應用於水稻精準農業體系之知識與技術

楊純明
林俊義 主編



行政院農業委員會農業試驗所

應用於水稻精準農業體系之知識與技術

Knowledge and Technology for Rice Precision Farming System

農委會農業試驗所特刊第101號
ISBN 957-01-1173-9

應用於水稻精準農業體系之知識與技術

楊純明
林俊義 主編

本書收錄於2001年8月30日假行政院農業委員會農業試驗所國際會議廳舉行之「水稻精準農業體系之研究」計畫階段性成果研討會發表之研究論文

行政院農業委員會 農業試驗所

中華民國九十一年六月

Special Publication of TARI No.101
ISBN 957-01-1173-9

Knowledge and Technology for Rice Precision Farming System

Edited by

Chwen-Ming Yang, Ph.D.
Agronomist
Department of Agronomy
Taiwan Agricultural Research Institute

Chien-Yih Lin, Ph.D.
Plant Pathologist
Director General
Taiwan Agricultural Research Institute

Published by

Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture

June, 2002

國家圖書館預行編目資料

應用於水稻精準農業體系之知識與技術/楊純明、林俊義，主編 / 臺中縣 :
行政院 農業委員會農業試驗所
Knowledge and Technology for Rice Precision Farming System
2002(民91)
面: 19*26公分
ISBN 957-01-1173-9
1.精準農業-水稻
統一編號1009101465

應用於水稻精準農業體系之知識與技術

發 行 人 / 林俊義
編　　者 / 楊純明 林俊義
出 版 者 / 行政院農業委員會農業試驗所
地　　址 / 臺中縣霧峰鄉41301萬豐村中正路189號
電　　話 / 04-2330-2301，傳　眞/04-2333-8162
網　　址 / http://www.tari.gov.tw
印 刷 廠 / 學安文化事業有限公司
臺中市南區仁和二街78號，電話: 04-2286-1600
出版年月 / 2002年6月
版　　次 / 初版
展 售 處 / 三民書局，臺北市重慶南路一段62號02-2361-7511
國家書坊台視總店，臺北市八德路三段10號02-2578-1515轉643
五南文化廣場，臺中市中山路2號04-2226-0330
新進圖書廣場，彰化市光復路177號04-725-2792
青年書局，高雄市青年一路141號07-332-4910
售　　價 / 400元
統一編號(GPN): 1009101465
ISBN: 957-01-1173-9

Taiwan Agricultural Research Institute

Council of Agriculture
189 Chung-Cheng Road
Wufeng, Taichung Hsien 41301
Taiwan, Republic of China

Tel:+886-4-2330-2301
Fax:+886-4-2333-8162
Email: cmyang@wufeng.tari.gov.tw
Web sit: www.tari.gov.tw

Copyright © 2002 Taiwan Agricultural Research Institute
All Rights Resrved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means: electronically, mechanically, by photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the copying owner.

ISBN 957-01-1173-9
GPN: 1009101465
Special Publication of TARI No.101

Printed in Taiwan, Republic of China, by Shyue-An Press

目錄

作者 …… xi

序 …… vx

前言 …… vix

主題一： 遙測技術之應用

1 利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害 1
楊純明、鄭清煥、張義璋、余志儒

2 衛星及地面遙測資料應用於水稻生長及產量監測初步研究 19
吳啓南、蕭國鑫、徐偉城、廖子毅、陳大科、劉治中

3 應用遙測技術推估水稻產量之初探 41
申雍、章國威、李裕娟、楊純明、羅正宗

4 機載多頻譜遙測系統之建構與應用 53
劉振榮、林唐煌、郭宗華、梁志綱、梁隆鑫

5 利用遙測估算農作物蒸發散量之研究 67
鍾譯靚、劉說安、李天浩、梁隆鑫、楊純明、申雍、劉振榮

6 SPOT衛星影像之大氣改正模式及水稻反射率反演精度之評估 81
劉建慧、楊純明、劉振榮

7 水稻光譜資料庫管理系統之建置 91
劉建慧、楊聰仁、陳信吉、楊純明、申雍

主題二：稻株氮素之檢(偵)測

8 稻株氮營養狀態檢測技術 101
李裕娟、申雍、張愛華、章國威、楊純明、羅正宗

9 稻株含氮量遙測系統之開發 113
陳世銘、吳德輝、楊智凱、蔡養正、黃政偉、 繆八龍

10 簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用 129
申 雍、李裕娟

主題三：土壤營養與施肥

11 應用土壤資料庫於水稻精準農耕土壤肥力分佈之探討 139
郭鴻裕、劉禎祺、譚增偉、朱戩良、劉滄棪、葉明智

12 水稻產量與植體營養元素含量之相關性 153
張愛華、劉禎祺、李艷琪、朱戩良

13 水稻精準施肥決策系統初擬 165
陳琦玲、林毓雯、王鐘和、張瑞明、劉滄棪

主題四：適用於水稻精準農業之農機系統

14 精準農業水稻產量分佈偵測系統 177
盧福明、蔡致榮、張福祥、黃國祥、林連雄、林達德

15 GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業 191
廖盈達、葉仲基、梁連勝

16 變異率施肥系統之研究 203
謝禮丞、欒家敏、謝廣文、黃禮棟

名詞索引 219

Contents

Contributors xi

Preface vx

Foreword vix

Part 1: Applications of Remote Sensing Techniques

1 Evaluation of Leaf Folder and Leaf Blast Infestations in Rice Plants from Canopy Spectral Characteristics 1
Chwen-Ming Yang, Ching-Huan Cheng, Yih-Chang Chang and Jih-Zu Yu

2 Preliminary Study on Using Spaceborne and Ground-based Remotely Sensed Data for Rice Growth and Yield Monitoring 19
Chi-Nan Wu, Kuo-Hsin Hsiao, Wei-Chen Hsu, Tzu-Yi Liao, Ta-Ko Chen and Chi-Chnung Lau

3 Preliminary Study of Rice Yield Estimation by Remote Sensing Techniques 41
Yuan Shen, Kuo-Wei, Chang, Yuh-Jyuan Lee, Chwen-Ming Yang and Jeng-Chung Lo

4 Construction and Application of Airborne Multi-spectral Remote Sensing System 53
Gin-Rong Liu, Tang-Huang Lin, Tsung-Hua Kuo, Chih-Kang Liang and Long-Shin Liang

5 A Study on the Use of Satellite Image to Estimate Evapotranspiration over Crop Fields 67
Yi-Ching Chung, Yuei-An Liou, Tim Hau Lee, Long-Shin Liang, Chwen-Ming Yang, Yuan Shen and Gin-Rong Liou

6 Accuracy Assessment of the Atmospheric Correction Model and Retrieved Rice Reflectance for Spot Satellite Images 81
Chien-Hui Liu, Chwen-Ming Yang and Gin-Rong Liu

7 The Setup of Information System of Spectral Reflectance Database for Rice Paddy 91
Chien-Hui Liu, Tsung-Jen Yang, Sin-Ji Chen, Chwen-Ming Yang and Yuan Shen

Part 2: Detecting Nitrogen Content in Rice Plants

8 Techniques to Detect Nitrogen Content of Rice Plants 101
Yuh-Jyuan Lee, Ay-Hwa Chang, Yuan Shen, Kuo-Wei Chang, Chwen-Ming Yang, and Jeng-Chung Lo

9 Development of a Remote Sensing System for Rice Nitrogen Concentration Determination 113
Suming Chen, Te-Hui Wu , Chih-Kai Yang, Yang-Zenq Tsai, Cheng-Wei Huang and Pa-Lung Miao

10 Development and Application of a Simplified Hyperspectral Imaging System 129
Yuan Shen and Yuh-Jyuan Lee

Part 3: Soil Nutrient and Fertilization

11 Study the Distributions of Soil Fertilizer of Rice Precision Agriculture by the Soil Databases 139
Horng-Yuh Guo, Jen-Chyi Liu, Tseng-Wei Tan, Chien-Liang Chu, Tsang-Sen Liu and Ming-Chi Yeh

12 The Relationships between Rice Yield Variability with Crop Nutrients on Precision Agriculture 153
Ay-Hwa Chang, Jen-Chyi Liu, Yahn-Chir Lee and Chien-Liang Chu

13 Fertilization Recommendation System for Rice in Taiwan 165
Chi-Ling Chen, Yu-Wen Lin, Chong-Ho Wang, Jui-Min Chang and Tsang-Sen Liu

Part 4: Agricultural Machinery for Rice Precision Farming

14 The Rice Yield Mapping System 177
Fu-Ming Lu, Jyh-Rong Tsay, Fu-Shang Chang, Kuo-Hsiang Hwang, Lian-Hsiung Lin and Tate Lin

15 Development of a GPS-operated Sprayer-Spraying at a Destined Field and by a Fixed Flow Rate 191
Ying-Tar Liao, Chung-Kee Yeh and Lien-Sheng Liang

16 Study of the Variable Rate Fertilizing System 203
Li Cheng Hsieh, Jar-Minn Luan, Kuang-Wen Hsieh and Li-Duhng Hwang

Index 219

作　者

王鐘和，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

申　雍，國立中興大學土壤環境科學系

朱戩良，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

李天浩，國立臺灣大學土木工程研究所

李裕娟，行政院農業委員會農業試驗所農藝組

李艷琪，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

余志儒，行政院農業委員會農業試驗所應用動物組

吳啓南，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

吳德輝，國立嘉義大學生物機電工程學系

林唐煌，國立中央大學太空及遙測研究中心

林連雄，國立宜蘭技術學院生物機電學系

林達德，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

林毓雯，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

郭宗華，國立中央大學太空及遙測研究中心

郭鴻裕，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

徐偉城，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

陳大科，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

陳世銘，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

陳信吉，雲林科技大學電子與資訊工程技術學系

陳琦玲，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

章國威，國立中興大學植物學系

黃政偉，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

黃國祥，行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

黃禮棟，行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

梁志綱，國立中央大學太空及遙測研究中心

梁連勝，行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

梁隆鑫，國立中央大學太空及遙測研究中心

張愛華，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

張義璋，行政院農業委員會農業試驗所植物病理組

張瑞明，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

張福祥，國立岡山農工職校生物機電科

楊純明，行政院農業委員會農業試驗所農藝組

楊智凱，行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

楊聰仁，環球技術學院商業科技管理學系

葉仲基，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

葉明智，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

廖子毅，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

廖盈達，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

鄭清煥，行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護組

劉治中，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

劉建慧，環球技術學院資訊管理學系

劉禎祺，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

劉說安，國立中央大學太空及遙測研究中心

劉滄琴，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

蔡致榮，行政院農業委員會農業試驗所農業工程組

蔡養正，國立臺灣大學農藝學系

盧福明，國立臺灣大學生物產業機電工程學系

蕭國鑫，工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室

謝廣文，國立中興大學農業機械工程學系

謝禮丞，國立中興大學農業機械工程學系

鍾譯靚，國立中央大學太空及遙測研究中心

繆八龍，國立臺灣大學農業試驗場

羅正宗，行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所農藝組

譚增偉，行政院農業委員會農業試驗所農業化學組

欒家敏，國立中興大學農業機械工程學系

Contributors

Ay-Hwa Chang, Department of Agricultural Chemistry, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Fu-Shang Chang, Department of Bio-Electronics, National Kang-San Vocational School, Kang-San, Kaohsiung Hsien 820, Taiwan, ROC

Jui-Min Chang, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Kuo-Wei Chang, Department of Botany, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

Yih-Chang Chang, Department of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Chi-Ling Chen, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Sin-Ji Chen, Department of Electronic and Information Engineering, National Yunlin University of Science & Technology, Douliu 640, Taiwan, ROC

Suming Chen, Department of Bio-Industrial mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Ta-Ko Chen, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Ching-Huan Cheng, Department of Plant Protection, Chiayi Branch Station, Taiwan Agricultural Research Institute Chiayi 600, Taiwan, ROC

Chien-Liang Chu, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Yi-Ching Chung, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Horng-Yuh Guo, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Kuo-Hsin Hsiao, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Kuang-Wen Hsieh, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

Li-Cheng Hsieh, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

Wei-Chen Hsu, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Cheng-Wei Huang, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Kuo-Hsiang Hwang, Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Li-Duhng Hwang, Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Tsung-Hua Kuo, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Chi-Chnung Lau, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Tim Hau Lee, Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Yahn-Chir Lee, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Yuh-Jyuan Lee, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Chih-Kang Liang, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Long-Shin Liang, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Tzu-Yi Liao, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Ying-Tar Liao, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University Taipei 106, Taiwan, ROC

Lian-Hsiung Lin, Department of Bio-Mechatronics, National I-Lan Institute of Technology, I-Lan 260, Taiwan, ROC

Tate Lin, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Tang-Huang Lin, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Yu-Wen Lin, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Yuei-An Liou, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Chien-Hui Liu, Department of Information Management, Transworld Institute of Technology, Douliu 640,Taiwan, ROC

Gin-Rong Liu, Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

Jen-Chyi Liu, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Tsang-Sen Liu, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Jeng-Chung Lo, Department of Agronomy, Chiayi Branch Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi 600, Taiwan, ROC

Fu-Ming Lu, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Jar-Minn Luan, Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

Pa-Lung Miao, The Experimental Farm, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Yuan Shen, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

Tseng-Wei Tan, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Jyh-Rong Tsay, Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Yang-Zenq Tsai, Department. of Agronomy, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

Chong-Ho Wang, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Chi-Nan Wu, Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories, Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan, ROC

Te-Hui Wu, Department of Biomechatronic Engineering, National Chia-Yi University, Chiayi 600, Taiwan, ROC

Tsung-Jen Yang, Department of Commercial Technology, Transworld Institute of Technology, Douliu 640, Taiwan, ROC

Chih-Kai Yang, Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Chwen-Ming Yang, Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Ming-Chi Yeh, Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

Jih-Zu Yu, Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

序

隨著農業科學與生產技術的精進，近數十年來農業生產獲得大幅改善，增產足夠的糧食滿足人類的需求。然而畢竟地球上的自然資源是有限的，生態環境是脆弱的，當世界人口預估在2020年超過八十億關卡之後，現有知識與科技的增產效果可能難以配合大量糧食需要，生態環境可能受到嚴重的破壞。橫亙於眼前的是如何在永續經營農業的前題下餵養日益增長的人口，此一重要民生課題富含挑戰性，顯示吾人必須更加思考生態化的農業生產制度，在合理善用資源及不毀滅環境的嚴峻條件下尋找農業的出路。對於環境已受到相當損壞(害)而自然資源短缺的臺灣地區，考驗似乎更形嚴苛與急迫，確實亟待因應和解決。

二十一世紀的農業面臨生物科技、資訊科技及知識經濟三大衝擊，常令人陷入對科技的迷惘和知識的迷思，致使困惑於單向燦爛的泥沼而無以突破。其實經歷千百年漫長的實際耕作改良與實務經驗累積，現階段的農業知識與技術已有重大成就，較爲欠缺的是知識與技術的整合及長遠妥善的規劃。吾人已發現傳統上採取一致性的農耕作業方式忽略了天然和人爲連續性處理引起農田各定點的時空變異，長期以來已導致許多負面的環境問題，更在多年人造化學品的使用下愈形惡化。於是，在二十世紀末結合環保與永續經營理念及精準管理作法的「精準農業」作業系統乃因運產生，藉由差異性的因應處理，調和農田在空間、時間及預期上的三類變異，同步提升作物質量及環境保護機會而達到農業永續目的。

行政院農業委員會順應此一世界性農業發展潮流，特於八十九年度成立「水稻精準農業(耕)體系之研究」專案科技計畫，以前瞻性的眼光致力於研究與發展精準農業體系所需之關鍵知識、技術與組(元)件，期爲臺灣地區農業奠定嶄新風貌的根基。農委會農業試驗所自九十年度起承接此一先驅性研究，邀集相關學門領域人才全力執行計畫，並定期檢討與檢驗各項研發工作，本書即爲九十年度舉行之計畫階段性成果研討會發表之研究論文彙編而成。期盼本計畫之執行和成果推廣，未來得以將臺灣地區傳統的農業經營管理方式提昇至「精準農業」層次，引導國內農業朝向高科技及高效能時代邁進，促使加速農業生產技術升級，並使臺灣農業得以永續經營與發展。

林　俊　義

農委會農業試驗所所長

2002年6月

前　言

本書收錄於民國九十年八月三十日假農委會農業試驗所國際會議廳舉行之「水稻精準農業(耕)體系之研究」計畫階段性成果研討會發表之研究論文，依照統一格式彙整編輯而成。全書概分成四大主題共十六章，分由各相關領域之學者專家精心撰寫，內容豐富脈絡分明，涵蓋水稻精準農業(耕)體系有關之專門知識、技術與作業子系統，適合研究生程度和專業人士閱讀。

主題一『遙測技術之應用』，闡述遙測知識與技術在水稻精準農業體系上之多樣應用，從稻株生長追蹤、病蟲害與逆境監測、直至產量估測等，在水稻生育過程中扮演"眼睛"的監視角色，觀覽農田(土壤及稻株)的變異及環境效應引起之差異，提供二維空間之水稻生育現況資訊，作爲決策支援系統辨識與判讀用途。

主題二『稻株氮素之檢(偵)測』，係進一步以稻株氮營養爲例，說明如何快速而準確的評估稻株植體氮素含量，以瞭解並掌握水稻植株之氮營養狀態，俾實施因應氮肥精準管理，達到穩定生產質量及減輕非點污染目的。同時藉以引伸精準管理之重要與必要，據以大幅減少非必要的資材與農用化學品的投入，使得精準農業體系之運作兼具降低無效生產成本和保護環境功效。

主題三『土壤營養與施肥』，強調農田土壤肥力之變異、偵測及分析，陳述土壤資料庫之關鍵角色，以及其爲發展精準施肥決策支援系統之基礎。惟有充分瞭解土壤與水稻生產之對應關係，才能釐清土壤營養與水稻生育之相關，明辨偵測土壤性質與肥力變異分佈之必要性。並深刻體會變量施肥的道理和永續農業的眞諦，進而加強決策支援系統之研發。

主題四『適用於水稻精準農業之農機系統』，特別介紹三項水稻精準農業體系之重要農機具，水稻產量分佈偵測系統、全球定位自動噴藥機具及變異率施肥系統，使吾人初識適用於精準農業之農機系統。水稻產量分佈偵測系統用來收穫水稻產量，獲得農田產量變異分佈圖，此資訊一則予歸納和呈現農田各定點之土壤及環境變異對產量造成之最終影響，二則以提供下一期作農田耕犛與施用肥料(尤其基肥)之規劃依據。全球定位自動噴藥機具用以引領噴藥機具駛至定位，實施自動噴藥作業。若再加裝變異率組件，更能依照各定點病蟲害危害程度，施予變量噴藥操作進行最佳化病蟲害管理。變異率施肥系統則利用於水田變率深層施肥，具有節省肥料用量、減少施肥次數及提高產量效果，又因採取肥料深埋方式而兼有減輕肥料流失對環境造成的污染及過度施肥引起的土壤酸化現象。未來配備全球定位系統(GPS)後，更能發揮精準施肥及管理之功用。

農作物耕作系統可以根據合理而符合邏輯的特定需求操作，在主觀上設定產量與品

質的標準，在客觀上配合以補充或抵銷環境效應的措施。如此主動而積極的作爲運用在農耕流程上，不僅可以克服農田先天上的不足，又能夠彌補負面環境作用帶來的後天缺陷，得以在生產質量、環境保護與生態保育上達到三贏。這樣的理念及做法的融合就是精準農業(耕)的源由，當加上知識經濟的落實及現代化科技的應用，即可發展出解決特定狀況的精準農業體系。而隨著農業體質的轉變與擴張，科技的流通與進展，在農作物生產上的精準農業做法已延廣至林業、畜牧業及漁業等廣義的農業產業，爲農業注入一股嶄新的活力，也帶領農業突破過去一層不變的傳統框架晉昇至科技農業階段。

傳統農業和精準農業在追求農業的眞善美目標上是一致的，做法則不同，產生的結果也就不一樣。傳統的農耕採用平頭式的一致原則，將投入的資源(材)平均的施用在農田上，未考量土壤與環境的時空變異，各定點農作物受到的差別影響。因此，農作物的生產參差不齊，長期下來並將造成農地肥力的不均、資源使用的不當、及生態環境的污染與破壞。精準農業的變率施作原則是農耕觀念的革命性更新，採用「適地、適時、適作、適法」的務實經營管理，以差異性的做法消弭了時間、空間及操作上的變異，達到農地盡其肥力、資源(材)盡其利用、作物盡其生長之理想境界，當然能夠獲得最佳生產、最少污染及最大效能。所以，實施精準業體系預料將大幅翻修農耕制度，改善農業的經營管理型態，增進農業的知識經濟效益，從而提昇農業的生命力與競爭力，帶給農業新風貌和新願景。

林 俊 義
農委會農業試驗所

楊 純 明
農委會農業試驗所農藝組

利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害
1-18, 2002

1 利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害

楊純明[1]、鄭清煥[2]、張義璋[3]、余志儒[4]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[2]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護組
[3]行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
[4]行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘 要 ---------- 2
壹、前 言 ---------- 3
貳、稻熱病及瘤野螟 ---------- 4
參、光譜遙測 ---------- 4
肆、方法簡述 ---------- 5
伍、植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害 - 7
陸、結 語 ---------- 13
柒、引用文獻 ---------- 13

1 利用植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害

楊純明[1]、鄭清煥[2]、張義璋[3]、余志儒[4]
[1]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[2]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所植物保護組
[3]行政院農業委員會農業試驗所植物病理組
[4]行政院農業委員會農業試驗所應用動物組
E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

摘　要

本文研究旨在利用光譜遙測技術偵測近地面水稻植被反射光譜，以篩檢與病蟲害發生有關之光譜特徵，並試以進一步利用統計方法建立光譜特徵與病蟲害感染等級之關係，俾未來應用於水稻精準農業體系之病蟲害管理用途。本文收集遭受不等瘤野螟及稻熱病感染等級之水稻(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)植被光譜(350-2500 nm)，其中感染瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee)之植被光譜偵測於穀粒充實初期，感染稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)之光譜則記錄於最大分蘖期。近地面光譜遙測乃以田間可攜式高解析輻射光譜分(層)析儀(spectroradiometer, GER-2600，Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA)爲之，瘤野螟感染光譜計量測二天，稻熱病感染光譜計量測三天，皆於近午時刻(上午十時三十分至下午一時三十分之間)進行。瘤野螟之感染等級係依照受感染葉片數多寡區分爲0(健康株)、1、3、5、7及9等六級；稻熱病之感染等級則視受感染葉片之面積百分比區分，由0%(健康株)至25%不等，計有八等級。根據光譜各窄波段反射比與感染等級之相關強度分析(correlation intensity analysis)結果發現，各窄波段之反射比與感染等級之相關性不一，最大相關係數在感染葉稻熱病光譜出現在1436 nm位置(r=0.982**)，在感染瘤野螟光譜則落於2327 nm波長 (r=0.946**)。在光譜指數調查方面，發現RED/GREEN ratio(紅光波段谷底反射比與綠光波段波峰反射比之比值)、NIR (近紅外光波段波峰反射比)、RED、紅光臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值

波長(red edge mid point)等五項，均與葉稻熱病感染等級之間呈現顯著相關；而標準差值被指數(normalized difference vegetation index, NDVI)、RED/NIR ratio及RED/GREEN ratio等三項、則與瘤野螟感染等級相關顯著。又若將植被光譜三處特定窄波段GREEN、RED及NIR納入多變量(元)線性回歸分析(multiple linear regression (MLR) analysis)，在葉稻熱病部分發現所構建之三元回歸模式Y=-9.391+6.265RED+ 0.340NIR-3.381GREEN具有高達0.929之決定係數(determining factor or coefficient of determination, R^2)($P<0.01$)。在感染瘤野螟之光譜，包括此三特定窄波段之MLR分析，則最佳二元回歸模式Y=-3.742-3.742RED +8.616GREEN ($R^2=0.963$, $P<0.01$)已能解釋高達96%以上變異，增加NIR變數並無明顯成效。若由光譜範圍選取多個窄波段進行多變量(元)線性回歸分析，從葉稻熱病試驗之植被光譜選取8條窄波段之最佳三元回歸模式爲$Y=-21.401+ 1.162R_{620\ nm} +4.855R_{1436\ nm}-3.914R_{2198\ nm}$ ($R^2=0.980$, $P<0.001$)，由感染瘤野螟光譜選取6條窄波段之最佳二元回歸模式爲$Y=-8.749-2.336R_{550\ nm}+5.099R_{691\ nm}$ ($R^2=0.989$, $P<0.002$)，其中Y爲感染等級，$R_{i\ nm}$則爲特定i nm窄波段之反射比。

關鍵詞：水稻、稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)、瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis*)、感染百分比、感染等級、光譜特徵、光譜指數、多變量(元)直線回歸分析。

壹、前言

早期辨識及感染程度正確等級化之能力和效率，係農作物病蟲害評估與管理作業關鍵的一環，在精準農業(耕)制度中扮演重要角色。成功的農業生產系統需要充分的營養元素供給，亦需要搭配予有效的病蟲害管理。欲達到此一目的，必須要採行值得信賴且準確可行的方法，才能精準的偵測農田病蟲害，掌握農作物的生長狀態。遙測技術(remote sensing techniques)具有快速、非破壞、大量及大面積觀(偵)測被測標的物及週遭環境的特點，能夠有效率的獲得農田及農作物生育的狀態，因此目前已被廣泛利用於包括農業生產系統在內的許多產業日常運轉之中，當然也適用於精準農業體系之監測用途(Bauer, 1975; Bausch *et al*., 1994; Shibayama and Akiyama, 1991; Walburg *et al*., 1982; Yang and Cheng, 2001)。取自遙測之農田及農作物資訊，可以經由製圖及地理資訊軟體等工具描繪出農田及農作物之生物物理特性(biophysical attritures)空間變異分佈，提供農場經營者標示遭受病蟲害感染之特定地區(點)及其危害程度。再依照其病蟲原種類，選用適當的農藥或生物性控制寄生源進行適地、適時、適法、適量的處理，達到變異率精準管理的目的(標)。

如此，針對農田特定地區(點)的狀況(態)施予特定處理的農業經營管理方法與

農耕制度，即稱爲精準農業(Precision Agriculture, PA)，或稱精準農耕(Precision Farming, PF)、處方式農耕(Prescription Farming)、特定地點經營管理系統(Site-specific Management System)及變異率應用技術(Variable-rate Application Technology)等(林及楊，2000)。精準農業之特定地點經營管理方式，將有助於降低資材(源)投入，而減少環境污染與生態破壞，並獲得穩定生產品質與產量之回饋。

貳、稻熱病及瘤野螟

關於水稻之稻熱病記載，在中國和日本均可遠溯數百年，在西元1637年的中國古籍(Ou, 1985)中有"水稻熱病(rice fever disease)"的紀錄，日本亦於西元1704年的書冊中發現有疑似稻熱病的事蹟(Goto, 1955)。由於其廣適應力及普遍分佈，稻熱病被認爲係水稻的主要病害之一，近年來在大面積栽培水稻的農業地區均可發現其蹤跡，其致病之病原菌學名爲*Pyricularia oryzae* Cavara，可造成稻株葉片、莖節及不同部位之穗與穀粒發生如斑點(spots)及損傷(lesions)等病徵(Ou, 1985)；典型的病徵如葉片上出現的褐色或灰色斑點。分蘗期間的稻苗或稻株，在嚴重感染下可能致死，發生於穀粒充實期之水稻，在高度危害下則大幅減損產量。文獻上有許多報告顯示，在嚴重感染葉稻熱病及穗稻熱病的情況下，將導致水稻顯著減產(Goto, 1965; Padmanabhan, 1965; Katsube and Koshimizu, 1970; Awoderu and Esuruoso, 1974; Tien and Huang, 1975; Rodas and Rosero, 1975).

瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee (Lep., Pyralidae))，或稱水稻縱捲葉蟲(rice leaffolder or rice leafroller) (鄭，1987; Miyahara, 1981; Hiro, 1982)，乃臺灣地區主要的水稻蟲害之一(臺灣省水稻病蟲害發生預測，1985)，並廣見於亞洲各水稻栽培區(Hirao, 1982)。當感染此一蟲原時，初期呈現葉片捲縮現象，隨後受感染葉片出現白色條斑。發生情況嚴重時，可能影響產量，因此農民常噴施藥劑進行化學防治以避免減產。

瞭解農田之病蟲害發生分佈及危害等級，方能據以採行必要之因應措施與策略，及時防治排除災害或避免病蟲害之擴大。對於廣大栽植面積之農田，目測檢視雖然簡便易行，然而終究有其區域大小限制，準確性也可能未盡理想，難以掌握精確景況。因此，利用光譜遙測從事病蟲害之偵(檢)測有其需要與必要，尤其在遙測技術相關軟硬體日新月異的現代，大幅改進的光譜解析力、空間解析度及分析軟體，更使得估測與追蹤病蟲害發生與災情進展成爲可行。預料病蟲害造成之農作物植體外觀色澤及內、外在結構的變化，生理生化機制的調整，將會改變植被光譜，讓光譜變化的辨識與篩檢明顯與具體，充分反映植被外觀形體之高低起伏。

參、光譜遙測

眾所周知，水稻是臺灣地區栽植面積最廣的糧食作物，其生產的重要性兼具生活生態及國防民生價值，在農業政策上佔有獨特意義。隨著社會和環境的變遷、人事的凋零、以及農政機關的整併等因素，昔日行之有年的小區病蟲害預測員制度已不合時宜，且無以爲繼，不再適用漸趨集

團化與專業區化的大面積作法。光譜遙測正逢其時，在位居引領農耕制度轉型的臨界契機中，成爲具有應用潛力的生產工具之一。在病蟲害的經營管理上，及時提供病蟲害發生及危害程度之有用資訊，使得農民有機會獲得警訊，標示出特定位置進行防治。

光譜遙測可於不同空間載(平)台操作，從近地面、空中、直至外太空不等，視對空間觀測的需求來選擇適用的作業載台。現行高解析輻射光譜分(層)析儀可以依照需求放置於各種載台上，如近地面的三腳架、高空作業車、固定或活動高架等，中低尺度的熱氣球、直昇機、固定翼飛機等，高尺度與外太空的衛星、太空站、太空梭等，掃描不等大小區域的被測標的物。適用於不同載台的光譜儀之設計、解析度及操作系統有別，各如其分的提供影像、光譜及其他資料(訊)。距離地面愈遠的作業載台，除了光譜儀本身的光譜解析力之外，尚須考量空間解析度、大氣干擾、地理幾何校正及太陽視角等不同的問題，完整作業系統十分的複雜。相較之下，適用於近地面的田間可攜式高解析輻射光譜分析儀則較爲簡單，可以視需求選擇掃描波段範圍及波段數目與解析度，架設於較簡單的載台及使用較單純的系統操作。

近地面光譜遙測受到外在各種環境因子的干擾較小，因此能夠提供所謂"地眞"資料，用以驗證及校正其他空間載台獲得之遙測資訊。利用地眞資料建立之光譜模式，也常作爲其他空間載台遙測資料建立之光譜模式的對照，以獲得準確而值得信賴的作業模式。近年來已有許多學者專家利用田間可攜式高解析輻射光譜分析儀在實驗室及田間進行試驗研究，擷取特定的窄波段資訊以觀察農作物植被變化，作爲與農業生產有關之多元用途(Leamer *et al*., 1973; Su and Yang, 1999; Yang and Su, 2000; Yang, 2001; Yang and Cheng, 2001)。窄波段光譜具有比傳統寬波段光譜更豐富的光譜資訊(Blackburn 1998; Curran *et al*., 1990; Elvidge *et al*., 1993; Ferns *et al*., 1984; Shibayama and Akiyama, 1991; Thenkabail *et al*., 2000)，讓吾人更有機會篩檢出與預期生物物理性狀相關之光譜特徵，也讓精準農業體系之監測管理項目變成可行。本文研究內容，綜合作者等人近年研究結果，即以高解析輻射光譜分析儀在近地面收集水稻植被光譜，以篩檢出適用於估測水稻葉稻熱病及瘤野螟之植被光譜特徵及光譜指數，同時建立光譜特徵模式，以提高估測病蟲害危害等級之準確度。

肆、方法簡述

本文有關研究係於行政院農業委員會農業試驗所試驗農場(24°45'N, 120°54'E, 海拔高度60 m)進行水稻田間栽培，感染葉稻熱病之水稻植被光譜係於2001年一期稻作量測，感染瘤野螟之植被光譜則於2000年之二期稻作收集。根據文獻(如"臺灣省水稻病蟲害發生預測，1985")得知，一般言臺灣地區的氣象環境是造成病蟲害發生與蔓延主因之一，一期稻作期間之氣象環境適於稻熱病，二期稻作期間則適於瘤野螟，故分別選擇在不同期作偵測水稻植被光譜。

本研究之水稻栽植密度約220,000 hill ha^{-1}，生育期間不施用農藥以提供病蟲害發生之田間環境。在2001年一期作之最高

分蘗期偵測感染葉稻熱病之植被反射光譜時，田邊目測之植被覆蓋率超過75%，而於2000年二期作之穀粒充實初期量測感染瘤野螟之植被光譜時，田邊目測之植被覆蓋率近於100%。經比較背景光譜時，發現大部分光譜範圍之反射比不受干擾。感染稻熱病之葉片傷害百分比以目測決定，感染百分比從0%(健康稻株)至25%不等(表1A)，計有八級；目測感染瘤野螟之葉片數目之等級分類如表1B，自等級0(健康稻株)至等級9，計有六級。相同等級之光譜資料合併分析，取各等級之平均值光譜進行統計分析。

表1A. 行政院農委會農業試驗所試驗農場於2001年一期稻作最高分蘗期間標定之感染葉稻熱病位置數量及其感染百分比。(摘自Yang and Chang, 2002)

Table 1. The percentages of blast infected areas recognized visually in the identified spots in the experimental plot at Taiwan Agricultural Research Institute on April 19, April 23, and Aril 24, 2001. (Adapted from Yang and Chang, 2000)

Percent infection (%)	No. of identified spots
0 (healthy check)	6
3	6
5	15
7	6
10	24
15	30
20	10
25	11

表1B. 行政院農委會農業試驗所試驗農場於2000年二期稻作穀粒充實初期標定之感染瘤野螟等級分類。(摘自Yang *et al*., 2002)

Table 1B. Classification of levels of rice canopy infested by leaf folder.(Adapted from Yang *et al*., 2002)

Level	Percentage of leaves infested (%)
0 (healthy check)	0
1	1-10
3	11-25
5	26-35
7	36-50
9	>50

本文研究使用之田間攜帶式高解析輻射光譜分析儀(model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA)具有10度視角(FOV)掃描鏡頭，連接手提電腦操作(GER 2600 User Manual, 1996)。光譜儀掃描範圍介於350-2500 nm，計有640個窄波段(其中有效窄波段計有537個)，採矩陣式排列，其中 512個矽晶感測器量測330-1050 nm範圍(波距1.5 nm)，128個PbS感測器偵測1050-2500 nm範圍(解析度11.5 nm)。爲應用上方便，將窄波段之中心波長以四捨五入取至整數(如550.22 nm 成爲550 nm)，並將光輻射(radiance)以已知光譜性質之標準白板('Spectralon', Labsphere, Inc., North Sutton, NH, USA)計算反射比光譜。

水稻植被光譜量測係將光譜儀鏡頭垂直置於植被上方約1.8 m處，獲取直徑約0.3 m之圓形植被區域反射光輻射。每筆測值連續掃描4次，取平均值。每一病蟲害感測位置量測六次，取平均值爲該位置代表值。相同感染等級之光譜測值再予計算平均值，得該等級平均值光譜，以之進行統計分析。相關分析及多變量(元)直線回歸分析(multiple linear regression (MLR) analysis)皆採用SAS系統軟體(Statistical Analysis System (SAS) version 8.1)(SAS Institute, 1998)。MLR分析分別選出最佳一元、二元及三元直線複回歸模式，$Y_1=a+a_1R_1$, $Y_2=a+a_1R_1+a_2R_2$, and $Y_3=a+a_1R_1+a_2R_2+a_3R_3$，其中依變數(dependent variable)Yi爲感染百分比(葉稻熱病)或感染等級(瘤野螟)，自變數(independent variable)Ri爲篩檢出特定窄波段之反射比。又自植被光譜中選取三窄波段光譜特徵GREEN(綠光波段之峰值)、RED(紅光波段之谷值)、及NIR(近紅外光波段之峰值)，並計算光譜指數NDVI(NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)，標準差植被指數)、RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio、GREEN/NIR ratio，估算紅光臨界中間值窄波段(red edge mid point)及紅光臨界斜率(red edge slope)。紅光臨界係波長範圍介於紅光波谷及近紅外光波峰之間。

伍、植被光譜特徵辨識水稻遭受瘤野螟及稻熱病之危害

水稻臺農67號高解析植被反射比光譜(350-2500 nm)及感染不同等級葉稻熱病與瘤野螟之植被反射比光譜繪於圖1。由光譜之變化顯示，不同窄波段之反射比高低不一，主要分別受到植體色素、水分含量及構造之影響，近似於一般綠色植物之植被光譜(楊及蘇，1997；Meyers, 1983; Su and Yang, 1999; Yang and Ko, 1997)。一般言之，在紫外光及可見光波段之反射比較低，而紅外光波段之反射比較高。其中可見光波段之反射比變動係受到植體光合成色素(photosynthetically active pigments)之影響(Fourty *et al*., 1996; Gausman, 1982; Maas and Dunlao, 1989; Salisbury and Ross, 1969; Water-Shea and Norman, 1991)，近紅外光波段(the near infrared)之起伏受到植體構造及外部幾何結構之控制(Asner, 1998; Gates *et al*., 1965; Water-Shea and Norman, 1991; Woolley, 1971)，短波紅外光與中紅外光波段之變化則由水分含量及植體構造所決定(Barrett and Curtis, 1992; Woolley, 1971; Fourty *et al*., 1996)。由圖1顯示，不等葉稻熱病感染等級之植被光譜曲線類

似，但是反射比之高低則有明顯差別，此一現象雷同於不等瘤野螟感染等級之植被光譜。不同光譜波段之反射比差異及病蟲害感染等級，將綜合左右水稻植被光譜曲線之變化及光譜特徵之表現，同時將改變光譜特徵與感染等級之關係，本文乃持續進一深入分析。

將光譜範圍之各窄波段反射比與感染等級進行相關強度分析，即可瞭解各窄波段反射比與感染等級之間是否具有密切關係，進而篩檢出高相關之窄波段位置。根據繪於圖2之相關強度分析結果，發現水

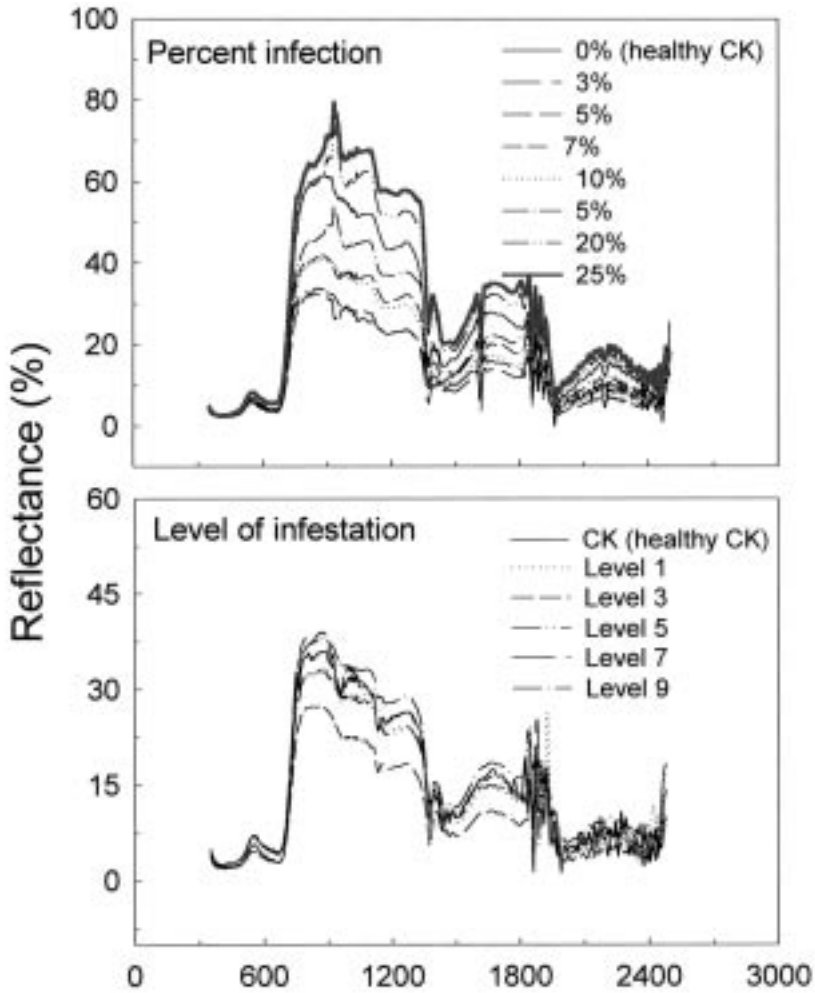


Fig. 1. Mean reflectance spectra (350-2500 nm) of hyperspectral resolution from rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) canopies infested with various percentages of leaf blast (*Pyricularia oryzae* Cav.) (upper) and different levels of leaffolder (*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee) (lower). (Adapted from Yang and Chang, 2002; Yang *et al*., 2002)

圖1. 水稻(*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67)植被感染不同葉稻熱病(*Pyricularia oryzae* Cav.)(上圖)百分比及瘤野螟(*Cnaphalocrosis medinalis* Guenee)(下圖)等級之高解析平均值光譜(350-2500 nm)。(摘自Yang and Chang, 2002; Yang *et al*., 2002)

稻植被光譜之反射比與葉稻熱病感染等級概爲正相關，與瘤野螟感染等級亦多爲正相關。葉稻熱病部分，其相關性在紫外光波段(350-400 nm)及紅外光波段(740-2500 nm)高於可見光波段(400-740 nm)。最大相關係數(correlation coefficient, r)位於1436 nm窄波段，r=0.982**，且位於此窄波段之反射比與感染等級之直線相關的決定係數(coefficient of determination，R^2)高達0.964。瘤野螟部分，最大相關係數座落於可見光波段之691 nm窄波段(r=0.952**)，靠近紅光波段之葉綠素a最大吸收值(本項

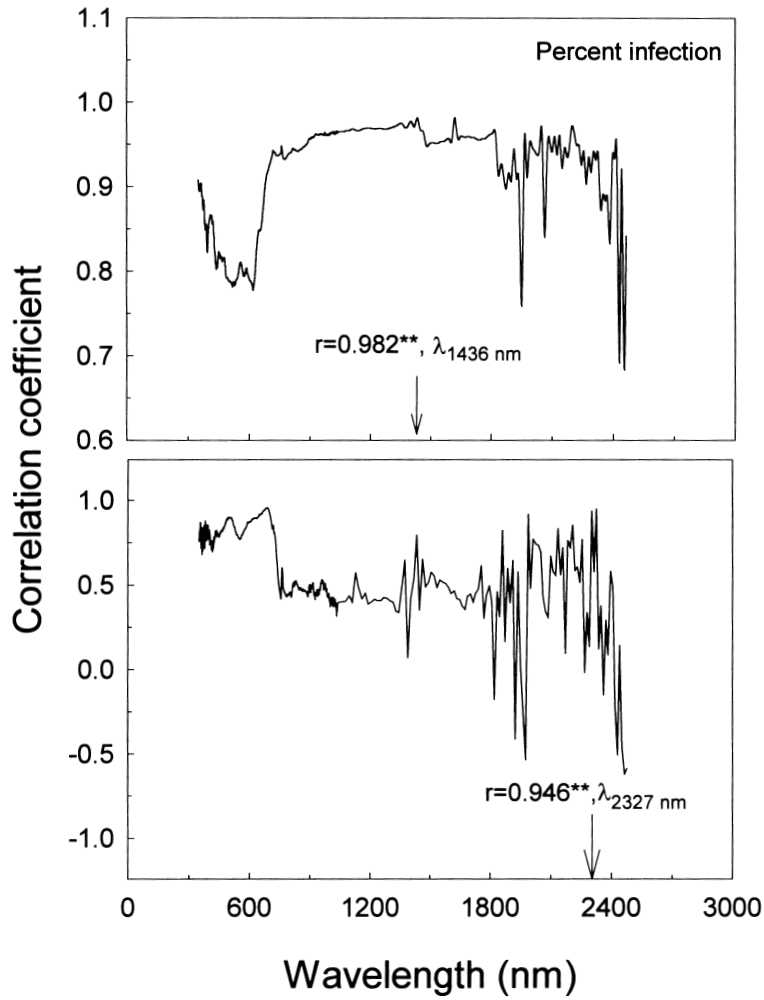


Fig. 2. The correlation intensity analysis between the single narrow band reflectance (350-2500 nm) and percent infection of blast disease (upper) and levels of infestation of leaffolder (lower) for rice reflectance spectrum. (Adapted from Yang and Chang, 2002; Yang et al., 2002)

圖2. 水稻植被高解析平均值光譜(350-2500 nm)之反射比與感染葉稻熱病(上圖)及瘤野螟(下圖)等級之相關強度分析結果。(摘自Yang and Chang, 2002; Yang *et al*., 2002)

試驗爲664 nm)位置。不同感染等級於691 nm窄波段之反射比分佈適用於直線函數，其決定係數高達0.906 (P<0.01)，二次函數並未明顯提高R^2。試驗結果顯示，水稻植被光譜之許多窄波段反射比與此二病蟲害之間具有顯著相關，針對上述特定單一窄波段之反射比相關性已可分別解釋此二病蟲害90%以上變異率，提供利用於發展簡易測計之潛力。

在水稻植被光譜曲線上，位於綠光波段峰值(GREEN)、紅光波段谷值(RED)及近紅外光波段峰值(NIR)之窄波段係三個主要曲線轉折點，具有生理生化及生物物理意義。其中GREEN及RED窄波段分別爲葉綠素之最小與最大吸收波段位置，NIR波段則爲關係植被反射與穿透性質之近紅外光波段之最大反射位置。此三個窄波段隨著水稻株齡而異，並受到外界因子之影響而改變，形成動態調整。研究發現，RED及NIR之高低與葉稻熱病等級呈現顯著正相關，但是個別窄波段之反射比並未與瘤野螟感染等級顯著相關(資料未列出)。由於Wanjura and Hatfield (1987)指出，包括多個窄波段反射比之光譜特徵模式通常能夠較敏感的反應出植物生物物理特性之變化。本研究於是採用多變量(元)直線回歸分析方法，試以篩檢出多個窄波段組成多變量(元)直線回歸模式，欲提高估測病蟲害等級之準確度。由分析結果獲得估測葉稻熱病之最佳三元直線回歸模式

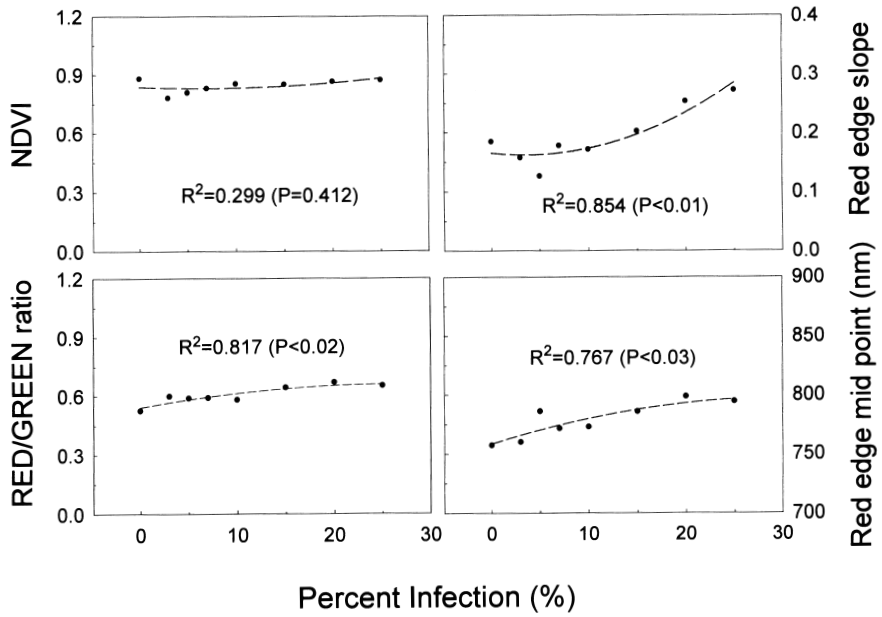


Fig. 3. Correlations of spectral indices NDVI, RED/GREED ratio, red edge slope, and red edge mid point calculated from rice reflectance spectra to percent infection of blast disease. (Adapted from Yang and Chang, 2002)

