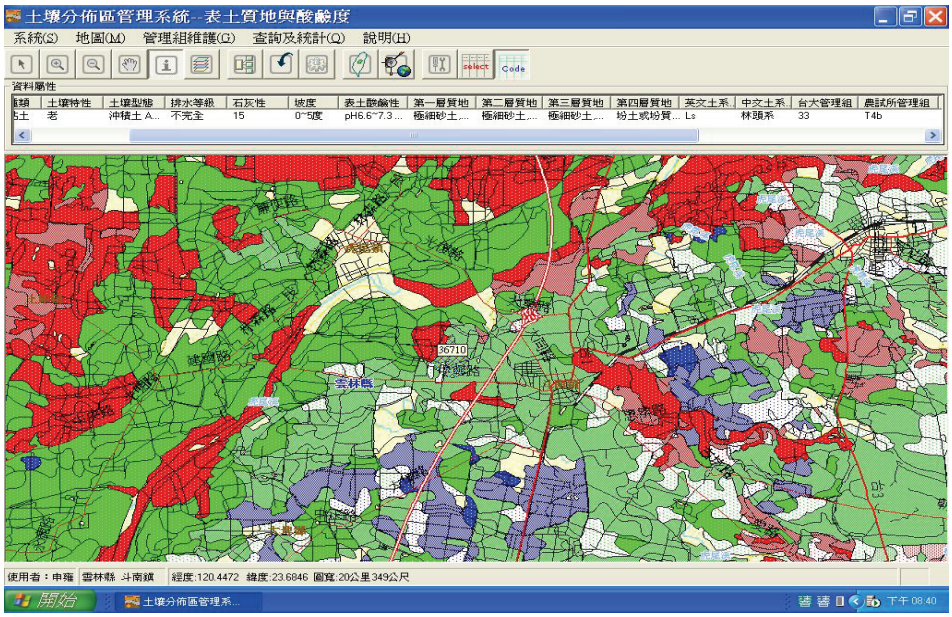


Photo 11. Inquiring soil characteristics.



Photo 12. Making soil management groups.

產銷資料庫目前尚未建立，不過農委會與農糧署都已建立有相關資料庫及網頁，可利用網際網路前往查詢各地交易量、交易金額、行情單價、進出口貿易統計、...等資料(Photos 13-14)。未來若能取得資料庫內容使用權，應可結合農經與運銷專家撰寫相關程式，以提供獲利能力的預估。



Photo 13. Web page of Agriculture Production and Marketing Group's Information Service Networking.



Photo 14. Web page of Agriculture Produce Trade Price Station.

系統未來發展方向

由以上對系統功能之說明，可知目前系統架構和內容雖已略具雛形，但仍有許多亟待改進和新增之處，以下乃就與農業氣象相關之部分說明目前所認知仍需加強的方向。

一、氣象資料之面化

目前系統必須由使用者依據農地所在位置，利用系統所提供之氣象測站位置和種類的資訊，選擇適當測站進行有關平年值和災害發生機率的計算，若鄰近地區沒有氣象觀測站，或當地地形複雜，則計算所得之氣候特性資料可能會有相當之誤差(Shen and Huang, 1996)，如果能將目前點狀的資料轉換為面化的資料，將可改善所提供氣候特性的準確性。將氣象資料面化的方法，可考慮利用地理統計技術(如 Shen and Chen, 1997)，統計降尺度技術(如 Lin et al., 2005)，或應用農試所委託 Oregon 大學完成之台灣地區月平均最高和最低氣溫以及月平均累積雨量分佈圖(Daly，2002)等方式進行。

二、氣象知識庫之增強

目前系統並未內建有關微氣象空間變異的判釋知識，必須由使用者依據當地地形和地貌給予進一步的闡釋，未來系統中可將一些常見的狀況先以表列的方式提醒使用者注意，再思考如何將這些狀況加入系統的自動判釋功能中。氣象災害防護措施的防護效果會因措施的防護特性，以及災害的強度和持續時間而定；而氣象災害的風險成本為正常收穫時的市場價格與氣象災害風險機率的乘積，其中氣象災害風險機率又等於災害發生機率乘以作物受損率(Shen and Chen 1997)。因此必須藉由執行測試防護措施效益的農業氣象試驗研究計畫，以及文獻回顧的方式，收集和累積各種災害境況下災害發生條件、作物受損率及不同防護措施的防護效果，以正確評估各種防護措施的經濟效益。