圖3. 光譜指數NDVI、RED/GREED ratio、紅外臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值(red edge mid point)與葉稻熱病感染百分比之相關。(摘自Yang and Chang, 2002)

Y=-9.391+6.265RED+0.340NIR-3.381 GREEN (R^2=0.929, P<0.01)，以及估測瘤野螟之最佳二元直線回歸模式Y=-3.742-3.742RED+ 8.616GREEN (R^2=0.963, P<0.01)。多元直線回歸模式提供了利用多個光譜特徵增進對於植物之生物物理性狀變化估測之可能途徑，在本文之研究上，綜合GREEN、RED及NIR等三個窄波段之三元直線回歸模式並未提高對於葉稻熱病等級之估測準確度，但是有助增進對於瘤野螟危害程度之估測。

Thenkabail *et al*., (2000)之研究指出，紅光波段之最大吸收值位置最常被利用於組構植被指數，亦最適於用來探討各種生物物理特性之相關性，且在文獻上的研究案例不計其數。Elvidge (1990)和Idso *et al*. (1980)也認爲此一窄波段用於探討植物之性狀變化甚爲合理，因爲該光譜位置反映出光合活性高低，可以印證植體的生長表現及外在因子的效應。Penuelas *et al*. (1993)和Thenkabail *et al*. (2000)研究報告則建議，近紅外光波段之波峰或近紅外光波段之中間窄波段亦爲可能的候選光譜特徵，其反射比的改變代表了植體構造的變化，常受到環境干擾。本文研究顯示可見光波段之反射比改變，確實隱含病蟲害對水稻植被光譜影響的資訊，感染葉稻熱病及瘤野螟將造成綠光波峰及紅光波谷之反射比異常，而近紅外光波段峰值具有輔助解釋之正面角色。文獻上關於利用多元直線複回歸分析農作物生物物理特性變化之研究甚多(Lawrence and Ripple, 1998; Shibayama and Akiyama, 1991; Thenkabail *et al*., 2000; Yang and Chang, 2002; Yang *et al*., 2002)，多能據以建立有效估測模式，獲得令人滿意的估測結果。

本文研究爲繼續探討感染病蟲害之水稻植被光譜特徵，乃進行全光譜範圍之多元直線複回歸分析，發現若干個與病蟲害關係密切之波段。爲避免如Blackburn (1998)和Thenkabail *et al*. (2000)所述之"over fitting (collinear)" 現象，特於感染葉稻熱病之水稻植被光譜挑選不同位置之八個窄波段，而於感染瘤野螟之水稻植被光譜挑選六個不同窄波段，再進行多元直線複回歸分析。適於葉稻熱病及瘤野螟估測之最佳三元直線回歸模式分別爲$Y=-21.401+1.162R_{620\ nm}+4.855R_{1436\ nm}-3.914R_{2198\ nm}$ (R^2=0.980, P<0.001)，$Y=-9.295-3.063R_{550\ nm}+6.167R_{691\ nm}+0.108R_{1863\ nm}$ (R^2=0.995, P<0.007)。顯然的，可以有不同的窄波段組合來估測水稻之葉稻熱病及瘤野螟的發生情形，關鍵在於使用人採行的標準，也就是完全依照波段選擇及準確度需求來訂定回歸模式，經常這是主觀的選擇與決定。事實上，針對瘤野螟感染等級估測之最佳二元直線回歸模式之決定係數已高達0.989 (P<0.002)，方程式爲$Y=-8.749-2.336R_{550\ nm}+5.099R_{691\ nm}$。Thenkabail *et al*., (2000)曾建立多達四個窄波段組合之所謂四元最佳窄波段反射比模式(4-variable optimum multiple narrow band reflectance (OMNBR) models)來估測多種農作物之生物物理性狀變化，雖然窄波段取自光譜範圍的不同波段，結果仍令人滿意。

有關植被指數(vegetation index, 或稱光譜指數，spectral index)在生長、產量或其他生物物理性狀估測上的研究普遍見於文獻(Bauer, 1975; Su and Yang, 1999; Tucker, 1979; Wiegand *et al*., 1979, 1986; Yang and Ko, 1997; Yang and Su, 2000;

Yang, 2001; Yang and Cheng, 2001)，本文研究乃探討多個光譜指數與水稻病蟲害等級之關係。如圖3所示，除了NDVI之外，RED/GREED ratio、紅外臨界斜率(red edge slope)及紅光臨界中間值(red edge mid point)均與葉稻熱病感染百分比呈正相關(R^2>0.7)，適用於曲線函數表示其趨勢變化。又如圖4所示，光譜指數RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio及NDVI皆對感染瘤野螟有敏感反應，適用於曲線函數(R^2>0.88, P<0.05)。這些指數各適用於對葉稻熱病或瘤野螟感染之估測，然而曲線函數之特性，使得其在曲線的一端有較不敏感的反應。Kobayashi *et al*. (2001)在研究穗稻熱病時，亦發現許多光譜指數在糊熟期(dough stage)與病徵有顯著相關。Yang and Cheng (2001)則顯示NDVI可利用於估測水稻褐飛蝨感染等級。

陸、結 語

由本項研究結果，證實水稻植被高解析光譜確實擁有非常豐富的"光譜秘密"，經過適當解讀分析之後，將可提供許多有用的資訊。感染病蟲害之植被光譜充分的反映地上部植體顏色與光澤的變化，也呈

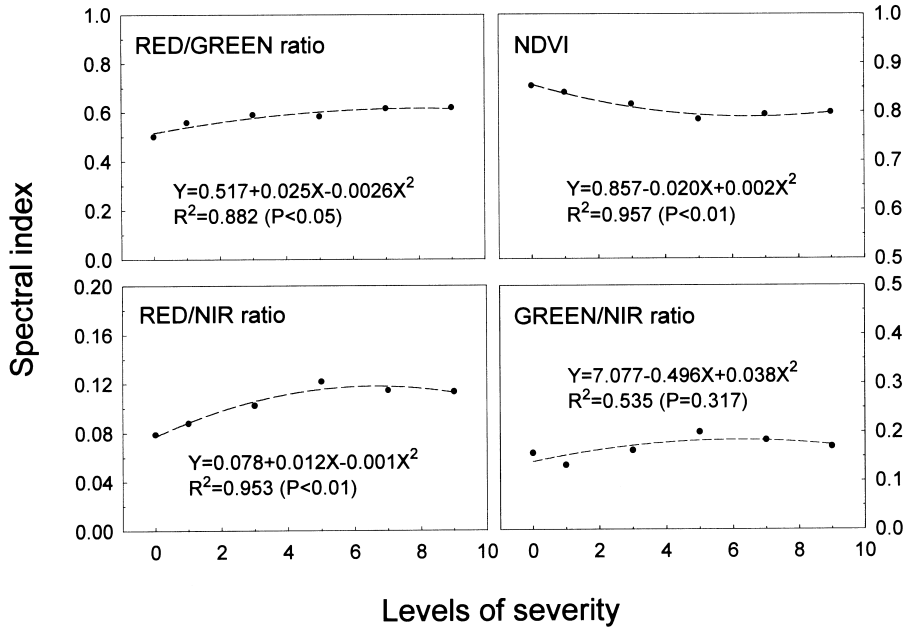


Fig. 4. Changes of spectral indices NDVI, RED/GREEN ratio, RED/NIR ratio, and GREEN/NIR ratio to levels of severity in rice canopy infested by leaffolder. (Adapted from Yang et al., 2002)

圖4. 光譜指數NDVI、RED/GREEN ratio、RED/NIR ratio及GREEN/NIR ratio 與瘤野螟感染等級之相關。(摘自Yang *et al*., 2002)

現個別植體及族群構造上的差異，使得光譜出現病蟲害引起的特徵。藉由高解析光譜之窄波段在質與量上的細緻改變，吾人可以辨識與區分這些獨特的光譜特徵，找出光譜特徵與病蟲害造成病徵之生物物理徵狀波動的關係。

研究也顯示，綜合數個光譜特徵之光譜指數及多元直線回歸分析技術，能夠建立估測病蟲害等級之光譜特徵模式。此類指數及模式，常可增進估測準確度，亦提供判讀病蟲害危害程度之另一分析途徑，發(挖)掘出更多具有應用潛力的光譜資訊。

然而，本文也必須客觀的指出利用光譜遙測資料的四大要點，提供識者卓參，避免急就章下失去應用價值與意義: (1)具備充分的知識與成熟的技術，研究人員應當瞭解農作物生育特性及採用的光譜技術，才能規劃符合邏輯的試驗，取得合理而正確的作物及遙測資料。(2)獲得正確的植被光譜，偵測作物植被光譜應該排除儀器設備、環境與人爲干擾，考量農田及作物之時間和空間變異，以得到具有代表性的植被光譜。(3)完整而詳細的分析，經過前述適當的程序及方法取得的遙測資料，尚需要經過一連串的統計分析作業，並結合農作物與遙測知識背景，方能解開光譜秘密找到所需光譜特徵，建立適合的光譜特徵模式。(4)愼密的測試與驗證，初步得到的光譜特徵與生物物理性狀關係或光譜特徵模式，仍需要至少另一組資料測試與驗證，確定關係之存在、檢定相關性之高低，經過明確的校正與修改後才能贏得信賴。最好再經過相關同儕檢視和考驗，使其正確無誤，得以應用於實務。

柒、引用文獻

1.林俊義、楊純明。2000。第一章　發展精準農業關鍵技術，加速農業生產技術升級。p.1-6。水稻精準農業(耕)體系之研究，楊純明、林俊義，主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。

2.楊純明、蘇慕容。1997。水稻族群植冠反射光譜之分析。中華農業氣象4:87-95。

3.鄭清煥。1987。嘉南地區瘤野螟之生態觀察。植保會刊29:135-146。

4.臺灣生水稻病蟲害發生預測。1985。臺灣省政府農林廳編印，南投縣中興新村。382頁。.

5.Asner, G. P. 1998. Biophysical and biological sources of variability in canopy reflectance. Remote Sens. Environ. 64:234-253.

6.Awoderu, V. A., and O. F. Esuruoso. 1974. Reduction of grain yield of two rice varieties infected by the rice blast disease in Nigeria. Nigerian Agric. J. 11:170-173.

7.Barrett, E.C., and L. F. Curtis. 1992. Introduction to environmental remote sensing. *In*: Introduction to Environmental Remote Sensing, 3rd ed. E. C. Barrett and L. F. Curtis, Eds. Chapman & Hall, London, U.K. 426 pp

8.Bauer, M. E. 1975. The role of remote sensing in determining the distribution and yield of crops. Adv. Agron. 27:271-304.

9.Bausch, W. C., H. R. Duke, and L. K. Porter. 1994. Remote sensing of plant nitrogen status in corn. Trans. ASAE 9:42-

117.

10. Blackburn, G. A. 1998. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: An evaluation of hyperspectral approaches. Remote Sens, Environ. 66:273-285.
11. Curran, P. J., J. L. Dungan, and H. L. Gholz. 1990. Exploring the relationship between reflectance red edge and chlorophyll content in slash pine. Tree Phys. 7:33-48.
12. Elvidge, C. D. 1990. Visible and near infrared reflectance characteristics of dry plant materials. Intl. J. Remote Sens. 11(10):1775-1795.
13. Elvidge, C. D., Z. K. Chen, and D. P. Groeneveld. 1993. Detection of trace quantities of green vegetation 1990 AVIRIS data. Remote Sens. Environ. 44:271-279.
14. Ferns, D. C., S. J. Zara, and J. Barber. 1984. Application of high resolution spectroradiometry to vegetation. Photogramm. Eng. Remote Sens. 50(12):1725-1735.
15. Fourty, T.H., F. Baret, S. Jacquemoud, G. Schmuck, and J. Verdebout. 1996. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. Remote Sens. Environ. 56:104-117.
16. Gates, D.M., H. J. Keegan, J. C. Schleter, and V. R. Wiedner. 1965. Spectral properties of plants. Appl. Opt. 4:11-20.
17. Gausman, H. W. 1982. Visible light reflectance, transmittance, and absorptance of differently pigmented cotton leaves. Remote Sens. Environ. 13:233-238.
18. GER 2600 User Manual. 1996. Version 1.1. Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, USA.
19. Goto, K. 1955. History of the blast disease and changes in methods of control. Agric. Improv. Bureau, Ministry of Agric. and For. Japan 5:1-12. (in Japanese)
20. Goto, K. 1965. Estimating losses from rice blast in Japan. p.195-202. *In*: The Rice Blast Disease. John Hopkins Press, Baltimore, Maryland.
21. Hirao, J. 1982. Ecology and chemical control of the rice leafroller. Japan Pest. Inform. 41:14-17.
22. Idso, S. B., P. J. Pinter, Jr., R. D. Jackson, and R. J. Reginato. 1980. Estimation of grain yields by remote sensing of crop senescence rates. Remote Sens. Environ. 9:87-91.
23. Katsube, T., and Y. Koshimizu. 1970. Influence of blast disease on harvests of rice plants. I. Effect of panicle infection on yield components and quality. Bull. Tohoku Agric. Exp. Sta. 39:55-96. (in Japanese)
24. Kobayashi, T., E. Kanda, K. Kitada, K. Ishiguro, and Y. Torigoe. 2001. Detection of rice panicle blast with multispectral radiometer and the potential of using airborne multispectral scanners. Phytopathology 91:316-323.
25. Lawrence, R. L., and W. J. Ripple. 1998.

Comparisons among vegetation indices and bandwise regression in a highly disturbed, heterogeneous landscape: Mount St. Helens, Washington. Remote Sens. Environ. 64:91-102.;

26. Leamer, R. W., V. I. Myers, and L. F. Silva. 1973. A spectroradiometer for field use. Rev. Sci. Instrum. 44:611-614.
27. Maas, S.J., and J. R. Dunlap. 1989. Reflectance, transmittance, and absorptance of light by normal, etiolated, and albino corn leaves. Agron. J. 81:105-110.
28. Meyers, V. I. 1983. Remote sensing applications in agriculture. p.2136-2148. *In:* Manual of remote sensing. Vol. II. Am. Soc. Photogramm. The Sheridan Press, New York.
29. Miyahara, Y. 1981. Occurrence of the rice leafroller in Japan. JARQ 15(2): 100-105.
30. Ou, S. H. 1985. Rice Diseases. 2nd ed. The Cambrian News Ltd., London.
31. Padmanabhan, S. Y. 1965. Estimating losses from rice blast in India. p.203-221. *In*: The Rice Blast Disease. John Hopkins Press, Baltimore, Maryland:
32. Penuelas, J., I. Filella, C. Biel, L. Serrano, and R. Save. 1993. The reflectance at the 950-970 nm region as an indicator of plant water status. Intl. J. Remote Sens. 14:1887-1905.
33. Rodas, C. J. E., and M. J. Rosero. 1975. Yield losses in rice due to neck rot infection caused by *Pyricularia oryzae* Cav. Revista ICA 10:115-126. (in English Abstract)
34. Salisbury, F. B., and C. Ross. 1969. Plant Physiology. Wadsworth, Belmont, California.
35. SAS Institute. 1998. SAS/STAT user's guide. Version 8.1. SAS Inst., Cary, NC, USA.
36. Shibayama, M., and T. Akiyama. 1991. Estimating grain yield of maturing rice canopies using high spectral resolution reflectance measurements. Remote Sens. Environ. 36:45-53.
37. Su, M.-R., and C.-M. Yang. 1999. Estimation of rice growth from reflectance spectra of vegetative cover. J. Photogram. Remote Sens. 4(4):13-23.
38. Thenkabail, P. S., R. B. Smith, and E. De Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote Sens. Environ. 71:158-182.
39. Tien, C. M., and P. M. Huang. 1975. Report of the crop losses caused by rice blast disease (*Pyricularia oryzae*) in 1974 in Taiwan. Taiwan Agric. Quarterly 11:139-144. (in Chinese)
40. Walburg, G., M. E. Bauer, C. S. T. Daughtry, and T. L. Housley. 1982. Effects of nitrogen on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn. Agron. J. 74:677-683.
41. Wanjura, D. F., and J. L. Hatfield. 1987. Sensitivity of spectral vegetative indices to crop biomass. Transactions ASAE 30(3):810-816.
42. Water-Shea, E.A., and J. M. Norman. 1991.. Leaf optical properties. p. 229-

252. *In*: Photon-Vegetation Interactions. R. B. Myneni and J. Ross. Eds. Springer-Verlag, Berlin, Germany.

43. Wiegand, C. L., A. J. Richardson, and E. T. Kanemasu. 1979. Leaf area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. Agron. J. 71:336-342.
44. Wiegand, C. L., A. J. Richardson, and P. R. Nixon. 1986. Spectral components analysis: a bridge between spectral observations and agrometeorological crop models. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. GE-24:83-89.
45. Woolley, J. T. 1971. Reflectance and transmittance of light by leaves. Plant Physiol. 47:656-662.
46. Yang, C.-M. and C.-C. Ko.1997. Seasonal changes in canopy spectra of sweet potato. J. Photogram. Remote Sens. 3(1):13-28.
47. Yang. C.-M., and M.-R. Su. 2000. Analysis of spectral characteristics of rice canopy under water deficiency. p.13-18. *In*: Proceedings of the 21st Asian Conference on Remote Sensing. 4-8 December 2000, Taipei. Chinese Society of Agronomy, Taipei, Taiwan.
48. Yang, C.-M. 2001. Estimation of leaf nitrogen content from spectral characteristics of rice canopy. Optimizing Nitrogen Management in Food and Energy Production and Environmental Protection. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy. 14-18 October, 2001. Potomac, Maryland, USA. The ScientificWorld 1(S2). ISSN 1532-2246; DOI 10. 1100/tsw2001.387.
49. Yang, C.-M., and C.-H. Cheng. 2001. Spectral characteristics of rice plants infested by brown planthopper. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B) 25:180-186.
50. Yang, C.-M., and Y.-C. Chang. 2002. Estimation of percent infection of leaf blast in rice plants from canopy spectral characteristics. *In*: Proceedings of the sixth International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resource Management. July 14-17, 2002. Minneapolis, Minnesota, USA. University of Minnesota, Minneapolis.
51. Yang, C.-M., C.-H. Cheng, and J.-Z. Chang. 2002. Spectral characteristics of rice canopy infested with rice leaf folder. *In*: Proceedings of the sixth International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resource Management. July 14-17, 2002. Minneapolis, Minnesota, USA. University of Minnesota, Minneapolis.

1 Identifying Plant Injury by Leaf Blast and Leaffolder from Spectral Characteristics of Rice Canopy

Chwen-Ming Yang[1], Ching-Huan Cheng[2], Yih-Chang Chang[3] and Jih-Zu Yu[4]

[1] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[2] Department of Plant Protection, Chiayi Branch Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Chayi 600, Taiwan, ROC

[3] Department of Plant Pathology, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[4] Department of Applied Zoology, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

E-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Reflectance spectra (350-2500 nm) of hyperspectral resolution from rice (*Oryza sativa* L. cv. Tainung 67) canopy infected with various percentages of leaf blast (*Pyricularia oryzae* Cav.) and different levels of leaffolder (*Cnaphalocrosis medinalis*) were collected and analyzed using a field portable spectroradiometer. Percent infection from 0% (healthy plants) up to 25% was based on blast disease affected leaf area. Infestation levels by the leaf folder were classified into six levels, i.e., 0 (healthy check), 1, 3, 5, 7, and 9, based on the numbers of damaged leaves. By the correlation intensity analysis between reflectance and percent infection or levels of infestation, it showed that the maximum value of correlation coefficient was located at 1436 nm (r=0.982) for leaf blast and at 2327 nm (r=0.946**) for leaffolder. The spectral indices of RED/GREEN ratio (reflectance ratio of red light minimum to green light peak), NIR (reflectance at near-infrared maximum), RED, red edge slope, and red edge mid point were all positively correlated with percent infection of leaf blast. The

normalized difference vegetation index (NDVI), the RED/NIR ratio, and the RED/GREEN ratio were curvilinearly correlated with infestation levels of leaffolder. By the multiple linear regression analysis with GREEN, RED and NIR as variables, the model was Y=-9.391+6.265RED+ 0.340NIR-3.381GREEN, with R^2=0.929 (P<0.01) for disease estimation, and the best 2-variable MLR model for pest evaluation was Y=-3.742-3.742RED +8.616GREEN (R^2=0.963, P<0.01). When 8 optimal narrow bands selected from reflectance spectrum of disease-infected canopy were analyzed, the best 3-variable model was Y=-21.401+ 1.162$R_{620\ nm}$ +4.855$R_{1436\ nm}$-3.914$R_{2198\ nm}$ (R^2=0.980, P<0.001). In pest-infested canopy with six selected narrow bands for analysis, the best 2-variable model was Y=-8.749-2.336$R_{550\ nm}$+5.099$R_{691\ nm}$ (R^2=0.989, P<0.002).

Key words: Rice, Rice blast (*Pyricularia oryzae* Cav.), Rice leaffolder (*Cnaphalocrosis medinalis*), Percent infection, Infestation level, Spectral characteristics, Spectral index, Multiple linear regression analysis.

2 衛星及地面遙測資料應用於水稻生長及產量監測初步研究

吳啓南 蕭國鑫 徐偉城 廖子毅 陳大科 劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室
E-mail:690398@itri.org.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 20
壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 21
貳、水稻全生育期SPOT影像光譜資料分析 －－－－－－－－ 21
參、全生育期水稻地面多光譜近紅外影像光譜資料分析 －－ 26
肆、SPOT影像應用於水稻產量推估 －－－－－－－－－－－ 31
伍、討論與建議 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 35
陸、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 36
柒、誌謝 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 36

2 衛星及地面遙測資料應用於水稻生長及產量監測初步研究

吳啓南 蕭國鑫 徐偉城 廖子毅 陳大科 劉治中
工業技術研究院能源與資源研究所遙測研究室
E-mail:690398@itri.org.tw

摘 要

本研究利用衛星影像及地面遙測資料監測水稻生長及預估產量。其中水稻生長監測以影像攝像日對照生長天數後，繪出全生育期水稻對應SPOT影像的NDVI指數分佈；另亦利用NDVI植被指數分析與比對正常與罹患稻熱病水稻的差異。水稻產量預估則利用四個時段SPOT影像的NDVI、RVI及TVI指數，配合農試所89年精準農業試驗田的坪割產量資料，以向後消去法逐步回歸(stepwise regression by backward elimination)估算水稻產量，並建立預估水稻產量的回歸方程式。地面遙測以具有綠、紅及近紅外光等三個波段的Duncan MS3100/CIR近地面紅外成像儀資料監測水稻生長，並建立水稻正常生長及不同氮肥力區的NDVI指數對應生長天數分佈曲線。衛星影像監測正常水稻生育，在綠色植生反應最敏感的近紅外光段光譜反射以幼穗形成期～孕穗期值最高，NDVI指數分佈亦相同；而逆境生長的稻熱病水稻區，在近紅外光段光譜反射及NDVI指數均減少。另以SPOT影像估測水稻產量；單一時期或多時段SPOT影像與一期稻產量資料回歸分析後，相關係數最高爲0.66；相同的方法應用於二期稻的產量預估，相關係數有明顯提昇，最高分蘗期SPOT影像預估產量的相關係數爲0.71，加上幼穗形成期或乳熟期影像的相關係數爲0.84，再結合黃熟期前的影像，回歸相關係數可達0.90，其預估產量的標準差爲0.39公噸/公頃。另近地面紅外成像儀監測以農試所試驗田90年兩期稻作爲攝取對象，攝像資料經增益調整後，正常生長水稻的NDVI指數極值在幼穗形成期~孕穗期間；另不同氮肥力區與正常生育水稻NDVI指數的比較發現，氮變異區水稻在孕穗期以前的NDVI指數均較低，抽穗期以後的NDVI指數反而較高，且反應在黃熟期的水稻生育有較晚成熟的現象。

關鍵詞：水稻產量、回歸分析、生長監測。

壹、前　言

遙測技術具有無遠弗屆的高處俯視及多時段獲取資料特性，可密集監測農作物全生育期的生育狀況；並藉由光譜資料的分析，辨別水稻與他種作物種類的區別，進而預估水稻種植面積及偵測稻作因病蟲害或肥力不足引起的異常狀態，以快速取得農災範圍後做有效的防制與追蹤，提供作爲逆境預警、災害防治或農作施肥的基本資料，利於水稻的精準栽培。此外遙測資料大面積涵蓋及可藉助電腦的快速處理分析，有助於作物種類辨識、種植面積及產量的估算。

目前國內可取得的遙測數值資料中，SPOT衛星的遙測感測器可左、右傾斜攝像，增加了好品質影像的獲取機率；因此，利用SPOT衛星資料監測水稻生育狀況，此種相對較穩定獲取遙測資料來源的優勢是當前其它衛星資料尚無法達到的。而依能資所吳啓南等(2000a)之研究，SPOT影像的NDVI指數與其它遙測資料的相關係數達0.92以上；因此，可以結合多種遙測資料分析，以找出最佳的遙測水稻監測模式。

Duncan MS3100/CIR 地面多光譜近紅外成像儀具有可同時拍攝綠光、紅光及對植生反應最敏感、訊號最強的近紅外光波段影像。除可輔助地眞調查外，在天候不佳、空中或太空遙測資料無法獲得情況下，此系統亦可結合其它資訊或現場調查資料進行研判分析，以發揮地面監測作用，儘早發現水稻是否受逆境環境的影響；並將此資料納入精準農業監測分析與應用中，以提供水稻栽培與環境精準農業管理專家決策系統使用。

第五屆“遙測在精準農業的應用”會程中，Scott & Taylor(2000)利用遙測影像各種植生指數，如NDVI、DVI及GNDVI，分析與玉米產量間的關係，其中GNDVI指標預測的相關性最高可達0.93（R^2）；Yang and James(2000)以五個時間的綠/紅/紅外多譜影像及NDVI指數，利用多元回歸分析法分析與高粱（Sorghum）產量的關係，發現最大分蘗期後的影像資料與產量相關性最爲顯著，並以NG指標（NIR/Green）最適合產量預測。另外如Prince(1990)也指出，作物的初級生產率(Primary productivity)間接與NDVI指數相關，因爲藉由凱氏線性(Quasi-linear)關係得知NDVI指數與被吸收光合作用的能量(Absorbed photosynthetically energy)相關，而光合作用是影響作物產量重要因素之一。Maselli與Rembold(2001)則成功的利用13年AVHRR衛星資料的NDVI指數，推估摩洛哥(Morocco)、阿爾及利亞(Algeria)、突尼西亞(Tunisia)與埃及(Egypt)等四個國家大面積的穀物產量，其中NDVI指數與產量的相關性（R^2）均在0.65以上，摩洛哥國家更高達0.93。鑒於遙測資料可預估作物產量，故擬就此產量推估技術，結合遙測水稻光譜與少數點的田間產量資料，推估水稻光譜與產量間相對較合理的對應關係。

貳、水稻全生育期SPOT影像光譜資料分析

利用15幅兩期水稻全生育期的SPOT衛星影像(如圖1所示)，萃取水稻純像元的光譜反射資訊；經影像正規化(normalization)並計算NDVI指數後，對照水稻生長天數繪出三個波段波譜反射及

NDVI指數分佈；另外亦比對罹患稻熱病區的光譜反射與正常生育水稻光譜差異。

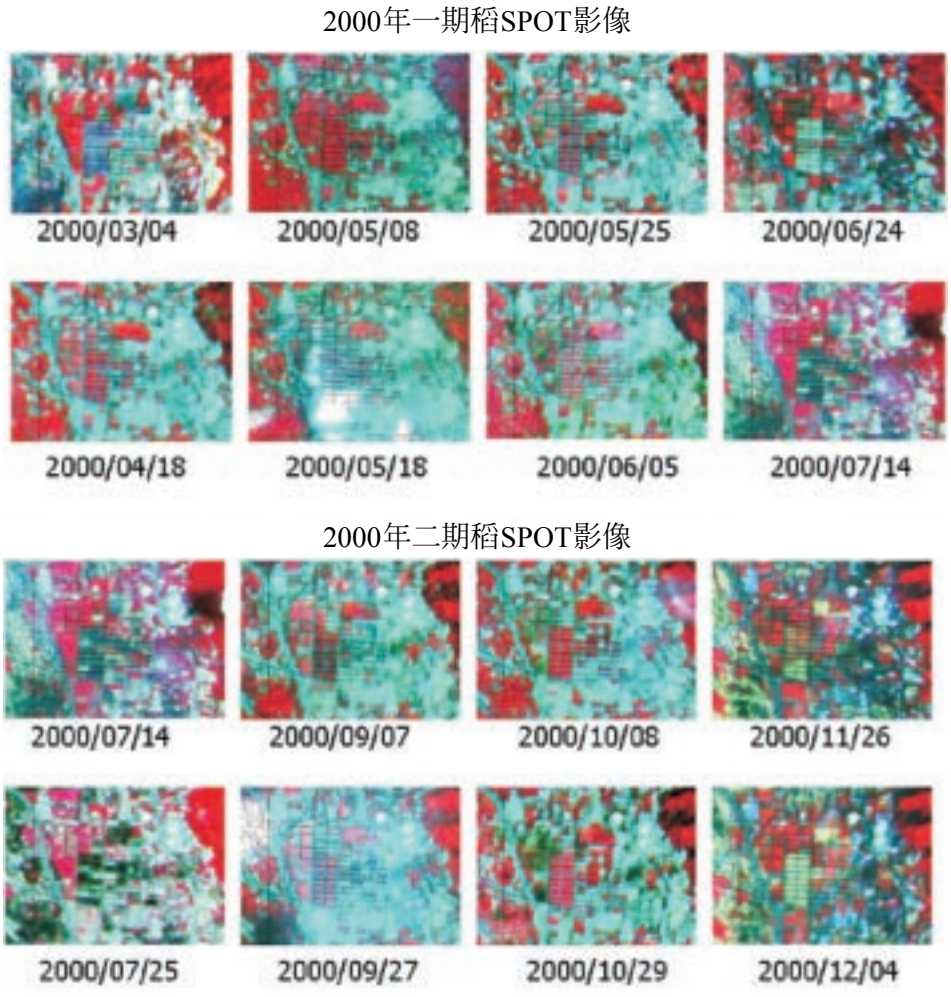


圖1. 農試所精準農業試驗田2000年SPOT影像。

一、不同生育期水稻SPOT影像光譜資料分析

要有純像元(pure pixel)的資料提供影像判釋或分析，則坵塊範圍需不小於影像2*2個像元大小方具有可信賴的取樣空間。目前臺灣地區平均農地坵塊面積爲0.17公頃(約100 *17平方公尺)，尚未達SPOT影像純像元的基準(SPOT影像空間解像力爲20*20平方公尺)；而農試所規劃設計的實驗田達0.5公頃(長*寬爲100公尺*50公尺)，高於最基本的2*2純像元萃取基準，所以每個坵塊中均有數個純像元資料可供分析。

1. SPOT影像光譜資料萃取

純水稻像元資料萃取依農試所精準農業試驗田，選取各坵塊對應影像中心的三個像元爲分析單元；而光譜數值計算利用翰林濾波(Hanning filter)方法，中心像元佔一半比重，左右像元各佔1/4權重；經統

計各坵塊對應SPOT三個波段的光譜反射值後，再以目視最清晰的影像爲對照基礎(攝像日:2000/06/24)，其他時期影像找出對應位置的光譜數值後，進行影像正規化，並計算標準差植被指數(Normalized Difference Vegetation Index；NDVI)、比例植被指數(Ratio Vegetation Index；RVI)及轉換植被指數（Transformed Vegetation Index；TVI）等三種植被指數。

2. **不同生育期水稻SPOT影像光譜資料分佈**

圖2爲SPOT影像正規化後三個波段對應生長天數的反射曲線分佈圖；顯示兩期水稻在綠光段光譜反射由成活生長期到幼穗形成期間爲緩慢減少，抽穗期以後再提昇；紅光段光譜反射由插秧到幼穗形成期以前緩慢減少，幼穗形成期以後增加；近紅外光段的光譜反射在成活期以後逐漸上昇，幼穗形成期~孕穗期達最高峰；抽穗開花期以後到乳熟期間緩慢下降。

二、全生育期水稻SPOT影像NDVI指數分佈

圖3爲SPOT影像換算的NDVI指數對照水稻生長天數後建立的反射曲線圖；NDVI的極值在0.53左右(影像的NDVI極值較地面量測資料提早10~15天)，遠比地面的光譜儀量測資料低，大氣條件影響即爲重要因素之一。另一期晚熟稻(四月初插秧)的NDVI指數對應生長天數的反應曲線與正常插秧水稻接近，只是生長天數較少，所以曲線稍向左偏移；二期水稻因生長天數更少(約爲98~110天)，故水稻各生長期均提前發生，所以NDVI指數對應生長天數的反應曲線再向左偏移，且曲線的開口縮小。

三、正常與稻熱病水稻光譜資料比對分析

水稻發生稻熱病時，顯現在莖、葉上的病症可直接反應在遙測資料的反射光譜上；因此，乃以稻熱病爲例，利用SPOT影像分析進行正常及逆境環境之水稻植冠光譜資料比對分析。

1. **試區選定**

90年一期稻作期間，苗栗地區有近千

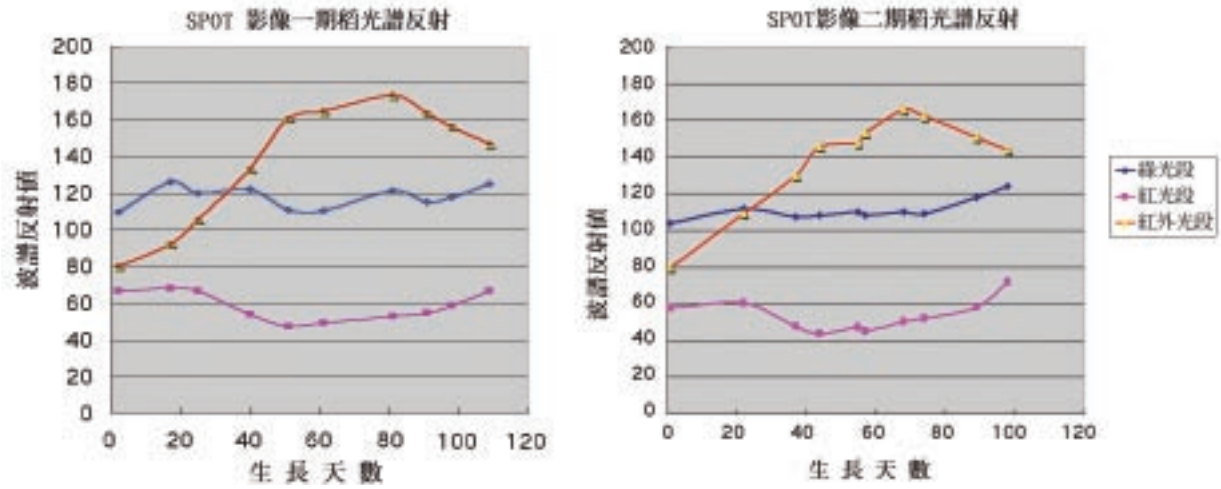


圖2　兩期水稻SPOT影像對應生長天數的三個波段波譜反射分佈。

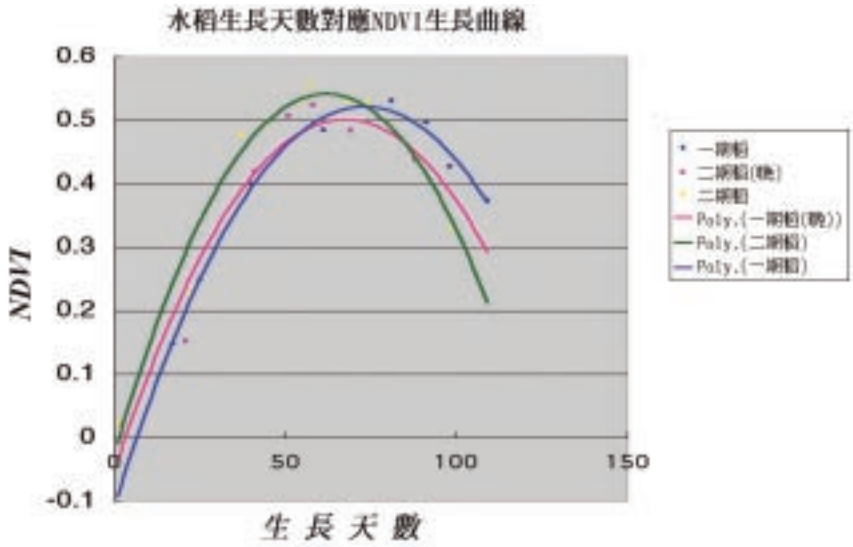


圖3. SPOT影像NDVI指數對照水稻生長天數反射曲線分佈。

公頃的稻作被感染葉稻熱病，且部份地區的水稻葉片有枯萎現象；受病感染地區包括三義、西湖、三灣、南庄、銅鑼等鄉鎮，並以銅鑼地區受病蔓延約一百多公頃最爲嚴重。因此，乃參考吳啓南等(2000b)利用地面光譜儀對彰化田中地區葉稻熱病水稻所量測的光譜資料，並蒐集苗栗地區2001/05/07日SPOT衛星影像，以進行正常及稻熱病水稻的光譜反射特性分析。

2. **正常與逆境水稻地面光譜與遙測資料分析**

(a) 葉稻熱病水稻地面光譜資料

圖4爲利用GER-3700地面光譜儀實測彰化田中地區健康水稻與稻熱病水稻的光譜反射資料(圖左爲對應之水稻生長狀況)。顯示罹患葉稻熱病植冠的光譜反射低於健康水稻的光譜反射值，尤以近紅外光部分(約750nm~1350nm)最爲明顯。

(b) 葉稻熱病水稻SPOT影像分析

由於SPOT1~3號衛星影像只有三個波段資料，且前兩個波段(綠光段與紅光段)爲高正相關；所以正常與逆境的光譜資料

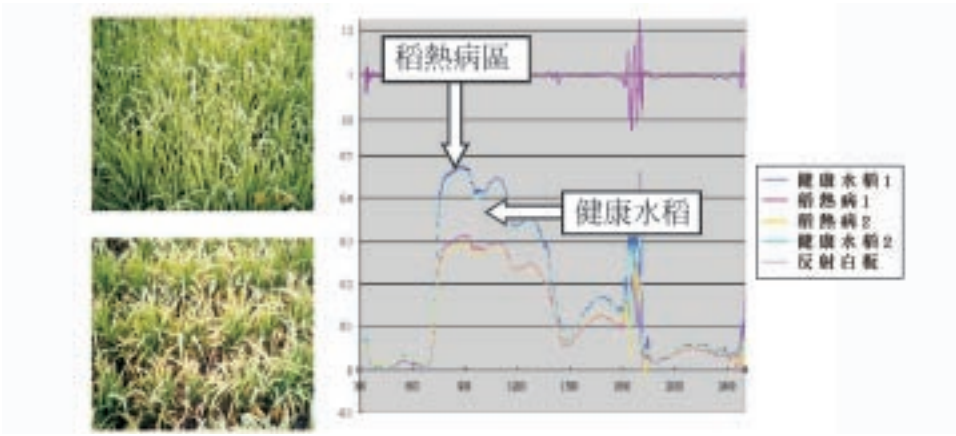
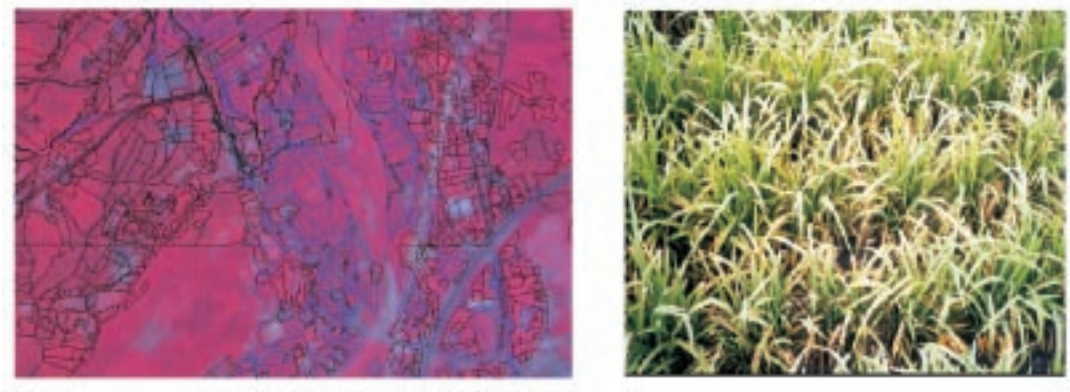


圖4 健康水稻與稻熱病水稻之地面光譜反射資料(資料來源:吳啓南等，2000b)。

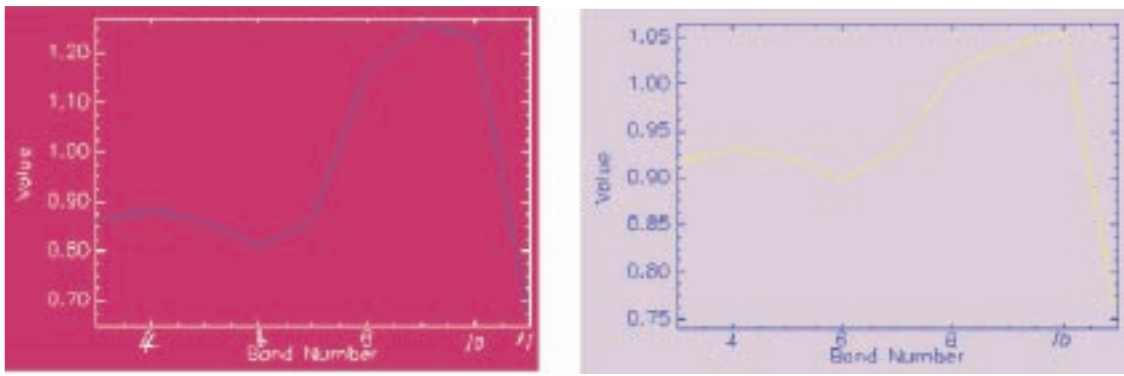
分析乃以NDVI植被指數進行之。其中逆境水稻判別爲利用地眞調查資料劃定範圍，再對應影像後萃取健康水稻與稻熱病水稻區域。圖5爲稻熱病盛行時，銅鑼地區沿128線道兩側的SPOT衛星影像及稻熱病區照片。

依吳啓南等(2000b)以空載多譜資料分析正常與稻熱病水稻的內部平均相對反射率(Internal Average Relative Reflectance，IARR；像元波譜反射值/該波段平均波譜反射值)分佈，顯示健康水稻IARR值較稻熱病水稻高(如圖6所示)；換算爲NDVI指數後，健康水稻NDVI指數亦較稻熱病水稻高。另將地面光譜資料對應SPOT三個波段的波長範圍，換算爲平均反射率後計算NDVI指數，同樣顯示逆境地區的NDVI指數較正常水稻低。研究中統計銅鑼地區128線道兩側健康與稻熱病水稻SPOT影像NDVI指數頻率分佈如圖7所示，顯示健康水稻NDVI指數亦較稻熱病水稻高。



(a)銅鑼稻熱病區SPOT影像　　(b)葉稻熱病區照片

圖5.　銅鑼地區128線道兩側稻熱病盛行區SPOT衛星影像及稻熱病區照片。



(a)健康水稻IARR分佈　　(b)稻熱病水稻IARR分佈

圖6.　空載多譜資料分析健康水稻與稻熱病水稻IARR分佈(資料來源:吳啓南等，2000b)。

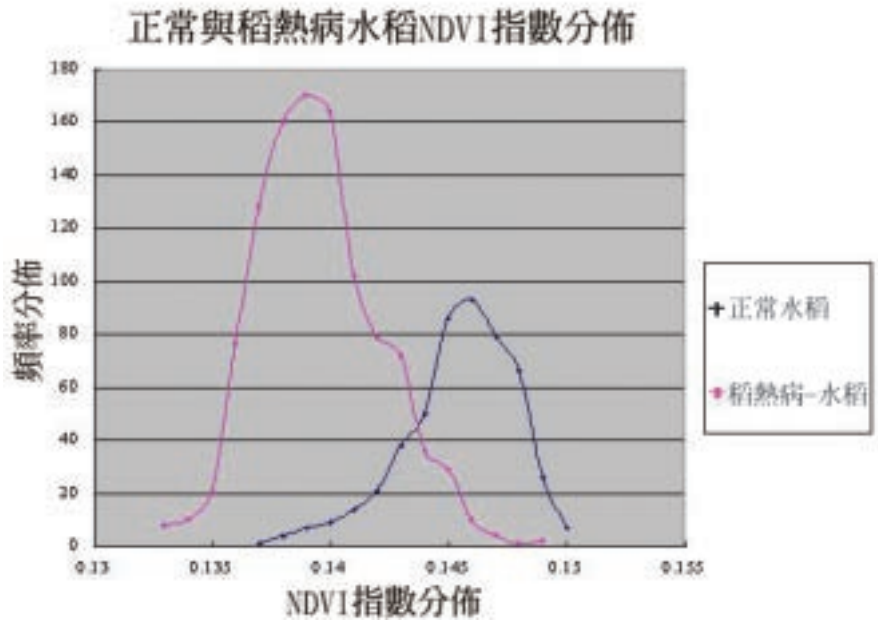


圖7. 銅鑼地區SPOT影像分析健康與稻熱病水稻NDVI指數分佈。

參、全生育期水稻地面多光譜近紅外影像光譜資料分析

地面多光譜近紅外攝像系統由於可機動獲取影像資料，受到天候影響因素較小；因此，研究中亦建立水稻全生育期的光譜資料，並進行正常與逆境環境的光譜資料分析。

一、地面多光譜近紅外影像

Duncan MS3100/CIR地面多光譜近紅外成像儀具有三個獨立CCD(如表1所示)，攝像時同時獲取相同範圍的三個波段影像；拍攝鏡頭角度(FOV)約爲20度，每幅影像大小1392(pixels) *1039(lines)；所以拍攝高度低於380公尺時的影像的空間解像力均屬公分級，如高度在15公尺地方拍攝的影像空間解像力爲0.39公分。

1.近紅外影像資料獲取

地面多光譜近紅外成像影像獲取爲利用農試所的高空作業車，在離地面約13~15公尺高度區近於垂直向下攝取正常生長、不防病、不防蟲及不同氮肥力田區的影像；而在攝取影像時亦進行感測器輻射率定，如調整增益值(gain)、平移值(offset)或影響能量來源的曝光時間，使得各波段影像反射值沒有超飽合現象，並分佈在系統容許的設定值內(0~255之間)；另外近於同一時間拍攝標準白板的光譜反射資料則提供比對及進行反射率計算。

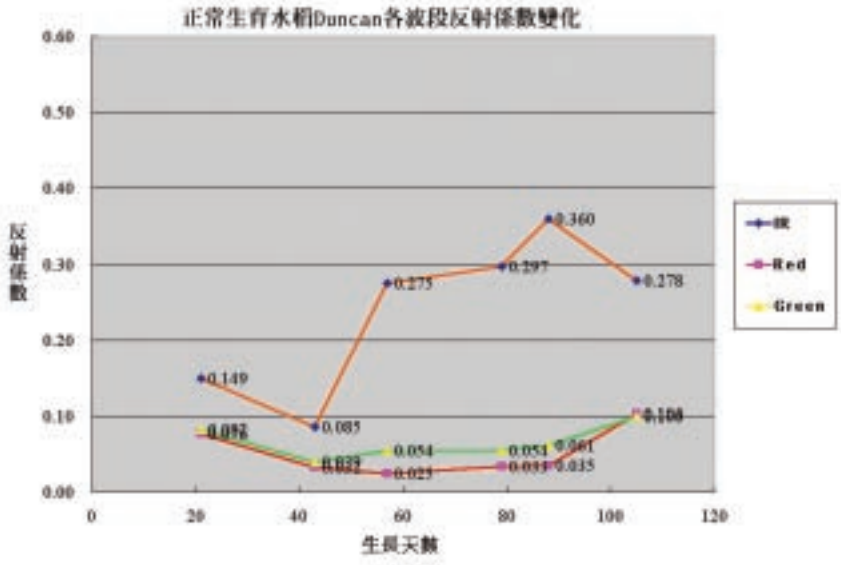
2.不同生育期水稻近紅外影像光譜資料分佈

獲取不同生長期水稻的近紅外影像後，決定水稻在影像中光譜反射值的大小，爲將全幅影像視爲同一單元，並取全幅影像的光譜反射平均值代表此區的水稻光譜反射資訊；再對照水稻生長天數，以比對不同時期水稻反應在地面近紅外影像三個波段的波譜反射情形。

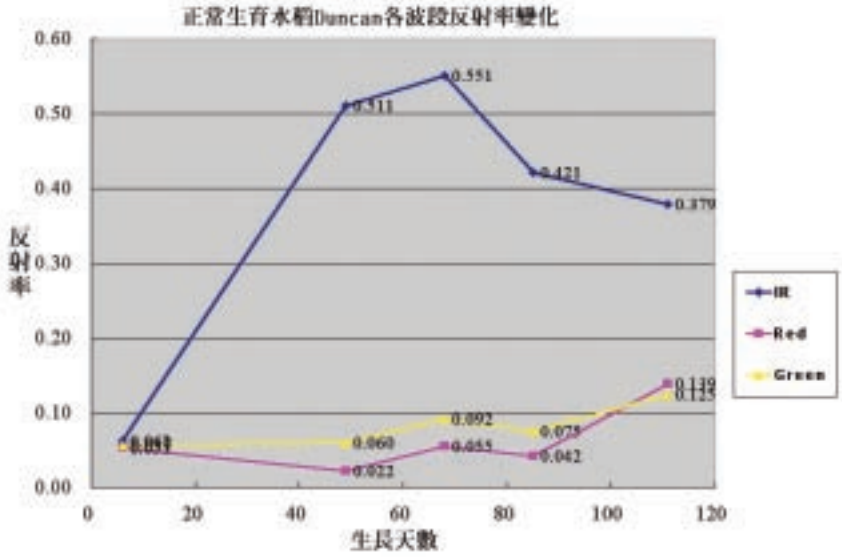
圖8所示爲兩期正常生育水稻在地面

表1. Duncan MS3100/CIR三個波段中心波長及頻寬表。

波 段	中心波長	頻 寬
綠光段	550 nm	40 nm
紅光段	660 nm	40 nm
近紅外光段	800 nm	65 nm



一期稻近紅外影像波譜反射分佈



二期稻近紅外影像波譜反射分佈

圖8. 兩期水稻地面近紅外影像對應生長天數的三個波段波譜反射分佈。

近紅外影像三個波段波譜反射率分佈。顯示一期稻在近紅外光段光譜反射隨水稻的生長逐漸上昇，抽穗期達最高峰，抽穗開花期以後緩慢下降；綠光段及紅光段的光譜反射在插秧期到有效分蘗期間慢慢下降，抽穗期以後再緩緩增高。二期稻光譜反射在近紅外光段以孕穗期最高，抽穗~乳熟期以後緩慢下降；綠光段與紅光段光譜反射與一期作近似，但二期作在孕穗期光譜反射有相對較高現象。

二、全生育期水稻近紅外影像NDVI指數分佈

利用圖8 的近紅外光譜資料計算影像的NDVI指數，並繪出水稻在正常生長、不防蟲(病)及不同氮肥力區對應水稻生長天數的反應曲線。如圖9爲地面近紅外影像換算之NDVI指數對照水稻生長天數後建立的反射曲線圖；其中一期稻NDVI極值約在幼穗形成期的0.83，二期稻NDVI極值約在孕穗期的0.91左右(與地面光譜儀量測換算NDVI極值對應生長天數接近)；顯示一期稻在孕穗~抽穗期影像的近紅外光段波譜反射率有減少現象，導致NDVI指數減少，相對NDVI極值亦往前提早到幼穗形成期。

三、正常生長與不同氮肥力水稻區光譜資料比對分析

不同氮肥力區拍攝的近紅外影像換算爲NDVI指數，再對應水稻生長天數後，繪出圖10的兩期水稻不同氮肥力區地面近紅外影像的NDVI指數分佈。其中一期稻作因氮肥控制並不好，故只利用二期稻的氮變異討論。

表2爲二期稻不同氮肥區在近紅外影像的NDVI指數；經與正常施肥區水稻的NDVI指數相減，並比較其NDVI指數變化率後(如圖11所示)；顯示不同氮肥區水稻在孕穗期以前的NDVI指數均較低，抽穗期以後的NDVI指數反而較高，且反應在黃熟期的水稻生育有較晚成熟的現象。

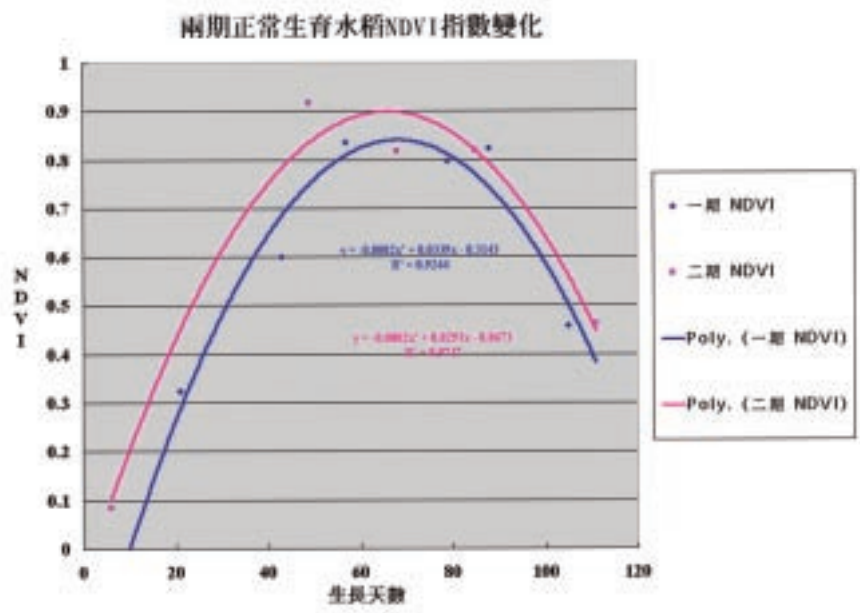
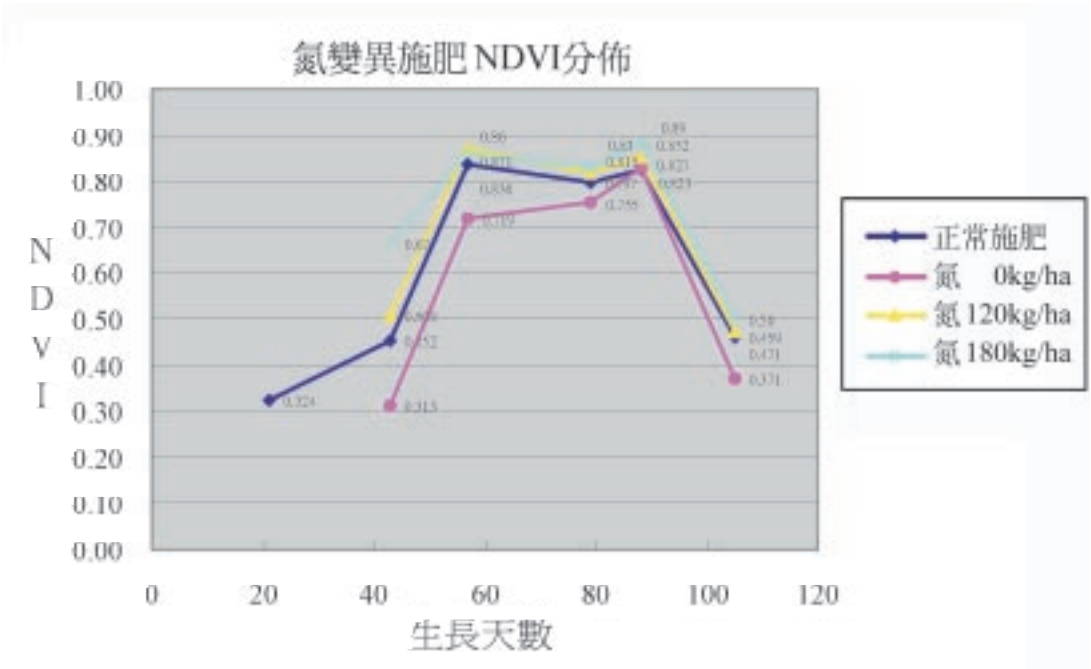
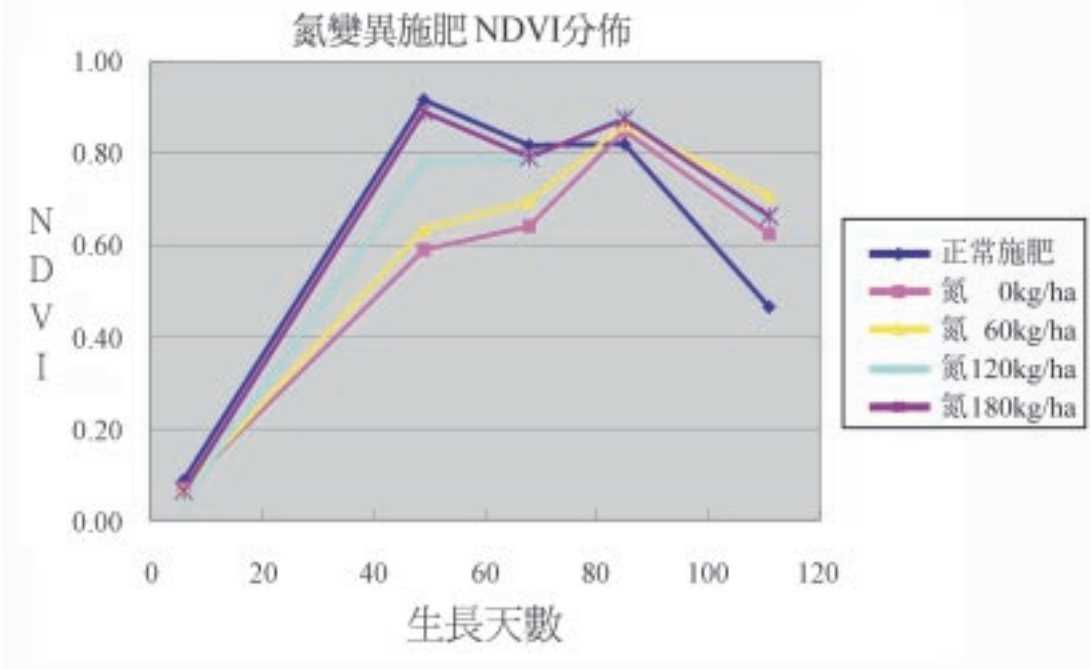


圖9.　地面近紅外影像NDVI指數對照水稻生長天數反射曲線分佈。



一期稻不同氮肥NDVI指數分佈



二期稻不同氮肥NDVI指數分佈

圖10. 正常生長與不同氮肥力區地面近紅外影像NDVI指數對照水稻生長天數反射曲線分佈。

表2. 二期稻期間不同氮肥區在近紅外影像的NDVI指數值。

生長天數	site 79	site 83-1/81-3	site 81-1	site 81-4	site 83 4/81-2	生長天數	當期水稻 NDVI 指數變化量			
	正常施肥	氮 0kg/ha	氮 60kg/ha	氮 120kg/ha	氮 180kg/ha		氮 0kg/ha	氮 60kg/ha	氮120kg/ha	氮180kg/ha
6	0.0860	0.0708	0.0688	0.0442	0.0640	6	-17.72%	-20.05%	-48.62%	-25.57%
49	0.9164	0.5900	0.6341	0.7819	0.8896	49	-35.62%	-30.80%	-14.68%	-2.93%
68	0.8179	0.6399	0.6960	0.7854	0.7903	68	-21.76%	-14.90%	-3.98%	-3.37%
85	0.8194	0.8487	0.8607	0.8844	0.8740	85	3.58%	5.04%	7.93%	6.67%
111	0.4634	0.6247	0.7072	0.6519	0.6650	111	34.82%	52.62%	40.67%	43.50%
變動範圍	0.8304	0.7779	0.7919	0.8402	0.8256	RMS	4.69%	6.24%	6.16%	3.73%

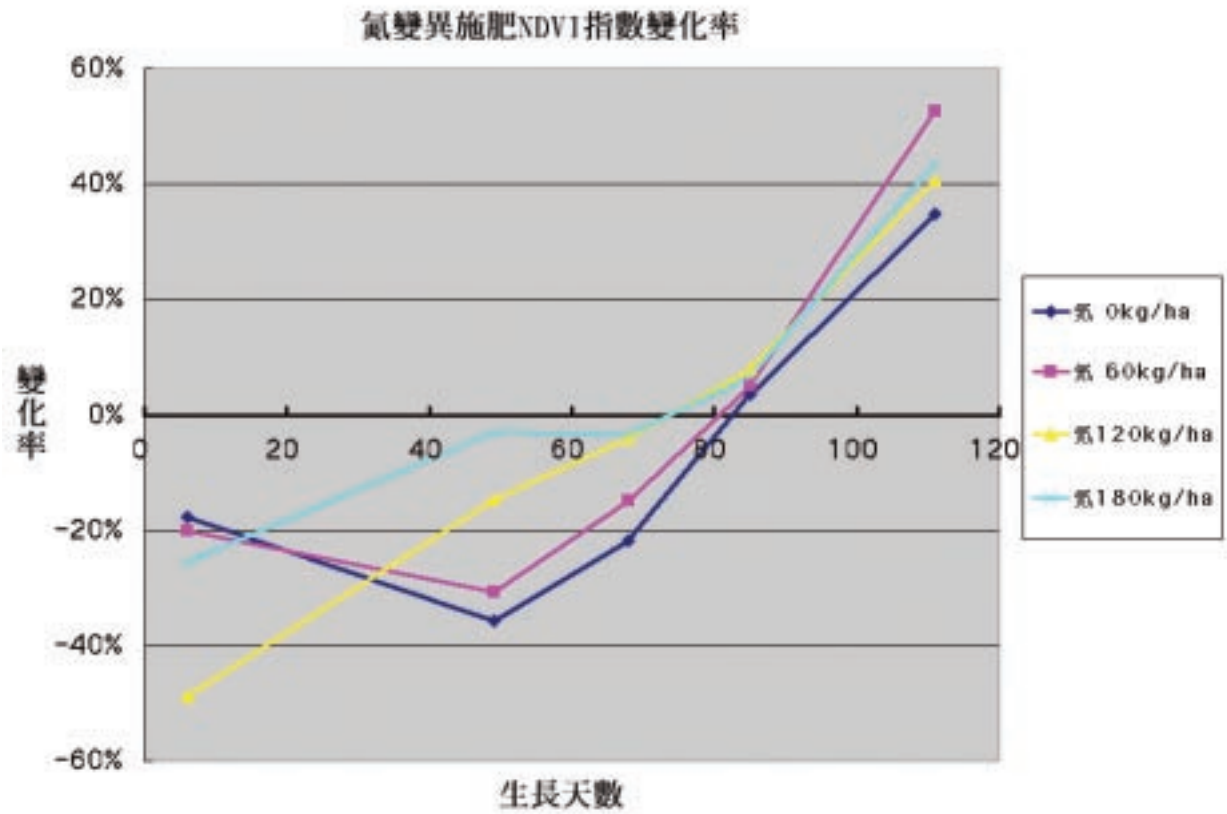


圖11. 正常生育與氮變異區水稻NDVI指數變化率。

肆、SPOT影像應用於水稻產量推估

由於獲取的SPOT影像均未經過大氣絕對輻射校正，所以難以利用單一波段資料進行水稻產量推估；但是紅光段與近紅外光段影像的波譜反射可以得知農作物大致生長狀況；因此，考慮不同大氣因素影響後，採用波段比例法可減少部份大氣效應，並達到影像分析目的；如NDVI、RVI、TVI等三種植被指數均具有紅外光段與紅光段比值的指數方法；因此，乃利用上述指數，配合田間產量建立遙測水稻產量推估模式。

一、遙測水稻產量推估模式

遙測水稻產量推估模式爲利用田間產量資料與對應相同座標的影像波譜反射值進行統計分析，並利用線性多元回歸（linear multiple regression）模式推導出回歸方程式。

1.統計回歸分析

水稻產量和遙測影像的線性多元回歸模式推求模式如下：

$$即 Y = X\beta + \Sigma \qquad (4\text{-}1)$$

Y：水稻產量估測值；

X：多光譜影像各種指數值。

Σ：隨機誤差；

β：欲解之回歸係數。

其中的最小平方(least square)解爲

$$\beta = (X'X)^{-1}X'Y$$

選擇適於預測水稻產量推估的最佳資料，採用向後消去法逐步回歸分析(stepwise regression by backward elimination)，以決定最佳水稻產量預測模式。即進行統計分析時，有N個植被指數資料進入回歸分析中，當解求出後，回歸係數的顯著性由統計量t予以評估，其中$t_i = \beta_i / S_{\beta i}$，$S_{\beta i}$表回歸係數標準差(standard deviation)；當t=2.0時當作界限(threshold)，若統計量<2.0即剔除回歸分析中最不顯著的指數(Devoer，1982)，再重新回歸求解，並逐步剔除不顯著指數，直到剩餘資料的貢獻度均爲顯著。接著進行變異數分析，以判斷此回歸結果是否具有可行性；即依據F-Test在α=5%的水平顯著性、均方差評估推定值與實測值誤差量是否合理；最後考慮回歸方程式偏差量（bias）大小及回歸相關係數是否趨近於1。因此，理想化具預測能力的統計回歸模式應滿足(吳啓南等，1989)：(1)回歸相關係數趨近於1，(2)均方差接近於0，(3)F-test與F值在α=5%時之比值≧4.0，(4)統計量ti≧2.0，(5)標準化期望總推定差與推定係數個數比$C_k/(k+1)$≦1.0。

2. 遙測水稻產量推定

遙測水稻產量迴歸分析完畢後，即可依迴歸方程式輸入常數及顯著指數資料，並進行全面性水稻空間產量估算。估算方式如下：

$$Y = K_0 + K_1(B_1) + K_2(B_2) + \cdots \qquad (4\text{-}2)$$

Y：水稻產量估計值；

K_i：回歸係數

B_i：各顯著波段波譜亮度值或植被指數值

(4-2)式的Bi爲各顯著波段波譜亮度值或植被指數值，並不是各波段的輻射量；由於波譜亮度值與輻射量的換算爲一線性關係，所以利用波段波譜亮度值或植被指數並不會影響水稻產量推估結果。圖12即

爲遙測水稻空間產量推估處理流程圖。

二、水稻產量與多時SPOT影像線性回歸關係

遙測水稻產量推估是逐步加入最高分蘗期~乳熟期的四幅影像，以修正產量推估結果。其中不同時期影像波譜反射值爲取對應坵塊中心的三個像元，依加強配置濾波決定光譜反射值後推算的NDVI、RVI及TVI指數，再計算每個坵塊區分8小區坪割資料中的中間4小區平均值，代表水稻田間產量；再與上述植被指數進行多元回歸分析，並推導出最佳的方程式。

1. 多時段影像與水稻產量多元回歸分析結果

表3爲二期稻作內13幅影像中，組合不同時期多時段影像與水稻產量多元回歸分析結果；初步設定相關係數均在0.7以上，且符合肆.一.1所述之具有理想化的統計預測能力者。

如表3所示，四幅影像中各取兩個時段影像與水稻產量多元回歸分析結果，以結合①最高分蘗期、幼穗形成期~孕穗期的三種植被指數②幼穗形成期~孕穗期、乳熟期的TVI指數回歸分析結果較佳；其中前者回歸相關係數0.84，統計標準差0.47公噸/公頃，後者回歸相關係數0.79，統計標準差0.50公噸/公頃。採用三個時期組合影像與水稻產量回歸分析結果；評估較佳者爲①最高分蘗期、幼穗形成期~孕

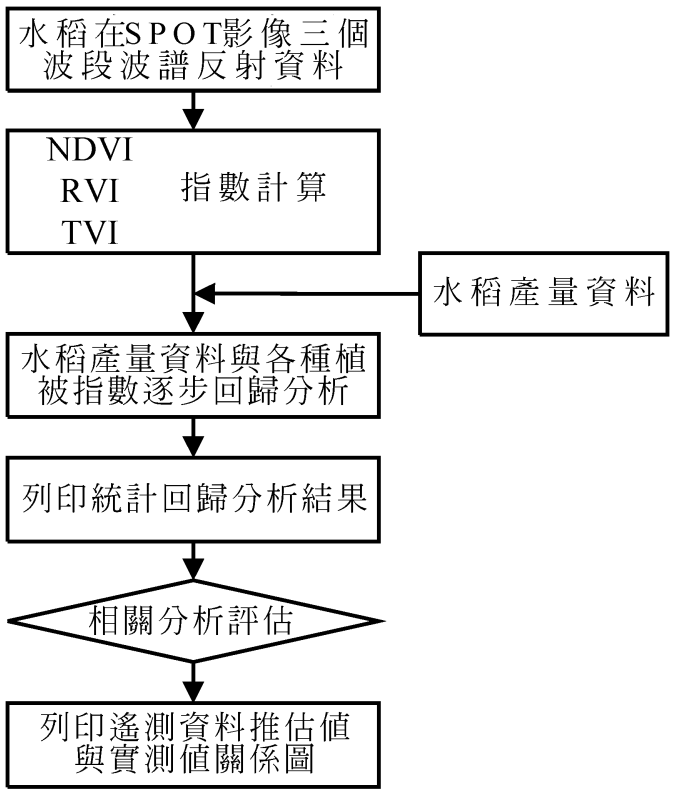


圖12. 遙測水稻空間產量推估處理流程圖。

穗期及乳熟期組合影像的RVI指數或TVI指數或綜合NDVI、TVI指數，回歸相關係數爲0.87、0.85及0.84，統計標準差爲0.42、0.46及0.47公噸/公頃。②最高分蘖期、幼穗形成期~孕穗期及抽穗期組合影像的NDVI與TVI指數，回歸相關係數0.84，統計標準差0.47公噸/公頃。③幼穗形成期~孕穗期、抽穗期及乳熟期組合影像的TVI指數，其回歸相關係數0.79，統計標準差0.50公噸/公頃。

另四個時段影像與水稻產量多元回歸分析結果，不論是各別植被指數、或同時結合NDVI、RVI與TVI三種指數，其回歸相關係數均大於0.89，統計標準差在0.39~0.41公噸/公頃之間；顯示以四個時期的影像推估水稻產量已趨於穩定，且具有較佳化的推估結果；圖13即爲四個時期影像與水稻產量回歸分析之實測值與推估值關係圖。

3. SPOT影像推估水稻空間產量

由於SPOT影像對應農試所精準農業實驗田後，每個坵塊水稻的純像元數不多；所以遙測影像推估的水稻產量，將坵塊範圍視爲基本計算單元。經以回歸方程式漸次推估二期稻作水稻產量，得到如圖14的SPOT影像推估農試所精準農業實驗田89年二期水稻產量空間分佈圖。

三、預估水稻產量最佳光學影像攝像時機

理論上以遙測光學影像預估水稻產量時，若有足夠的好品質影像，且足以反應水稻的反射光譜變化；則應加入預估水稻產量最佳光學影像攝像時機中。事實上，衛星並非每天均通過目標物上空進行攝像，且無雲或低霾的天氣無法確定；所以只就蒐集到的影像攝像日期對應水稻生育期別，以預估水稻產量最佳的影像攝像時

表3. 二期稻具理想化預估水稻產量的組合影像期別及迴歸分析結果。

對照水稻生育期別（2000年）	水稻期別	回歸參數	標準誤差	回歸相關係數
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期	二	TVI	0.57	0.7058
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期	二	NDVI、RVI TVI	0.47	0.8433
幼穗形成期~孕穗期、抽穗期	二	TVI	0.57	0.7058
幼穗形成期~孕穗期、乳熟期	二	TVI	0.50	0.7930
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、抽穗期	二	NDVI、TVI	0.47	0.8423
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、乳熟期	二	RVI	0.42	0.8687
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、乳熟期	二	TVI	0.46	0.8457
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、乳熟期	二	NDVI、TVI	0.47	0.8423
幼穗形成期~孕穗期、抽穗期、乳熟期	二	TVI	0.50	0.7930
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、抽穗期、乳熟期	二	NDVI	0.41	0.8871
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、抽穗期、乳熟期	二	RVI	0.39	0.9010
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、抽穗期、乳熟期	二	TVI	0.40	0.8938
最高分蘖期、幼穗形成期-孕穗期、抽穗期、乳熟期	二	NDVI、RVI TVI	0.40	0.8991

附註:NDVI:正規化差異植被指數值；RVI:比例植被指數；TVI:轉換植被指數

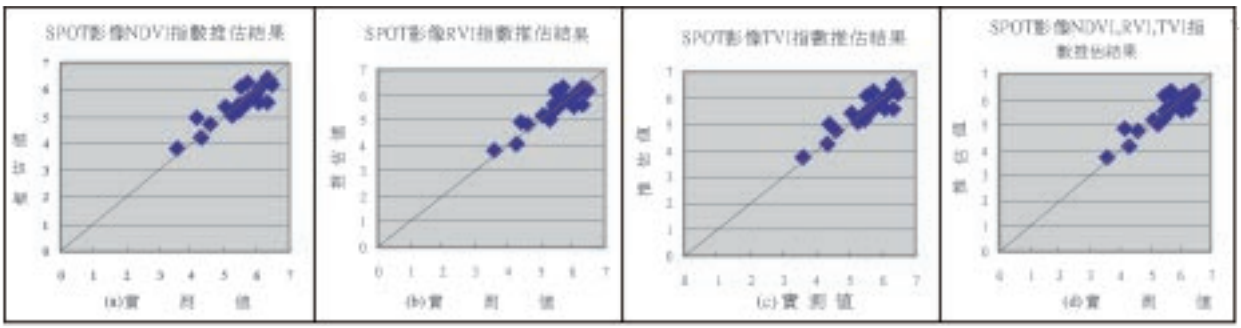


圖13. 四個時期影像與水稻產量迴歸分析之實測值與推估值關係圖。
(SPOT影像攝像日:2000/09/07、09/27、10/05、10/29)

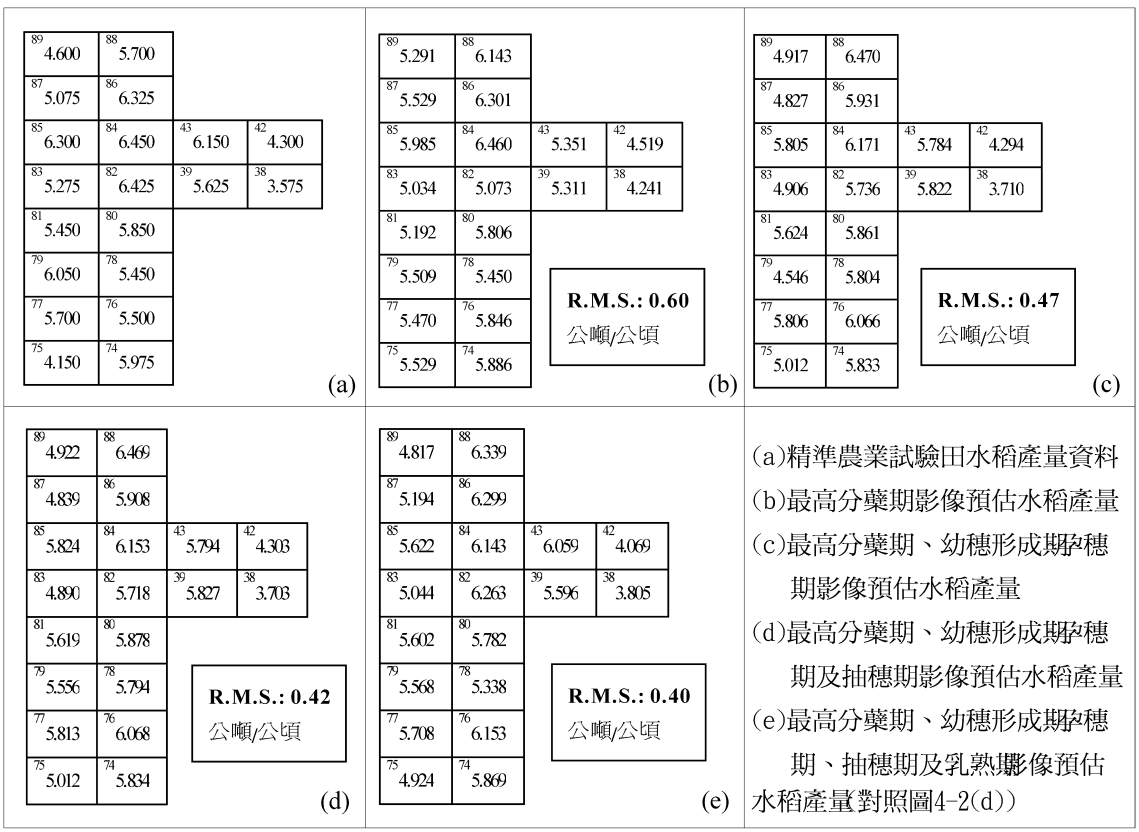


圖14. SPOT影像推估精準農業實驗田89年二期稻產量空間分佈。

機。

如肆.二.1節所述，單一時期SPOT影像以水稻最高分蘖後期預測產量能力較佳(回歸相關係數相對較高)。結合兩個時期影像以最高分蘖期、幼穗形成期~孕穗期的NDVI、RVI及TVI指數可得到較佳的預測結果(回歸相關係數0.84，統計標準誤差0.47公噸/公頃)；其次爲幼穗形成期~孕穗期、乳熟期的TVI指數(回歸相關係數0.79，統計標準誤差0.50公噸/公頃)。綜合三個時期影像以最高分蘖期、幼穗形成期~孕穗期、乳熟期的RVI指數預測結果較佳(回歸相關係數0.87，統計標準誤差0.42公噸/公頃)；另外在最高分蘖期、幼穗形成期~孕穗期、抽穗期的NDVI及TVI指數、及以乳熟期取代抽穗期的TV指數或NDVI、TVI指數，其回歸相關係數亦可達0.84，統計標準誤差則在0.46~0.47公噸/公頃之間。

結合四個時期影像預測水稻產量幾乎爲穩定狀態，無論以一種指數、或結合NDVI、RVI及TVI指數，其迴歸相關係數在0.89~0.90之間，而預估水稻的統計標準差則降至0.39~0.41公噸/公頃之間。

伍、討論與建議

本研究利用SPOT衛星影像及地面近紅外影像資料，分析水稻在正常環境之全生育期及逆境環境的光譜反射特性；比對其光譜反射的差異性後，建立遙測影像之正常與逆境之NDVI指數分佈。另結合農試所試驗田區產量資料，初步建立以多時段SPOT影像預估水稻產量之線性回歸關係式，並推估產量空間分佈。討論與建議如下:

(一) SPOT影像反應水稻植冠的光譜反射，綠光段在成活期到幼穗形成期間的反射值緩慢減少，抽穗期以後慢慢提昇；紅光段在插秧到幼穗形成期以前緩慢減少，幼穗形成期以後增加；近紅外光段在幼穗形成期以前快速增加，幼穗形成期~孕穗期達最高峰，抽穗開花期到乳熟期間光譜反射值緩慢下降；地面近紅外影像的光譜反射亦有類似的結果。

(二)兩期水稻在SPOT影像與地面近紅外影像的NDVI指數對應生長天數分佈曲線圖型相似；其中兩期水稻在SPOT影像的NDVI指數對照水稻生育期，極大值約在幼穗形成期~孕穗期生育期間的0.53。地面近紅外影像反應在一期稻的NDVI極值約在幼穗形成期的0.83，比SPOT影像約早15天；二期稻的NDVI極值與SPOT影像分析結果接近，對照水稻生育均在孕穗期，但極值爲0.91，遠比SPOT的NDVI指數極值大。

(三)比較二期作不同氮肥力區NDVI指數與正常生育水稻差異後，顯示氮變異區水稻在孕穗期以前的NDVI指數均較低，抽穗期以後的NDVI指數反而較高，反應在黃熟期的水稻生育有較晚成熟的現象。

(四)水稻產量推估採用逐步回歸分析向後消去法，並以具備(1)回歸相關係數趨近於1，(2)均方差接近於0，(3)F-test與F值在=5%時比值≧4.0，(4)統計量ti≧2.0，(5)標準化期望總推定差與推定係數個數比$C_k/(k+1)\leqq 1.0$等五種理想化預測能力的統計迴歸模式爲評估基準。評估結果顯示二期稻作期間，綜合最高分蘖期與幼穗形成期~孕穗期兩個時段影像，與水稻產量多元回歸分析的相關係數最高爲0.84，標準誤差爲0.47公噸/公頃；最高分

蘗期、幼穗形成期~孕穗期及抽穗期的組合影像，統計回歸相關係數爲0.84，標準誤差0.47公噸/公頃；以乳熟期影像取代抽穗期影像的回歸分析相關係數0.87，統計標準差爲0.42公噸/公頃；四個時期影像與水稻產量回歸分析的相關係數均大於0.89，統計標準差在0.39~0.41公噸/公頃之間。

(五)由於Duncan MS3100/CIR 多光譜近紅外成像儀三個獨立CCD的拍攝鏡頭角度(FOV)約爲20度，每幅影像的大小1392(pixels)*1039(lines)；因此，若拍攝高度低於380公尺時的影像的空間解像力均屬公分級。因此，若有穩定的高空平臺提供影像獲取，則可配合地面控制點的佈設，獲取較大範圍的影像，並配合影像的幾何校正，將資料轉換到實際的面狀資訊，以利進一步的分析與應用。

陸、引用文獻

1. 吳啓南、蕭國鑫、廖子毅、徐偉城、劉治中。2000a。運用空載多譜掃描及地面成像光譜儀監測水稻生育及自動辨識研究。工研院能資所063-89-W043研究報告，共70頁。
2. 吳啓南、陳大科等七人。2000b。遙測與資訊技術應用於精準農業先趨計畫-農作生長及農災監測。工研院能資所063-89-W022研究報告，共69頁。
3. 吳啓南、蕭國鑫等七人。1989。遙測資料應用於二仁溪及北港溪水污染調查報告。工研院能資所78污染與公害防治專案計畫報告，共141頁。
4. Devoer, J.L. 1982. Probability and Statistics for Engineering and the Sciences, CH 13, Wadsworth Inc., California, USA.
5. Maselli, F. and F. Rembold. 2001. Analysis of GAC NDVI Data for Cropland Identification and Yield Forecasting in Mediterranean African Countries. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 67 (5):593-602.
6. Prince, S.D. 1990. High temporal frequency remote sensing of primary production using NOAA AVHRR. Applications of Remote Sensing in Agriculture. M.D. Steven and J.A. Clark, editors. Butterworths London, U.K., 4:169~183.
7. Staggenborg S. and R. Taylor. 2000. Predicting Grain Yield Variability Using Infrared Image. 5th International Conference on Precision Agriculture.
8. Yang, C. and J. Everitt. 2000. Relationships Between Yield Monitor Data and Airborne Multispectral Digital Imagery. 5th International Conference on Precision Agriculture.

柒、誌 謝

本研究承農委會90農科-4.1.1-農-C2(01)之水稻生育狀況與環境監測系統~水稻生長、逆境及產量之監測與估測技術研究~SPOT衛星與地面近紅外成像儀之監測應用計畫、90農科4.1.2-林-R1(13)之農作生產及農災監測(稻熱病資料)計畫支援，農試所農場組提供89年水稻產量資料；另地面近紅外影像拍攝時，農試所農藝組作物逆境研究室高空作業車全力配合，本研究得以完成，深致謝忱。

2 Preliminary Study on Using Spaceborne and Ground-based Remotely Sensed Data for Rice Growth and Yield Monitoring

Chi-Nan Wu, Kuo-Hsin Hsiao, Wei-Chen Hsu, Tzu-Yi Liao, Ta-Ko Chen and Chi-Chnung Lau

Remote Sensing Lab., Energy & Resources Laboratories,
Industrial Technology Research Institute, Chutung, Hsinchu 310, Taiwan ROC
E-mail:690398@itri.org.tw

ABSTRACT

SPOT and Duncan MS3100/CIR imagery were adopted for the study of rice growth status and yield monitoring. The full-growth-period spectral responses of rice were characterized by NDVI distribution derived by using SPOT bands, and the NDVI responses of normal and leaf blast infected rice plants were compared. The NDVI, RVI and TVI indices derived from SPOT imagery during two cropping seasons in 2000 were used to correlate with the yields of the parcels by means of stepwise regression technique. Meanwhile, data from ground-based Duncan MS3100 imagery (G, R, NIR) were taken from the normal and varied nitrogen fertilized parcels to study their spectral response in the two cropping seasons of 2001. The results show that both NIR and NDVI indices rearched the maximum in panicle formation to grain filling stage, while their values were lower in the leat blast infected rice compared to the normal plants. When single or multiple SPOT images were employed to correlate with the yield of the first crop, the maximum regression coefficient (MRC) was 0.66. The MRC was increased to 0.71, 0.84 and 0.90 when the images from the maximum tillering stage, panicle formation stages, and grain-filling stage were incorporated into the analysis of the second crop, respectively. For the latter case, the standard deviation of the yield was 0.39 ton/ha. On the other hand, the images acquired by Duncan were gain adjusted and the NDVIs caculated from the data of the two cropping seasons in 2001 were analyzed. It was found that the maximum of NDVI was also located at the panicle formation to grain filling stage, and the NDVIs of varied nitrogen fertilized paddies were lower before grain filling stage, but higher than the normal paddy after heading stage. The preliminary results

suggest that the ground-based imagery can be used to distinguish the growth variation by the different rates of nitrogen fertilization.

Key words: Rice yield, Regression analysis, Growth monitoring.

3 應用遙測技術推估水稻產量之初探

申雍[1*] 章國威[2] 李裕娟[3] 楊純明[3] 羅正宗[4]

[1]國立中興大學土壤環境科學系

[2]國立中興大學植物學系

[3]行政院農業委員會農業試驗所農藝組

[4]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所農藝組

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 40

壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 41

貳、材料與方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 41

參、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 42

肆、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 46

3 應用遙測技術推估水稻產量之初探

申雍[1*] 章國威[2] 李裕娟[3] 楊純明[3] 羅正宗[4]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]國立中興大學植物學系
[3]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4]行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所農藝組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘　要

利用遙測影像推估田間水稻產量的空間分佈，不僅是實施精準農業的重要基礎，也可供糧政主管單位進行糧食供需的調配。本研究目標主要在分析地面測得之植被反射光譜，建立特徵光譜與水稻產量間的定量關係，作爲應用遙測技術推估田間水稻產量空間分布之基礎。研究以台灣地區目前栽培面積較廣之台農67號水稻爲研究對象，於農試所嘉義分所之溪口農場內建立水稻樣區，在1999-2001年三年間藉由不等量氮肥施用產生水稻產量間之變異。試驗期間定期測定田間水稻植冠反射光譜，以分析水稻全生育期中反射光譜變動特性，並於水稻收穫時調查水稻之產量，尋求水稻反射光譜特性與產量間的關聯性，以建立利用遙測影像估測水稻產量所需之模式。初步研究結果指出，在抽穗期間水稻植被反射光譜的動態變動最小，因此適合用於進行田間水稻產量空間分布之推估。以植被反射光譜中綠光段(G)、紅光段(R)、和近紅外光段(NIR)計算之波段比值(NIR/R、NIR/G)，可組成推估水稻產量的複回歸模式，並可適用於推估不同年期之水稻產量。以農試所內精準農業農場2001年一期作的資料進行所得模式的應用性檢驗研究，結果指出該模式亦可適用於農試所內精準農業農場，惟可能由於種植密度和產量調查時坪割面積與考種方式的差異，雖然遙測模式預測值與實測值間具有良好的正相關(R^2=0.84)，但截距仍約有2 T ha^{-1}，因此該模式目前僅適合用於區劃田間水稻相對產量的空間分布，還不能用於區劃田間實際產量之空間分布情形，仍有待累積更多地點的相關試驗資料以進行模式之修正。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、特徵光譜、產量推估、遙測模式。

壹、前　言

「精準農業」 (precision agriculture，或稱site-specific farming)要求能精確掌握氣候和土壤之時間與空間的變異，以及其對農作物生育的影響，使能經由肥培、施藥等栽培管理手段，進行高效率的農業經營與管理，並減少由農業所產生之非點源污染(non-point pollution)，進而達到提高生產利潤，保護生態環境的目標，使農業得以永續發展(Blackmore *et al*., 1995; Castelnuovo, 1995; Pierce and Sadler, 1997)。田間作物產量的空間分佈圖則是進行精準管理的基礎，由累積數年期的田間產量空間分佈圖，不僅可以依據所設定之精準管理的目標，規劃適當的田間管理組圖(Larscheid *et al*., 1997)；也可用於細究導致田間產量發生空間分佈變異的原因，進行相關的土壤改良工作。

用航遙測技術或Yield Monitor都可獲得水稻產量之空間分布資訊， 但各有優缺點。利用衛星和飛機進行的遙測，具有可快速進行大範圍作物生育情形調查之優點，因此遙測影像常被用於獲得田間作物相對產量的空間分佈資訊，例如Long et al. (1995)曾利用彩色紅外線相片的灰度值區分田間作物相對產量的空間分佈圖。但是若要結合不同年期的田間產量分佈圖進行精準管理的分析，或是進行田間產量估算時，就必需能由遙測影像估測作物得實際產量，亦即需要有可將遙測影像資訊轉爲田間作物實際產量的校正模式。

水稻是臺灣地區主要的糧食作物，糧政單位需要能推估大面積田間水稻產量之遙測技術。

以往台灣地區與水稻有關之遙測研究多偏重於水稻種植面積之調查，例如，陳等(1994)曾利用不同生長時期SPOT影像各波段影像灰度值的變化以判釋插秧面積；鄧(1997)、劉等(1998)、陳與曾(1999)則結合遙測影像和地理資訊系統(GIS)進行水稻種植面積的判釋，以克服農地坵塊面積小、作物種類繁雜等問題，提高水稻田的辨識精確度達90%以上。但是，有關利用遙測資料估算水稻產量的基礎性研究仍相當缺乏，因此對於應用遙測影像資料進行水稻產量或受災程度等的評估工作仍產生嚴重限制。

本研究主要分析於地面量測所得的水稻植被反射光譜和相對應的水稻產量等地眞資料，建立田間水稻植被反射特徵光譜與產量間的定量關係，作爲應用遙測技術推估田間水稻產量空間分布之基礎。

貳、材料與方法

本研究以台灣地區目前栽培面積最廣之台農67號水稻爲研究對象，於農試所嘉義分所之溪口農場內建立水稻樣區，在1999-2001年三年間藉由不等量氮肥施用(0、30、45、60、90、180 kg N ha^{-1})，造成各處理樣區間水稻生長勢和產量之差別，每處理三重覆，各樣區面積至少10m×10 m。

試驗期間定期利用可攜式光譜儀(LI-1800)測定田間水稻植冠反射光譜。取用的波長範圍爲400~1100nm，波段間隔10nm。測定時將遠端接受器(LI-1800-02 remote cosine receptor)橫向伸出約1.5m至水稻植冠上方約1m處，以減少儀器遮陰的影響。所有反射光譜的測量工作皆於上

午十時至下午二時間完成，以減少太陽入射角對植冠反射光譜之影響，並選擇入射日射受雲干擾少時，盡快反覆測量入射及反射光譜各三次，再由三次入射與反射測定之平均值，計算水稻植冠的反射光譜。收穫時則於各處理樣區以坪割方式(1m²)採取稻株樣本，以人工脫粒，經曬乾、風選、定水分等步驟，換算成含水率13.5%的水稻單位面積產量。

量測所得之水稻植被反射光譜再依SPOT的多光譜影像波段分成綠光段(G，0.50-0.59 μm)、紅光段(R，0.61-0.68 μm)、近紅外光段(NIR，0.79-0.89 μ m)等三個波段，進行NDVI與波段比值等特徵光譜分析，藉由比較各處理間的差異，以及特徵光譜隨時間的變動，選擇最適合的特徵光譜與時間點，利用複回歸統計求取特徵光譜與水稻產量間的關係模式。

參、結果與討論

一期作水稻植被反射光譜的典型變化示於圖1。插秧後第3週，水稻剛由移植的傷害中恢復，田間葉面積少，植被覆蓋率也低，田水和土壤的反射光譜對地面反射光譜仍有相當多之貢獻，此時可見光段的反射值僅略低於近紅外光段的反射值。插秧3週後，由於水稻分蘗數和葉面積快速增加，因此近紅外光段的反射值快速升高，但是可見光段的反射值卻因葉片葉綠素之吸收而降低，在插秧後12週約可達近紅外光段的最大值和可見光段的最低值。在生育後期，水稻葉片逐漸黃化、枯萎，可見光段的反射值因葉綠素濃度減少而升高，但近紅外光段的反射值卻因葉片枯萎和背景土壤之暴露而降低。水稻二期作反射光譜隨生育期的變動情形與一期作相類似，可見光段的反射值在生育前期會逐漸下降，在生育後期會逐漸上升；近紅外光段的反射值在生育前期會快速上升，在生育後期則會逐漸下降。

不同氮肥處理生育期間量得的植被反射光譜計算之SPOT波段比值(NIR/R、NIR/G、G/R)，以及標準差植被指數(normalized difference vegetation index，(NIR-R)/(NIR+R))等則示於圖2～圖5。因

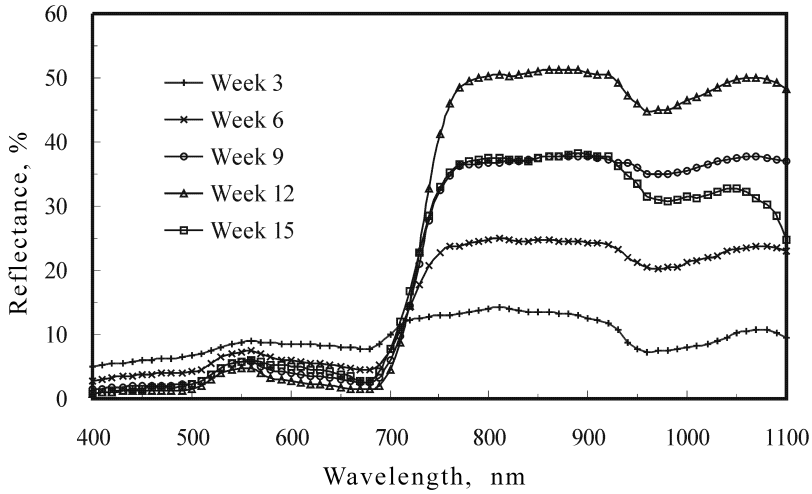


圖1. 水稻一期作反射光譜的典型變化情形。

生育期中植被反射光譜在可見光段和近紅外光段改變之程度和方向不同的影響，這些波段比值和植被指數在生育前期有逐漸升高，生育後期又逐漸下降的變動趨勢。不同氮肥處理間，以NIR/R和NIR/G的差異最大，此應與氮肥用量較多者有較多的葉面積和較高的葉綠素濃度有關。各處理間G/R或NDVI的差異並不顯著，因此可能不適合作爲擬建立之產量推估模式的自變數。

由圖2～圖5的時間變化也可瞭解，在幼穗分化期(～70 DAT)或抽穗期(～100 DAT)前後各式植被指數隨時間的變動較爲緩和，但在其他的時期隨時間的變動大；且由於抽穗期距離水稻成熟約僅剩一個月，因此若要利用植被反射光譜建立估算田間水稻產量的遙測模式，可能以抽穗期的反射光譜最爲合適。若就各年度之一、二期作分別進行回歸分析，則不論以NIR/R或NIR/G都可得到顯著的直線相關，如表1所示。此乃由於綠光段和紅光段的反射值主要與植被中葉綠素的濃度有關，而近紅外光段的反射值主要與植被之葉面積有關，且植冠中葉綠素濃度和葉面積又與水稻的光合成能力有關。

若將不同年度所執行類似之氮肥試驗的一、二期作之產量與相對應之植被指數合併分析(表2)，即可瞭解在同一期作在不同年度雖有類似的產量，卻不一定有類似的NIR/R或NIR/G比值，但不同年度間NIR/R和NIR/G波段比值的變動趨勢卻具有相互對應的關係；且一期與二期作雖然植被指數可能類似，但水稻產量卻大不相同。此可能與不同年度、期作之氣候條件不同，因而造成水稻生長發育型態或葉綠素濃度分佈上的差異有關。因此，若要由植被特徵光譜建立推估產量的遙測模式，則必須將累積的一、二期作資料分開，利用屬於同一期作的產量資料和對應的NIR/R和NIR/G波段比值，以複回歸統計