三、氣象預報之應用

本系統所含的資訊內容，除了可協助產生有關適栽作物和農業氣象災害防護措施等屬於長期性的決策外，對於短期內現有作物栽培管理策略的決定可能也有幫助。目前中央氣象局所發布之一週天氣，以及月和季的長期天氣展望等氣象預報，尚未被普遍應用在農業產銷的實務操作上。如何應用這些氣象預報資訊，協助農友調整作物種植、管理和收穫的時序，以及商家的訂貨時機、數量和價格，也將是未來重要發展方向之一。

結語

專家系統的開發就像每個人的學習歷程一樣，在知識和資料不斷擴充與更新的狀態下，專家系統的功能也將不斷擴充，尤其當開始使用後，由於使用者的需求，各種新功能與新用途必將不斷出現，因此很難從一開始就完全定義需含的功能與彼此間的關係，也無法在一定期限內完成。必須仰賴有興趣的同好，共同更新與維護系統內既有的知識與功能，並不斷加入新的知識與功能，乃至於開發新的專家系統。

為配合知識經濟時代的來臨，農委會業已提出「發展農業知識管理應用」六年計畫，擬擴大農業管理知識庫，累積農業界各領域專家們長期所累積的知識與經驗，並配合已建置之多項基礎資料庫，建構完整的農業管理專家決策系統，並且運用網際網路與資訊科技工具，提供農民、農業專家與農業管理決策者使用，以提昇農業產業的競爭力。若能以此為基礎，聚集志同道合的朋友共同進行相關專家系統的開發工作，相信一個具實用價值的農業專家決策系統應指日可待。

引用文獻

Barfield BJ, JF Gerber (eds.) (1979) Modification of the Aerial Environment of Crops. ASAE. St. Joseph. 538pp.

Barrett JR, DD Jones (1989) Knowledge Engineering in Agriculture. ASAE monograph

No. 8. p. 214. ASAE. St. Joseph.

Chen CH (1994) The Classification and Mapping of Soil Management Groups in Taiwan. (in Chinese) MS. Theses. Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University.

Daly C (2002) Climate mapping with PRISM. p. 1-50. *In:* Proceeding of the Symposium on Development of Agricultural and Environmental Management Expert System. Taiwan Agriculture Research Institute, Taichung Hsien, Taiwan ROC.

ECOCROP1. (2001) http://www.clues.abdn.c.uk: 8080/directory/Crop/Crop15.html

Guo HY, TS Liu, CL Chu, CF Chiang (2003) Combination and application of current soil management groups currently used in Taiwan. (in Chinese) p. 1-20. *In:* Proceedings of the Symposium on Planning and Application of Soil Management Groups. Chinese Society of Soil and Fertilizer, Taiwan.

Hseu ZY, CC Tsai, ZS Chen (2003) Proposed new soil management divisions of Taiwan. (in Chinese) p.21-40. *In:* Proceedings of the Symposium on Planning and Application of Soil Management Groups. Chinese Society of Soil and Fertilizer, Taiwan.

Kuo WS (1980) Further Study on Agriculture-Climate Division in Taiwan. (in Chinese) Central Weather Bureau, Taipei. 205pp.

Lin SH, CM Liu, CD Chen (2005) Development of statistical downscaling method for simulating surface temperatures. (in Chinese) *In:* Proceedings of the Symposium on Climate Change and Sustainable Development. Global Climate Change Center, National Taiwan University, Tapei, Taiwan.

Monteith JL, MH Unsworth (1990) Principles of Environmental Physics. 2nd ed. Edward Arnold, London. 291pp.

Plant RE, ND Stone (1991) Knowledge-Based Systems in Agriculture. McGraw-Hill, New York. 364pp.

Rosenberg NJ, BL Blad, SB Verma (1983) Microclimate: The Biological Environment. 2nd ed. John Wiley & Sons, New York. 495pp.

Shen Y, SH Chen (1997) Spatial distribution of probabilities of rainstorm occurred during the Mei-Yu season in the southwest region of Taiwan and its application. **J. Agric. Meteorol.** 52: 841-848.

Shen Y, SW Huang (1996) Representative range of meteorological data collected in southwest region of Taiwan. (in Chinese) **Chinese J. Agromet.** 3: 33-43.

Shen Y (2001) Integrated agricultural expert management system and agricultural production. (in Chinese) p. 33-46. *In:* Proceedings of the Symposium on New Era of Crop Production–Applications and Development of agrometeorology in the 21st Century. Chinese Society of Agrometeorology, Taichung Hsien, Taiwan.

Tuthill GS (1993) Knowledge Engineering: Concepts and Practices for Knowledge-Based Systems. TAB Professional and Reference Books. New York. 372pp.

－編輯：楊純明