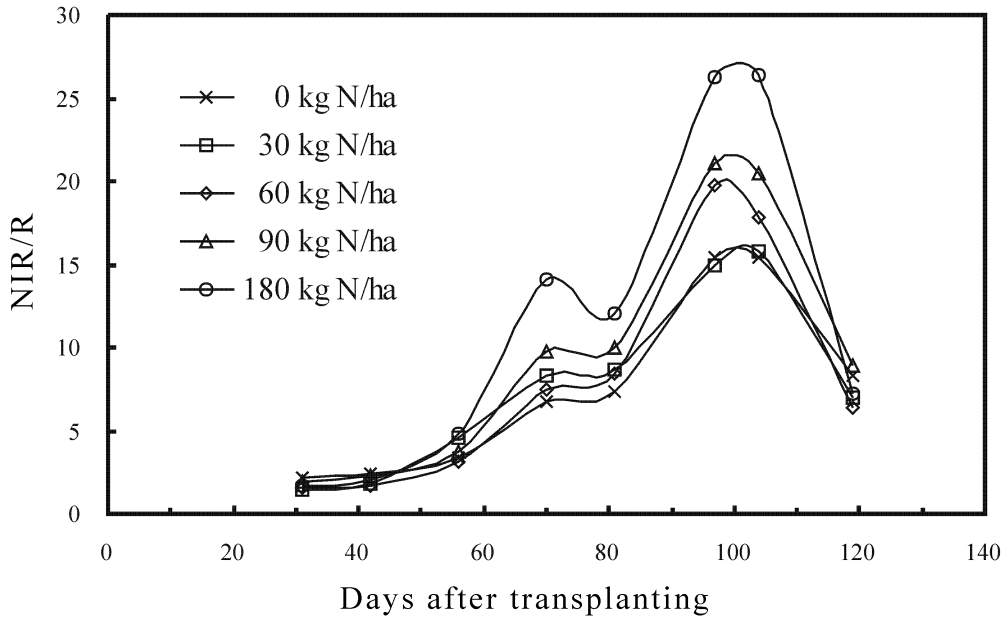


圖2. 不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值NIR/R的變化情形。

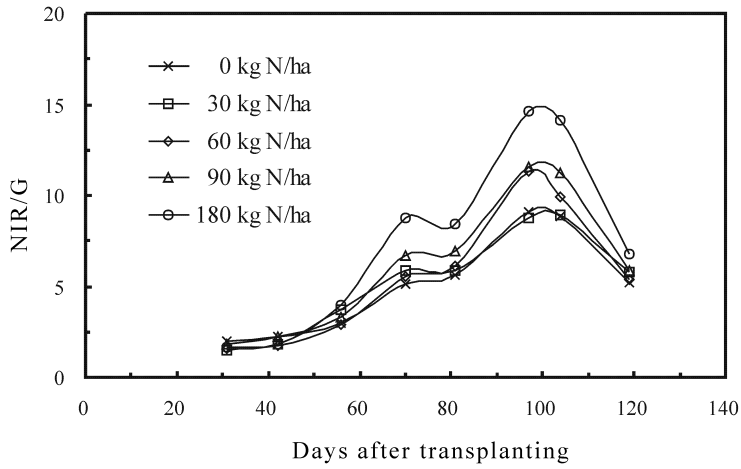


圖3. 不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值NIR/G的變化情形。

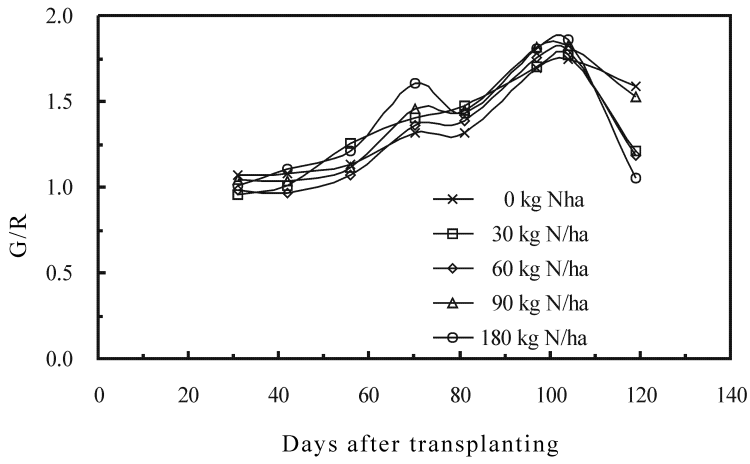


圖4. 不同氮肥處理一期作水稻插秧後波段比值G/R的變化情形。

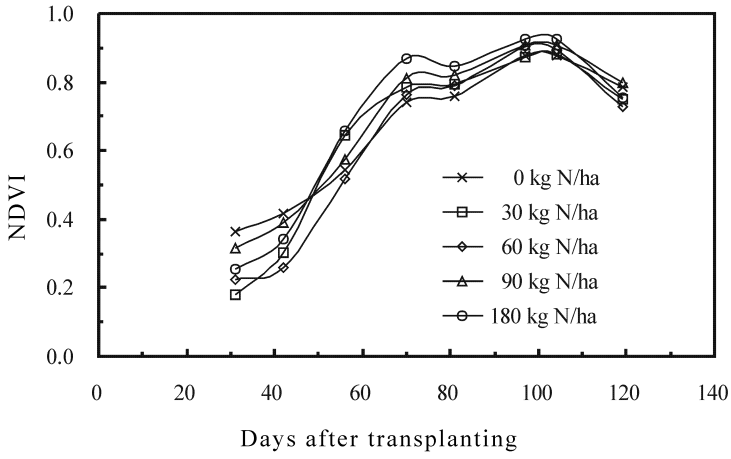


圖5. 不同氮肥處理一期作水稻插秧後植被指數NDVI的變化情形。

表1. 不同年度和期作水稻產量與抽穗期NIR/R或NIR/G波段比值間的線性關係。

	NIR/R			NIR/G		
Year/Season	Intercept	Slop	R^2	Intercept	Slop	R^2
2001/I	1.89	0.23	0.95	0.71	0.53	0.99
2000/I	0.32	0.32	0.97	-0.44	0.66	0.96
1999/I	-4.45	0.93	0.89	-5.90	1.64	0.96
2000/II	1.00	0.37	0.96	-0.02	0.69	0.97
1999/II	1.15	0.21	0.98	0.07	0.47	0.98

表2. 不同年度和期作水稻產量與抽穗期NIR/R和NIR/G波段比值間變化的綜合比較。

N Treatment kg N ha^{-1}	Yield Ton ha^{-2}	NIR/R	NIR/G
1st crop, 2001			
0	3.85	8.9	6.0
45	4.69	11.8	7.6
90	4.62	11.3	7.3
180	4.75	13.1	7.7
1st crop, 2000			
0	4.88	15.4	8.8
30	5.38	15.8	8.9
60	6.41	17.8	9.9
90	7.38	20.4	11.2
180	8.58	26.3	14.1
1st crop, 1999			
0	3.96	9.6	6.2
90	6.40	10.7	7.2
180	7.19	12.7	8.2
2nd crop, 2000			
0	3.88	8.1	5.9
45	4.59	10.2	7.1
90	5.78	11.4	7.7
180	6.94	16.3	10.4
2nd crop, 1999			
0	3.58	11.0	7.2
90	4.49	17.0	10.0
180	5.89	21.8	12.1

方法，得到適用於不同年度的產量推估模式，分如圖6、圖7所示。

爲驗證所得推估模式在其他地點與氣候環境下的適用性，2001年一期作期間於農業試驗所精準農業農場內設置之氮肥處理試驗區，量測抽穗期間水稻植被反射光譜，計算NIR/R和NIR/G等波段比值後推估產量，並與實際的評割產量比較(圖8)。結果指出該模式亦可適用於農試所內精準農業農場，惟可能由於種植密度和產量調查時坪割面積與考種方式的差異，雖然遙測模式預測值與實測值間具有良好的正相關(R2=0.84)，但截距仍約有2 T ha-1，因此該模式目前僅適合用於區劃田間水稻相對產量的空間分布，還不能用於區劃田間實際產量之空間分布情形。

肆、引用文獻

1. 陳哲俊、楊金江、陳珠燕、張彬、徐滄淇、王宏基、劉建慧。1994。利用衛星影像資料改進稻作面積自動估算及生育查報。農委會研究報告83-遙測-02-07.47。
2. 陳益凰、曾義星。1999。應用多時段衛星影像辨識水稻田之研究。航測及遙測學刊4:1-16。
3. 鄧敏松。1997。結合多時段遙測影像、耕地坵塊與領域知識之區域影像辨識法於水稻田耕作調查之應用。國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
4. 劉治中、蕭國鑫、吳啓南。1998。使用遙測資料更新農地土地利用資訊。工研院能資所第06-3-88-W001研究報告。

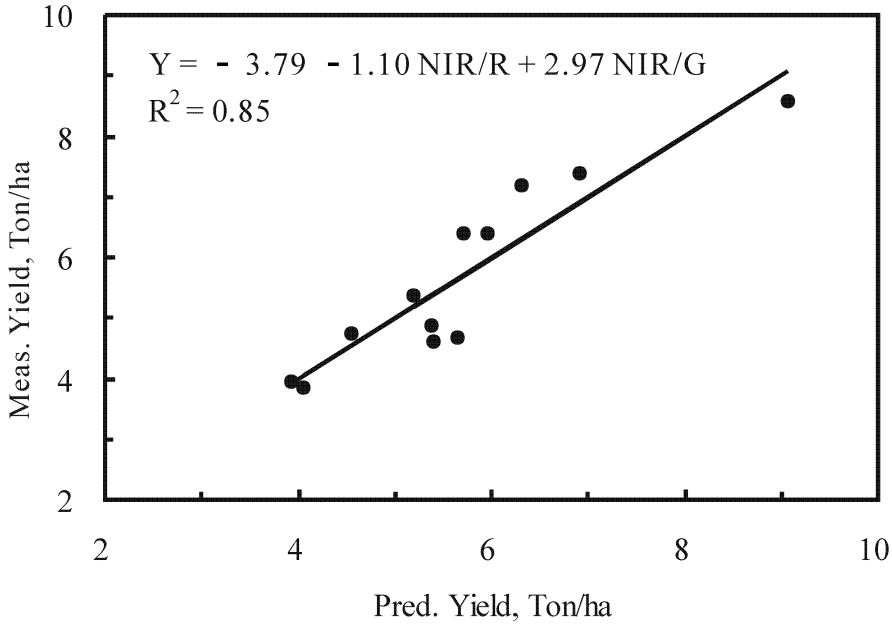


圖6. 1999-2001一期作水稻產量推估模式預測值與實測值比較。

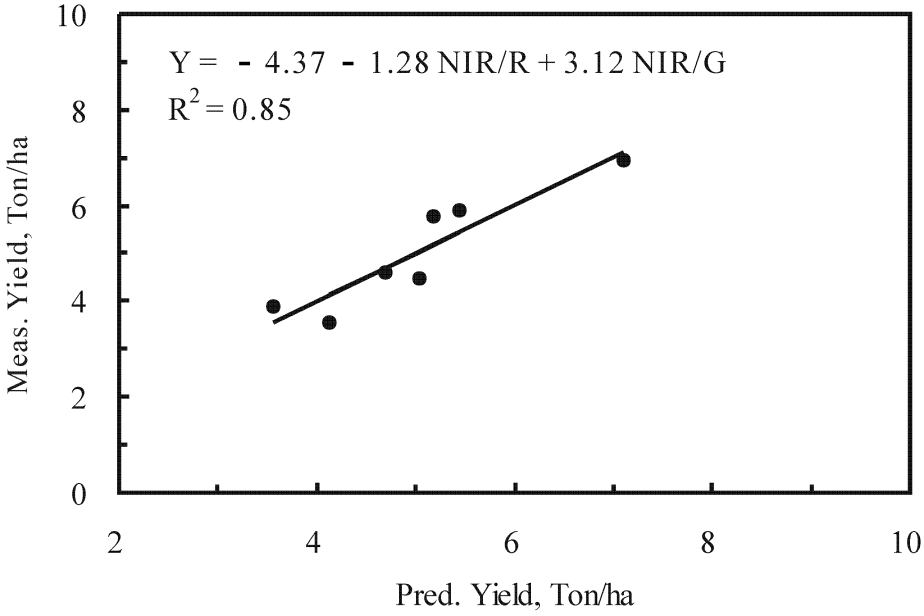


圖7. 1999-2000二期作水稻產量推估模式預測值與實測值比較。

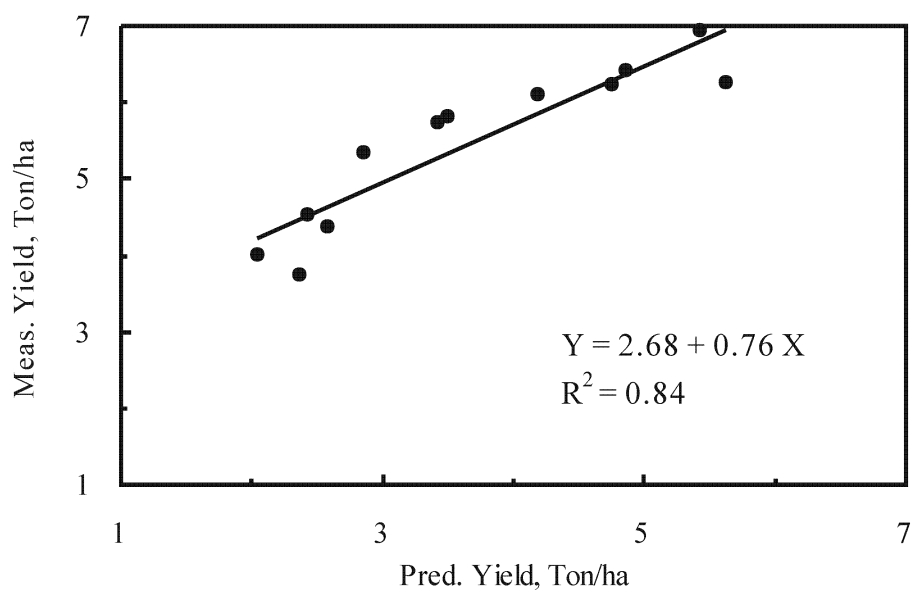


圖8. 一期作水稻產量推估模式於農試所驗證結果比較。

5. Blackmore, B.S., P.N. Wheeler, J. Moris, R.M. Moris and R.J.A. Jones. 1995. The role of precision farming in sustainable agriculture: A European perspective. p.777-793. In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.
6. Castelnuovo, R. 1995. Environmental concerns driving site-specific management in agriculture. p.867-880. In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson (eds.). ASA, CSSA, SSSA.
7. Larscheid, G., B.S. Blackmore and M. Moore. 1997. Management decisions based on yield maps. http://www.silsoe.cranfield.ac.uk/cpf
8. Long, D.S., G.R. Carlson and S.D. DeGloria. 1995. Quality of field management maps. p.251-271. 0..00000000000000000000In: “Site-Specific Management for Agricultural Systems”. Robert, P.C., R.H. Rust and W.E. Larson, eds. ASA, CSSA, SSSA.
9. Pierce, F.J. and E.J. Sadler (eds.). 1997. “The State of Site Specific Management for Agriculture”. ASA, CSSA, SSSA.

3 Preliminary Study of Rice Yield Estimation by Remote Sensing Techniques

Yuan Shen[1]*, Kuo-Wei Chang[2], Yuh-Jyuan Lee[3], Chwen-Ming Yang[3] and Jeng-Chung Lo[4]

[1] Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[2] Department of Botany, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[3] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[4] Department of Agronomy, Chiayi Branch Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Chiayi 600, Taiwan, ROC

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Abilities to estimate rice yields within fields from remote sensing images are not only fundamental to applications of precision agriculture (PA) but also useful to the governmental administrators for food management. Major objectives of this study were to identify spectral characteristics associated with rice yield and to establish their quantitative relationships. Field experiments were conducted at Shi-Ko experimental farm of TARI's Chiayi Branch Station, during 1999-2001. Rice cultivar Tainung 67 (Oryza sativa L.), the major cultivar grown in Taiwan, was used in the study. Varied rice yields were obtained via nitrogen application treatments. Canopy reflectance spectra were measured during rice growth and dynamic changes of characteristic spectrum were analyzed. Relations among rice yields and characteristic spectrum were studied to establish yield estimation models suitable for remote sensing purposes. Preliminary results indicated that the dynamic changes of canopy reflectance spectrum were least during booting stages. Therefore, the canopy reflectance spectrum during this period were selected for model development. A multiple regression model, constituting of band ratio (NIR/R, NIR/G) calculated from green (G), red (R) and near infrared (NIR) portions of canopy reflectance spectrum, was able to

estimate rice yields from different years. Validation tests, using data of 1st crop, 2001 collected at PA experimental fields of TARI, indicated positive correlation (R^2=0.84) between model prediction and actual measurements. However, an intercept of approximately 2 T ha^{-1}, may be caused by differences in planting density or yield sampling techniques, indicated that the model was suitable only for estimating relative yield distribution within the field instead of actual yield. More data collected at different locations are required to further improve the model.

Key words: Rice, Characteristic spectrum, Yield estimation, Remote sensing model.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
機載多頻譜遙測系統之建構與應用
51-64, 2002

4 機載多頻譜遙測系統之建構與應用

劉振榮 林唐煌 郭宗華 梁志綱 梁隆鑫
國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail: grliu@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 52
壹、前　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 52
貳、機載多頻譜遙測系統之建構 －－－－－－－－－－－－－ 43
參、機載多頻譜系統觀測資料之獲取 －－－－－－－－－－－－ 55
肆、觀測資料之分析處理 －－－－－－－－－－－－－－－－－ 57
伍、水稻產量預估之應用 －－－－－－－－－－－－－－－－－ 59
陸、討論與建議 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61
柒、誌謝 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61
捌、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 61

4 機載多頻譜遙測系統之建構與應用

劉振榮 林唐煌 郭宗華 梁志綱 梁隆鑫
國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail: grliu@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要

本文之主要目標爲建置具高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，以及機載觀測資料大氣校正之常規程序，期能在地形地物複雜區域的觀測中，有效地降低混合像元的形成，提供正確的地表訊息。並利用所建構之機載多頻譜觀測系統在台中農試所試驗田區之一期稻作進行不同生長期之觀測，獲得高地面解析資料二筆，期能即時、準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態空間變異資訊，供相關研究之應用，如水稻病蟲害之鑑別及田間稻株氮營養狀態之遙測等應用研究。此外，藉由水稻產量的預估模式測試試驗田區水稻產量之預估及空間變異分布狀況，初步結果顯示可行性頗高，將進一步深入研究。未來如能應用於大範圍的區域，則可節省相當的人力物力，除在經濟效益與時效性上有相當程度的助益，並可有效地增加農作物之產量外，亦可將此高機動之機載觀測系統應用於臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算，相信對於救災之決策與災害之因應處理，都有極大的幫助。

關鍵詞：機載、多頻譜系統、混合像元、水稻產量。

壹、前 言

歐美等先進國家早已將遙測技術成功地應用於精準農業，我國則於研發的起步階段。由於複雜的地形地物，與歐美寬廣耕地相較之下，應用技術相對較爲困難。因此在建立高機動、高地面解析之遙測觀測系統，對於國內在精準農業的發展上將扮演重要的角色。衛星遙測雖具有遙測大範圍區域之能力，但受限於軌道特性等因素，在某些應用上目前仍無法提供足夠的時間與空間解析能力。例如台灣地區因地物複雜所形成的混合像元(mix-pixel; mixel)將強烈阻礙影像判讀的正確性，光學頻道更易受天候影響而無法攝取有用的資料，或因衛星軌道及觀測角受限而無法即時獲取地面資料等等。機載觀測系統除具有極佳的機動性，可完成突發性的任務

外，其高地面解析的多光譜觀測資料亦可有效地降低混合像元的形成，提供正確的地表訊息。因此，若輔以機載多頻譜觀測系統，則可使整個遙測技術應用系統更加完備。目前國內尚未建立機載之觀測系統，而唯一的數位化空載多譜掃描系統已屬老舊，無法滿足需求。

因此，本研究之主要目標即爲建立高機動、高地面解析之直昇機搭載多頻譜遙測系統，並研究開發應用機載遙測技術，以迅速、準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態之空間變異分佈圖，以及可能發生的逆境種類與逆境程度空間變異分佈圖等重要資訊，俾供「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」做出決策及因應處理，進而提供「水稻精準管理農機具系統」進行田間水稻之精準管理，期能協助國內在精準農業之發展，以提昇國際上之競爭能力。

貳、機載多頻譜遙測系統之建構

本研究在建構機載多頻譜觀測系統，利用多頻譜觀測儀(Digital Multi-Spectral Video; DMSV-1，如圖1所示)裝載於高機動性的直升機或飛機上，對台中農試所的水稻試驗田進行觀測。DMSV-1具備有8個觀測濾鏡，中心波長分別爲414, 445, 490,

表1. DMSV-1多頻譜系統4頻道之波長範圍(STS, 1995)。

Filter Number	Central Wavelength(nm)	Band-Width(nm)
1	414	17.0
2	490	19.4
3	557	18.2
4	766	47.1
5	445	18.0
6	511	21.7
7	669	17.0
8	886	43.0

附註：每一次起飛觀測僅能使用一組濾鏡(1~4或5~8)。

表2. DMSV-1高度與地面解析度之關係(STS, 1995)。

12 mm focal length lens					
Distance to target		Resolution (pixel size)(cm)		Total frame size(meters)	
Metres	Feet	Width	Height	Width	Heith
500	1640	35.8	34.6	257	200
1000	3280	70.8	69.2	533	400
2000	6360	141.7	138.3	1067	800
3000	9840	212.5	207.5	1596	1200

附註：DMSV掃瞄時，每次約需要6秒鐘以掃瞄一張影像。

表3. 凌天航空所屬BELL 206B3型直昇機之規格。

機型	機身高度	機身長度	馬力	最大行程	機員	組員	費用/小時
BELL 206B3	11" 7.5"	31.2"	420SHP	375NM	2	3	6萬元



圖1. 多頻譜系統(DMSV-1)之外觀，包括濾鏡、資料處理系統及影像顯示器。



圖2. DMSV-1多頻譜系統在觀測平台之架設。

511, 557, 669, 766, 866 nm，頻寬約爲17至47 nm，如表1所示。觀測資料可提供之地面解析度則視載具之飛行高度而定，約在35～212 cm之間(飛行高度約爲500～3000公尺，如表2所示)。在低空觀測的情況下，DMSV之766與866頻道的資料將可提供水稻田間極細微的變化訊息，如水稻病、蟲害之偵測。

多頻譜系統(DMSV-1)之觀測平台則選擇使用具有極高機動性的直昇機，若機身無預留的觀測視窗，則多頻譜系統在直昇機的架設頗具困難度，需架設於機身外之腳架上。測試區在霧峰的農業試驗所試驗農場，直昇機應該在中部起飛較方便，而且因爲要搭載DMSV掃瞄儀器需於空中定點停留。因此，以選擇直昇機爲佳，而凌天航空直昇機與公司都在台中，又有多次經驗。因此，本研究選用凌天航空具有觀測視窗的BELL 206B3直昇機作爲多頻譜系統之觀測平台，機型規格如表3所列，機載多頻譜遙測系統之架設結果則如圖2所示。

參、機載多頻譜系統觀測資料之獲取

本研究以民國90年爲研究期間，使用所建構之機載多頻譜觀測系統，針對台中霧峰農試所的試驗田區，配合一期稻作的水稻生長週期，於插秧後、最高分蘖期、抽穗期及糊熟期進行四次之水稻生育期的觀測，以建立完整的水稻生長週期資料供遙測模式之研發應用。

本研究於水稻之分蘖期、孕穗期、糊熟期及完熟期進行四次觀測，觀測之規劃及觀測結果說明如表四所列。爲獲得準確之水稻反射光譜資料，於機載多頻譜系統觀測的同時，配合地面SE590可攜式光譜計測量標準反射板(反射率分別爲0.02, 0.20, 0.50, 0.75, 0.99)以及水稻、柏油路等地物，以提供DMSV各波段之大氣校正參考資料。

一、水稻分蘖期之觀測(2001/04/24):

本次觀測實驗共分爲直昇機與地面量測兩組共6人，直昇機組有梁隆鑫、黃世任及梁志綱等3人，地面量測組則有林唐煌、劉崇治及郭宗華等3人。機載多頻譜系統之觀測高度分別爲700、1000及1200公尺。圖3即爲機載多頻譜觀測系統在試

表4. 90年台中農試所試驗田區一期稻作觀測期程之規劃。

日期	水稻生長期	觀測儀器	說明
2001/04/24	分蘖期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	觀測任務順利完成 (晴天，部分高積雲)
2001/05/15	孕穗期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	觀測任務順利完成 (晴天，對流雲層多)
2001/06/11	糊熟期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	於台中機場等候多時，雲層仍多，觀測取消
2001/06/17	完熟期	DMSV 1; SE590; 標準反射板	直昇機無法配合，觀測取消



圖3. 機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一(觀測高度爲1200公尺)，2001/04/24。

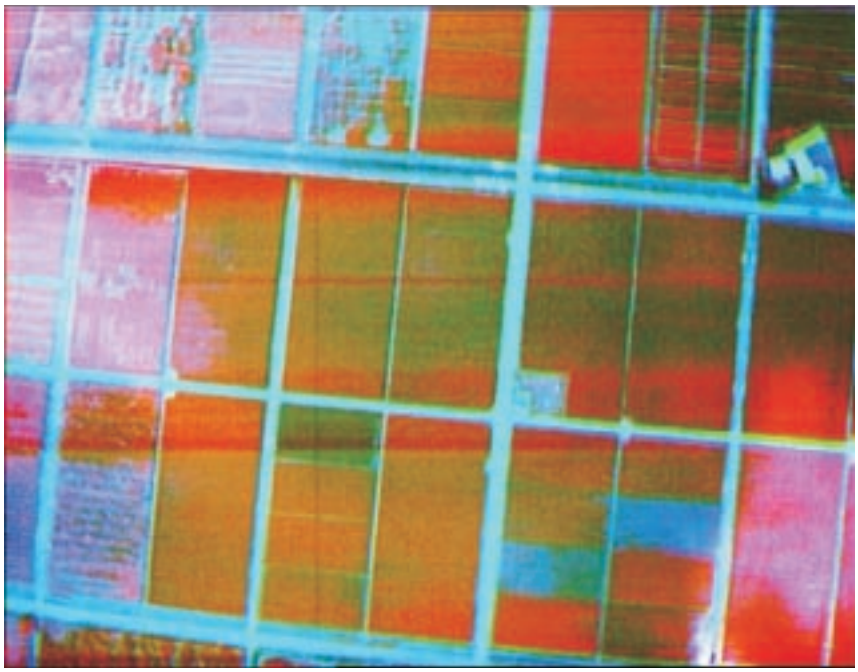


圖4. 機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一(觀測高度爲700公尺)，2001/05/15。

驗田區觀測影像之一。

二、水稻孕穗期之觀測(2001/05/15):

觀測儀器及人員同分蘗期(2001/04/24)之觀測。但因此次觀測時受雲影響頗大，欲獲得準確之水稻反射光譜資料，困難度頗高，觀測資料目前無法提供正常之使用，但本研究仍會深入研究，以提供正確之水稻反射光譜資料。圖4即爲機載多頻譜觀測系統在試驗田區觀測影像之一。

肆、觀測資料之分析處理

一般而言，應用遙測資料基本的兩個前處理就是要對遙測觀測資料做幾何定位與輻射校正，也就是說在使用遙測資料前，必須確定觀測影像上任何一點像元正確的位置與反射(輻射)強度值，尤其是高地面解析之遙測資料(陳，1988; 陳和王，1999)。

一、DMSV-1觀測資料之幾何校正

遙測之觀測資料DMSV-1四波段(濾鏡)的觀測影像是經由四個CCD Camera感測的訊號所擷取而成的，在影像擷取的過程中，單數列與雙數列(line)的位置會有3~5個像元的差距產生，需校正後才能獲得正確之相對位置。此外，四個波段(濾鏡)影像之相對位置，亦有所差異，亦需校正始能獲得正確之影像間套合，校正結果可參閱圖3及圖4。

二、DMSV-1觀測資料之大氣輻射校正

機載或衛載的觀測資料須經過大氣校正後，始能獲得正確的地表資訊。目前最直接而準確之大氣校正方法爲配合衛星通過的同時，在地面之同步測量大氣的輻射參數，以爲大氣校正之依據(陳，1988; 林等, 2001; Robinson et al.1979; Moran et al., 1990; Liu et al., 2001; Lin et al., 2001)。爲獲得準確之水稻反射光譜資料，本研究於機載多頻譜系統觀測的同時，配合地面SE590可攜式光譜計測量標準反射板(反射率分別爲0.02, 0.20, 0.50, 0.75, 0.99)以及水稻、柏油路等地物，以提供DMSV各波段之大氣校正參考資料。

於水稻分蘗期之觀測(2001/04/24)實驗中，機載多頻譜觀測系統分別在700、1000及1200 公尺三個高度進行觀測，700公尺的觀測資料提供大氣校正使用，而1200公尺的觀測資料則可提供其它之研究應用。DMSV-1多頻譜系統之觀測資料品質有待評估，波段1(414 nm)的資料均爲0,1,2數值，無法使用。而波段2(490 nm)的數值似乎已經經過正規化了，在反射率大於0.5以上便無法辨識其間之差異。利用700公尺的觀測資料配合地面之同步測量的反射資料，進行DMSV-1各波段的大氣校正如圖5所示，圖中白色小亮點即爲不同反射率之標準反射板，藉以獲得DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之大氣校正轉換模式。而DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之關係如圖6所示，從圖中的分布關係可清楚地顯示，灰階值與輻射強度或反射率間具有良好的線性關係，非常符合預期。而DMSV-1各波段之灰階值與輻射強度或反射率之大氣校正轉換模式，則如表5所列。由於水稻孕穗期(2001/05/15)觀測時受雲影響頗大，大氣輻射校正的過程並不容易且頗爲繁雜，目前尚在處理中未能及時列入本文之討論中。

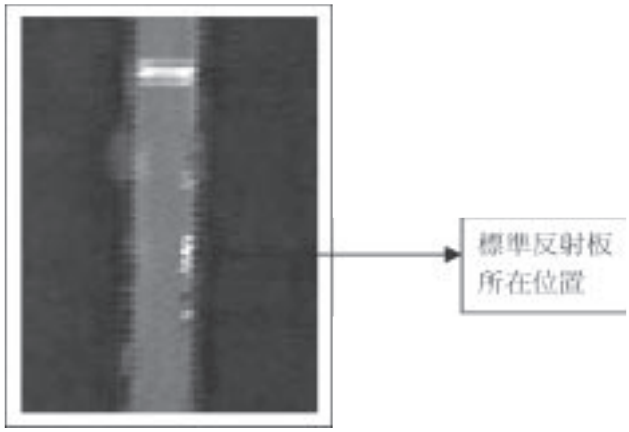


圖5. DMSV於700公尺高度觀測目標區之各波段(濾鏡)3局部影像，圖中白色小亮點即爲標準反射板。

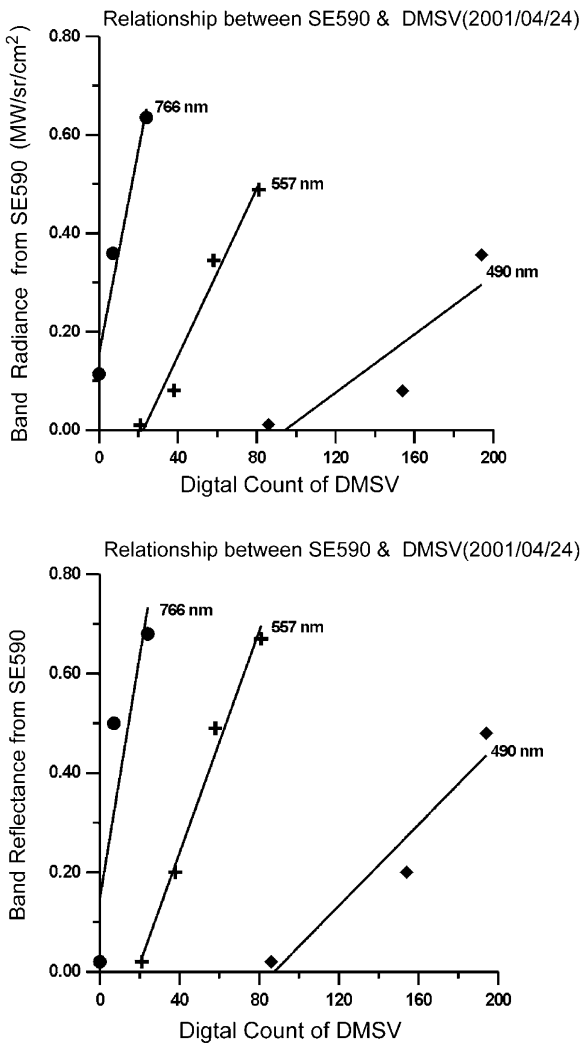


圖6. DMSV-1第2,3,4濾鏡(490, 557, 766 nm)之灰階值與輻射強度及反射率間之關係。

表5. DMSV第2,3,4濾鏡(490,557,766 nm)灰階值之大氣輻射校正係數。(台中霧峰農試所水稻試驗田區，2001/04/24)

輻射強度(mW/sr/cm**2) = 灰階值 x Gain + Offset		
濾鏡(nm)	Gain	Offset
1(414)	-	-
2(490)	0.00179	0.0086
3(557)	0.00639	-0.0295
4(766)	0.00553	0.11163

反射率 = 灰階值 x Gain + Offset		
濾鏡(nm)	Gain	Offset
1(414)	-	-
2(490)	0.00237	0.02
3(557)	0.00708	0.1063
4(766)	0.02105	0.0526

伍、水稻產量預估之應用

植被的反射率對光譜有強烈的選擇性質，在可見光光譜範圍內反射率很小，但在近紅外頻道範圍內反射率很強，因此可利用植被在這兩個光譜頻道的反射特性，偵測植被分佈的情形。此外在衛星遙測研究中最爲困擾的就是大氣效應的影響，爲獲取正確的植被指數，必須進行大氣效應的訂正。標準差植被指數(NDVI)就是爲了滿足以上兩項要求而設計的。其定義如下：

NDVI=(NIR-RED)/(NIR+RED)

其中NIR及RED分別爲紅光及近紅外波段之反射率或輻射強度。本研究所使用之NDVI值則是由DMSV第3濾鏡(557 nm; 紅光波段)與第4濾鏡(766 nm; 近紅外波段)之輻射強度計算所獲得。

國際上應用植被指數(NDVI)在農作物產量之估算上已頗具成果(周，1993; 周，1997; Maselli *et al*., 2000)。本研究所使用之多頻譜觀測資料(DMSV-1)包含了紅光及近紅外頻道的資料，可獲得水稻生長期植被指數的資料，將可應用於水稻產量之預估。因此，本文將利用機載多頻譜系統在農試所試驗田區的觀測資料，測試試驗田區水稻產量預估及其空間分布之情形。而水稻產量之預估模式則使用Maselli *et al*.(2000)利用13年(1981-1994)NOAA AVHRR的觀測資料所獲得穀物產量之預估模式，在衡量Morocco、Algeria、

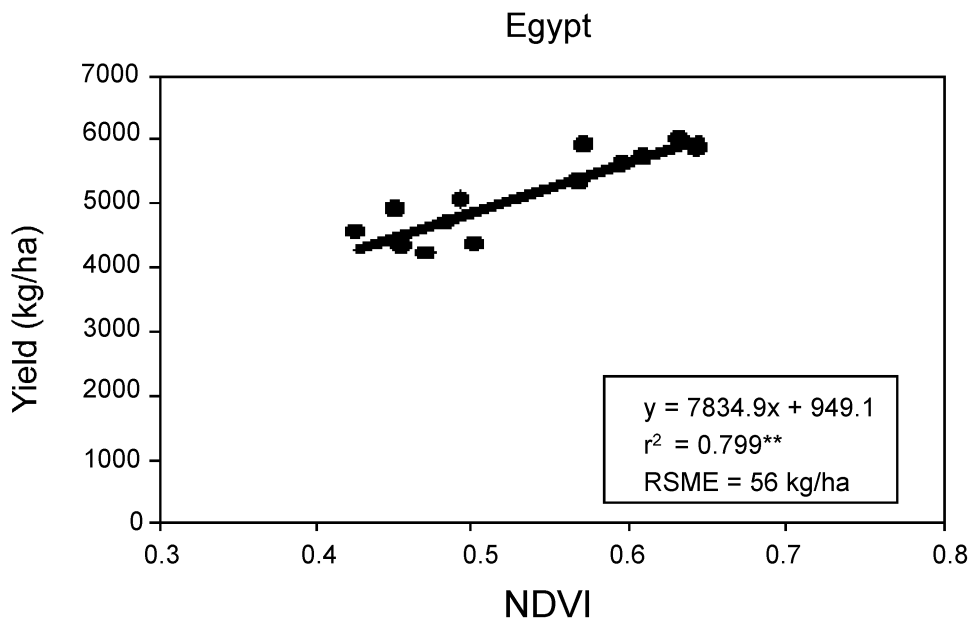


圖7. Maselli等人(2000)應用13年NOAA AVHRR的觀測資料所獲得埃及地區穀物產量之預估模式(Maselli *et al*., 2000)。

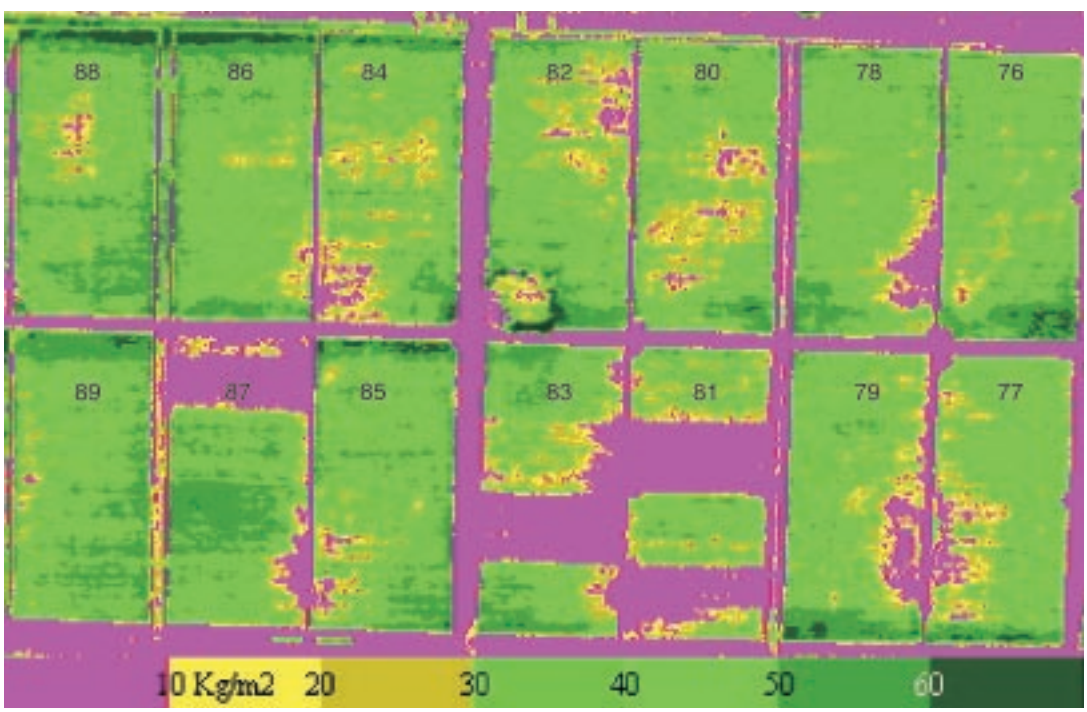


圖8. 應用機載多頻譜觀測資料估算試驗田區一期稻作水稻產量及其空間分布之情形。

Tunisia及Egypt四個國家的地理位置與水稻耕作技術及品種等因素下，本研究選用埃及(Egypt)的預估模式(參閱圖7)，作爲試驗田區水稻產量之估算，估算結果試驗田區(編號76~89)之水稻平均產量爲4400 Kg/ha(如圖8所示)，而在1997年台灣地區一期稻作之平均產量爲5600 Kg/ha，造成其間差異的主要原因爲水稻之品種不同及生長環境之差異所致，一但能獲得充分的水稻產量與機載多頻譜的觀測資料，則必能獲得準確之水稻產量預估模式。此外，從圖8中亦可發現水稻產量之空間變異情形頗爲明顯，顯示機載多頻譜觀測系統確可提供有關田間水稻產量和生育狀態之空間變異狀況，甚至可能發生的逆境種類與逆境程度空間變異分佈圖等重要資訊，以利「水稻栽培與環境精準管理專家決策系統」做出決策及因應處理，對於國內目前積極發展之水稻精準管理系統將會有極大之助益。

陸、討論與建議

本研究完成建置具高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，以及機載觀測資料大氣校正之常規程序，確能即時而準確地提供有關田間水稻產量和生育狀態空間變異資訊，提供相關研究之應用，如水稻病蟲害之鑑別及田間稻株氮營養狀態之遙測等應用研究。藉由水稻產量的預估模式測試試驗田區水稻產量之預估及空間變異分布狀況，初步結果顯示可行性頗高，值得深入研究探討。另一方面，高機動之機載觀測系統亦可應用於臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算，對於救災之決策與災害之因應處理，都有極大的幫助。此外，對於高機動性、高地面解析之機載多頻譜觀測系統，在本研究之觀測試驗後，提供以下兩點建議:

1. DMSV-1之輻射解析爲8 bits，在觀測田間稻株的細微變化稍嫌不足，而新一代的DMSV-2具有16 bits的輻射解析，對於稻株細微變化之訊息將可更充分地掌握，如水稻逆境之偵測應用。因此，建議更新爲DMSV-2，可提供水稻生育狀態之變化及逆境等訊息，對於水稻精準農業(耕)體系之研究與應用將有莫大的幫助。

2. 在多頻譜系統的觀測平台方面，本研究在尋求其他直昇機支援的過程中困難重重，對於研究計劃之進行影響頗鉅。因此，建議相關單位可否規劃出一專供科技研究及臨時性災害調查使用之直昇機，以協助科技研究之進行及臨時性災害狀況之調查與受災區域之估算。

柒、誌　謝

本研究首先要感謝行政院農委會農業試驗所在研究經費的支持(計劃編號: 90農科-4.1.1-農-C2(1)序號1)，和國立海洋大學在觀測儀器(DMSV-1)的支助，以及太空及遙測研究中心各項資源之提供，使本研究得以順利地完成，在此一併至上最深的謝意。

捌、引用文獻

1. 周志平。1993。植被動態光譜之研究。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
2. 周昶成。1997。 利用多時SPOT衛星影像以研究水稻反射率動態光譜及其應

用。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
3. 林唐煌、劉振榮、陳哲俊。2001。利用衛星資料求取大氣氣溶膠光學厚度之研究及其在大氣環境檢測之應用。航測及遙測學刊6(4):1-26。
4. 陳乃宇。1988。空載多譜掃瞄線之幾何及大氣校正。中央大學大氣物理研究所博士論文。
5. 陳乃宇、王顯達。1999。空載多譜掃瞄影像之幾何糾正程序-自動畫遞迴處理程序之建立。第18屆測量學術暨應用研討會。
6. Maselli F., S. Romanelli, L. Bottai and G. Maracchi. 2000. Processing of GAC NDVI MVCs for yield forecasting in the Sahelian region. IJRS, forthcoming.
7. STS, 1995. DMSV Mk1 Introduction and Operations Manual, V1.0, SpecTerra Systems, Nedlands Australia, pp50.
8. Liu, G.-R., A. J. Chen, T. H. Lin and T. H. Kuo 2001. Applying SPOT Data to Estimate the Aerosol Optical Depth and Air Quality. Journal of Environmental Modeling and Software 17(1):3-9.
9. Lin, T.-H., A. J. Chen, G.-R. Liu and T.-H. Kuo. 2001. Monitoring the Atmospheric Aerosol Optical Depth with SPOT Data in Complex Terrain. International Journal of Remote Sensing 23(4):647-659.
10. Moran M. S., R. D. Jackson, G. F. Hart, P. N. Slater, R. J. Bartell, S. F. Biggar, D. I. Gellman and R. P. Santer, 1990. Obtaining surface reflectance factors from atmospheric and view angle corrected SPOT-1 HRV data. Remote Sensing of Environment 32: 203-214.
11. Robinson B. F. and L. L. Biehl. 1979。Calibration procedure for measurement of reflectance factor in remote sensing field research. SPIE Measurements of Optical Radiations 196:16-26.

4 Construction and Application of Airborne Multi-spectral Remote Sensing System

Gin-Rong Liu, Tang-Huang Lin, Tsung-Hua Kuo, Chih-Kang Liang and Long-Shin Liang
Center for Space and Remote Sensing Research,
National Central University, Chung-Li 320 Taiwan, ROC
E-mail:grliu@csrsr.ncu.edu.tw

ABSTRACT

This paper has currently completed installment of an airborne multi-spectral observation system that is highly mobile and capable of providing high-resolution images. We have also carried out the regular procedures required for atmospheric corrections of the data, which in effect reduces the appearance of mixed ratio pixels, and allows us to correctly retrieve the spectral information from the rice fields. This project utilizes the airborne multi-spectral observation system to observe the test areas to analyze the different growth periods of the rice fields. We hope to provide a swift and accurate assessment of relevant information regarding the rice yield, growth stages, and provide data to pertinent sub projects such as the effects caused by insects or variations in the nitrogen amount that can be detected through the tools of remote sensing. With the data already acquired, initial analysis indicates that the possibility seems rather high. In the future, if we can apply this technique to a much larger area, we can save tremendous amount of resources. In addition, we could also overall increase the agricultural output. All of this could be of great help to the economical benefits and efficiency of a country's agriculture. We may even be able to apply the system on performing real-time observations in the aftermath of disasters, which could help the authorities be better informed on how to react or conduct rescue efforts.

Key words：Airborne, Multi-spectral system, Mix-pixel, Rice yield.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
利用遙測估算農作物蒸發散量之研究
65-78, 2002

5 利用遙測估算農作物蒸發散量之研究

鍾譯靚[1] 劉說安[1] 李天浩[2] 梁隆鑫[1] 楊純明[3] 申雍[4]
劉振榮[1] 林唐煌[1]

[1]國立中央大學太空及遙測研究中心
[2]國立台灣大學土木工程研究所
[3]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4]國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yueian@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 66
壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 67
貳、理論與基礎 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 67
參、實例分析 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 71
肆、結論與建議 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 76
伍、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 76

5 利用遙測估算農作物蒸發散量之研究

鍾譯靚[1] 劉說安[1] 李天浩[2] 梁隆鑫[1] 楊純明[3] 申雍[4]
劉振榮[1] 林唐煌[1]

[1] 國立中央大學太空及遙測研究中心
[2] 國立台灣大學土木工程研究所
[3] 行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4] 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yueian@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要

本研究嘗試以Roerink等人(2000)建立的衛星遙測估算旱作蒸發散量S-SEBI(Simplified Surface Energy Balance Index)模式，應用於估計美國SGP'97試區的熱通量和蒸發散量，應用時加上大氣校正模式，以及由衛星影像作土地利用分類。並對台中霧峰農試所2000年一期作水稻田利用SPOT衛星多光譜資料測試估計效果。在SGP'97試區方面，利用地面實測資料和衛星觀測建立回歸關係推估的結果較良好；各項能量通量估計值與觀測值間的誤差，大部分源自地表參數的反演誤差，而後者又與大氣校正模式或回歸關係的誤差有關。在農試所水稻田試區方面，由於SPOT衛星影像缺乏熱紅外光波段，因此利用SPOT觀測資料反演的NDVI，透過Landsat衛星影像資料建立的回歸關係推估地表溫度，進而推估能量通量。但因此反演的地表參數間具有某種相關性，且水田的所有反射率—溫度資料均落於蒸發散控制區，不能建立模式所需熱通量分配的圖形。本研究也利用DMSV-1空載多光譜資料分析模式對水稻田的可行性，熱通量分配圖沒有某種程度相關，初估結果合理，大氣影響較小，待未來有測量資料時作進一步的比對分析。

關鍵詞：水稻、蒸發散、衛星、遙測、土壤熱。

壹、前　言

一、問題背景

蒸發散和熱傳等兩項地表過程爲大氣和地下層界面上重要但難以準確估計的變數。因爲物理過程複雜、地表過程同時受到上、下交互影響的關係；同時點和面的蒸發散無法直接量測，以及地面水文氣象觀測系統密度稀疏，使得異質性土地利用的蒸發散和熱平衡無法定量估計。

衛星遙測具有短時間能夠獲取廣大區域資訊的能力。而國內過去大都採用地面量測資料推估水面勢能蒸發散率，再乘以一個作物係數的方式估計蒸發散，農委會農業試驗所八十九年度起的「水稻精準農業(耕)體系之研究」計畫，內容之一即希望發展利用衛星遙測估算水稻蒸發散量。

二、研究目的

根據文獻調查，國外利用衛星觀測資料估計蒸發散的研究多是發展旱田估計模式。其中，Roerink等人(2000)利用大地衛星主題測繪儀(Landsat TM)的多光譜資料，發展S-SEBI估計小區域旱作的蒸發散量和區域熱平衡，得到不錯的結果。本研究的目的即爲引進S-SEBI，對美國SGP'97地表水文試驗試區進行驗證分析。

由於目前台灣未接收Landsat資料，而解析度與LANDSAT相近的只有SPOT衛星，但SPOT並無LANDSAT所具有的熱紅外光段，因此無法反演出S-SEBI的主要參數中的地表溫度。故本研究對台中霧峰農試所水稻田擬以S-SEBI的概念，利用過去收的Landsat TM影像輔助，由SPOT影像反演標準差植被指數NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)和地表溫度間的線性關係，並測試推估地表溫度及蒸發散量的可行性。

貳、理論基礎

一、能量平衡及輻射量平衡原理

在能量平衡原理中，忽略植物光合作用所需的能量及熱容量，所以淨輻射量扣除土壤熱通量後的輻射量會被用來加熱地表(可感熱)及蒸發散地表的水分(潛熱)。可感熱爲地面和大氣間的傳導，潛熱則用於土壤蒸發及植物蒸散過程。而地表能量平衡的概念如(1)式：

$$R_n = G_0 + H + \lambda E \tag{1}$$

上式中，R_n爲淨輻射[W/㎡]，G_0爲土壤熱通量[W/㎡]，H爲可感熱通量(sensible heat flux)[W/㎡]，λE爲潛熱通量(latent heat flux)[W/㎡]。

在輻射量平衡原理中，淨輻射是所有不同波長的入射、出射能量作用的結果。當入射長、短波輻射扣除地表放射長波輻射及反射短波輻射後，所得輻射量即爲淨輻射量，如(2)式：

$$R_n = K^{\downarrow} - K^{\uparrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \tag{2}$$

上式中，$K^{\downarrow}$爲入射短波輻射量[W/㎡]。$K^{\uparrow}$爲地表反射的短波輻射量[W/㎡]。$L^{\uparrow}$爲入射長波輻射量，來自雲層及大氣的貢獻[W/㎡]。$L^{\uparrow}$爲地表的放射長波輻射量[W/㎡]。

二、地表參數的反演

1. 地表反照率

在資源遙測的應用上地表反射率定義爲地表的短波反射率。首先對衛星影像作絕對輻射校正，將LANDSAT的第1~5及第7波段影像灰度值經由輻射校正係數轉成波譜輻射強度。此外，必須考慮因地球曲率使日地相對距離不同而導致入射太陽輻射有所不同，所以反射率須去除此影響而修正爲：

$$r_{p,b} = \frac{\pi L_{s,b} d^2}{K_b^{\downarrow} \cos\theta_z} \tag{3}$$

$$d = 1 + .033 \cos\frac{2\pi D}{365} \tag{4}$$

其中$L_{s,b}$爲波譜輻射強度。$r_{p,b}$爲波段行星反射率(planetary reflectance)。$L_{s,b}$爲感測器各波段接收的輻射量。d爲相對日-地距離。$K_b^{\downarrow}$爲大氣層頂入射短波輻射(大氣層外波段太陽輻射)[mW/(cm²-sr-μm)]。θ_z：太陽天頂角[rad]。爲一年中的日期，從1到365。以上是在不考慮大氣影響下得到的反射率，所以在考慮大氣的散射、折射及吸收的影響下，地表反射率可定義爲：

$$r_{0,b} = \frac{\pi\left(L_{s,b} - L_{p,b}\right) d^2}{L_{b,0}^{\downarrow} \tau_b^{\uparrow} \cos\theta_z} \tag{5}$$

其中$r_{0,b}$爲波段地表反射率。$L_{p,b}$爲因散射造成的大氣路徑輻射[mW/(cm²-sr-μm)]。$L_{b,0}$爲入射至地面的波段太陽輻射[mW/(cm²-sr-μm)]。$\tau^{\uparrow}_b$爲向上的波段大氣透射率。可用LOWTRAN估計$L_{p,b}$、$L_{b,0}$、$\tau^{\uparrow}_b$以決定$r_{0,b}$，利用估算的波段地表反射率組合成寬頻的地表反照率如下所示：

$$r_0 = \sum_{b=1}^{7(b\neq 6)} r_{0,b} w_b \tag{6}$$

其中r_0爲地表反照率(surface albedo)。w_b爲波段權重係數。另外若有地面的反射率測值，則可由波段行星反射率$r_{p,b}$組合成寬頻的行星反射率r_p，再和r_0的測值作線性迴歸r_0=a+b×r_p以估算「面」的地表反射率。r_0又可表示爲：

$$r_0 = \frac{r_p - r_a}{\tau_{sw}^2} \tag{7}$$

其中τ_{sw}^2爲雙向短波透射率，可分成向上大氣透射率$\tau_{sw}^{\uparrow}$及向下的大氣透射率$\tau_{sw}^{\downarrow}$。r_a爲大氣反照率(atmospheric albedo)。

2.標準差植被指數NDVI

標準差植被指數NDVI以近紅外光和可見紅光段的波段反射率定義。

$$NDVI = \frac{r_{p4} - r_{p3}}{r_{p4} + r_{p3}} \tag{8}$$

其中r_{p4}、r_{p3}分別爲近紅外光、紅光的波段行星反射率。

3.地表放射率

本研究假設已知純植被及純裸土的放射率極值，利用NDVI和放射率間的關係找出極值間的內插函數。在求出NDVI後以NDVI反演地表覆蓋比率再估算出放射率(Valor and Caselles，1996)：

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_t P_t + \varepsilon_g P_g + \varepsilon_s P_s + d\varepsilon \tag{9}$$

以地表爲粗糙面的情況而言，下標t、g、s代表粗糙面植被的頂部(top)、地表的底部(ground)及植被的側邊(side)，P_t、P_g及P_s爲感測器觀測到的覆蓋權重部分。而$d\varepsilon$和粗糙地表的內部反射到達感測器的輻射有關，即顯示感測器觀測到的輻射會高於粗糙地形直接放射的輻射。將與植被有關的頂部(top)及側邊(side)考慮植被

覆蓋比率P_v = P_1＋P_s，便可寫成：

$$\varepsilon_0=\varepsilon_v P_v+\varepsilon_g(1-P_v)+d\varepsilon \quad (10)$$

而混合植被與裸土覆蓋地表的NDVI可表示如下所示：

$$NDVI = NDVI_v P_v + NDVI_g(1 - P_v) \quad (11)$$

則植被覆蓋比率可表示爲：

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_g}{NDVI_v + NDVI_g} \quad (12)$$

其中P_v爲植被的覆蓋比率(可由試區的NDVI分佈圖求得最小值爲$NDVI_g$、最大值爲$NDVI_v$)。在求 $d\varepsilon$ 時，因Landsat TM(Thematic Mapper)感測器爲垂直觀測，沒有觀測粗糙地表的側邊，所以P_s=0，$d\varepsilon$ 可簡化爲：

$$d\varepsilon = (1-\varepsilon_g)\,\varepsilon_v F(1-P_v) \quad (13)$$

由於 $d\varepsilon$ 的求法複雜，因此利用二次式模擬 $d\varepsilon$ ，當P_v=0及Pv_1=1時 $d\varepsilon$ 爲0，P_v=0.5時 $d\varepsilon$ 以平均值$\langle d\varepsilon\rangle$表示。因此地表放射率可寫成：

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_g(1-P_v)+4\langle d\varepsilon\rangle P_v(1-P_v) \quad (14)$$

上式中 ε_v、ε_g分別爲純植被及裸土的放射率，分別採用0.985及0.960。<$d\varepsilon$>採平均值爲0.015(Valor and Caselles，1996)。

4.地表溫度

地表溫度是入射(incoming)與放射(outgoing)能量平衡結果的一種狀態變數，可用來估算地表能量通量。對於作物與裸土而言，其放射能量的最大波長位於熱紅外光的波段部份，而衛星遙測對於此波段所進行的觀測即可提供地面溫度的資料。

在Landsat TM第六波段所量測的灰度值經由輻射校正係數可轉換爲大氣層頂的波譜長波輻射量$P_{6,TOA}$。

利用普朗克定律(Planck's law)可將此輻射量轉換成大氣層頂輻射溫度T_{sat}(Roerink et al.,1999)。

$$T_{sat} = \frac{1260.56}{\ln\left(\frac{60.776}{L_{6,TOA}}+1\right)} \quad (15)$$

根據史蒂芬-波茲曼定律(Stefan Boltzmann law)轉換成大氣層頂長波輻射量 $L_{TOA}^{\uparrow}$。

$$L_{TOA}^{\uparrow} = \sigma T_{sat}^4 \quad (16)$$

上式中 σ = 5.67×10^{-8} [W/(m^2 K^4)]。以試區測量的地面放射長波輻射和從衛星影像得到的大氣層頂長波輻量作線性回歸如下。

$$L_0^{\uparrow} = a + bL_{TOA}^{\uparrow} \quad (17)$$

計算地表有效溫度 T_0^R[°K]後考慮放射率，再求出地表溫度T_0[°K]如(12)式。

$$T_0^R = \sqrt[4]{L_0^{\uparrow}/\sigma} \quad (18)$$

$$T_0 = \frac{T_0^R}{\varepsilon_0^{1/4}} \quad (19)$$

三、能量平衡項的求法

1.淨輻射

當入射長、短波輻射扣除地表放射長波輻射及反射短波輻射後，所得輻射量即爲淨輻射量，而輻射量平衡的(2)式可推成下式：

$$R_n = (1-r_0)K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \quad (20)$$

$K^{\downarrow}$為入射之太陽輻射量，與季節所在緯度及時間有關，一般可由此給定的三項參數直接算出，本研究採測量值。$K^{\uparrow}$為地表反射的短波輻射量，為$K^{\downarrow} \times r_0$。

$L^{\uparrow} = \sigma T_0^4$ ，為地表的放射長波輻射，但要有地表溫度的配合。為入射長波輻射，來自雲層及大氣的貢獻，可利用空氣溫度、蒸氣壓估計入射長波輻射量 (Prata,1996)：

$$L^{\downarrow} = e_{sky}\sigma T_a^4$$
$$e_{sky} = \left\{1-(1+xi)\exp\left[-(1.2+3xi)^{0.5}\right]\right\}\sigma T_a^4$$
$$xi = 46.5(v_p / T_a) \quad (21)$$

e_{sky}上式中為大氣放射率[-]。v_p為水汽壓[kpa]。T_a為氣溫[K]。

2.土壤熱通量

在S-SEBI演算法中採用Bastiaanssen *et al*.(1998)的經驗式。

經驗式(為地表反照率、地表溫度和NDVI的函數)來預測土壤熱通量。

$$\Gamma = \frac{G_0}{R_n}$$
$$\Gamma = T_0(0.0032 + 0.0062r_0)(1 - 0.978NDVI^4) \quad (22)$$

3.潛熱與可感熱

淨輻射量扣除土壤熱通量之後，所剩餘的能量稱為淨可用能量(net available energy)，其中一部份成為可感熱H(sensible heat)，造成空氣溫度的變化；一部份則成為潛熱，用來蒸發土壤層的水分及植被的蒸散作用，也是本研究的目標。

對於非均勻的地表而言，地表溫度與反射率之間存在某種關係，而此關係可應用來決定地表的一些特性(Menenti *et al*., 1989)。假設淨輻射量與空氣溫度為常數，一般形式的地表反射率與溫度的關係如圖1所示。

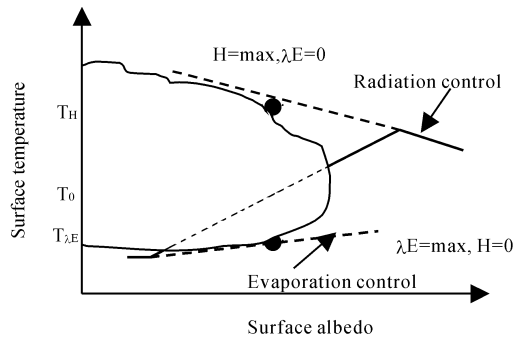


圖1. 地表反射率與地表溫度的關係圖。

由圖1可得知當反射率相當低時，地表溫度幾乎不隨反射率變化，這表示此時的地表為潮溼地、水面或為植被密佈區，因此可用能量大部分用來蒸散土壤及植被的水分，溫度變化不明顯。隨著反射率的增加，表示土壤含水量減少，蒸發散量亦跟著減少，淨輻射量大部分則用來加熱地表，因此造成地表溫度隨反射率增加；達到某個臨界點之後，地表溫度隨反射率增加而開始降低，這是因為反射率的增加導致到達地表的淨輻射量減少，因此用來加熱地表的可用能量也相對減少，地表溫度自然較低。

圖1中上下兩條直線分別代表當蒸發散通量為0時及當可感熱為0時，地面溫度與地表反照率的關係，T_H表示當蒸發散為0時的地表溫度； $T_{\lambda E}$ 表示可感熱為0時的地表溫度：

$$T_H = a_1 r_0 + b_1 \tag{23}$$

$$T_{\lambda E} = a_2 r_0 + b_2 \tag{24}$$

定義蒸發散比值(evaporative fraction)爲蒸發散能量與可用能量的比值：

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{\lambda E + H} = \frac{\lambda E}{R_n - G_0} \tag{25}$$

$$\Lambda = \frac{T_H - T_0}{T_H - T_{\lambda E}} \tag{26}$$

在S-SEBI模式中利用蒸發散能量(潛熱)與可感熱的比率決定潛熱和可感熱。因此由上圖分別求得T_H及$T_{\lambda E}$與r_0的關係式，則可求得Λ，並進一步得到本研究所欲探討的蒸發散量 μr及可感熱，如下所示：

$$H = (1 - \Lambda)(R_n - G_0) \tag{27}$$

$$\lambda E = \Lambda (R_n - G_0) \tag{28}$$

參、實例分析

一、國外試區

本研究試區爲位於美國奧克拉荷馬州(Oklahoma)的SGP試區。採用1997年7月25日的LANDSAT TM衛星影像。

在地表參數方面，利用LOWTRAN 7程式套估計地表溫度和反照率的效果不佳，不過因SGP試區中的CF及EF11試區有短波測值，故可回歸找出地表反照率。但在EF19、EF20有關溫度的地面長波測值爲負不合理，會造成溫度分佈與實際相反，故採用參考文獻上的回歸斜率。

在淨輻射方面，CF和EF19淨輻射估計結果良好，而EF15和EF20高估約22%，但因這二站的地表測值有問題，故無法得知其眞實問題所在，而EF11因爲沒有能量通量測值，故不作比較僅供參考，但EF11爲建立迴歸式的測站之一，所以地表參數估計與測值符合，估計結果如圖2。

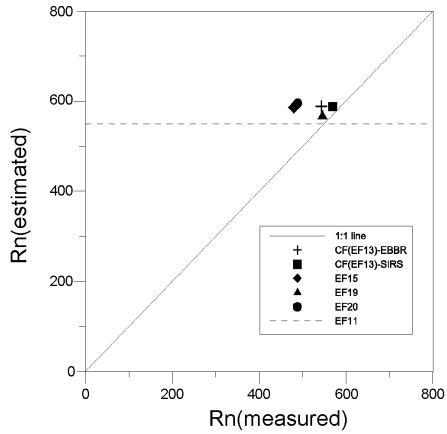


圖2. SGP試區各測站淨輻射估計值與測值比較。

在土壤熱通量方面，以經驗式估計配合有效觀測值作進一步分析，發現S-SEBI採用的經驗式不適用於本試區，因此本研究採用其經驗式的架構，以結合遙測和地面氣象資料的方法重新估計出一組適用的迴歸係數以估計土壤熱通量，基於在植被稀疏的地表，比例因子Γ'對土壤熱通量和淨輻射的比值影響較大的考量下，首先利用從97/6/18到97/7/25的CF與E15二站淨輻射與土壤熱通量的測值檢定消散因子的迴歸係數。並且考慮地表溫度T0的經驗式考慮成接近原式中的溫度梯度(T0-Ts)，使經驗式估計值能與測值接近1:1，最後考慮到應用於面的熱通量估計，修正的經驗式表示如下式，而測站估計結果如圖3所示。

$$\Gamma = T_0\left(0.0025 + 0.0182 r_0\right)\left(1 - 0.978 \cdot NDVI\right) \quad (29)$$

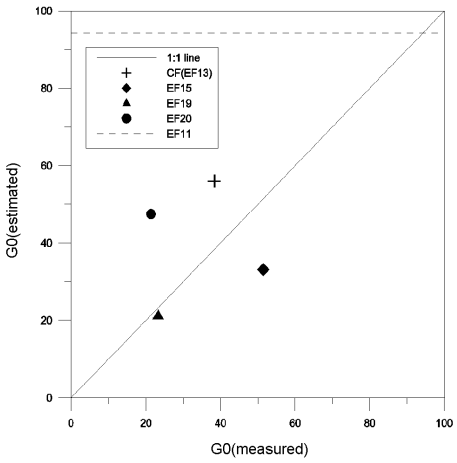


圖3. SGP試區各測站土壤熱通量估計值與測值比較。

由於試區難免有其他植被、裸土或人爲建築摻雜其中，原本S-SEBI並未作分類，而是對整張影像作分析，本研究考慮均值土地利用假設較爲合理，因此對影像先作非監督分類ISODATA法作分類，選出訓練樣區，再以監督分類PARALLELEPIPED法找出與測站土地利用相同的牧草地像元(如圖4)，對牧草像元反演地反照率和地表溫度的關係(如圖5)，其中EF11土地利用爲苜蓿，與其他站不同，故單獨以上述流程找出苜蓿像元另作分析。以牧草像元而言，推估的包絡線如下：

$$T_{\lambda E} = 10.05 + 49.85 r_0 \quad (30)$$

$$T_H = 28.08 - 9.98 r_0 \quad (31)$$

潛熱及可感熱估計結果良好(如圖6、圖7)，EF15高估和EF20的熱通量則因淨輻射高估所致。爲了觀察S-SEBI中可感熱和潛熱的熱通量分配是否可行，則可從潛熱與可獲得能量的比值分分析，則可發現大部分測站能量分配情況接近實際測值。SGP試區牧草像元的蒸發散影像則如圖8所示。

二、國內試區

以2000年4月11日的SPOT衛星影像分析及1996年4月17日的LANDSAT衛星影像輔助分析。並利用2001/4/24的DMSV-1多頻譜系統空載影像作結果的比較。在空載遙測方面，因爲缺乏2001年的測量值，故只提出估計結果對照。

在地表參數方面，以LOWTRAN 7程式套作大氣校正，地表反照率估計值爲0.24，比測值高(測值約爲0.12)，但在作物的反照率合理範圍內，在衛星遙測方面的差異可能是因爲給定的氣象程距和當時的氣象程距有差異，使得穿透率估計誤差影響到地表反照率的估計。

而NDVI因爲是正規化的因子，前述現象不影響，因此衛星遙測反演值(0.63)和測值(0.66)相當吻合。

地表溫度方面，假設地表溫度和NDVI間的關係爲線性，因試區在96/4/17的Landsat影像和00/4/11的SPOT影像NDVI相近，因此利用這二張影像求出地表溫度和NDVI間的線性回歸式如下：

$$T_0 = 26.46 - 4.91 \cdot NDVI \qquad r=0.95 (32)$$

求出上式後，如此衛星遙測估計的地表溫度爲25.21℃，測站葉溫平均爲24.26℃。因爲試區並非矩形，水田會受到旁邊的道路以及行列式種植的陰影效應影響，

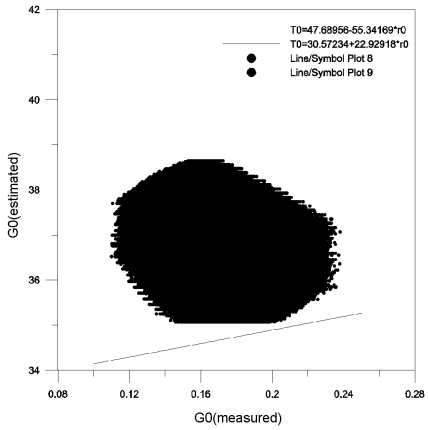


圖4. 以監督分類辨視牧草地像元分類結果。

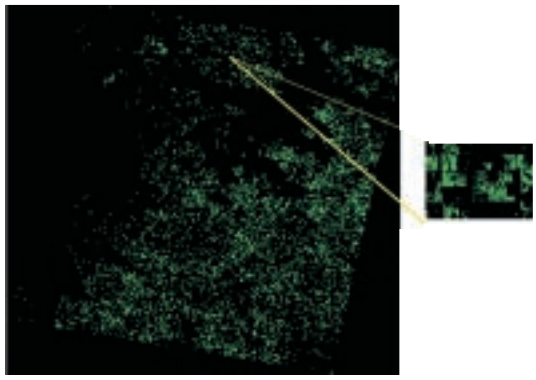


圖5. 以監督分類辨識牧草地像元的分類結果。

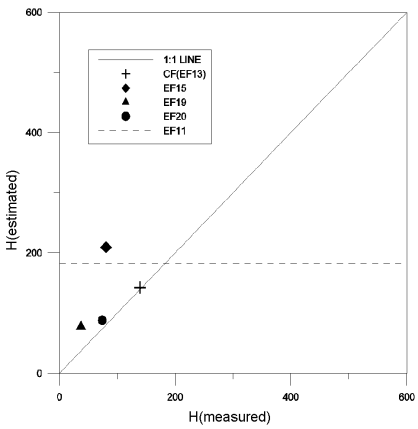


圖6 . SGP試區各測站可感熱估計值與測值比較。

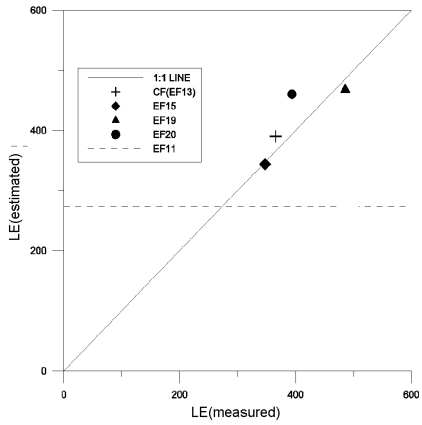


圖7. SGP試區各測站潛熱估計值與測值比較。

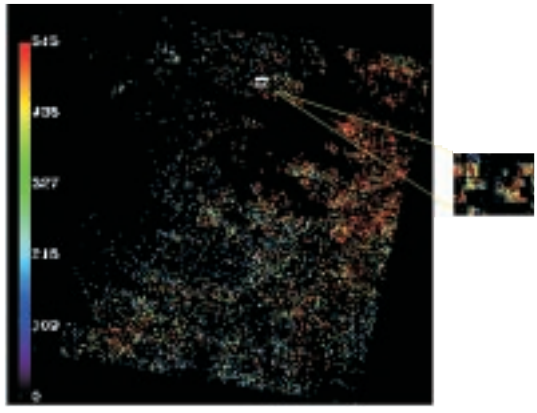


圖8. SGP試區牧草像元的蒸發散影像。

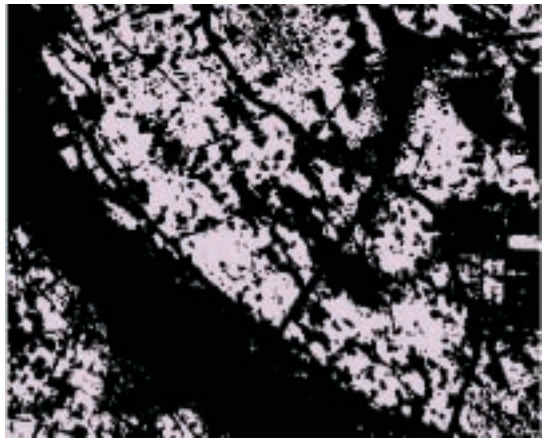


圖9. 辨視出水稻像元的分類結果。

所以必須作如前面所述的分類流程，對衛星影像辨視出水稻田的像元(如圖9)，並繪出地表反照率和地表溫度的關係圖，如此分別推估衛星影像和空載影像及的包絡線結果如(33)、(34)式：

$$T_H = 52.23 - 85.05 r_0 \quad (33)$$

$$T_{\lambda E} = 10.05 + 49.85 r_0 \quad (34)$$

衛星遙測反演出的關係圖分佈呈現有規則的現象，因爲NDVI和地表溫度均和可見光及近紅外光光譜有關，故造成地表參數有某種程度的關聯此外，因水田水分接近飽和，所有反射率—溫度資料均落於蒸發散控制區，故在輻射控制包絡線的決定可能有誤差。

在能量通量方面，淨輻射估計值低估約13%(如圖10)，此乃短波輻射項高估所致。可感熱估計則相當近似(如圖11)，潛熱低估則因前述的淨輻射低估所致(如圖12)，致於蒸發散比值衛星遙測估計（0.67）和使用地面測值的Bowen Ration法求出估計值（0.71）近似。

以衛星遙測來看在地表反射率極大值(<0.31)時不符合模式假設現象，本研究試區的反射率並未大於0.31，故顯估熱通量分配尚合理，但以上述估計的關係圖而言，對於「面」的估計則需再探討。

2001年的空載遙測反演的反射率約爲0.06，影像是在1200公尺高拍攝，對於其中的大氣校正待未來討論。而空載遙測NDVI反演值爲0.76。空載遙測因爲沒有熱紅外光光譜，所以也採用（32）式估計，而估計值則爲22.72℃。台中站2001年4月的平均氣溫爲23.0℃，最高爲33.1℃，最低則爲17.9℃。地表溫度估計值與氣溫相近。，對空載影像辨視出水稻田的像元(如圖13)，如圖14所示解析度較高的空載影像其反演的關係圖，如此分別推估衛星影像和空載影像及的包絡線結果如(35)、(36)式：

$$T_H = 42.14 - 19.23 r_0 \quad (35)$$

$$T_{\lambda E} = 33.27 + 7.49 r_0 \quad (36)$$

空載遙測資料反演的熱通量分配圖並沒有互相相關的現象，可能是因爲航照的範圍較小，相較於衛星影像，其呈現的誤差範圍也較小，而呈現出的關係圖顯示模式可行，但對於輻射控制的包絡線決定還需再探討。將來亦可再探討各種遙測資料來源造成的誤差。而蒸發散比值估計值爲0.79，可感熱估計爲92.18W/m^2，潛熱估計則爲462.95 W/m^2。圖15、16則爲以解析度較高的空載遙測蒸發散「面」的估計結果。

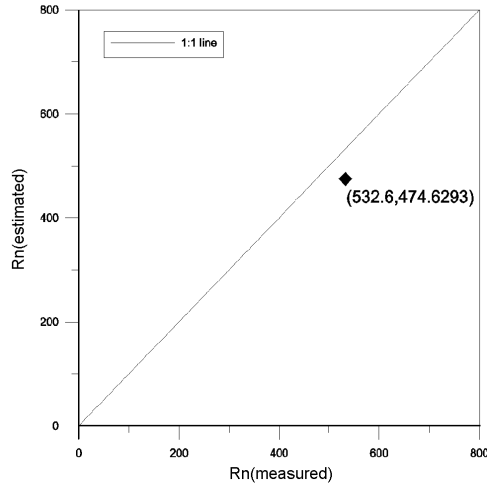


圖10. 農試所試區淨輻射估計值與測值比較。

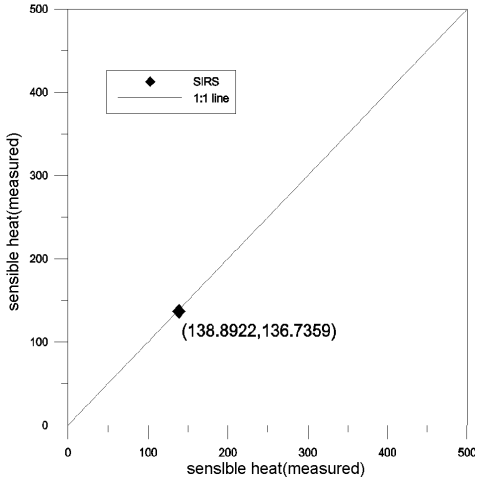


圖11. 農試所試區可感熱。

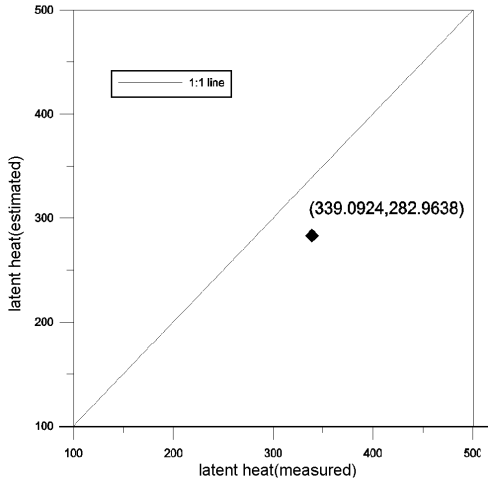


圖12. 農試所試區潛熱。



圖13. 對DMSV影像辨視出水稻像元的分類結果。

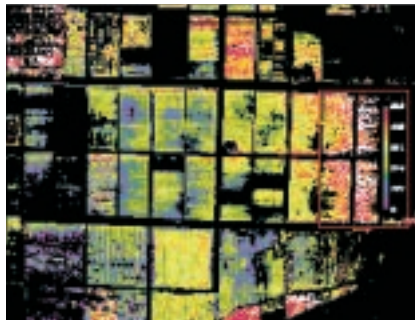


圖15. 水稻像元的蒸發散影像。

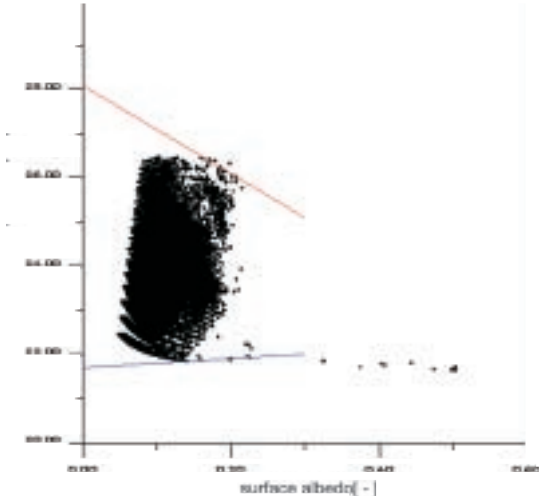


圖14. 以監督分類辨視水稻像元的分類結果。

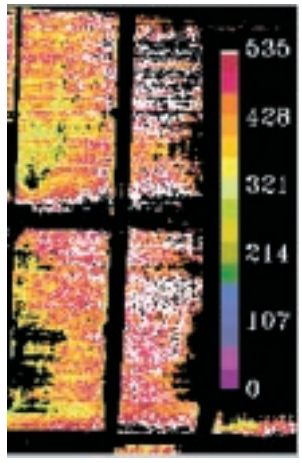


圖16. 農試所試區水稻像元的蒸發散影像。

肆、結論與建議

一、研究結論

1. 對於旱作熱通量估計結果與測值相差不遠，其中估計誤差主要來自地表參數，使用地面觀測資料校正後，能量通量的估計與量測值的差距不大。

2. S-SEBI原模式沒有作影像分類，不適用於某種特定土地利用，本研究將衛星影像分類爲數種均質土地利用，分別建立熱通量分配經驗模式，較合乎建立S-SEBI模式的物理理論，估算結果可以獲得改進。

3. 由Landsat輔助SPOT影像反演出的地表反射率和地表溫度之間具有某種相依性存在，且水田資料理論上落於蒸發控制區域內，繪出的反照率-溫度圖形不完整，且因缺乏水田各種熱通量測值，未來仍待繼續作進一步測試。

4. 利用S-SEBI對DMSV-1空載影像分析可行性，其初估結果合理，尤其空載資料解析度較高，大氣校應的影像也相對較小。

二、建議事項

1. 地表有水體存在時，可能造成反演的NDVI成爲負值，在反演放射率時加入水體的放射率極值作進一步分析。

2. 使用S-SEBI模式分析的試區影像必須同時具有達到蒸發控制和輻射控制的全動態範圍資料，故使用同季節內，包括雨後和乾燥狀況的多張影像資料，建立熱通量分配經驗模式較爲妥適。

3. 進一步利用空載影像與測量資料作比較分析，以探討其多光譜資料的誤差是否在可接受範圍。

4. 若欲應用S-SEBI於水稻田，須利用Landsat等具有熱紅外光段的影像再行測試，若要彌補水稻田的輻射控制資料組，可維持一段時間不灌溉，或是取得水稻收穫期的影像、地表覆蓋狀況爲乾燥裸露土壤，便可繪出輻射控制的包絡線。

伍、引用文獻

1. 葛國平。「衛星山區植被雙向反射特性之研究」，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
2. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R. A. Feddes, R.A., and A. A. M. Holtslag. 1998. remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1.Formulation. Journal of Hydrology 212: 198-212.
3. Menenti, M., W.G.M. Bastiaanssen, D. van Eick and M.A. Abl El Karim. 1989. Linear relationships between surface reflectance and temperature and their application to map evaporation of groundwater. Adv. Space Res. 9(1): 165-176.
4. Menenti, M. and B. J. Choudhury. B.J., 1993. Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range. Proceedings of IAHS conference on Land Surface Processes, IAHS Publ., No. 212, pp.561-568.
5. Roerink, G.J., Z. Su and M. Menenti. 2000. S-SEBI：A simple remote sensing

algorithm to estimate the surface energy balances. Phys. Chem. Earth (B) 25 (2): 147-157.

6. Valor, E. and V. Caselles. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American area. Remote Sens. Environ. 57: 167-184.

5 A study on the use of satellite image to estimate evapotranspiration over crop fields

Yi- Ching Chung, [1], Yuei-An Liou[1], Tim Hau Lee[2], Long-Shiu Liang[1], Chwen-Ming Yang[3], Yuan Shen[4], Gin-Rong Liu[1] and Tang-Huang Lin

[1] Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

[2] Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[3] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[4] Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan,ROC

E-mail:yueian@cstsr.ncu.edu.tw

ABSTRACT

This work intends to implement the Simplified Surface Energy Balance Index (S-SEBI) model by Roerink et al.(2000) to estimate the heat fluxes during The Southern Great Plain (SGP'97 in short) Hydrological Experiment in 1997. Two additional features are added to the S-SEBI model in the work, performing atmospheric correction by radiative transfer model and land-use classification. Results show that partitioning of heat fluxes is in accordance with the measurement. Main cause of discrepancy is due to inaccurate surface parameter estimates. To estimate evapo-transpiration in rice paddy, surface temperature retrieval is compulsory. Since SPOT image is lack of thermal channel, this work uses the Landsat data to construct the regression function between NDVI and surface temperature. However, it is found that the derived surface temperature is collinear with the SPOT retrieved reflectivity. Also, it is realized that all reflectivity-temperature data of rice paddy should fall in the evaporation-controlled region. Application of satellite data for evaporation estimation in rice paddy requires further research.

Key words：Rice, Evapotranspiration, S-SEBI, SPOT, Landsat, Remote Sensing, Soil heat flux.

SPOT衛星影像之大氣改正模式及水稻反射率反演精度之評估
79-88, 2002

6 SPOT衛星影像之大氣改正模式及水稻反射率反演精度之評估

劉建慧[1] 楊純明[2] 劉振榮[3]
[1]環球技術學院資管系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[3]國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail:chliu@tit.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 80
壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 80
貳、材料與方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 82
參、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 84
肆、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 86

6 SPOT衛星影像之大氣改正模式及水稻反射率反演精度之評估

劉建慧[1] 楊純明[2] 劉振榮[3]
[1]環球技術學院資管系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[3]國立中央大學太空及遙測研究中心
E-mail:chliu@tit.edu.tw

摘 要

由於遙測衛星影像具備經濟、快速且大面積觀測之能力，其於精準農業扮演之角色是非常重要的。爲了有效利用遙測影像精準管理農田，其大氣效應之改正是必須的。本文使用同時氣膠特性及地表反射率反演法則，反演氣膠光厚度(AOD)和水稻反射率。經由AERONET資料之輔助，得到綠光及紅光波段所反演AOD之RMSE分別爲0.12、0.08，其精度令人滿意。再者也利用GER光譜輻射儀驗證SPOT衛星影像反演之水稻反射率，結果指出經大氣改正後水稻反射率之RMSE由改正前之0.089減少爲0.04，此誤差可能來自於AOD之高估或地面空間變異。

關鍵詞： 氣膠光厚度、大氣改正、水稻反射率。

壹、前 言

遙測在精準農業所扮演之角色，在於提供其經濟、快速且大面積之資料。透過資料前處理程序，如幾何改正、輻射處理步驟，使影像資料得以眞實反映某地理位置之作物本身特性。續配合地面對作物及環境之定性及定量描述及度量，經由統計或生物-物理-化學方法推演，探討研究適切模式，反覆驗證遙測技術之準確性，以期能將地面單點精準管理之成果，推展至全國各地。

爲了能夠以遙測技術自動化監測水稻之生長狀態，水稻之生長光譜建立是必須的，此關鍵工作即爲遙測影像之大氣改正。這是因爲即使水稻之生長狀態相同，由於感測器及大氣之影響，會導致影像灰度值相差甚大，因此後續之應用如水稻生長光譜建立、產量預估及災害監測等等，均會受到絕對之阻礙。因此，在利用遙測

監測水稻課題上，其影像之大氣改正爲最基本之工作及要務。

大氣成分主要是分子氣體及氣膠(aerosol)，大氣效應源自於上述兩者之吸收及散射兩種物理機制。影響遙測之輻射亮度之主要吸收之分子氣體包括O_3、O_2、CO_2及H_2O，對於可見光及近紅外線遙測而言，主要影響爲臭氧和水汽，只要知道其含量，則利用一些輻射傳遞碼均可求取其光厚度(optical depth)及其穿透率(Kneizys *et al*., 1988;Tanre *et al*., 1990)。分子氣體散射部分，其與地面壓力相關，利用輻射傳遞方程(RTE)即可求取。由於氣膠隨時間及空間變化之特性，因此較難預測其不同波長之光學特性，以及反演其光厚度，從而對遙測影像作大氣改正。所以大氣改正之關鍵在於氣膠光厚度AOD (aerosol optical depth)之求取。雖然利用地面量測氣膠方式是目前大氣改正之最精確方法，但是考量其空間變異及過去歷史影像欠缺量測資料配合，目前則以影像本身求取最爲適合。爲了使氣膠光厚度求解精度提高，多重散射完全解優於單次散射解。

大氣改正之方法眾多，但影響遙測影像大氣改正之精確度主要因素有三：(a)感測器之絕對輻射校正(sensor absolute radiometric calibration)；(b) 輻射傳遞方程(RTE)求解之精度；(c)氣膠光厚度之反演法則。就(a)而言，此校正係數可依據拍攝時感測器與內 部標準光源之校正結果，雖然可利用所謂飛行中校正(inflight calibration)，但其需要一大範圍且均勻之地表，因此此方法較爲不易，目前大多信賴影像上附屬校正係數，用以將影像灰值轉換爲輻射亮度。就(b)而言，RTE之求解以多重散射法較優於單次散設法，而多重散射求解中又以完全解(exact solution)優於估計解。例如連次散射法SOSA(Successive Order of Scattering Algorithm) (Vermote *et al*. 1997)優於Sobolev approximation，而其當然優於單次散射法。就(c)而言，主要是利用影像上之暗物體求取非均勻之氣膠光厚度(AOD)，以減少求解誤差(Ouaidrari and Vermote 1999);亦有利用兩張影像考慮結構函數，改正非均勻大氣效應(Lin *et al*., 2001)。Ahern *et al*. (1977)利用清澈水體作爲路徑輻射求解AOD。不過水體容易受污染而改變其反射率。Kaufman and Sendra (1988)首先利用暗密植被(DDV) 求解AOD。Liu and Vermote (2000) 利用DDV並考慮非均勻大氣效應，改進了Liu *et al*. (1995)之均勻大氣改正假設。Vermote *et al*. (1997)發展6S，此輻射傳遞碼改進了5S的一些缺點：例如使用SOSA求解多重散射，可改變之感測器及地物之高度，非蘭氏表面以及考慮新的吸收氣體分子。

SPOT衛星影像在台灣已有相當多年應用於農作物之監測經驗(陳哲俊等，1989；劉建慧，1988；周志平，1993；陳哲俊等，1995；周昶成，1997；申雍等，1998；劉振榮等，2000；吳啓南等，2000)。由於其具備有低成本、大面積、多光譜且高頻率對定點觀測之優點，其廣泛被應用在估測農作物之生育期及種植面積之估測，並且用於研究災害之監測。

本研究主要驗證SPOT衛星影像反演AOD及水稻反射率之精度，以利後續水稻相關課題研究，諸如生長期及產量之估測及預估、災害監測等等。

貳、材料與方法

一、 氣溶膠光學厚度反演模式

(一) SPOT衛星影像反演氣膠光厚度模式

在此使用同時氣膠特性及地表反射率反演法(Liu *et al*., 1996)，用以從SPOT衛星影像反演氣膠光厚度AOD。其步驟分述如下：

1. 使用既有隻輻射傳遞碼，諸如LOWTRAN 7 (Kneizys *et al*., 1988), 5S (Tanre *et al*., 1990) or 6S (Vermote ° 1997)，決定雷氏散射、O_3、H_2O 和氣體之光厚度(optical depth)；
2. 假設氣膠之物理參數，包括尺寸分布(Junge size distribution), 折射指數(refractive index) (指定爲1.5322-0.01174i，即大陸型continental model)。其中初始Junge 參數 $\nu \Rightarrow$ 設定爲3.0，折射指數指定爲1.5322-0.01174i，即大陸型(continental model)而尺寸範圍(size range)設爲[001,10.0](m (Lenoble, 1985)；
3. 使用米氏理論(Mie theor)決定單次散射反照率(single scattering albedo)、散射向函數(scattering phase function)及非對稱因子(asymmetry factor)；
4. 建立已知反射率之暗密植被DDV(dense dark vegetation)與衛星接受之輻射亮度(radiance) L=L(AOD)。其中DDV於XS1及XS2波段反射率設定爲0.03及0.02 (Kaufman and Sendra, 1988)；
5. 由SPOT影像決定XS1及XS2波段之DDV灰度值，續利用步驟4求得AOD；
6. 使用Angstrom式(Angstrom, 1964)，求取 $\Rightarrow$；
7. 檢驗兩次AOD(XS1)差距是否小於某一閥值；若是，則執行步驟6計算AOD(XS3)，若否，計算新的Junge 參數 ν，續執行步驟1。除閥值之外，亦可設定最大疊代次數，以結束此法則。

詳細流程如圖1。該法則在Landsat TM影像於美國威斯康辛州試區所得AOD精度約爲0.15(Liu and Vermote, 2000)。

(二) SPOT衛星資料集

在此使用五張SPOT衛星影像，用以反演AOD(表1)。研究區域位於桃園縣中壢市，AERONET測站之一之國立中央大學位於試區之中央。影像拍攝期間範圍爲1998/06至2000/09，拍攝時之太陽天頂角及觀測天頂角範圍分別爲20.6~42.5°、3.6~30.4°。相對方位角小於90°者表示後向散射觀測，表一顯示共有三張影像觀測恰爲後向散射觀測。

(三) AOD觀測資料

在此使用AERONET (AErosol RObotic NETwork) (Holben *et al*., 1998) NCU_Taiwan站之AOD觀測資料。其所使用太陽光度計(sunphotometer)之濾鏡現有波長分別爲440nm、500nm、670nm、870nm、1020nm。但由於缺乏500nm之AOD，及所關心之SPOT HRV XS1及XS2波段，在此僅使用440nm、及670nm AOD與衛星所反演者比較。在此使用Angstrom formula內插得太陽光度計440nm、及670nm AOD，以求得SPOT相應XS1及XS2中央波長之AOD，用以驗證SPOT衛星所反演AOD之精度。

二、 SPOT衛星影像反演水稻反射率

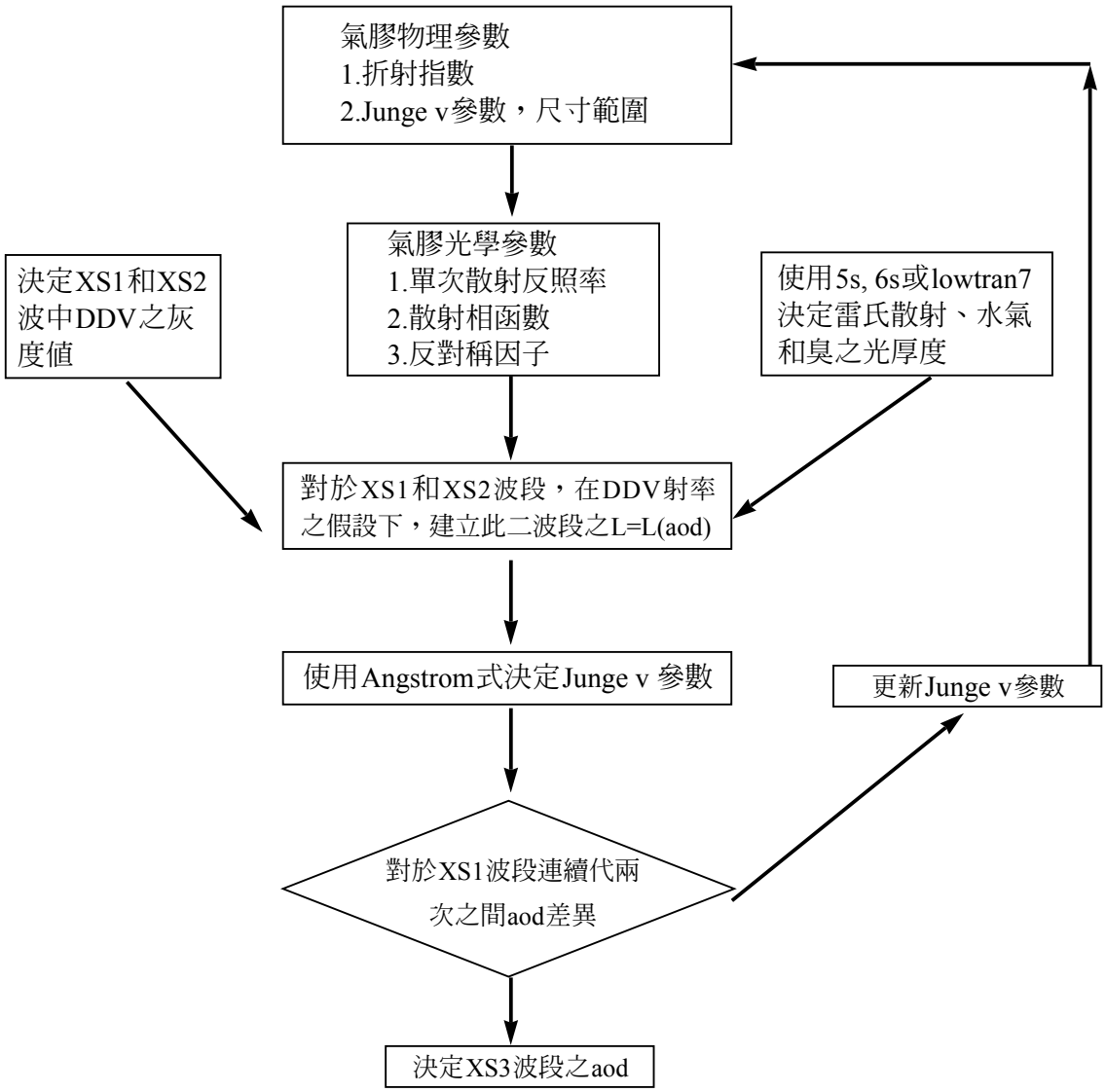


圖1. SPOT衛星影像反演氣膠光厚度模式。其中aod, Junge v, DDV 之定義如本文。

表1. SPOT衛星影像之掃描日期太陽及觀測幾何。

日期	θ s*	θ v**	ϕ ***
1998/06/27	20.64	30.35	13.79
1998/11/08	42.49	13.09	119.83
1999/10/13	36.24	25.46	46.46
1999/10/21	37.04	3.57	124.74
2000/09/20	28.98	17.19	52.81

*：太陽天頂角； **：觀測天頂角；

***：相對天頂角=太陽方位角與觀測方位角之差取絕對值。

(一) SPOT衛星影像大氣改正模式

由上述SPOT衛星影像所反演氣膠光厚度AOD，使用Liu *et al*.(1996)發展之同時反演氣膠及反射率法則，執行SPOT衛星影像之大氣改正，求取地面反射率影像。此法則在桃園中壢試區，所得地面反射率精度約爲0.02 (Liu *et al*.,1996)，適用於大多數之遙測應用。

(二) 水稻反射率觀測試區

本實驗試區位於台中縣行政院農業委員會農業試驗所農場，編號74、75、76、77四個各100 m×50 m面積之精準農業水稻試驗田。

(三) GER光譜輻射儀與SPOT衛星HRV感測器之同步觀測

爲了能夠驗證SPOT衛星影像所求水稻反射率之精度，在此使用GER光譜輻射儀(spectroradiometer) 同步配合SPOT衛星，量測水稻光譜反射率(spectral reflectance)。 爲了考慮空間之變異，各試驗田，均量測12~15次，以求其平均值。需注意的是，由於GER之實際操作，在此僅垂直觀測。

GER光譜輻射儀，可量測波長範圍爲331 nm~2588 nm，其光譜解析度由1.3 nm~1.6 nm在波長1047 nm處增加至11 nm~16 nm不等。爲了驗證SPOT衛星上HRV感測器相關波段之反射率，GER光譜輻射儀所量測水稻光譜反射率，則以HRV感測器相關波段之反應函數(response function)權重之。續以上述波段反射率，驗證SPOT衛星影像大氣改正模式。

在此選取均有GER同步觀測之九張SPOT影像作實驗，其時間爲1999年之04/01、06/09、06/24、09/16、10/28、11/05及2000年之04/11、10/26、11/16。

(四) SPOT衛星影像試驗田水稻像元之挑選

由於地面GER量測點爲試驗田周圍，而試驗田爲100m×50m面積，對於空間解析度僅爲20m 之SPOT衛星影像，爲避免混合像元，僅能挑選試驗田之中間像元。因此影像水稻像元之挑選與GER量測點之不同，會增加大氣改正模式驗證之不確定性。

參、結果與討論

爲了遙測水稻之地面反射率， SPOT衛星影像必須反演氣膠光厚度。其圖2，爲五張SPOT衛星影像所反演之XS1波段(綠光)氣膠光厚度與太陽光度計之比較。其最大、最小及RMS誤差分別爲0.14、0.02、0.12 (表2)。雖然此結果令人滿意，但仍需更多實驗驗證。圖2，則爲XS 2波段(紅光)之結果。其最大、最小及RMS誤差分別爲0.13、0.01、0.08。

利用上述所得AOD，代入大氣改正模式，便可求得水稻之地面反射率。圖四爲SPOT衛星影像中水稻像元之顯反射率(大氣改正前)與地面量測反射率之比較。由圖4可知，若未改正SPOT衛星影像中之大氣效應，其水稻顯反射率(apparent reflectance)與GER光譜輻射儀所量測水稻波段反射率，RMSE可達0.089。圖4也顯示其兩者之回歸式斜率與截距各爲0.450及0.124，此乃典型之大氣效應影響，亦即使得暗物體變亮、亮物體變暗，此影響亦近乎爲線性(R^2=0.87)。若比較其大氣改正結果之水稻地面反射率(圖5)之結果，迴歸式斜率則爲1.190，而截距爲-0.030(理想值爲斜率、截距分別爲1及0)，RMSE則減

表2. SPOT衛星影像反演綠光及紅光波段之AOD誤差估算。地面AOD值使用AERONET中NCU_Taiwan站之資料。使用Angstrom formula將太陽光度計之兩波長(440nm、670nm)內插至SPOT XS1、XS2兩波段。

XS1			XS2		
Max	Min	RMSE	Max	Min	RMSE
0.14	0.02	0.12	0.13	0.01	0.08

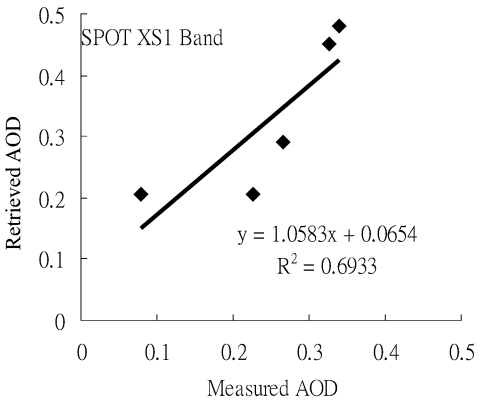


圖2. SPOT衛星影像所反演之氣膠光厚度(XS 1波段)與太陽光度計之比較。

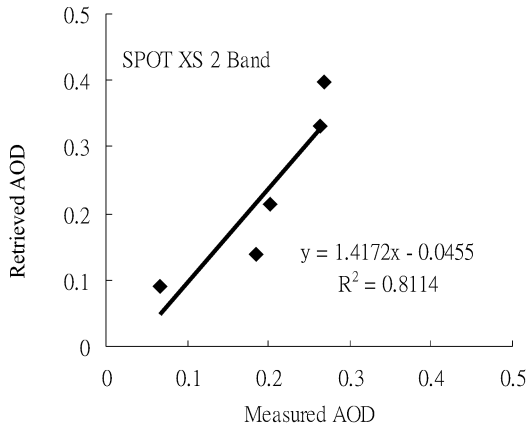


圖4. SPOT衛星影像中水稻像元之顯反射率(大氣改正前)與地面量測反射率之比較。

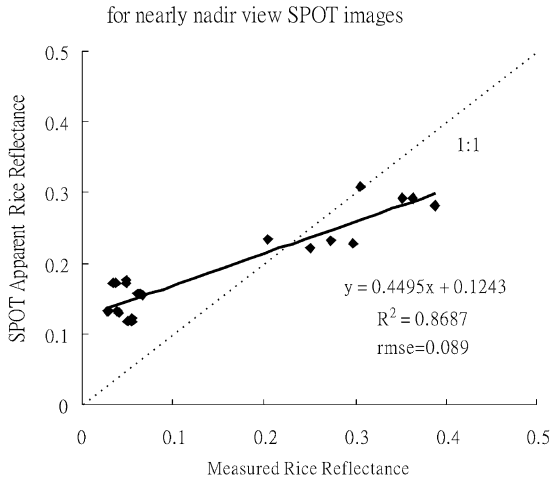


圖3. 如圖二，但爲XS 2波段。

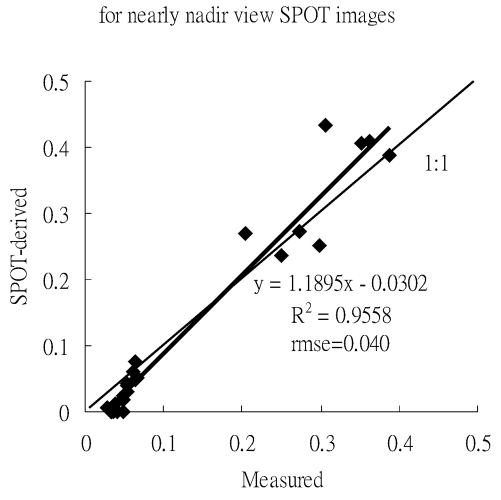


圖5. SPOT衛星影像中水稻像元之反射率(大氣改正後)與地面量測反射率之比較。

少至0.04。推敲此誤差較過去結果0.02大(Liu *et al*.,1996)之原因，(1)可能是因爲影像水稻像元之挑選與GER量測點有所不同(如前述)所致。分析所有GER觀測水稻，對XS1-3波段，不同水稻田within-field平均反射率標準差爲0.060；(2)可能是因爲AOD反演模式誤差導致AOD高估(如圖2中回歸式截距爲0.07)，以及後續大氣效應之過度改正，亦即暗物體反射率過小和亮物體反射率過大(如圖5所示，回歸式截距爲1.19)。

總言之，本研究使用同時氣膠特性及地表反射率反演法則，反演SPOT衛星影像之AOD並改正大氣效應求取水稻反射率。在以AERONET資料驗證後，AOD之RMSE於綠光及紅光波段分別爲0.12、0.08，其精度令人滿意。利用GER光譜輻射儀驗證SPOT衛星影像反演之水稻反射率，結果指出經大氣改正後水稻反射率之RMSE由改正前之0.089減少爲0.04。此誤差可能源於AOD之高估或地面空間變異。

肆、引用文獻

1. 申雍、李佩玲。1998。應用SPOT衛星影像區分水稻旱害等級與受災範圍初步研究。中華農業氣象5:203-208。
2. 吳啓南、蕭國鑫、陳大科、廖子毅、劉治中。2000。遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編)，行政院農委會農業試驗所，p.112-126。
3. 劉振榮、陳哲俊、林唐煌。2000。遙測科技在精準農業之應用-遙測水稻種植分布之實例。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編)，行政院農委會農業試驗所，p.80-92。
4. 周志平。 1993。 植被動態光譜之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，100pp。
5. 周昶成。1997。利用多時SPOT衛星影像以研究水稻反射率動態光譜及其應用。國立中央大學太空科學研究所碩士論文。
6. 陳哲俊、楊金江、陳珠燕、甘果碩、劉建慧。1989。SPOT衛星資料之應用研究。行政院農委會專題研究報告。
7. 陳哲俊、楊金江、陳珠燕、張彬、徐滄淇、劉建慧、王宏碁。1995。利用衛星影像資料改進稻作種植面積自動估測及生育查報計劃。國立中央大學太空及遙測研究中心研究計劃報告。
8. 劉建慧。1988。利用SPOT衛星資料求取動態植被光譜之研究。國立中央大學大氣物理研究所碩士論文，75pp。
9. Aheren, F.J., D.G. Goodenough, S. C. Jain, V. R. Rao and G. Rochon. 1977. Landsat atmospheric corrections at CCRS. In:Proceedings of the Fourth Canadian Symposium on Remote Sensing, Quebec City, May, pp.583-595.
10. Angstrom A. 1964. The parameters of atmospheric turbidity. Tellus 16:64.
11. Kaufman Y. F. and C. Sendra. 1988. Algorithm for automatic atmospheric corrections to visible and near-IR satellite imagery, Int. J. Remote Sens. 9: 1357-1381.
12. Kneizys, F. X., E. P. Shettle, L. W. Abreu, J. H. Chettwynd, G. P. Anderson, W. O. Gallery, J. E. A. Selby and S. A. Clough. 1989. User Guide to Lowtran 7, AFGL-

TR-88-0177, Environmental research Papers No. 1010.

13. Lenoble J. 1985. Radiative transfer in scattering and absorbing atmospheres: standard computational procedures (Virginia: A. Deepak Publishing), 300p.
14. Lin T. H., A. J. Chen, G. R. Liu and T. H. Kuo. 2001. Monitoring the atmospheric aerosol optical depth with SPOT data in complex terrain, Int. J. Remote Sens. (accepted).
15. Liu C. H., A. J. Chen and G. R. Liu. 1996. An image-based retrieval algorithm of aerosol characteristics and surface reflectance for satellite images, Int. J. Remote Sens, 17(17):3477-3500.
16. Liu C. H. and E. F. Vermote. 2000. A reflectance retrieval algorithm for Landsat TM satellite image, The 21st Asian Conference on Remote Sensing, December 4-8, Taipei, Taiwan, p.522-526.
17. Ouaidrari H. and E. F. Vermote. 1999. Operational atmospheric correction of Landsat TM data, Remote Sens. Environ. 70, 4-15.
18. Tanre D., C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J. J. Morcrette, J. Perbos, and P. Y. Deschamps. 1990. Description of a computer code to simulate satellite signal in the solar spectrum: the 5S code, Int. J. Remote Sens. 11: 659-668.
19. Vermote E. F., D. Tanre, J. L. Deuze, M. Herman and J.-J. Morcrette. 1997. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview, IEEE. Trans. on Geosc. and Remote Sens. 35: 675-686.

6 Accuracies Assessment of the Atmospheric Correction Model and Retrieved Rice Reflectance for Spot Satellite Images

Chien-Hui Liu[1], Chwen-Ming Yang[2] and Gin Rong Liu[3]
[1] Department of Information Management, Transworld Institute of Technology, Douliu 640, Taiwan, ROC
[2] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Tichung Hsien 413, Taiwan , ROC
[3] Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC
Email:chliu@tit.edu.tw

ABSTRACT

Remote sensing satellite images play an important role for the precision agriculture, since they have economical, fast and wide viewing abilities. To better utilize the remotely sensed images for precision farming, it is necessary to correct their atmospheric effect. In this paper, the concurrent retrieval algorithm of aerosol characteristics and surface reflectances are utilized to estimate the aerosol optical depth (AOD) and the rice reflectance. With the help of AERONET sunphotometer measurements, the estimated AOD RMSEs are 0.12 and 0.08 in XS^1 and XS^2 bands, respectively. The results are quite satisfactory. Furthermore, the accuracy of retrieved rice reflectance is also evaluated by GER spectroradiometer. Before atmospheric correction, the RMSE of rice reflectance is 0.089, and it is reduced to 0.04 after correction. The errors may be due to over-estimation of AOD or spatial variation of the rice field.

Key words: Aerosol optical depth, Atmospheric correction, Rice reflectance.

7 水稻光譜資料庫管理系統之建置

劉建慧[1] 楊聰仁[2] 陳信吉[3] 楊純明[4] 申雍[5]

[1]環球技術學院資訊管理系

[2]環球技術學院商業科技管理系

[3]雲林科技大學電子與資訊工程技術系

[4]行政院農業委員會農業試驗所農藝組

[5]國立中興大學土壤環境科學系

E-mail:chliu@tit.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 90

壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 90

貳、材料與方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 91

參、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 92

肆、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 99

7 水稻光譜資料庫管理系統之建置

劉建慧[1] 楊聰仁[2] 陳信吉[3] 楊純明[4] 申雍[5]
[1]環球技術學院資訊管理系
[2]環球技術學院商業科技管理系
[3]雲林科技大學電子與資訊工程技術系
[4]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[5]國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:chliu@tit.edu.tw

摘 要

精準農業計畫之有效執行，仰賴不同資料之整合。資料庫管理系統是一個兼具管理、分析之工具。本文旨在介紹近地面水稻光譜資料庫系統之建置。本系統的架構規劃是以web爲環境，以client-server爲架構，適用於2-Tier或3-Tier的架構。研究步驟包括：1.需求分析、2. 資料庫設計、3. 程式設計、4. 介面設計、5. 測試及安裝。本應用系統以HTML+ASP plus爲設計的工具，後端資料庫以MS SQL 2000爲資料庫管理系統系統架構。系統功能包括：1. 系統管理、2. 資料新增/刪除、3.資料查詢。嘗試藉由建立此基礎光譜資料庫，以利後續相關水稻生長、逆境(病蟲害、雜草、旱害等)及產量之監測與估測技術研究。

關鍵詞：光譜資料庫、精準農業、client-server。

壹、前言

近地面光譜之量測，不僅是實地了解及推測農作物生長之必要工作，其更是用以應用遙感探測技術之於精準管理水稻生長及監測之不二法門。近年來已有多位學者研究相關植被光譜反射率與其生長之課題。例如，有關理論研究太陽光於植被之輻射傳遞問題(Myneni *et al*. 1989)；有關反演植被葉片指數問題(Goel, 1989)；有關水稻光譜之量測(Su and Yang, 1998)；更有爲數眾多之研究於水稻分類(陳等，1995；吳等，2000；劉等，2000)。上述研究均說明一共同點，就是不同生長(育)及其所處環境狀態之水稻光譜，隨電磁波譜波長而改變，因此學者能根據量測反射光譜，反演水稻及其環境之特性。根據以上之說明，相關之水稻光譜量測實爲精準農業研究之基礎。

資料是珍貴的，資訊是有價的。尤其

是邁入知識經濟之21世紀，有效管理及應用資訊更是國力之表徵。爲了有效管理上述近地面水稻光譜資料庫，一個完善之近地面水稻光譜資料庫管理系統是必須的。其必須有下列優點(曾，1998)：(1)能夠有組織地將資料儲存起來，並具備快速的資料存取技巧；(2)能有效管理資料庫的綱要(Metadata)；(3)減少大量重複儲存之資料；(4)及時得到最新資料；(5)減少不一致之資料；(6)資料得以共享；(7)資料具有保密性；(8)提供相關決策支援。

本研究目的在於建置近地面水稻光譜資料庫系統。嘗試藉由建立此基礎光譜資料庫，使得成爲精準農業中之關鍵資料庫，用以支援不同後續水稻精準管理應用。

貳、材料與方法

一、 系統規劃

爲能提供散居各處的研究人員把取得的光譜資料，經由網頁的介面傳送到資料庫，然後進行處理。並提供各研究人員查詢資料庫內容，達到資料共享的目的。因此，本系統的架構規劃是以web爲環境,以client-server爲架構，適用於2-Tier或3-Tier的架構。規劃架構如圖1：

二、 研究步驟

1. 需求分析

分析原有資料格式、資料項目、資料欄位、使用操作模式、及使用者介面。

2. 資料庫設計

依據需求分析結果設計SQL資料庫之資料表格及欄位格式。

3. 程式設計

依據操作模式，資料處理需求進行檔案上傳、轉檔以及寫入資料庫的處理程式設計。

4. 介面設計

依據使用者操作模式，設計符合使用者需求的操作介面。



圖1. 近地面水稻光譜資料庫系統架構。

5. 測試及安裝

系統設計完成後，進行系統測試，測試後即進行安裝。

三、 研究工具

本計劃所使用的主要工具如下：

1. 應用系統以HTML+ASP plus為設計的工具
2. 後端資料庫以MS SQL 2000為資料庫管理系統

參、結果與討論

根據上述方法，本研究開發近地面水稻光譜資料庫系統，其系統架構及系統功能爲：

一、 光譜資料庫系統作業流程如圖2

使用者必須先登入系統，系統到會員資料庫比對使用者帳號看他是屬於什麼角色，如果是系統使用者，他可以針對會員資料庫執行使用者帳號的新增，刪除及修改動作(系統使用者只能有一個帳號)，另外系統使用者也可以針對選項資料庫作新增刪除資料選項的動作。

系統使用者開始使用系統，他可以上傳資料檔案，並計算處理資料將資料存入LI-COR或GER資料庫。不論系統使用者，或一般使用者都可以針對LI-COR或GER資料庫作資料的查詢，以及匯出檔案的動作。

二、系統藉由登入畫面(圖3)判斷登入到哪個畫面，執行哪些功能，系統內主要分成三種角色：

1. 系統管理者

系統管理者可以藉由顯示帳號畫面(圖4)的頁面選取需要修改或刪除的帳號，接下來可以針對某個帳號做刪除或修改(圖5)。如六所示系統可以輸入使用者名稱，密碼，查詢密碼，匯出密碼，以及E-Mail

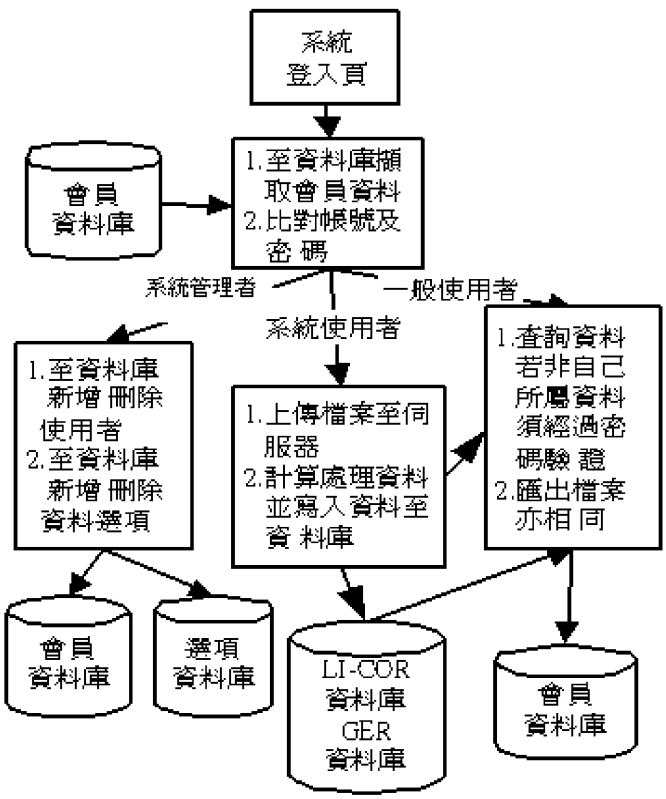


圖2. 光譜資料庫系統作業流程。



圖3. 光譜資料庫系統登入頁。



圖4. 系統管理者（選擇欲刪除或修改帳號）畫面。



圖5. 系統管理者（執行新增刪除帳號）畫面。



圖6. 系統管理者（執行新增帳號）畫面。



圖7. 新增刪除資料選項畫面。

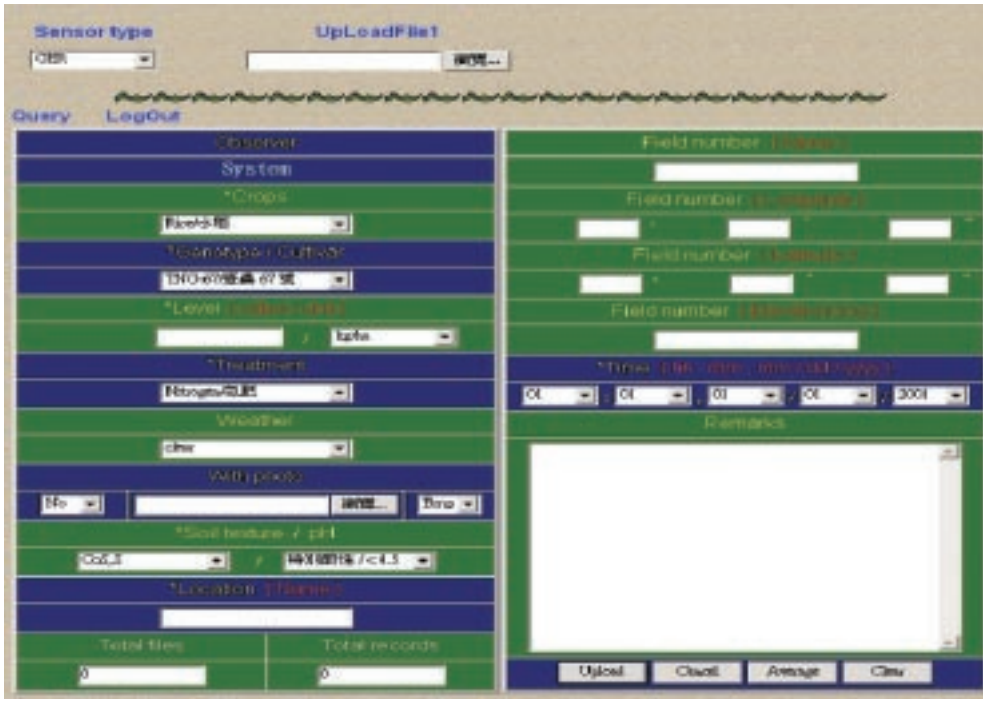


圖8. 系統使用者（上傳檔案並建立資料）畫面。



圖9. 資料查詢頁畫面。

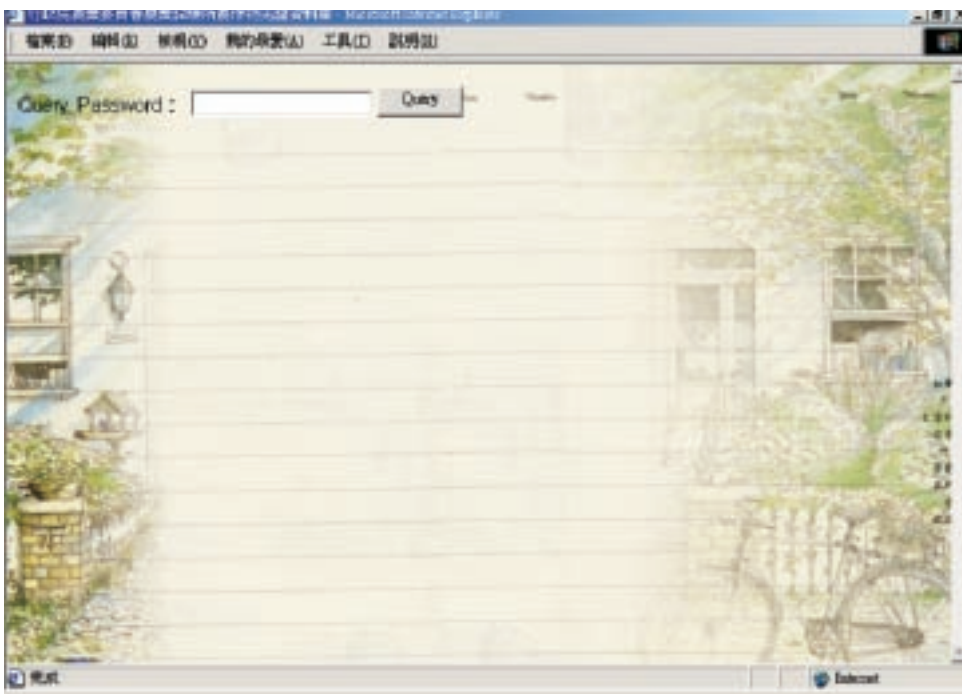


圖10. 資料查詢頁之輸入密碼頁畫面。

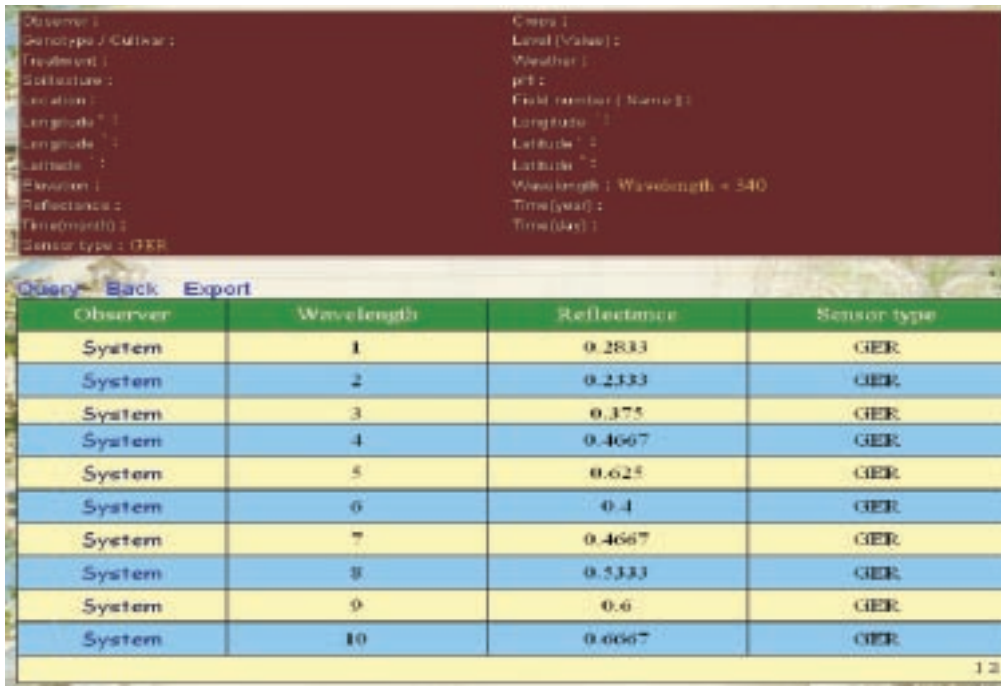


圖11. 查詢資料(所有結果) 畫面。



圖12. 查詢資料(細節資料) 畫面。

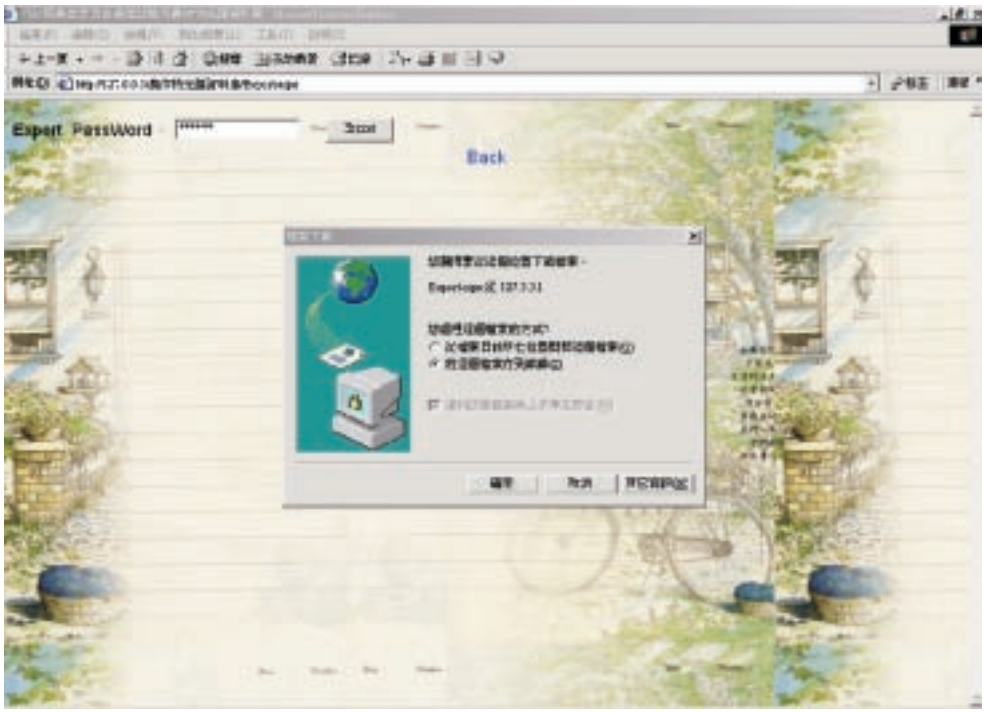


圖13. 匯出資料畫面。

帳號，和角色後新增一個新帳號。

使用者名稱及密碼是系統用來判別登入的角色、查詢密碼及匯出密碼是用來限制非資料擁有者任意查詢資料及匯出資料、E－Mail帳號是用來當非資料擁用有人查詢資料時、系統予以通知資料擁有人的通訊帳號。

另外由於系統擁有動態增加資料選項的功能，所以在圖7這個頁面系統管理者可以來新增或刪除資料選項。以Crops這個畫面來說系統管理者可以在Crops欄位填入欲新增的作物名稱，然後在下方的Genotype/Cultivar選項欄位使用>>鍵來將與新作物有關的Genotype/Cultivar選到關聯區中，然後按下新增鈕即可。

2. 系統使用者

系統使用者登入後可以上傳觀察後得到的紀錄檔，系統會將所有的資料作平均，配合屬性欄位填入資料庫，如圖8所示。

續上段說明的Crops資料選項建立時的關聯特性就是在這個地方顯示出來，當選則某一個Crops時下方Genotype/Cultivar選項只會顯示跟作物相關的資料選項而不會出現其他無關的選項。

接著的功能由於和一般使用者相同，所以在下段說明之。

3.一般使用者及系統使用者

如圖9查詢畫面式系統用來查詢建立的資料。選定查詢條件例如1500<Wavelength< 1550則系統會將符合條件的資料顯示出來，系統預設只是會列出系統登入者符合查詢條件的資料。

當系統登入者查詢的資料非本身所

有，則系統就會要求其輸入查詢密碼(帳號新增頁的查詢密碼欄位)(如圖10)。

如果密碼正確系統就會顯示出所要查詢的資料並會E－Mail(帳號新增頁的E－Mail欄位)跟資料擁有人通知。

查詢的結果顯示出來時，這個顯示結果頁上方(圖11)也會出現在查詢頁所選擇的條件式，以提醒使用者，使用者也可以點選某一列來關看資料細節(圖12)。

使用者可以將資料下載保存在自己的主機上，但是當使用者下載的資料不是屬於自身的資料時需要通過資料擁有者的匯出密碼(帳號新增頁的匯出密碼欄位)驗證後才可以將資料匯出(圖13)。

總言之，本研究旨在介紹近地面水稻光譜資料庫系統之建置。結果完成下列工作：

1. 近地面水稻光譜資料庫管理系統架構：主從架構，適合2-Tier或3-Tier。
2. 近地面水稻光譜資料庫管理系統初步功能：包括系統管理、資料新增/刪除以及資料查詢。

由於近地面水稻光譜資料庫系統，旨在藉由建立此基礎光譜資料庫，使得成爲精準農業中之關鍵資料庫，用以支援不同後續水稻精準管理應用。因此後續工作則著眼於

1. 維護近地面水稻光譜資料庫管理系統運作：透過計劃中人員之使用反映，對系統軟體之維護，使其正常運作。
2. 修正子計劃所需求之應用功能：透過需求會議，使用HTML+ASP plus設計的工具，修改程式並除錯之，以符合子計劃人員之要求。

肆、引用文獻

1. 曾守正。1998。資料庫系統之理論與實務。儒林圖書有限公司。
2. 吳啓南、蕭國鑫、陳大科、廖子毅、劉治中。2000。遙測與資訊技術應用於精準農業的先驅試驗。112-126。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編)，行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
3. 劉振榮、陳哲俊、林唐煌。2000。遙測科技在精準農業之應用-遙測水稻種植分布之實例。水稻精準農業(耕)體系之研究(楊純明，林俊義主編。80-92。行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
4. 陳哲俊、楊金江、陳珠燕、張彬、徐滄淇、劉建慧、王宏碁。1995。利用衛星影像資料改進稻作種植面積自動估測及生育查報計劃。國立中央大學太空及遙測研究中心研究計劃報告。
5. Goel N. S. 1989. Inversion of canopy reflectance models for estimation of biophysical parameters from reflectance data. p.205-251. In:Theory and Applications of Optical Remote Sensing, John Wiley & Sons, New York.
6. Myneni R. B., G. Asrar, and E. T. Kanemasu. 1989. The theory of photon transport in leaf canopies. p.142-204. In:Theory and Applications of Optical Remote Sensing, John Wiley & Sons, New York.
7. Su, M.-R. and C.-M. Yang. 1999. Estimation of rice growth from reflectance spectra of vegetative cover. J. Photogram. Remote Sens. 4(4):13-23.

7 The Setup of Information System of Spectral Reflectance Database for Rice Paddy

Chien-Hui Liu[1], Tsung-Jen Yang[2], Sin-Ji Chen[3], Chwen-Ming Yang[4] and Yuan Shen[5]

[1] Department of Information Management, Transworld Institute of Technology, Douliou 640, Taiwan, ROC

[2] Department of Commercial Technology, Transworld Institute of Technology, Douliou 640, Taiwan, ROC

[3] Department of Electronic and Information Engineering, National Yunlin University of Science & Technology, Douliou 640, Taiwan, ROC

[4] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[5] Department of Soil & Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

E-mail:chliu@tit.edu.tw

ABSTRACT

Success of the precision agriculture project depends on the integration of different data. Database management information system is a tool combined with the management and analysis. The setup of database management system of spectral reflectance for near-surface rice paddy is introduced in this paper. The system structure is based on client-server of 2-Tier or 3-Tier, which can be run with web environment. The steps of system development include: 1. demand analysis, 2. database design, 3. programming, 4. interface design, 5. test and setup. HTML and ASP plus are used to develop the system and MS SQL 2000 is used to develop the backend database. The functions of the system include : 1. system management, 2. data insert/delete, 3. data query. By the development of such spectral reflectance database system, related researches of rice growth, resistance and production will be improved.

Key words: Spectral database, Precision agriculture, Client-server.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
稻株氮營養狀態檢測技術
101-112, 2002

8 稻株氮營養狀態檢測技術

李裕娟[1] 張愛華[2] 申雍[3] 章國威[4] 楊純明[1] 羅正宗[5]

[1] 行政院農業委會農業試驗所農藝組

[2] 行政院農業委會農業試驗所農業化學組

[3] 國立中興大學土壤環境科學系

[4] 國立中興大學植物研究所

[5] 行政院農業委會農業試驗所嘉義分所農藝組

E-mail:yjlee@wufeng.tari.gov.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 102

壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 103

貳、材料與方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 103

參、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 105

肆、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 109

8 稻株氮營養狀態檢測技術

李裕娟[1] 張愛華[2] 申雍[3] 章國威[4] 楊純明[1] 羅正宗[5]

[1]行政院農業委會農業試驗所農藝組

[2]行政院農業委會農業試驗所農業化學組

[3]國立中興大學土壤環境科學系

[4]國立中興大學植物研究所

[5]行政院農業委會農業試驗所嘉義分所農藝組

E-mail:yjlee@wufeng.tari.gov.tw

摘 要

本研究之目標在開發以遙測技術檢測稻株氮營養狀況的方法。試驗分別在行政院農業委員會農業試驗所農場和嘉義分所溪口農場進行，以台農67號(*Oryza sativa* L.)爲試驗品種。1999年一、二期作進行之氮肥缺乏試驗，處理田不施肥而對照田爲正常施肥。試驗結果顯示，不施肥田區葉片葉綠素和氮素含量在全生育期皆較正常施肥田區爲低，且一、二期作稻株葉綠素和氮素含量成顯著正相關(r_{1st}=0.744,r_{2nd}=0.837)，而營養、生殖生長性狀皆以不施肥田區較正常施肥田區差。光譜特徵波長分析指出，以735 nm的微分值可拉大其氮肥處理差距，以不施肥田區的微分值較正常施肥田區低。2000年一期作在嘉義分所的不等氮肥試驗的結果顯示，735 nm的微分值與水稻幼穗形成期的氮素含量成顯著正相關(r=0.927）。2001年一期作在嘉義分所進行的不同等級氮肥施用試驗(0、45、90、180 kg N ha^{-1}）的結果顯示，以735 nm的微分值可拉大不等氮肥的級距比較，惟在90 kg和180 kg間難以區分。2001年一期作在農試所內所進行的水稻不同等級氮肥(0、60、120、180 kg N ha^{-1})試驗，以幼穗形成期的稻株氮素含量和735nm的微分值有顯著正相關(r=0.737)，而分蘗盛期所分析的稻株氮素含量，則與735nm的微分值相關性較低。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、反射比值、葉綠素濃度、氮素、生長期。

壹、前　言

稻米是國人之首要糧食，更因稻之栽培兼具生活、生產與生態性，近年來雖然台灣地區經濟與農業環境改變，但稻之栽培對台灣地區永續發展之重要性則益趨重要。氮素爲水稻生產所需元素中最重要的，增施氮肥雖然對稻殼生產貢獻很大，在一定的氮肥施用量下，稻殼產量隨氮肥施用量增加而增加，且氮肥施用過量或施用時期不當，殼粒發育會停止，導致死米及乳白米的增加(侯，1988)，適度氮肥之施用對稻米糙米率、白米率及完整米率有正面的貢獻(宋，1980)。一般而言，米粒外觀差者施氮量與米質間無一定趨勢，米質外觀佳者，氮肥施用量愈少愈好(陳，1987)，氮肥施用過量(一期作140 kg N ha^{-1}，二期作90 kg N ha^{-1}以內)對米質反而有負面的影響(賴等，1997)。因此水稻植株若能正確而適時的施用氮肥，不但能穩定產量且對提高稻米品質亦有助益(張，1988)。水稻在營養生長期和幼穗形成期兩個關鍵時期，其稻株植體氮素的供應最爲重要，植體氮濃度愈高，分蘗數和葉面積愈多，但若氮肥供給過多，又易造成氨的毒害，或因營養器官過度繁茂導致光照不足，使穀粒填充不飽滿，影響稻米品質。

遙測技術在農業經營管理上具有應用的潛力，惟仍存在某些限制因素。輻射光譜遙測技術爲非破壞性的檢測方法，能及時又大面積的檢(偵)測作物，隨著資訊設備的提升可自動化系統快速處理分析大量資料。光譜遙測在農業生產上的應用很廣，如各種農業災害所造成農作物的損失估計、氣象環境的影響、作物逆境研究、土壤學上區分農田種類及外在環境造成的改變等。葉片的反射光譜主要受葉綠素吸收的影響，呈現在藍光與紅光段較弱而在綠光段較強的分佈，且各光段的反射值隨葉綠素濃度增加而下降。Thomas and Oerther(1972)試以甜椒葉片反射率估測含氮量，發現與傳統的Kjeldahl法測值僅0.7%差異；Blackmer *et al*.,(1994)指出玉米葉片在不同氮肥施用量的田區，其葉片在550nm的反射量與氮肥施用量成反比，因此利用光譜儀在550nm的反射值藉以估算田間玉米植株含氮值之高低。當氮缺乏時，葉片在可見光區的反射會因葉綠素濃度降低而增加，在近紅外光區的反射值因細胞層數減少而降低(Thomas and Oerther, 1972; Blackmer *et al*., 1996)。氮肥對玉米(Walburg *et al*., 1982)和小麥(Stanhill *et al*., 1972)植被反射光譜的變化的影響曾被提出，由於氮肥改變作物的葉面積、乾物重、株高、葉綠素濃度、地面覆蓋率等(Inoue and Iwasaki, 1991; Price and Bausch, 1995; 楊與蘇，1997;Yang and Su, 1998a，1998b)因素而改變植被的反射光譜，故可利用植被反射光譜的空間變異評估作物氮營養的空間分布。

玉米雜交種其葉片葉綠素含量和氮素含量呈密切的正相關關係，若以葉綠素測計(Minolta SPAD-502 chlorophyll meter)測得的讀值亦與葉綠素含量、氮素含量呈密切正相關。大部分作物在逆境時，其葉綠素含量和綠度皆會降低，故生產者即可推測植體氮素的缺乏。葉綠素測計係依據作物葉片在650 nm的穿透率和葉綠素濃度間的良好對應關係設計而成，惟對作物氮素在田間空間上的分布情形不易顯現(Schepers *et al*., 1992; Blackmer *et al*., 1994)。

水稻是台灣地區栽培面積最廣的作物，若能採用精準的肥培管理，適時適量的施用氮肥，除了具有提高稻作產量和施肥的經濟效益外，更可以減少氮肥施用過多的污染，也具有維護生態環境的積極意義。

貳、材料與方法

在1999年一、二期作，將水稻(*Oryza sativa* L.)台農67號品種稻苗以南北向機插於行政院農業委員會農業試驗所農場(臺中縣霧峰鄉)，土壤質地爲壤土。試驗處理田區爲完全不施肥，對照田區爲正常施肥，試驗採完全逢機設計(CRD)，4重覆。

生育期間施用對照田區以硫銨200 kg ha^{-1}爲基肥，第一次追肥以臺肥39號複合肥料200 kg ha^{-1}於插秧後28天實施，第二次追肥以尿素100 kg ha^{-1}在抽穗1-2週前施用。以8%丁拉殺丹粒劑30 kg ha^{-1}在插秧後施用以防除雜草，另於插秧後28天於施肥前人工除草一次。有需要防治稻熱病及福壽螺時，以三苯醋錫15-20 kg ha^{-1}噴施(李等，2002)。

在2001年一期作，將水稻(*Oryza sativa* L.)台農67號品種機插於行政院農業委員會農業試驗所農場，試驗田區氮肥處理分爲0、60、120、180 kg N ha^{-1}四種，試驗採完全逢機設計(CRD)，4重覆。

另於2000年一期作在農業試驗所嘉義分所溪口農場種植台農67號，氮肥處理以硫銨分爲0、90、180 kg N ha^{-1}三種。2001年一期作在農業試驗所嘉義分所溪口農場種植台農67號，氮肥處理以硫銨分爲0、45、90、180 kg N ha^{-1}四種以造成生育性狀上的差別，分成基肥、追肥、穗肥三次施用，每次各施入氮肥用量之三分之一，每試區面積至少50 m^2，各處理三重複。

全生育期水稻植冠反射光譜之調查，於每1-2週以可攜式光譜儀(LI-1800，LICOR)測定植冠反射光譜，波長測定範圍爲350-1100 nm，光譜解析度爲2 nm(霧峰本所)和10 nm(嘉義分所溪口農場)。測定時，測定人員於測點的北側，將遠端接收器(LI-1800-02 remote cosine receptor，LI-COR)伸出約1.5 m置於水稻植冠上方約1 m處，並側向站立以儘量減少測定人員本身產生的干擾，儘快反覆測量入射及反射光譜各三次。由於進行測量時，入射之日射量仍有可能有微小的變動，因此每次量測所得之入射或反射光譜強度，均除以同時由可見光感測器(LI-190 quantum sensor，LI-COR)量得之總入射可見光量，再由三次入射與反射測定之平均值計算植被的反射光譜。所有植被反射光譜的量測工作皆於上午十時至下午二時以前完成，以減少反射光譜受太陽入射角變動之影響。

葉片之葉綠素總量(total chlorophyll)於插秧後配合光譜量測定期取樣分析(1999年霧峰一、二期作)，以追蹤生育期間之變化。葉綠素化學分析方法採自Arnon (1949)修正法(Lee and Yang, 1999)，除了生育初期之外，每次取樣各品種均自每一重覆小區逢機割取4叢，取4叢平均爲小區代表值，再以4重覆小區均值進行分析。每叢葉片打取圓形樣本分析葉片葉綠素。樣本先經海砂(約0.1 g)混合添加液態氮(約2 ml)以杵磨碎，加入80%丙酮萃取，再以2500 rpm(825 g)離心10 min，取上層溶液以光電比色計(Beckman model DU-68)讀取吸收率測值，再以下列公式計算葉綠素總量：

Total chlorophyll (mg)= (D652xV)/34.5xW

其中，D λ 爲在 λ 波長(nm)之吸收率測值，V爲上層溶液之容積(ml)，W爲葉片樣本或全株樣本之鮮重(g)。

水稻植體氮素測定，採集每試區幼穗形成期時之稻株樣品，攜回實驗室以60℃烘乾後磨碎，以蒸餾法分析植體內全氮濃度。

參、結果與討論

1999年水稻一、二期作以台農67號爲試驗材料，氮肥之施用與否是否造成水稻植被反射光譜之差異。圖1顯示台農67號一、二期作處理田區與對照田區在幼穗形成期之植被反射光譜之差異，在可見光波段，氮肥的施用與否的差異極小，因此不易以綠光段反射波長之反射率來辨識，亦很難以目視法來區別稻株的氮營養狀況。水稻植被在近紅外光的反射值正常施肥田區(對照田區)較處理田區高，正常施肥田區因氮肥供應無缺，稻株葉面積和葉片鮮重皆較處理田區高(李等，2002)，因而提高植被對近紅外光的反射。二期作的處理間差異較一期作大，因二期作稻株在生長初期溫度較高，生長快速而茂盛，氮肥供應需求較多，處理田區稻株不若對照田區茂密，所以近紅外光的反射亦減少。依光譜特徵波長的分佈情形，將350-1100 nm波長的反射光譜作一次微分(圖2)，735 nm的一次微分值可拉大其氮肥處理差距之趨勢，以不施肥田區的微分值較正常施肥田區低。

不施肥田區葉片葉綠素和氮素含量在全生育期皆較正常施肥田區爲低，在水稻生長初期，葉片葉綠素含量稍高，隨生長期之延長，葉綠素含量逐漸下降，葉片氮素含量與葉綠素相似(一、二期作趨勢相同)，若將兩者做相關關係，則兩者成直線正相關(圖3, r_{1st}=0.744,r_{2nd}=0.837)。葉片葉綠素濃度愈高，光合成能力提高，因而葉片氮素含量亦隨之增加。一般言高葉綠素含量吸收較多光能，在較高光照環境下愈能促進光合作用的進行(Hesketh, 1963; Sestak, 1966)。另一方面植體葉綠素含量(或濃度)較多者，也反應出處於較高氮素含量(或濃度)狀態，由於氮素含量與光合作用率之密切相關而再間接支持高葉綠素含量有助於光合成的例證(Johnkutty and Palaniappan, 1996; Masoni *et al*., 1996; Ladha *et al*., 1998; Peng *et al*., 1995)。在水稻研究上，葉綠素含量被發現與葉片及莖稈之氮素呈現正相關(Johnkutty and Palaniappan, 1996; Ladha *et al*., 1998; Peng *et al*., 1995)，且與產量關係密切(Johnkutty and Palaniappan, 1996)。

2000年一期作在嘉義溪口農場種植的台農67號，氮肥處理以硫銨分爲0、90、180 kg N ha^{-1}三種；2001年一期作在嘉義溪口農場種植的台農67號，氮肥處理以硫銨分爲0、45、90、180 kg N ha^{-1}四種以造成生育性狀上的差別。在幼穗形成期的植被反射光譜(圖4A)之近紅外光的反射值隨氮肥含量愈高而提高，顯示不同等級的氮肥處理在近紅外光波段可區分出，惟等級差距愈小、施肥量愈高，愈不易區分。因90 kg N ha^{-1}的氮肥用量已接近充分供給，90 和180 kg N ha^{-1}植被生長狀況差異亦小。雖然稻株體內氮缺乏的情形會反應於藍光段、紅光段與近紅外光段反射值的高低，但是利用遙測影像分析時，一般缺乏

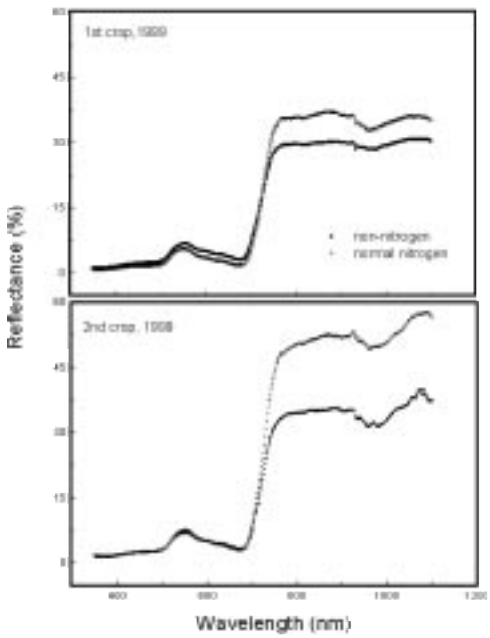


圖 1. 台農67號1999年一、二期作水稻幼穗形成期之植被反射光譜曲線。

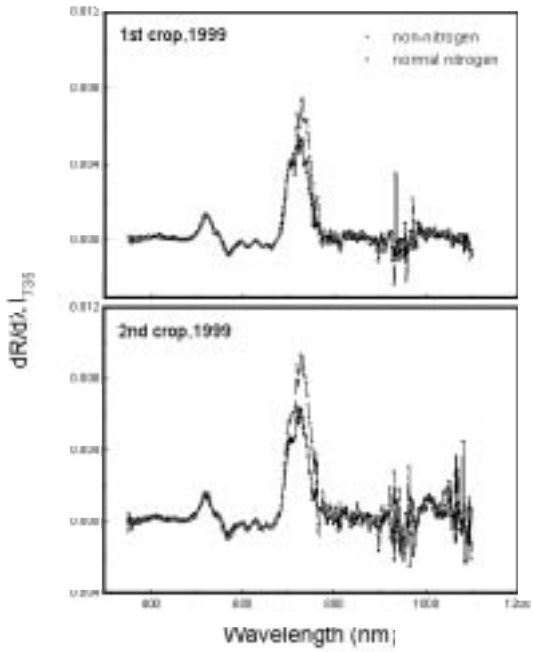


圖 2. 台農67號1999年一、二期作水稻幼穗形成期之植被反射光譜曲線一次微分分布圖。

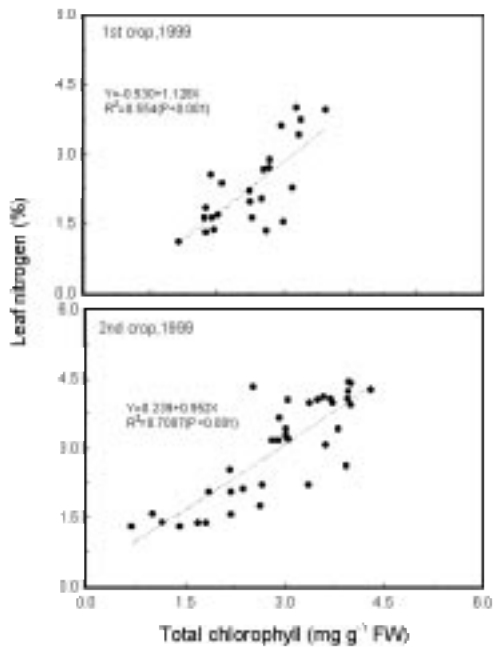


圖 3. 台農67號1999年一、二期作幼穗形成期水稻葉片氮素與葉綠素含量之相關關係。

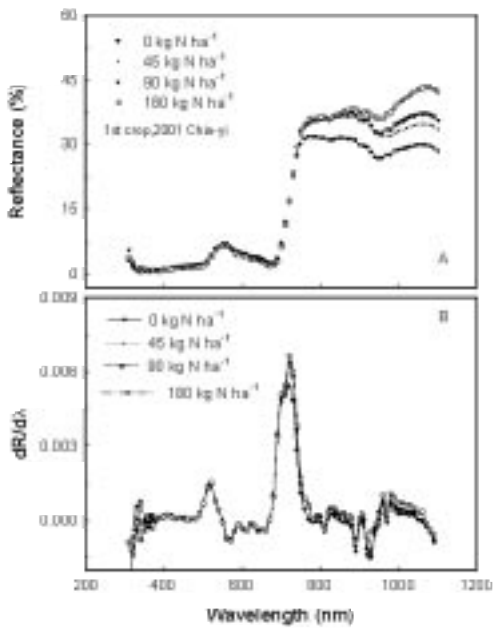


圖 4. 台農67號2001年一期作嘉義溪口農場種植不同氮肥處理幼穗形成期之植被光譜曲線（A）和一次微分分布圖（B）。

入射日射強度的資料，因此不能直接以單波段反射值的高低進行鑑別，常以波段比值法予以克服(Lillesand and Kiefer, 1994)。計算兩波段的反射值的比值，再獲得不同氮肥處理間的百分比，探討處理間的差異是否因波段不同而有不同的效果。表1是2000年嘉義一期作在不同生育時期的紅光段(R, 610-680 nm)、近紅外光段(IR, 790-890 nm)和NDVI(標準差植被指數)，在0 kg N ha^{-1}和90、180 kg N ha^{-1}兩者可以區分其差異，而近紅外光段/紅光段(IR/R, SRVI)在90、180 kg N ha^{-1}之間則較易辨別。若將2001年嘉義一期作台農67號不同氮肥處理的水稻植被反射光進行微分(圖4B)，在波長735 nm的一次微分值有明顯差異，亦可拉大90與180 kg N ha^{-1}之差距(表1)，因氮肥處理效應使得紅光段和近紅外光段的反射值差距增大，進而影響紅光段與近紅外光段地帶的斜率變化加劇。此外一次微分亦具有去除土壤背景干擾之作用(Steven *et al*., 1990)，因此適合作爲鑑別稻株氮營養狀況之特徵值。

2001年一期作在霧峰本所的試驗結果顯示(圖5)，在幼穗形成期的近紅外光波段隨氮肥施用量之增加而提高，其現象如同嘉義溪口農場，在三個不同的試驗田區四種氮肥處理的趨勢亦類似。計算紅光段和近紅外光段及兩者(SRVI)百分比(表2)，標準差植被指數(NDVI)百分比，再將植被反射光譜曲線作一次微分，計算不同氮肥施用量於735 nm微分值的百分比，G/R及NDVI的百分比在四個氮肥施用量之差異

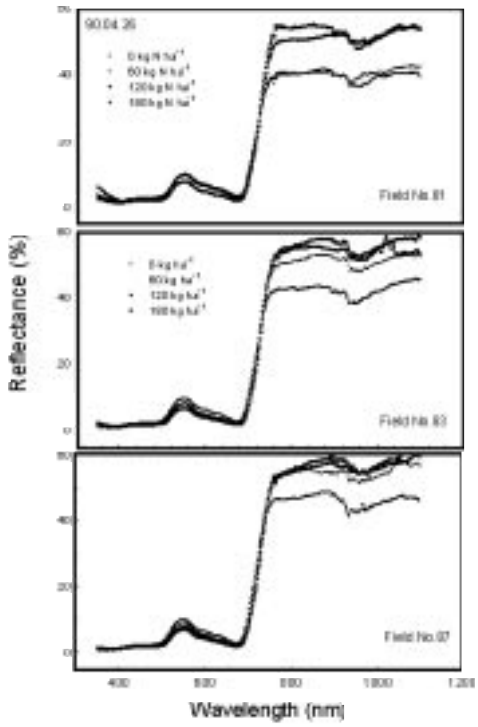


圖 5. 台農67號2001年一期作四種氮肥處理在三個田區的水稻幼穗形成期之植被反射光譜曲線

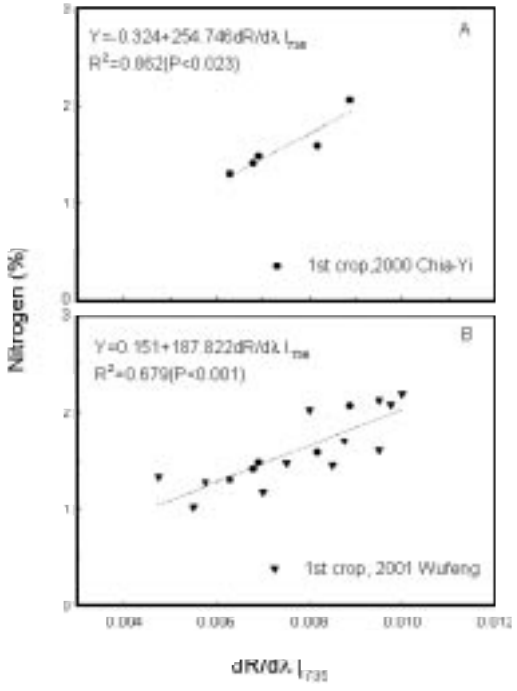


圖 6. 台農67號幼穗形成期植被反射光譜在735 nm的微分值與植株氮素含量之相關關係（A:2000年嘉義一期作，B:2001年霧峰一期作）

表1. 台農67號2001年一期作嘉義溪口農場種植不同氮肥處理在不同生長期之SRVI、NDVI及735 nm一次微分值及其百分比。

Date	3/29				4/14				4/25			
kg ha^{-1}	0	45	90	180	0	45	90	180	0	45	90	180
Indices												
SRVI	3.72	4.34	5.51	9.18	8.69	9.91	10.36	12.54	8.87	11.75	11.31	13.05
NDVI	0.58	0.63	0.69	0.80	0.79	0.82	0.82	0.85	0.80	0.84	0.84	0.86
$dR/d\lambda\mid_{735}$*	2.21	3.50	3.26	4.68	5.18	5.25	5.76	6.70	4.82	5.70	5.81	6.02
Distribution												
SRVI	40.47	47.22	60.03	100.00	69.31	79.03	82.64	100.00	67.98	90.09	86.72	100.00
NDVI	71.67	77.81	86.23	100.00	93.12	95.82	96.68	100.00	92.97	98.32	97.66	100.00
$dR/d\lambda\mid_{735}$	47.29	74.70	69.67	100.00	77.40	78.42	86.06	100.00	80.00	94.65	96.42	100.00

*: $dR/d\lambda\mid_{735}$ x1E3

表2. 台農67號2001年一期作農業試驗所霧峰本所農場種植不同氮肥處理在幼穗形成期之SRVI、NDVI及735 nm一次微分值及其百分比。

Field No.	81				83				87			
kg ha^{-1}	0	60	120	180	0	60	120	180	0	60	120	180
Indices												
SRVI	9.48	7.98	16.04	16.78	10.53	16.79	17.71	21.92	11.37	16.17	18.29	20.94
NDVI	0.81	0.78	0.88	0.89	0.83	0.89	0.89	0.91	0.84	0.88	0.90	0.91
$dR/d\lambda\mid_{735}$*	5.50	4.75	7.50	9.50	5.75	8.50	8.75	10.00	7.00	9.50	8.00	9.75
Distribution												
SRVI	56.48	47.55	95.59	100.00	48.01	76.60	80.77	100.00	54.29	77.25	87.34	100.00
NDVI	91.16	87.58	99.45	100.00	90.55	97.24	97.85	100.00	92.24	97.22	98.62	100.00
$dR/d\lambda\mid_{735}$	57.89	50.00	78.95	100.00	57.50	85.00	87.50	100.00	70.78	96.40	83.38	100.00

*: $dR/d\lambda\mid_{735}$ x1E3

很小，而SRVI 和735 nm微分值的百分比則較易區分出不同氮肥等級，惟不同等級之氮肥並不能很精準的顯示出等級差異，如0和60 kg N ha^{-1}、60和120 kg N ha^{-1}之區分。

爲了進一步瞭解稻株體內氮濃度與光譜微分值之關係，將2000年一期作在嘉義溪口農場種植的台農67號三種氮肥處理，在幼穗形成期測得的稻株體內氮濃度與735 nm微分值，兩者相關關係成線性正相關(圖6A)，決定係數R^2爲0.862(相關係數r爲0.927)達顯著水準；另2001年一期作在霧峰本所農場的台農67號四種氮肥處理的稻株氮濃度與735 nm之微分值，兩者做相關關係再與2000年嘉義一期作數據合併繪圖(圖6B)，決定係數R^2爲0.679達顯著正相關，兩個種植地點的資料可合併做相關，顯示不同區域的試驗效果類似，即由水稻植被反射光譜在735 nm的微分值之高低，來判釋稻株體內氮濃度，作爲氮肥施用量的依據。本人建議，在達到實用之前，尚需累積不同地點、不同期作的植被光譜和稻株氮濃度的資料，才能進一步建立判斷稻株體內氮營養狀況的完整模式，應用於精準農耕系統中之有效施肥措施。

肆、引用文獻

1. 宋勳。1980。施肥法影響水稻碾米品質之研究。台中區農業改良場研究彙報新3：220-223。
2. 李裕娟、楊純明、張愛華。2002。施用氮肥對水稻植株氮素、葉綠素及植被反射光譜之影響。中華農業研究51(1):1-14。
3. 侯福分。1988。肥料對稻米品質之影響。稻米品質研討會專集。242-248頁。台中區改良場編印。
4. 陳一心。1987。增施有機肥提高稻米品質之研究。40-62頁。75農建-2.2-糧-78計畫報告書。
5. 張正賢。1988。稻作學精要。國立編譯館。
6. 賴明信、陳正昌、郭益全、陳治官、李長沛、曾東海、林英俊。1997。現行水稻推品種生產力與氮肥用量之關係 II. 氮肥用量對水稻品質性狀之影響. 中華農業研究 46(1):1-14。
7. 楊純明、蘇慕容。1997。水稻族群植冠反射光譜之分析。中華農業氣象(2):87-95。
8. Arnon, D.I. 1949 Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.
9. Blackmer, T. M., J. S. Schepers and G. E. Varvel. 1994. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. Agron. J. 86:934-938.
10. Blackmer, T. M., J. S. Schepers, G. E. Varvel and E. A. Walter-Shea. 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. Agron. J. 88:1-5.
11. Bullock, D. G. and D. S. Anderson. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. J. Plant Nutri. 21:741-755.
12. Hesketh, J.D. 1963. Limitations to photosynthesis response of photosynthesis to light. Crop Sci. 19:54-58.
13. Inoue, Y., S. Morinaga and M. Shibayama. 1993. Non-destructive estimation of water status of intact crop leaves based on spectral reflectance

measurements. Jpn. J. Crop Sci. 62:462-469.

14. Johnkutty, I. And S.P. Palaniappan. 1996. Use of chlorophyll meter for nitrogen management in lowland rice. Fertilizer Res. 45:21-24.
15. Ladha, J. K., A. Tirol-Padre, G.C. Punzalan, E. Castillo, U. Singh and C.K Reddy. 1998. Nondestructive estimation of shoot nitrogen in different rice genotypes. Agron. J. 90:33-40.
16. Lee, Y.-J. and C.-M. Yang. 1999. Relationship of plant growth and chlorophyll content in field-grown rice. Chinese J. Agromet. 6:191-200.
17. Lillesand, T. M. and R. W. Kiefer. 1994. Remote Sensing and Image Interpretation. 3rd ed. John Wiley & Sons.
18. Masoni, A., L. Ercoli and M. Mariotti. 1996. Spectral properties of leaves deficient in iron, sulfur, magnesium, and manganese. Agron. J. 88:937-943.
19. Peng, S., R.C. Laza, F.V. Garcia and K.G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf-based nitrogen concentration of rice. Commoun soil Sci. Plant Anal. 26:927-935.
20. Price, J. C. and W. C. Bausch. 1995. Leaf area index estimation from visible and near-infrared reflectance data. Remote Sens. Environ. 52:55-65.
21. Schepers, J. S., D. D. Franics, M. F. Vigil and E. E. Below. 1992. Comparisions of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23:2173-2187.
22. Sestak, Z. 1966. Limitations for finding a linear relationship between chlorophyll content and photosynthetic activity. Biol. Plant. 8:336-346.
23. Stanhill, G., V. Kalkofi, M. Fuchs and Y. Kagan. 1972. The effects if fertilizer applications on solar reflectance from a wheat crop. Isael J. Agric. Res. 22: 109-118.
24. Steven, M. D., T.J. Malthus, T.H. Demetriades-Shah, F.M. Danson and J.A. Clark. 1990. High-spectral resolution indices for crop stress. p.209-227. In:"Applications of Remote Sensing in Agriculture". Steven, M.D. and J. A. Clark. (eds.) Butterworths, London.
25. Thomas, J. R. and G. F. Oerther. 1972. Estimating nitrogen content of sweet pepper leaves by reflectance measurements. Agron. J. 64: 845-847.
26. Walburg, G., M. E. Bauer, C.S.T. Daughtry and T. L. Housley. 1982. Effects if nitrogen nutrition on the growth, yield, and reflectance characteristics of corn canopies. Agron. J. 74:677-683.
27. Yang C.-M. and M. -R. Su. 1998a. Correlation of spectral reflectance to growth in rice vegetation. Proceedings of the 19th Asian conference on remote sensing. A1-1-1-A1-1-6.
28. Yang C.-M. and M. -R. Su. 1998b. Seasonal variations of reflectance of reflectance spectrum and vegetation index in rice vegetation cover. p.574-593.In: Proceed. 3rd Asian crop Sci. Conf. 27 April-2 May, 1998, Natl. Museum of Natural Sci., Taiwan (ROC):574-593.

8 Techniques to Detect Nitrogen Content of Rice Plants

Yuh-Jyuan Lee[1] , Ay-Hwa Chang[2], Yuan Shen[4], Kuo-Wei Chang[4], Chwen-MingYang[1] and Jeng-Chung Lo[5]

[1] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[2] Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[3] Department of Soil & Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[4] Department of Botany, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[5] Chiayi Agricultural Station, Taiwan Agricultural Research Institute, Chiayi 600, Taiwan, ROC

E-mail:yjlee@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

This study was intended to develop remote sensing technique and to identify spectral characteristics associated with nitrogen content of rice plants and to establish their quantitative relationships. Field experiments were conducted in the experimental farms in Taiwan Agricultural Research Institute and Chia-Yi Agricultural Research Branch Station, TARI., using Tainung 67 (*Oryza sativa* L.) cultiva. Nitrogen deficiency experiment conducted in the 1st and the 2nd crops of 1999 at TARI indicated that chlorophyll concentration and nitrogen content of non-nitrogen applied plants were lower than those applied with adequate nitrogen fertilizer. The vegetative and reproductive growth at non-nitrogen field was less than those at normal nitrogen field. Canopy reflectance spectral difference among nitrogen treatments could be easily identified by spectral differential techniques. Nitrogen field experiments conducted at experimental farm at Chia-Yi in the 1st crop of 2000 indicated that the relationship between the nitrogen content plants in the of panicle formation stage and first derivative value at 735nm was positive linearly correlated (r=0.937). Nitrogen field experiments, 0,45,90, and 180 kg ha^{-1} , conducted at experimental

farm at Chia-Yi in the 1st crop 2001 indicated that differences among treatments could be amplified by first derivative differential of canopy spectral at 735nm, but the differences between 90 and 180 kg ha^{-1} treatments were small. Nitrogen experiments were also conducted at farm of Taiwan Agricultural Research Institute, in the 1st crops of 2001 with 0,60,120,180 kg ha^{-1} nitrogen treatment. The relationship between the nitrogen content plants in the of panicle formation stage and first derivative value at 735nm was positive linearly correlated (r=0.737). However, the correlation was not as good as at the maximum tillering number stage.

Key words: Rice (*Oryza sativa* L.), Reflectance, Chlorophyll concentration, Nitrogen content, Growth stage.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
稻株含氮量遙測系統之開發
113-128, 2002

9 稻株含氮量遙測系統之開發

陳世銘[1] 吳德輝[2] 楊智凱[3] 蔡養正[4] 黃政偉[1] 繆八龍[5]

[1] 國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[2] 國立嘉義大學生物機電工程學系

[3] 行政院農業委員會農業試驗所農工組

[4] 國立臺灣大學農藝學系

[5] 國立臺灣大學農業試驗場

E-mail:schen@ccms.ntu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 114

壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 115

貳、材料與方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 116

參、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 119

肆、結論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 124

伍、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 125

9 稻株含氮量遙測系統之開發

陳世銘[1] 吳德輝[2] 楊智凱[3] 蔡養正[4] 黃政偉[1] 繆八龍[5]

[1] 國立臺灣大學生物產業機電工程學系

[2] 國立嘉義大學生物機電工程學系

[3] 行政院農業委員會農業試驗所農工組

[4] 國立臺灣大學農藝學系

[5] 國立臺灣大學農業試驗場

E-mail:schen@ccms.ntu.edu.tw

摘 要

本研究進行稻株含氮量遙測系統之開發研究，以可攜式輻射光譜儀(GER-2600)定期於五種不同追肥及雜草管理之田區進行水稻植被之反射光譜遙測，並使用多光譜影像裝置遙測不同波段的稻株影像，以建立水稻特徵光譜影像之非破壞性檢測模式。另一方面並開發稻株含氮量遙測系統，以供即時監測田間水稻生育過程氮素的狀況，以達到依稻株體內氮素而施肥的精準農業管理模式。試驗結果發現，一次微分光譜479、623、632、715與1611 nm五個特徵波長組合之Stepwise MLR檢測模式最佳(r = 0.89，SEC = 0.29，SEP = 0.46)。另一方面，亦發現一次微分光譜中藍光段之單一特徵吸收波長479 nm與氮素呈現較高之正相關， 其Stepwise MLR之單一波長檢測模式之結果爲r = 0.79，SEC = 0.40，SEP = 0.42。在MPLSR模式方面，則以模擬SPOT 4四個感測器波段遙測監控水稻生長期含氮濃度的二次微分模式結果最佳(r = 0.91，SEC = 0.26，SEP = 0.39）。在PLS-BPN模式方面則以一次微分數學處理的結果最佳，r = 0.96，SEC = 0.18，SEP = 0.52。探討多光譜影像方面，已使用RGB三個波段建立室內多光譜影像偵測植株氮素含量之檢量線(r = 0.83，SEC = 0.20)；使用660、680、945與960nm四個波段濾鏡之多光譜影像遙測稻株氮素，其MLR分析之最佳結果爲r = 0.88，SEC = 0.27，本研究並據以開發稻株含氮量遙測系統。

關鍵詞：遙測、多光譜影像、水稻、氮素、精準農業。

壹、前言

水稻是台灣最重要的作物，它提供了人類賴以維生之糧食。水稻的產量會受到施肥的影響，其中影響最大的是氮肥的施用，因爲施用適量的氮肥可以促進水稻之營養生長及產量構成要素，提昇其總產量(Arai and Kono, 1979； Wada *et al*., 1991；Jongkaewwattana *et al*., 1993)。張(1988)和申等人(2000)提到水稻從插秧後至開花期間均需要氮素持續的供應，而其中之營養生長期和幼穗形成期是兩個關鍵時段，若能提供充分之氮素供應即可得到好的生產株型與高的產量。水稻氮肥施用方式，一般是依據農民過往之經驗來判別並施用。所以在施肥時常因不同人而有不同的施肥量，施用大量的氮肥也不一定表示產量會增加，蔡(1982)提到施用氮肥雖能增大水稻生育初期之葉面積並提高物質生產量，但最後水稻會因碳水化合物減低而降低結實率。另一方面，過量的氮肥施用亦可能會造成集水區、地下水、甚至是飲用水的污染，因此如何適量的施用氮肥技術則日漸受到重視(謝，1994)，而且也是目前環保所需解決的重要問題之一。目前的施肥管理方式須於適當的水稻生長期分別施加基肥、2~3次的追肥和穗肥，但以個人之經驗決定施肥的時間與用量，往往不能做到依稻株體內之實際氮素狀況而進行精準之管理，甚至造成過量施用的氨害，引發環境污染等問題。因此，若能及時利用遙測技術，以迅速且非破壞的檢測方式獲取田間水稻氮素狀況之空間分佈資訊，將有助於水稻精準管理的實施(楊與林，2000；盧，2000；Lu *et al*., 2000)。

以往對於作物氮素的檢測常需要做破壞性且相當耗時的化學量測，然而利用諸如輻射光譜儀與多光譜影像之遙測技術則可以針對作物在不同時期之含氮量多寡做迅速且非破壞性的檢測。作物可藉遙測(Remote sensing)之技術來表達其生理狀態(Nilsson, 1995)，遙測是一種與作物在非接觸且非破壞的情況下，擷取並分析作物相關資訊的現代化科技，遙測技術包含光譜輻射儀、攝影術、電視攝影、紅外線熱像、多光譜影像與核磁共振影像等。輻射光譜資料的應用及處理方法，早期多藉由寬波段反射值定義植被指數或以葉色估測植物的健康狀態。Tucker(1979)指出植生指數在強調由密集的葉綠素色素對寬波段紅光的吸收度與植物體對近紅外光段的高反射值的對比，藉此可用以推估如葉面積指數(LAI)之植生變數。Blackmer *et al*.(1994)指出輻射波段550nm的遙測結果可以分辨出作物不同的氮素處理，其光譜吸收與植株之氮素含量有著強烈的相關性。近年來由於可見光及近紅外線光譜之微分數學處理與統計方法已廣泛應用在農產品組成及性狀之檢測研究上(陳等，1998)，再加上高解析輻射光譜與影像拍攝儀器的快速進展，吸收光譜之微分處理與統計方法亦被應用於遙測作物的性狀與葉綠素(吳與陳, 2000)及氮素濃度等健康狀態之判釋或監測(吳等，2001)。Iida *et al*.,(2000)使用一個CCD的攝影機加上535nm(綠光)和670nm(紅光)的濾鏡拍攝多光譜影像遙測水稻植株氮素含量，李(2001)亦以多光譜影像分析鳳京白菜植被含水率，則爲多光譜影像在遙測方面的應用。

在模式化方面，近年來農業與食品工業常使用分光光度計量測標的物的光譜，

並應用於光譜分析與較佳模式特徵波長的選擇研究上。 Chang *et al*., (1998) 分析果汁透射光譜時，利用近紅外光段之特徵波長2240 nm吸收的二次微分值建立可廣泛精確使用於多種水果的果汁可溶性固形物濃度 (Brix)之 MLR(Multiple Linear Regression)檢測模式。而這些線性統計模式隨著高解析輻射光譜儀的發展，亦逐漸被應用在精準農業農作物之地眞遙測研究上 (吳與陳，2000； 吳等人，2001)。類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 的能位則更優於前述線性統計之數學方法，主要是因爲它們具有自我學習的能力，無須依賴人爲解析的專業鑑定就可以發現並使用非線性關係建立檢測模式。類神經網路已廣泛地應用於圖案辨識問題，例如影像分類、特徵辨識、標的辨識與語音辨識之研究。另一方面亦被發現可有效地應用於農業之光譜資料處理上，例如 Chen (1992) 應用ANN模式線上監控家禽肉類品質的分類系統。Dowell (1994) 應用ANN模式進行受損、非受損花生仁的分類。Chen *et al*., (1995) 應用倒傳遞神經網路 (Back propagation Neural Network, BPN) 分析近紅外光譜以分類冬天與春天不同季節性的小麥。Chen *et al*., (1999) 應用ANN模式探討不同的原始光譜、一次微分光譜與二次微分光譜處理近紅外線光譜 (1000-2500nm) 對果汁糖度檢測的影響，均呈現極佳的預測結果。唯ANN在遙測植被光譜的分析應用，尚屬少見。

綜觀以上各種研究方式可知，高解析輻射光譜拍攝儀器等遙測技術的快速進展，再加上適當遙測光譜數學處理方法與分析之持續研究與模式的建立，應能獲取更精確的地眞(ground truth)資訊並促使遙測科技在精準農業體系的應用更上一層樓。本研究之主要目的在於進行稻株含氮量遙測系統之開發研究，以可攜式輻射光譜儀(GER-2600)定期於五種不同追肥及雜草管理之田區進行水稻植被之反射光譜遙測，並使用多光譜影像裝置遙測不同波段的稻株影像，以建立水稻特徵光譜影像之檢測模式，探討稻株之光譜反射性質應用於估測植株氮素濃度之可行性，並可據以開發稻株含氮量遙測系統供即時監測田間水稻生育過程氮素的狀況，達到依稻株體內氮素而施肥的精準農業管理模式。

貳、材料與方法

本研究於民國89年2期稻作至90年1期稻作栽培期間，使用不同的遙測裝置分別進行試驗進行稻株含氮量遙測系統之開發研究。首先以可攜式輻射光譜儀定期於台灣大學安康農場進行水稻植被之反射光譜稻株含氮量遙測試驗，建立稻株含氮量之特徵波長遙測模式。田區之處理方式則分別爲：(1)有追肥，無除草劑。(2)無追肥，有除草劑。(3)無追肥，無除草劑。(4)有追肥，有除草劑。(5)有機肥。本研究藉由五種管理方式使整個生育期稻株含氮量產生較大之變異。另一方面則於台中縣農業試驗所之試驗田區，以多光譜影像裝置遙測不同波段的稻株影像，建立水稻特徵光譜影像之非破壞性檢測模式，進行開發稻株含氮量遙測系統之研究，以供即時監測田間水稻生育過程氮素的狀況，達到依稻株體內氮素而施肥的精準農業管理模式。

一、可攜式輻射光譜儀遙測稻株含氮量

1. 稻株含氮量量測

本研究選擇臺灣大學安康農場5.25公頃的田地種植台粳14號水稻，分別於分蘗盛期、幼穗形成期、孕穗期、開花期、糊熟期、黃熟期及收穫期進行採樣，調查五種不同追肥及雜草處理方式之水稻含氮量。經由田中取回的水稻樣本，則採用凱式氮的分析方法，把乾燥後磨好的水稻粉末取0.2g與0.5g之催化劑($KaSO_4$：$CuSO_4$・5(H_2O)：Se = 100：10：1)充份混合，放入一試管中。然後以375℃加熱二個小時進行硝化作用，待試管冷卻後再利用氮素蒸餾儀進行蒸餾，最後再計算滴定量求得氮素含量之百分比。

2. 光譜量測與數學處理過程

試驗進行期間係使用可攜式輻射光譜儀(GER 2600)及其附屬配件10度視角鏡頭於水稻不同的生長期，分別在每個不同處理的田區抽樣量測共96叢水稻的反射光譜。如圖1所示，本研究於田間使用輻射光譜儀裝置於每株稻叢植被上方約5m處遙測波長範圍自400至2500nm 的連續反射光譜，並透過RS-232C傳輸線將其下載至筆記型電腦。每次的光譜量測均做一次標準白板參考校正，再立即對該叢水稻量測其輻射反射，以求出其相對反射比R (Reflectance, %)，藉以建立水稻生長期的反射光譜資料。本研究首先對輻射光譜計算反射比(Reflectance, R %)、取對數運算($\log_{10}(1/R)$)及平滑化數學處理，將此值定義爲水稻植被的原始反射光譜(Original Reflectance Spectrum)。

3. 建立水稻含氮量與植被反射光譜之遙測模式

本文使用輻射光譜儀量測台粳14號水稻於不同生長期之反射光譜後，進一步將不同水稻生長期所調查的含氮量與不同波長之植被反射吸收光譜進行統計相關性分



圖1. 台灣大學自製的近地面高程水稻氮素遙測裝置。

析，比較含氮量與各個波長植被反射光譜之相關性高低，以選擇適當的遙測波段加以分析並建立較佳的檢測模式。本文將所收集採樣之所有水稻光譜樣本比對其生長期當時監測調查的含氮量，建立逐步多變量線性回歸模式 (Stepwise Multiple Linear Regression, Stepwise MLR)、修正型部分最小平方回歸模式(Modified Partial Least Square Regression, MPLSR)及部份最小平方型倒傳遞類神經網路模式(PLS Back-propagation Neural Network, PLS-BPN)對水稻含氮量遙測之分析結果。

二、多光譜影像遙測稻株含氮量

本實驗之試驗品種爲台農67號水稻，地點在台中農業試驗所；農試所之三個試驗田區氮肥處理方式，係在每一田區分別施以0、60、120與180 kg N / ha四種氮肥處理，以造成一塊田區有四種氮肥處理以上的差異，採樣方式爲在每一種不同氮肥處理之田區以等距方式取四株水稻樣本，每塊田區共有12點，三塊田區共取36株，取完樣本後即進行多光譜影像之拍攝。如圖2所示，試驗方法又分爲使用CCD攝影機(CV-M50IR, JAI)與使用Kodak DC4800彩色數位相機擷取影像。使用CCD攝影機時係依序先在鏡頭前換裝上9個不同波長的濾鏡，並在穩定的光源下攝取多張不同光譜之影像。再利用了倒傳遞類神經網路程式(李，2001)進行葉片與背景的分離。



圖2. 多光譜影像系統。

另一方面，試驗初期爲了驗証多光譜影像的實用性，所以也進行RGB彩色影像比較試驗。

參、結果與討論

本研究使用不同的遙測裝置進行稻株含氮量遙測系統之開發研究，分別以可攜式輻射光譜儀與多光譜影像裝置遙測不同波段的稻株影像，建立水稻特徵光譜及影像之非破壞性檢測模式。

一、 可攜式輻射光譜儀裝置遙測稻株含氮量

圖3所示係本研究採用台灣大學自製的近地面高程光譜遙測裝置(圖1)，將附掛10度視角鏡頭的輻射光譜儀吊升至水稻植被上方約5公尺高的位置，遙測參考白板及其視角範圍的水稻植被反射，去除1750-2500nm雜訊較多之波段後所獲得之水稻植生相對反射比光譜(Reflectance spectrum)。

本文在分析的過程採用一次微分光譜數學處理方式，以建立5個特徵波長組合之Stepwise MLR模式。如表1所示，爲近地面高程遙測水稻整叢(株)氮素之Stepwise MLR模式所獲致之一次微分光譜5個特徵波長(Wavelength, W_i)477、724、788、921與1483 nm組合之稻株含氮量最佳檢量方程式，模式之相關係數 r = 0.85，檢量組標準誤差SEC = 0.26，預測組標準誤差SEP = 0.22 。另一方面，亦發現一次微分光譜中藍光段之單一特徵吸收波長479 nm與氮素呈現較高之正相關， 其Stepwise

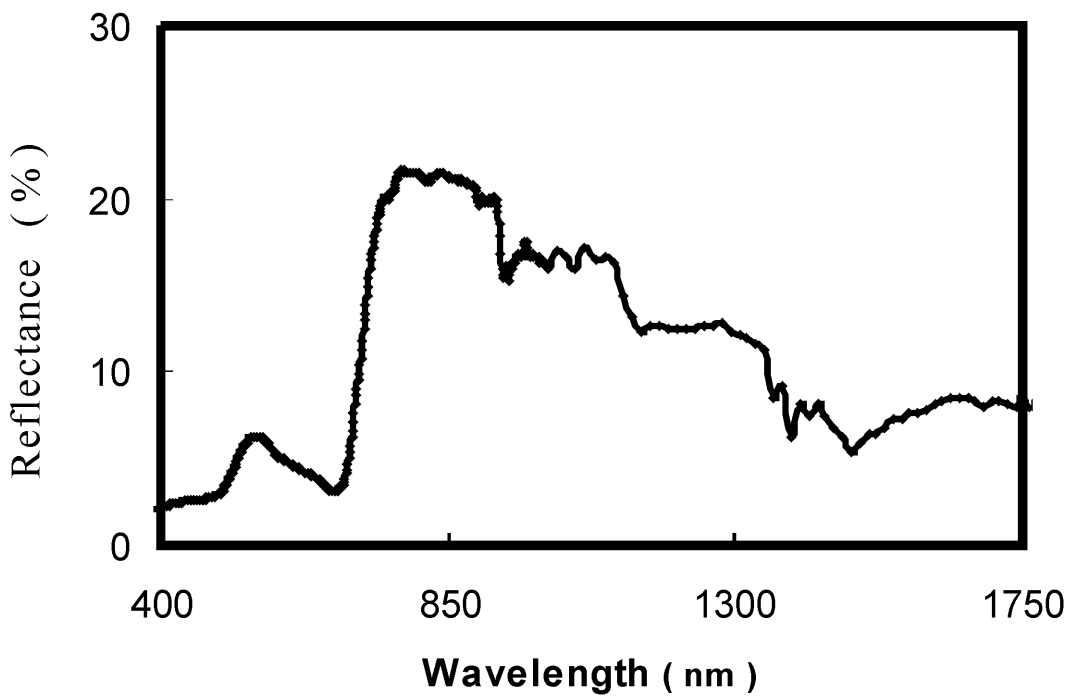


圖3. 水稻分蘗期之近面地高程植被反射光譜。

表1. 近地面高程遙測水稻整叢氮素之Stepwise MLR模式。

光譜種類	波長組合，nm					檢量組		預測組
	W1	W2	W3	W4	W5	SEC,%	r	SEP,%
一次微分光譜	477	724	788	921	1483	0.26	0.85	0.22

MLR之單一波長檢測模式之結果爲r = 0.79，SEC = 0.40，SEP = 0.42。

如表2所示，本研究進一步比較並探討一次微分光譜遙測水稻葉部氮素(r = 0.89)與遙測水稻整叢氮素模式(r = 0.85)的結果發現，由於遙測的大部份植被反射光譜資訊多來自葉面，莖部則提供較少的資訊，所以地面高程遙測水稻葉部氮素所獲致之稻株含氮量結果則與整叢的氮素模式頗爲相近。如表2所示，一次微分光譜的5個特徵波長W1、W2、W3、W4與W5組合爲479、623、632、715與1611 nm，其Stepwise MLR模式之分析結果 r = 0.89，SEC = 0.29，SEP = 0.46。

進行MPLSR模式分析時，本研究特別挑選SPOT4資源衛星上的四個特別的感測器波段加以模擬，表3所示係以二次微分光譜的MPLSR模式遙測水稻含氮量時有最佳的結果，r = 0.91, SEC = 0.26, SEP = 0.39。其次爲一次微分光譜，而以原始光譜的檢測結果最差。

類神經網路模式近年來常被應用來解決非線性模式的各類問題，本研究進一步應用WinISI光譜分析軟體提供的PLS-BPN類神經網路，以分析不同數學處理的水稻遙測光譜，比較監測水稻葉部氮素與整叢氮素的結果，如表4所示，葉部氮素檢測部份以二次微分光譜處理的結果r值0.96最高，一次微分的結果次之。由此可知，類神經網路應用在稻株含氮量遙測系統亦頗具可行性。再與表4中整叢氮素的檢測結果相比較，發現整叢的氮素檢測以一次微分處理的光譜結果最好r = 0.90，SEC=0.20，SEP=0.25，原始光譜的結果次之。換言之，就網路訓練學習的檢量模式成效r值而言，葉部的含氮量檢測與整叢的結果差距不大。

二、 多光譜影像裝置遙測稻株含氮量

表2. 近地面高程遙測水稻葉部氮素之Stepwise MLR模式。

光譜種類	波長組合 , nm					檢量組		預測組
	W1	W2	W3	W4	W5	SEC,%	r	SEP,%
一次微分光譜	479	623	632	715	1611	0.29	0.89	0.46

表3. 近地面高程遙測模擬SPOT波段之水稻葉部氮素之MPLSR模式。

光譜種類	檢量組		預測組
	SEC,%	r	SEP,%
原始光譜	0.45	0.71	0.42
一次微分光譜	0.39	0.79	0.38
二次微分光譜	0.26	0.91	0.39

*SPOT 4之四個波段，G:500-590nm，R:610-680nm，NIR:680-780nm，SWIR:1580-1750nm

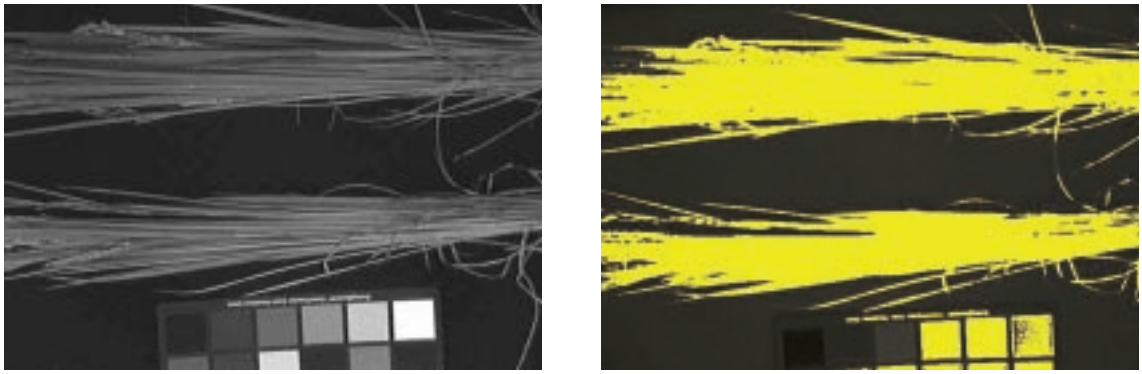
表4. 近地面高程遙測水稻氮素之PLS-BPN模式。

生長性狀	光譜種類	檢量組		預測組
		SEC,%	r	SEP,%
葉部氮素	原始光譜	0.37	0.82	0.36
	一次微分光譜	0.33	0.85	0.34
	二次微分光譜	0.18	0.96	0.52
整叢氮素	原始光譜	0.25	0.84	0.26
	一次微分光譜	0.20	0.90	0.25
	二次微分光譜	0.31	0.76	0.35

本試驗以多光譜影像來探討遙測稻株含氮量之可行性時並加入了彩色影像的檢測輔以驗証，分析方式則是利用倒傳遞類神經網路(李，2001)進行葉片與背景的分離。倒傳遞類神經網路設定的參數學習速率因子爲0.3，慣性因子爲0.6，訓練次數到350次左右即可收斂。圖4a爲葉片背景分離前的水稻田間影像，而圖4b爲葉片分離後之水稻田間影像，由圖4可以清楚的看到，利用類神經網路可以完全的分離出葉片的影像，然後再把分離出的葉片影像，以株爲單位計算其葉片的總平均灰度值。因爲各波段之光譜灰階影像與在水稻株體氮素含量的多寡均有相關，因此可利

用多光譜的特性建立葉片含氮的檢量線。最後把得到的多光譜影像灰度值與氮素含量進行多重線性迴歸，以分析水稻葉片所反射之多光譜影像資料。

就多光譜影像而言，本研究利用各波段所量測到的多波段影像灰度值與化學實



(a)分離前影像 (b)分離後影像

圖4. 應用倒傳遞類神經網路分離葉面與背影。

驗測定的氮素含量(%)進行回歸比較。表6爲氮素回歸分析結果，由表6可看出其單波長結果對於氮素含量相關結果比較好的是960nm這個波段，其校正組模式之相關係數r_c = 0.77，SEC = 0.33。選擇多光譜組合波段分析時，若就所有四波段MLR組合結果則可得660、680、945與960nm波段之最佳MLR組合結果爲r_c =0.88，SEC = 0.27。因此本研究選定室內遙測水稻植株含氮量之最佳檢量線特徵波段爲660、680、945與960 nm。其檢量方程式爲：

$$\text{稻株含氮量(\%)} = -0.071T_{660} - 0.030T_{680} - 0.008T_{945} - 0.008T_{960} + 5.156$$

其中，Ti爲i波段的影像灰度值。

圖5與圖6分別爲檢量組與預測組之水稻氮素含量實驗量測值對檢量線所檢測之

表6. 多光譜影像回歸結果。

波段（nm）	r_c	SEC,%
450	0.2479	0.5036
555	0.5139	0.4459
647	0.6576	0.3916
660	0.6908	0.3758
677	0.6693	0.3862
680	0.7542	0.3413
773	0.2915	0.4972
945	0.7615	0.3369
960	0.7658	0.3342
660,680,945,960	0.8803	0.2736

水稻氮素含量預測值之比較結果，預測組相關係數r_p =0.82與檢量組r_c=0.88相近，而且可預測組結果SEP與檢量組SEC差距不大，換言之，稻株含氮量與光譜影像間有著一定程度的相關性。因此本研究之結果亦顯示以多光譜影像遙測氮素的模式之可行性，應可進一步可取代傳統之凱氏氮分析法。

在試驗初期，爲了驗證光譜影像的可行性，因此加入彩色影像之遙測方式加以

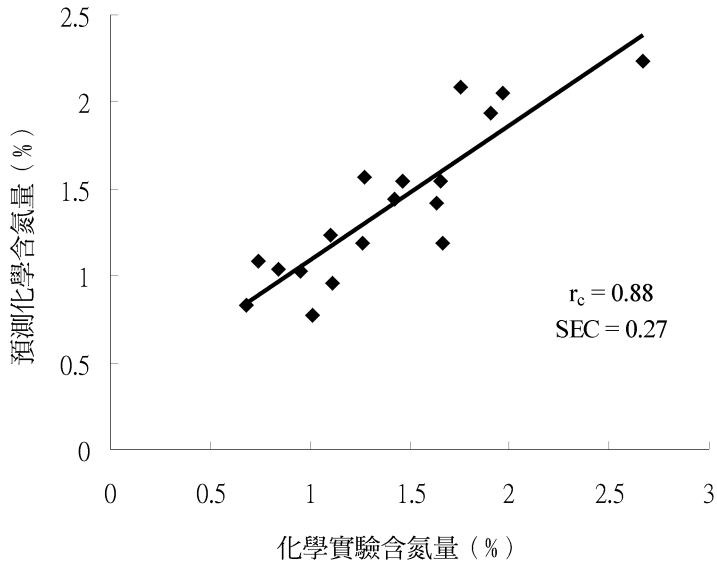


圖5. 檢量組樣本之水稻氮素最佳檢量線預測結果。

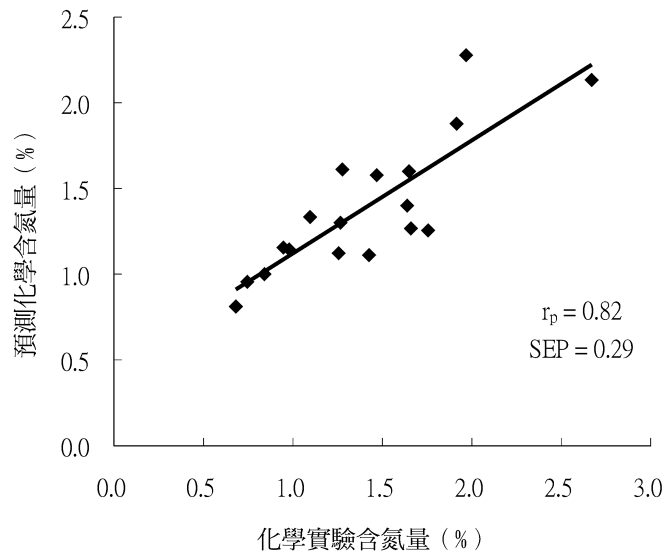


圖6. 預測組樣本水稻氮素最佳檢量線預測結果。

比較。彩色影像的結果如表7所示。在水稻葉片部份，其RGB之灰度值獨立來預測氮素含量相關性結果，以G值之0.75最好，B值之0.13最差。而RG灰度值經過回歸後所得到之氮素值，與RGB灰度值回歸後所得之結果也很相近，其相關性僅差了0.01，而SEC之差距也爲0.08。但是，因爲擷取彩色影像時是RGB三種值一起取進來，因此如果能使用RGB一起來回歸分析，結果一定是最好的。其RGB彩色影像與RG影像回歸後之回歸線爲：

彩色影像(RGB)預測含氮量(%) = 0.06R-0.071G-0.056B+3.135
彩色影像(RG)預測含氮量(%) = 0.045R-0.061G+2.54
其中 R、G、B爲彩色影像分離出RGB後之各張影像灰度值。

表7.彩色影像回歸結果。

波段	r_c	SEC,%
R	0.61	0.24
G	0.75	0.20
B	0.13	0.31
R+B	0.62	0.26
G+B	0.76	0.22
R+G	0.82	0.19
R+G+B	0.83	0.20

肆、結　論

本研究已由遙測水稻植被光譜之研究並配合文獻之探討，挑定氮素偵測之特徵波段，並初步完成稻株含氮量多光譜影像遙測系統與田間載具之設製與測試。稻株含氮量遙測系統之開發研究進行，包括以可攜式輻射光譜儀(GER-2600)定期於五種不同追肥及雜草管理之田區進行水稻植被之反射光譜遙測試驗，以及使用多光譜影像裝置遙測不同波段的稻株影像試驗，以建立水稻特徵光譜影像之非破壞性檢測模式，並據以開發稻株含氮量遙測系統。試驗結果發現，一次微分光譜479、623、632、715與1611 nm五個特徵波長組合之Stepwise MLR檢測模式最佳(r = 0.89，SEC = 0.29，SEP = 0.46)。另一方面，亦發現一次微分光譜中藍光段之單一特徵吸收波長479 nm與氮素呈現較高之正相關，其Stepwise MLR之單一波長檢測模式之結果爲r = 0.79，SEC = 0.40，SEP = 0.42。在MPLSR模式方面，則以模擬SPOT 4四個感測器波段遙測監控水稻生長期含氮濃度的二次微分模式結果最佳(r = 0.91，SEC = 0.26，SEP = 0.39)。在PLS-BPN模式方面則以一次微分數學處理的結果最佳，r = 0.96，SEC = 0.18，SEP = 0.52。在多光譜影像遙測田間水稻植株含氮量方面，本研究應用室內遙測多光譜影像MLR

模式預測水稻氮素之最佳四個特徵波段的組合爲660、680、945與960nm，r = 0.88，SEC=0.27。此結果優於以室內RGB彩色影像遙測的結果。此亦進一步顯示應用多光譜影像遙測田間水稻植株含氮量的可行性。換言之，稻株之光譜反射吸收性質具有被應用於估測植株氮素濃度之可行性，並可據以開發田間稻株含氮量遙測系統。

伍、引用文獻

1. 申雍、羅正宗、鄭世朋。2000。稻株氮營養狀況遙測技術之建立。中華農業氣象7:23-31。
2. 申雍、李裕娟。2001。簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用。出自"水稻精準農業(耕)體系之研究計畫階段性成果研討會暨九十年度期中檢討會論文摘要集"，9-10，台中：行政院農業委員會農業試驗所。
3. 李明達。2001。水分逆境下植物影像特徵分析之研究。碩士論文。台北：國立台灣大學生物產業機電工程學研究所。
4. 李裕娟、張愛華、申雍、章國威、羅正宗。2001。稻株氮營養狀態檢測技術。出自"水稻精準農業(耕)體系之研究計畫階段性成果研討會暨九十年度期中檢討會論文摘要集"，5-6，台中：行政院農業委員會農業試驗所。
5. 吳德輝、陳世銘。2000。應用近紅外光遙測水稻生長性狀。出自"八十九年農業機械論文發表會論文摘要集"，131-132。台北：中華農業機械學會。
6. 吳德輝、陳世銘、盧福明、楊宜璋、蔡養正、繆八龍。2001。遙測技術應用於水稻氮素非破壞性檢測之研究。出自"九十年農業機械論文發表會論文摘要集"，204-205。台北：中華農業機械學會。
7. 陳世銘、張文宏、謝廣文。1998。果汁糖度檢測模式之研究。農業機械學刊。7(3):41-60。
8. 張正賢。1988。稻作學精要。台北：國立編譯館。
9. 蔡金川。1982。水稻葉色與葉片全氮濃度之品種間差異。中華農業研究31(3):246-253
10. 謝順景。1994。台灣農業環境與永續性農業體系之建立。台中農業推廣簡訊14:4-21
11. 楊純明、林俊義。2000。發展精準農業關鍵性技術，加速農業生產技術升級。出自"水稻精準農業(耕)體系之研究論文集"，p.2-6。台中：行政院農業委員會農業試驗所。
12. 盧福明。2000。精準農業體系之農機研發趨勢。出自"水稻精準農業(耕)體系之研究論文集"，p.106-110。台中：行政院農業委員會農業試驗所。
13. Arai, K. and Y. Kono.1979.Development of the rice panicle. Jpn. J. Crop Sci. 48:335-342.
14. Blackmer, T.M., J.S. Schepers and G.E. Varvel.1994.Light reflectance compared with other nitrogen stress measurement in corn leaves. American Society of Agronomy 86(6)：934-938.
15. Chang W. H., S. Chen and C. C. Tsai. 1998. Development of a universal algorithm for use of NIR in estimation of

soluble solids in fruit juices. Transactions of the ASAE 41(6):1739-1745.

16. Chen, Y. R. 1992. Classifying diseased poultry carcasses by visible and near-IR reflectance spectroscopy. p. 46-55 In:Optics in agriculture and forestry.SPIE vol. 1836. J.A. Deshazer, B.F. Fyodoroz, and G.E. Meyer eds. Soc. Photo-optical Instrumentation Eng.:Bellingham, WA.
17. Chen, Y. R., S. R. Delwiche and W. R. Hruschka. 1995. Classification of hard red wheat by feedforward backpropagation neural networks. Cereal Chem. 72(3):317-319.
18. Chen, S., K. W. Hsieh and W. H. Chang. 1999. Neural network analysis of sugar content in fruit juice. ASAE Paper No. 99-3083, St. Joseph, MI, USA: ASAE.
19. Dowell, F. E. 1994. Neural network classification of undamaged and damaged peanut kernels using spectral data. Optical Eng. 33:2728-2732.
20. Iida, k., M. Suguri, M. Umeda and T. Matsui. 2000. Estimation of nitrogen content using machine vision in a paddy field. An ASAE Meeting Presentation. Paper No.003021, St. Joseph, MI, USA:ASAE.
21. Jongkaewwattana, S.S., S. Geng, D. M. Brandon and J.E. Hill.1993.Effect of nitrogen and harvest grain moisture on head rice yield. Agron. J. 85:1143-1146.
22. Lu, F. M., S. Chen, C. K. Yeh, T. T. Lin, K. N. Wang, T. H. Wu, F. S. Chang and W. J. Chen. 2000. Utilization of satellite-based information on the development of precision agriculture for crop production system in Taiwan. p.442-447. In Proceedings of the XIV Memorial CIGR World Congress 2000. Tsukuba, Japan: Tsukuba University.
23. Nilsson, H.1995. Remote sensing and image analysis in plant pathology. Can. J. plant pathol 17:154-166
24. Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 8:127-150.
25. Wada, G., R. C. Aragones, H. Ando.1991.Effect of slow release fertilizer (Meister) on the nitrogen uptake and yield of the rice plant in the tropics. Jpn. J. Crop Sci. 60 : 101-106.

9 Development of a Remote Sensing System for Rice Nitrogen Concentration Determination

Suming Chen[1], Te-Hui Wu[2] , Chih-Kai Yang[3], Yang-Zenq Tsai[4], Cheng-Wei Huang[1], and Pa-Lung Miao[5]

[1] Dept. of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[2] Dept. of Biomechatronic Engineering, National Chiayi University, Chiayi 600, Taiwan, ROC

[3] Dept. of Agriculture Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, ROC

[4] Dept. of Agronomy, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[5] The Experimental Farm, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

E-mail:schen@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

This study was aimed to develop a remote sensing system for the determination of nitrogen concentration in rice. Both portable spectroradiometer and multi-spectral imager were used to measure the reflectance characteristics of rice crops with different treatments of fertilization. The calibration models were developed and evaluated; and the remote sensing system was designed with the goal of nondestructive measurement of the nitrogen content in rice stalk. The results showed that the best model of stepwise multiple linear regression (MLR) was the first derivative of spectra with 5 wavelengths of 479, 623, 632, 715 and 1611 nm (r = 0.89, SEC = 0.29, SEP = 0.46). The wavelength at 479 nm in blue band was found in best MLR correlation with nitrogen concentration (r = 0.79, SEC = 0.40, SEP = 0.42). The analysis by MPLSR (modified partial least square regression) with the second derivative spectra provided the best results in simulating the SPOT 4 satellite spectra data (r = 0.91, SEC = 0.26, SEP = 0.39). The PLS-BPN (PLS back-propagation neural network) model with the first derivative spectra yielded the results of r = 0.96, SEC = 0.18, SEP = 0.52. In evaluating the multi-spectral images of rice stalk, the calibration model established with RGB bands gave the results with r = 0.83 and SEC = 0.20,

while the calibration model with multi-spectra at 660, 680, 945 and 960 nm yielded the results with r = 0.88 and SEC = 0.27. A remote sensing system for determining the nitrogen concentration in rice stalk was developed by using the reflectance properties of rice canopy obtained in this study.

Key words: Remote sensing, Multi-spectral image, Rice, Nitrogen, Precision agriculture.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用
129-138, 2002

10 簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用

申 雍[1] 李裕娟[2]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]行政院農業委會農業試驗所農藝組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘 要 ---------- 130
壹、前 言 ---------- 130
貳、材料與方法 ---------- 131
參、結果與討論 ---------- 131
肆、引用文獻 ---------- 136

10 簡易高光譜影像拍攝系統之研發與應用

申 雍[1]　李裕娟[2]
[1]國立中興大學土壤環境科學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農藝組
E-mail:yshen@nchu.edu.tw

摘　要

高光譜影像可提供的作物訊息遠較多光譜影像豐富，適合用於判別作物所遭受的逆境種類與程度。目前國外已開發的高光譜影像拍攝系統多需裝設於飛機上，且還未引進國內，因此國內許多應該利用高光譜影像進行的精準農業研究工作乃遭遇瓶頸。本研究目標主要在開發可架設於近地面載具上之簡易高光譜影像拍攝系統，以獲取必要的高光譜影像，提供作爲進一步發展精準農業相關研究的基礎。本系統硬體部分係利用Electrim EDC-1000L Monochrome CCD，Canon PHF6 1.4 Lens，Andover Bandpass Filter，及Advantech PCA6145L Single board computer組成而成；軟體部分則由Electrim CCD控制軟體Lvesa與自行撰寫的影像處理軟體所組成。本系統目前係利用高空作業車於15公尺高度(作業車升高極限)拍攝所需之田間高光譜影像。於田間利用研發之高光譜拍攝系統所拍攝之730和740nm影像，進行微分等效處理後，可以區別田間水稻接受氮肥處理後的效應，此爲本系統的應用實例之一。

關鍵詞：高光譜影像、遙感探測、波段濾鏡、精準農業。

壹、前 言

LandSat、SPOT、IKONOS等目前常用資源衛星之影像的空間解析力雖已大幅改善，但是其多光譜影像(multispectral image)的波譜解析力仍然維持有數十nm的波段寬度，因此影像中有關地表物體反射光譜中細微變化的資訊多已消失。高光譜影像(hyperspectral image)的波譜解析力通常可達數nm的尺度，因此可提供的作物訊息遠較多光譜影像豐富，也比較適合用於判別作物所遭受的逆境種類與程度(Lillesand and Kiefer, 2000)。由於同時具有高空間解析度之高光譜影像的資料量非常龐大，因此國外已開發的高光譜影像拍攝系統仍多裝設於飛機上，且還未引進國內。

國內自兩年前開始進行精準農業相關

研究後，除已累積相當豐富的地面反射光譜資料外，也已逐步利用地面反射光譜研發鑑別作物營養狀態(申等，2000)、病蟲害程度(楊等，2001)、…等的遙測模式。由於這些模式通常利用植被反射光譜中的細微變化進行鑑別的工作，需要有高光譜影像才能繼續在田間進行相關的驗證與遙測模式修正等工作，因而精準農業的相關研發工作乃遭遇瓶頸。

本研究之研究目標即爲開發可架設於近地面載具上之簡易高光譜影像拍攝系統，藉以獲取田間必要的高光譜影像，以驗證由地面反射光譜測定所開發的遙測模式，並可提供作爲研發以航遙測載具或近地面農機偵測作物生長性狀之感測器的基礎。

貳、材料與方法

本研究包含硬體設備組裝、相關軟體開發、與田間測試三大部分。所使用的硬體設備包含單色數位相機(EDC-1000L，Electrim)，光學鏡頭(PHF6 1.4，Canon)，窄波段濾鏡(730FS10-50，740FS10-50，Andover)與單板電腦(PCA6145L，Advantech)。所使用的軟體包含數位相機拍攝控制程式(Lvesa，Electrim)與自行撰寫的影像處理程式(EDCana)，內含幾何校正、輻射校正、重新取樣、稻株氮營養計算等模組。

田間測試部分於農試所精準試驗田區中之氮肥用量處理試驗田區進行，利用高空作業車(JLG LIFT 600S)將硬體設備載至約15m的高度，並在影像拍攝範圍內佈設50 cm ×30cm的黑色與白色校正板各六塊，作爲進行幾何與輻射校正時的地面控制點。

參、結果與討論

圖1爲所用單色數位相機CCD晶片(TC245)的光譜感應曲線，若以10%的光量子轉換效率爲限，利用此CCD配合適當的窄波段濾鏡，將可用於獲取地表反射光譜介於400-900nm間細微變化的影像。對於藍光與近紅外光區的低光量子轉換效率，可以增大鏡頭光圈的方式，或利用地物與載台均不會有顯著相對位移的優點，以或延長曝光時間的方式拍攝影像。本研究所選用之鏡頭光圈變化範圍介於F1.4 - F16間，相機可程式控制曝光時間介於1msec - 3sec間，田間拍攝經驗顯示並不會造成影像獲取上的困擾。

若仔細觀察田間拍攝的影像中可發現有明暗交替的光環(圖2)，對白板拍攝之影像中明暗光環更爲清晰(圖3)，由於此光環不隨濾鏡旋轉而改變形狀與位置，因此推測此明暗光環可能因濾鏡之金屬鍍膜與鏡片玻璃折光指數不同引起之Thin Lens 效應所造成(Tipler，1982)。對影像中明暗光環的修正方式則是先將影像以式(1)進行標準化處理，以修正每張影像因曝光時間與光圈大小設定不同所產生之差異。

$$DNs = DN + (128 - DNm) \quad (1)$$

其中DNs爲每一像點標準化後的灰度值，DN爲原始影像每一像點之灰度值，DNm爲每張原始影像的平均灰度值。再利用已標準化的白板影像爲修正依據，以差值替代方式進行明暗光環的修正，如式(2)所示。

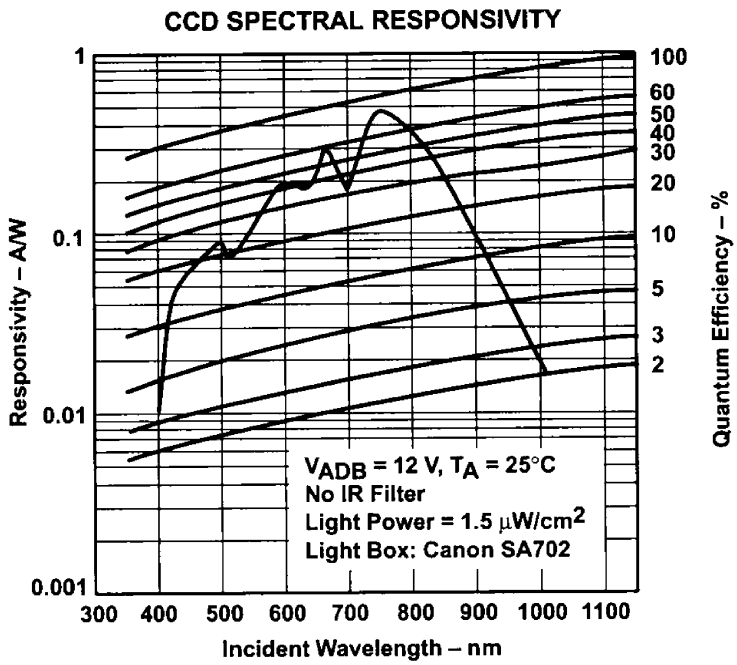


圖1. TC245CCD晶片的感應特性曲線(摘自Texas Instruments，1991)。

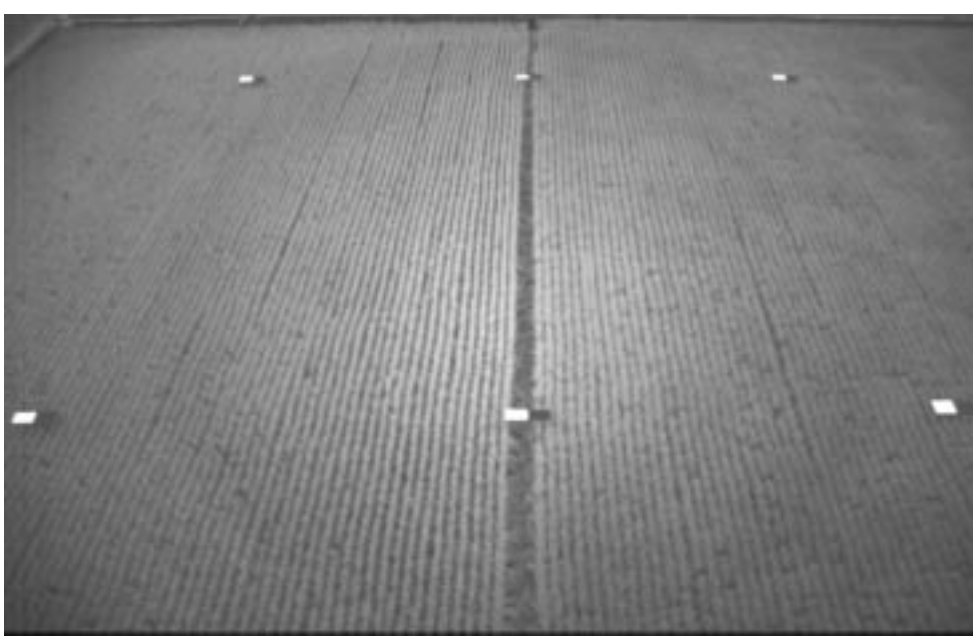


圖2. 田間影像中含有明暗光環。

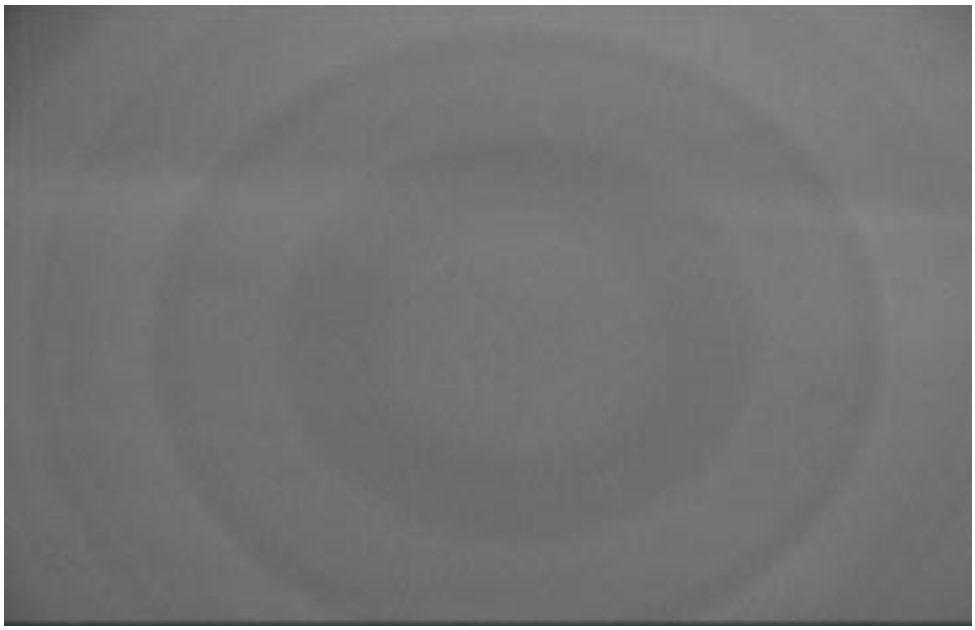


圖3. 明暗光環在白色參考板上更爲明顯。



圖4. 除去明暗光環後的田間影像。

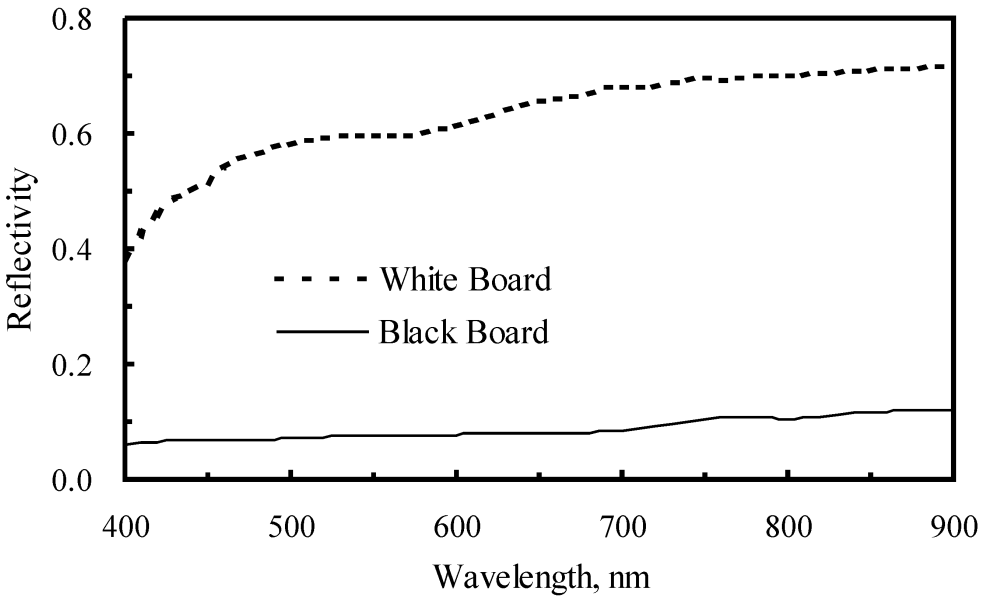


圖5. 白色與黑色參考板的反射光譜曲線。



圖6. 完成反射值校正的田間影像。

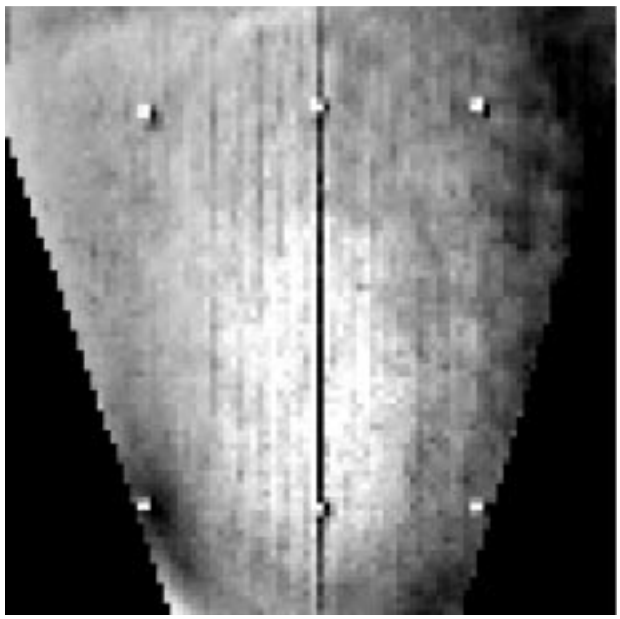


圖7. 完成正射化與重新取樣的田間影像。

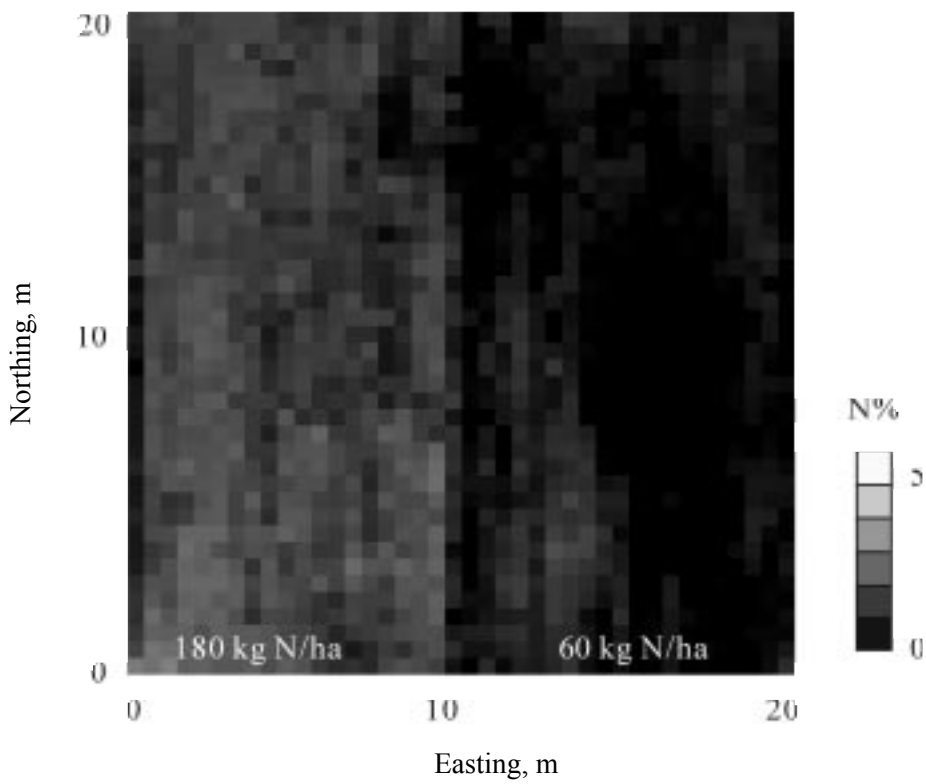


圖8. 田間稻株氮營養狀況的空間分佈。

$$DNsc = DNs + (128 - DNws) \quad (2)$$

其中DNsc爲每一像點明暗修正後的灰度值，DNs爲標準化影像進行明暗修正前每一像點之灰度值，DNws爲標準化白板影像在對應位置的灰度值。圖4爲進行明暗修正後的標準化影像，原有之明暗光環已被消除。利用上述方法進行修正時，最好能先備有幾種不同曝光條件下拍攝的標準化白板影像，才能得到較好的修正結果。

完成明暗光環修正後的標準化影像將進行輻射修正，將影像中的灰度值轉換成爲反射值。此時主要利用佈設於影像中的六組黑色與白色參考板，參考板的反射光譜已先行測定，如圖5所示。理論上由影像中與黑色與白色參考板對應像點的灰度值和實際的反射值間的關係，可以用內差的方式計算影像中各像點對應的反射值。但由於Lens Falloff的效應(Lillesand and Kiefer, 2000)，各參考板的灰度值會隨離影像中心的距離而降低，因此需先就六組參考板的相對位置與灰度值，以最小平方差的方法計算對應之二維二次多項式，再針對影像中各像點，依其座標位置計算理論之黑白板應有之灰度值，再以內插方式將該像點之灰度值轉爲反射值，如圖6所示。由於二維二次多項式之特性，對於超過所用六組參考板範圍外之像點，所計算之反射值的誤差會急劇增加。

完成輻射修正後的影像可利用佈設於地面的控制點進行幾何糾正，將傾斜拍攝之影像予以正射化。此外，由於拍攝每張影像前更換濾鏡的動作，可能造成相機傾角與方位角的些微偏移，因此正射化後的影像需進行重新取樣，使各張影像中的像點都具有相同的座標位置，以便進行後續的運算，如圖7所示。

依據李等(2002)所提出估算稻株氮營養狀況的遙測模式，將完成影像處理後的730nm與740nm影像，進行一次微分等效處理，即可獲得田區中稻株氮營養狀況的空間分佈資訊，如圖8所示。圖中不僅可明顯看出氮肥處理間的差異，也可顯示同一氮處理區中，稻株體內的氮營養狀況仍具有相當程度之空間變異。

以上結果顯示，簡易高光譜影像拍攝系統之研發工作已獲得初步成果，有利於未來將目前發展中有關氮營養、病蟲害、…等遙測模式於田間進行驗證。此外，由於目前所使用之高空作業車並不適宜開出農試所外進行工作，而本系統在發展之初已儘量朝輕量化發展，因此相關地面遙測載具的開發與改良工作也應進行，以便使本系統未來也能用於農試所以外地區，則應用潛力與範圍將可更爲擴大。

肆、引用文獻

1. 申雍、羅正宗、鄭世朋。2000。稻株氮營養狀況遙測技術之建立。中華農業氣象 7:23-32。
2. 李裕娟、張愛華、申雍、章國威、楊純明、羅正宗。2001。稻株氮營養狀態檢測技術。p.95-106。應用於水稻精準農業體系之知識與技術，楊純明、林俊義主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
3. 楊純明、鄭清煥、張義璋、吳志儒。2001。水稻遭受褐飛蝨及稻熱病感染之植被光譜特徵。p.1-12。應用於水稻精準農業體系之知識與技術，楊純

明、林俊義主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。

4. Lillesand, T.M. and R.W. Kiefer. 2000. Remote Sensing and Image Interpretation. 4th ed. John Wiley & Sons, Inc., New York. 724pp.
5. Texas Instruments. 1991. TC245. 786-× 488-Pixel CCD Image Sensor. SOCS019A. Texas Instruments.
6. Tipler, P.A. 1982. Physics. 2nd ed. Worth Publ. Inc., New York. 724pp.

10 Development and Application of a Simplified Hyperspectral Imaging System

Yuan Shen[1]* and Yuh-Jyuan Lee[2]

[1] Department of Soil & Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC

[2] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

E-mail:yshen@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Hyperspectral images can provide much more information about crops than multispectral images and are thus more suitable to identify the kind and extent of stress imposed on crops. However, available hyperspectral imaging systems were mainly designed for airborne purposes. Many local precision agriculture research requiring hyperspectral images were hindered due to unavailability of any hyperspectral imaging systems. The purpose of this study was to build a simplified hyperspectral imaging system which could be mounted on ground carriers to acquire needed hyperspectral images for precision agriculture related studies. The developed system was composed of an Electrim EDC-1000L Monochrome CCD, a Canon PHF6 1.4 Lens, a set of Andover Bandpass Filters, and an Advantech PCA6145L Single board computer. Lvesa, a driver bundled with the Electrim CCD, controlled the image taking process. Imaging processing afterwards were mainly handled by self-written programs. Currently, the system was mounted on a mobile life allowing images taken at 15m above ground. With differential equivalent image processing, field images taken at 730 and 740nm depicted the nitrogen effect applied. This is just one illustration of the usage of the developed system.

Key words: Hyperspectral image, Remote sensing, Bandpass filter, Precision agriculture.

11 應用土壤資料庫於水稻精準農耕土壤肥力分佈之探討

郭鴻裕　劉禎祺　譚增偉　朱戩良　劉滄棪　葉明智
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail:hyguo@wufeng.tari.gov.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 140
壹、前　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 140
貳、研究方法與步驟 －－－－－－－－－－－－－－－－－－ 141
參、試驗田區之產量變異 －－－－－－－－－－－－－－－－ 141
肆、試驗區之土壤性質、土壤變異與土壤肥力分佈 －－－ 142
伍、土壤氮素分佈與產量變異之關係 －－－－－－－－－－ 145
陸、土壤採樣技術 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 145
柒、結語 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 148
捌、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 148

11 應用土壤資料庫於水稻精準農耕土壤肥力分佈之探討

郭鴻裕 劉禎祺 譚增偉 朱戩良 劉滄棪 葉明智
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail:hyguo@wufeng.tari.gov.tw

摘 要

在行政院農業委員會農業試驗所農田進行精準農業之先驅試驗，以水稻爲試驗作物，調查與評量試驗農田土壤肥力之變異與產量之相關性，利用地理統計軟體建立各試驗田區之土壤肥力分佈圖。水稻收穫後所得之產量與土壤分析、植體分析資料進行分析，以尋找土壤性質或植體性質對產量之最佳關係。整個計畫在土壤資料庫與決策系統應已有密切之結合，只要變量施肥機可以運作，精準農業之初步主體工程已大體就完成，並應可實際應用於農田肥培管理。本計畫水稻施肥之大體發展由土壤性質、土壤殘留肥力到推估調整施肥仍有極大之空間發展，應當在九十一年度前即完成最佳化施肥資訊。

關鍵詞：精準農業、土壤資料庫、施肥資訊、土壤空間變異。

壹、前 言

近年來社會急速變遷，農業勞力嚴重不足、老化，經營成本大增，農民收入低，專業農民變少，兼業農民增加，農耕技術粗糙，農業投資意願低落；另一方面社會對於自然環境品質之要求增高，傳統之農業生產管理經常遭受非議，農業生產遭受前所未有之影響，故必需尋求新的農業生產技術解決面臨之困境。而精準農業將是二十一世紀之農業生產技術發展主流，它主要具有五個主要目標：1.增加產能效率；2.改進生產品質；3.更有效之使用農用化學物；4.節約能源；5.土壤及地下水保護(Roberson, 1997)。因此，精準農業是解決當前農業生產困境方法之一。

在空間或時間上，土壤之各類性質變化，對於精準農業都相當的重要。就旱作而言，土壤水分係扮演一相當重要之角色，水稻則以土壤養分爲主要影響因素。然現有之土壤調查報告無法直接提供精準農業所需之土壤資訊，因爲兩者之用途不盡相同，且土壤調查資料是以繪圖單位(區域)表示，而不具有地理參考座標(Bouma,

1997)。然而，即使在美國，現有土壤資料之密度與指標亦無法滿足精準農業所需(Board on Agriculture National Research Council, 1997)。

台灣在多變的氣候環境、地形地貌特性與集約且複雜之耕作制度下，土壤在田間的各項性質也會隨時間而產生種種變化及變異，尤其與肥力有關的性質每每隨耕作期之改變而有大幅度的變動。因此，建立土壤性質及土壤肥力受耕作制度、氣候與地理特性的影響隨時間變化的關係，將有助於預測整體土壤品質變化的趨勢，更可用於防範土壤品質惡化及估計農業生產成本效益。配合全省網格式調查、土壤品質監測網及長期監測點等計畫工作所得之相關資料，再利用多變量統計分析、地理統計分析、時間序列統計分析及主成份分析等多項技術，即可得到各項土壤性質的空間變異特性，時間變動特性、土壤性質間的相關特性與土壤肥力之主要控制因子等。

本研究之目的係配合「水稻精準農業（耕）體系之研究」之群體計畫試驗區，發展有效且精確的方法，探討農田土壤肥力之空間變異，特別是土壤變異特性與變異大小、採樣方法及推測。並建立細密之基本土壤資訊，供爲變量施肥器施用養分資材之依據，所得資料可以提供發展精準農業上土壤資訊之建立與養分管理之應用。

貳、研究方法與步驟

一、田間調查方法

以水田爲主要試驗作物，選擇霧峰農業試驗所面積約十公頃(共計20塊田區)之水田，在水稻栽種前先分別以網格採取土樣並以DGPS法定位採樣地點，以取得代表各試驗田區之基本肥力性狀分佈資料。土壤樣品採樣密度以156.25m^2(12.5m×12.5m)爲一網格，採樣深度爲15公分，採多土樣混合方法，另逢機採樣以分析小於12.5公尺距離之土壤變異性。

二、土壤分析項目與方法

主要土壤肥力測定項目包括：土壤pH、土壤有機質、有效性氮、 0.1 N 鹽酸抽出銅、鋅、錳、鐵、孟立克氏3號抽出磷、鉀、鈣、鎂、鈉、硼、銅、鐵、錳、鋅以及醋酸鈉抽出之有效性矽等。

三、精準農業田區之土壤資訊庫建立與精密肥力分佈圖製作

利用地理統計軟體SURFER進行土壤之變異性分析，並以地理資訊軟體ARC/INFO建立各試驗田區之土壤肥力分佈圖。

參、試驗田區之產量變異

由試驗資料之初步結果顯示，試驗田樣區之稻穀產量變異很大。八十九年一期作調查第43、78、81、84、85、86號等六塊田區之產量變異，根據農場經營小組提供之資料瞭解，各田區之平均產量由5,941公斤/公頃 (43號田倒伏) 至6,760公斤/公頃 (84號田)，而以同一田區之8點坪割產量值比較，最大與最小值之平均亦約有1,080公斤/公頃左右之變化。同樣六塊田區之產量調查，在以24平方公尺爲一樣區調查資料顯示，因爲樣點多達140點以

上，而且調查面積佔全田區之67.2%以上，故更能瞭解田區之產量變異。由資料顯示出正常田區稻穀產量換算單位面積產量最大值爲11,425公斤/公頃，最小值爲4,967公斤/公頃，而在同一田區之最大及最小值則約有兩倍左右之變化，如表1所示，正常的田區同一塊田之產量變異率約在12%左右。在本研究試驗調查所得到各田區之稻穀產量有相當大之變異，即表示田區中有許多生產限制因子影響稻穀生產，待加強田區管理技術，降低田區內之收穫物變異量。

肆、試驗區之土壤性質、土壤變異與土壤肥力分佈

於八十九年一期水稻種植前、分蘗盛期及收穫後，進行三次土壤採樣，共計3,890個土壤樣本，進行土壤酸鹼度、陽離子交換能量、有機質與孟立克三號抽出之有效性養分等土壤化學性質分析，如表2所示；另進行部份田區土壤滲漏速率及土壤總體密度之土壤調查。並以完成之分析數據繪製試驗田區之基本土壤性質圖，現已完成之各類主題圖包括：土壤深淺分佈圖，如圖1(a)所示，土壤保肥能力圖、土壤反應圖、土壤有機質分佈圖、土壤有效磷分佈圖、土壤有效鉀分佈圖，如圖1(b)所示，土壤交換性鈣分佈圖、土壤有效性鎂分佈圖、0.1M鹽酸抽出性鋅分佈圖以及0.1M鹽酸抽出性銅分佈圖等，以供後續施肥管理資訊系統測試上之應用。

由土壤分析資料顯示，部份試驗田區有缺氮、缺鉀及缺硼之可能性，需要補充與調整，而施用肥料措施也能補救稻作初期缺乏。但如單純由表2之分析資料並無法瞭解整個田區何處應減少施用與調節施用量，因此，必需將資料圖形化處理後，提供作爲變量施肥機之應用。後續研究會將這些土壤缺乏之營養元素的地方，應用估算模式與變量施肥機將缺乏量補齊，而過量之營養元素則可以減少施用量或完全不施用，以達到精準農業之目標。

表1. 八十九年一期稻作部分試驗田區稻穀產量調查。

Table 1. The grain yields of the plots measured from the 1st crop of 2000. (Unit：kg/ha)

Field No.	43	78	84	85	81	86
Average Yield* (8 sample sites)	5941 (4640-6720)	6659 (6130-7078)	6760 (6050-7549)	6425 (5947-6801)	6564 (5910-6892)	6727 (6159-7353)
Minimum Yield ($24m^2$ sample unit)	5091	5222	5852	4967	5289	5939
Maximum Yield ($24m^2$ sample unit)	9984	10528	11425	10758	10790	10363
Average Yield ($24m^2$ sample unit)	7198	7768	7961	7851	8164	8347
STD	1043	805	1218	943	910	950
C.V.	20.13	10.36	15.30	12.01	11.15	11.38

*Farm operation unit's data

(a) Soil depth map (b) Potassium contents map

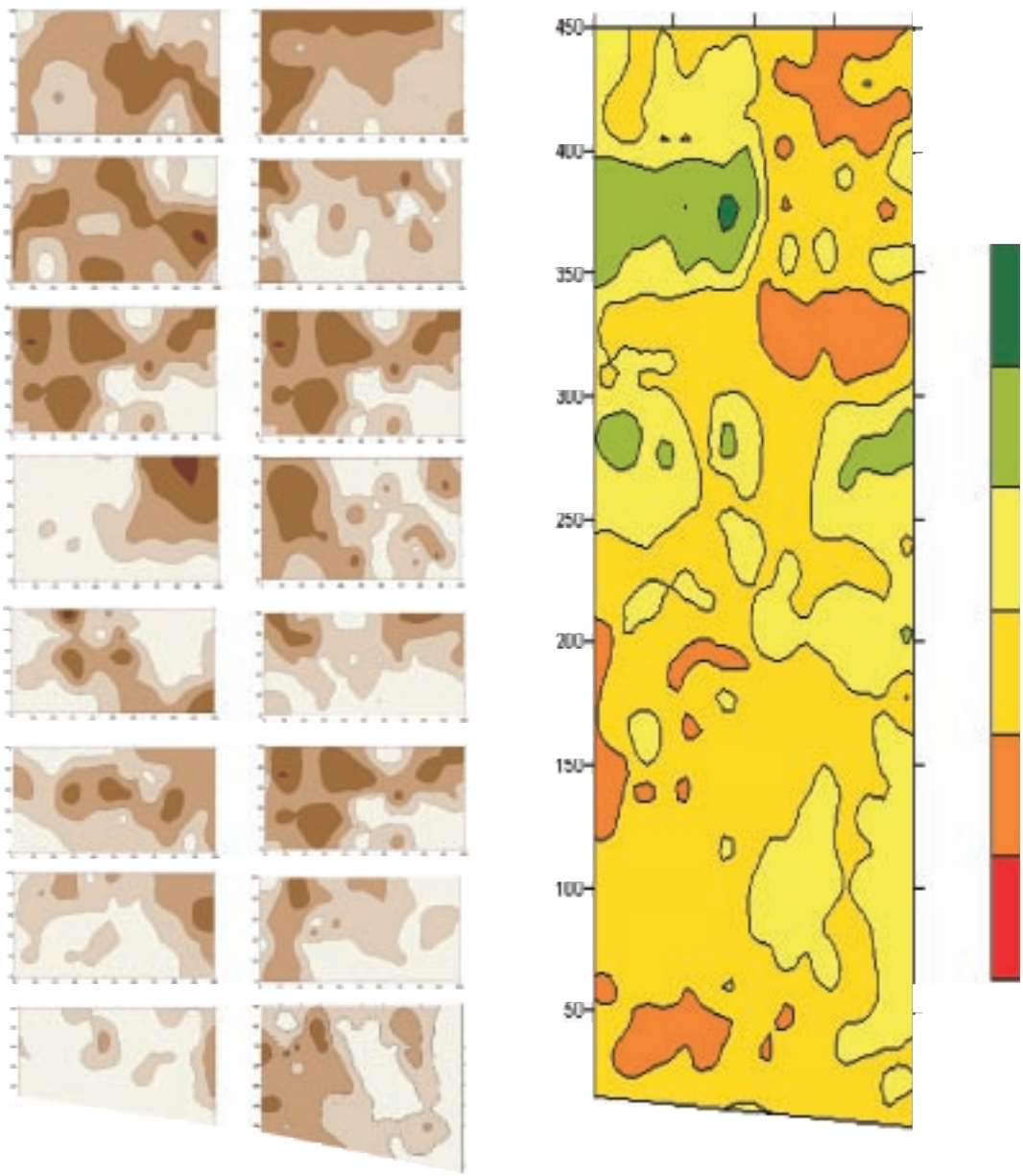


圖1. 試驗田區八十九年一期稻作之土壤深度(a)及前作之土壤有效鉀含量(b)。

Fig 1. The (a) soil depth and (b) potassium contents map of the fields at the beginning of the 1st crop of 2000.

此外，在八十九年一期稻作前，於本試驗之19塊田區 (其中43號田區因已灌水而未採樣) 約十公頃之水田採集1,372點表、底土土壤樣品，由測得田區之表土(0-15公分) 於土壤pH、有效磷、有效鉀、鎂的分析資料顯示，每塊田之變異係數 (CV) 在土壤pH之CV值爲3-18%，平均爲5%；孟氏3號抽出土壤磷之CV值爲19-62%之間，平均爲30%；孟氏3號抽出土壤鉀之CV值爲13-35%，平均爲24%；土壤交換性鎂之CV值爲9-26%，平均爲18%；底土之土壤性質變異性趨勢亦相同。其中，經常性施用之肥料如：磷、鉀等，其土壤變異性較大，而一些土壤基本性質之變異性較小，與預期之結果相同。此也與Dampney 等人於1997年在英國測得78個農

表2. 試驗田區八十九年一期稻作前作表土之土壤肥力概況。

Table 2. Soil fertility status of the surface soils at the beginning of the 1st crop of 2000.

Field No.	pH	OM	CEC	Ca	Mg	K	Na	P	K	Zn
		%	cmol(+)/kg soils	NH_4OAc extractable (cmol(+)/kg soils)				Mehlich's 3 extractable (ppm)		
38	5.31	2.13	7.80	4.56	1.35	0.11	0.10	16.5	33.8	3.97
39	4.32	2.22	7.53	4.21	1.28	0.20	0.17	31.0	74.3	5.29
42	4.95	2.21	7.82	3.76	1.11	0.10	0.08	19.2	36.1	4.76
43	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
74	5.74	2.15	9.00	5.52	1.73	0.13	0.09	30.4	57.9	3.37
75	5.35	1.96	7.73	4.40	1.33	0.09	0.10	22.2	43.6	4.78
76	5.55	1.86	7.71	4.57	1.37	0.19	0.10	38.0	64.3	3.23
77	5.64	1.76	6.88	3.98	1.21	0.13	0.09	35.4	47.4	3.70
78	5.69	1.85	7.64	4.71	1.51	0.16	0.10	48.3	55.9	2.96
79	5.38	1.64	6.21	3.87	1.17	0.13	0.08	68.5	49.5	3.08
80	5.51	1.68	6.31	3.93	1.27	0.20	0.08	74.1	66.4	2.81
81	5.61	1.61	6.62	4.22	1.26	0.16	0.08	38.1	55.1	2.90
82	5.64	1.58	6.25	4.03	1.02	0.20	0.12	54.0	79.8	4.47
83	5.41	1.54	6.18	3.56	1.06	0.21	0.11	62.3	81.7	3.86
84	5.42	1.05	4.78	2.98	0.86	0.11	0.08	61.3	39.1	3.86
85	5.67	1.49	6.63	4.08	1.07	0.15	0.09	62.0	55.5	4.21
86	5.24	0.99	4.95	2.71	0.85	0.14	0.07	60.0	54.8	4.10
87	4.94	1.65	6.87	3.69	1.06	0.36	0.12	66.9	136.2	3.80
88	5.42	1.37	4.89	3.32	0.99	0.11	0.07	48.4	41.0	3.75
89	5.49	1.50	6.85	3.81	1.14	0.18	0.08	35.9	64.3	3.65

N.D. : not detectable (lower than method detection limit, MDL)

田之土壤資料變化趨勢略似。本試驗田區土壤性質之變異係數與其比較則稍低，此乃由於本試驗田區前作爲水、旱田各佔約一半的緣故，所以土壤性質變異率即比英國旱田所得之測值變異性稍低。另外，農試所調查全省67處農田時發現，在分析土壤肥力空間變化上，土壤養分之空間變異以水田較小、旱田次之，而以果樹園最大(郭等，1995、1999)。

伍、土壤氮素分佈與產量變異之關係

台灣光復時期之土壤肥力調查資料顯示，在臺灣耕地土壤中的全氮含量高者在0.25％以上，低者則不及0.05％，而以0.1－0.15％爲最普通(張，1950)；部份地區如土壤有機質含量較豐富，則土壤氮素含量亦高。由日本水田調查資料顯示，其土壤全氮量含量約爲0.29%；亞洲熱帶地區水田土壤氮素含量分佈約在0.08%至0.15%之間；故台灣地區土壤氮素含量與亞洲熱帶地區之土壤氮素含量相近。近年來在全台灣進行土壤調查之資料顯示，一般農田土壤氮素含量略有增加，而田區在正常管理下，水稻產量與氮素營養關係相當密切。水稻氮素之吸收量包括：施用氮素量×吸收率，再加上土壤氮素之供應量，而土壤氮素之供應約佔全部氮素吸收量之60%至80%左右(小山，1975)，但仍會依土壤性質、氮肥施用量及氣候條件而異。施用之化學氮素肥料，在基肥約有30-40%之利用率，穗肥期約有40-70%之利用率，追肥期之利用率變動性則較大。在正常施肥管理下，根據水稻之氮素肥料吸收率推算，土壤氮素至少需供應60公斤/公頃，水稻產量才能達到6噸/公頃以上(鬼鞍，1975)。

水田之生產力與土壤氮素關係相當密切，在土壤資料庫分組時，即將土壤氮素列爲工作重點，十公頃試驗田區之土壤氮素含量，如表三所示。由於試驗田區的土地利用複雜，且過去常進行不同之農田試驗，加以有些田區以前曾進行過客土工程，所以土壤氮素含量之最大與最小值的變化相當大，分析數據可由0.02%至0.18%不等。但一般約分佈在0.08至0.14%之間，以農試所而言，一期重劃區之土壤氮素含量較二期重劃區爲高。因爲八十九年一期稻作係施用相同肥料量，以致部份田區發生水稻因氮素含量過高而倒伏之現象，並且影響產量。一般而言，土壤氮素之礦化量常隨土壤溫度、土壤條件、施肥情形與農田管理操作而異，所以土壤氮素含量並非絕對代表水稻可吸收之氮素量。本研究計畫第一年係進行空白試驗，故所有田區之化學肥料施用量皆一致，因此，田區產量之變異性應與土壤之肥沃度分佈相關，但是由資料結果顯示，土壤氮素分佈情形與田區產量分佈雖略有相關，並不盡吻合。進一步將稻作產量圖與土壤氮素分佈圖疊合，如圖二所示，其中，86號田區之水稻產量與土壤氮素之分佈情形最爲吻合，而其它田區則只有部分吻合或完全不相干。推論本研究區土壤氮素含量與水稻產量不盡吻合之主要原因，應是土壤礦化量不一、施肥不均勻與病蟲害等因素所造成之影響。

陸、土壤採樣技術

精準農業管理所遭遇之變異問題，很多都是由於土壤變異之性質差異所引起，

表3a. 試驗田區八十九年一期稻作前作表土之土壤全氮含量。

Table 3a. Surface soil total nitrogen contents of the fields at the beginning of the 1st crop of 2000.

Unit：%

Field No.	38	39	42	43	74	75	76	77	78	79
Min	0.10	0.12	0.10	N.A.	0.09	0.05	0.08	0.08	0.06	0.09
Max	0.16	0.18	0.16	N.A.	0.15	0.16	0.12	0.13	0.14	0.18
Ave	0.13	0.14	0.13	N.A.	0.12	0.12	0.10	0.11	0.11	0.11
Std	0.01	0.01	0.01	N.A.	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
C.V.	9	10	9	N.A.	13	15	8	9	13	12
Field No.	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Min	0.10	0.10	0.08	0.07	0.08	0.09	0.05	0.07	0.02	0.10
Max	0.12	0.18	0.12	0.12	0.11	0.13	0.09	0.15	0.11	0.13
Ave	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.11	0.08	0.11	0.10	0.11
Std	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
C.V.	7	12	11	10	7	9	11	14	14	7

N.A.: not available

表3b. 試驗田區八十九年一期稻作前作底土之土壤全氮含量。

Table 3b. Subsurface soil total nitrogen contents of the fields at the beginning of 1st crop of 2000

Unit：%

Field No.	38	39	42	43	74	75	76	77	78	79
Min	0.08	0.08	0.07	N.A.	0.06	0.08	0.05	0.08	0.07	0.07
Max	0.13	0.16	0.14	N.A.	0.13	0.14	0.12	0.13	0.12	0.12
Ave	0.11	0.13	0.11	N.A.	0.10	0.11	0.09	0.10	0.10	0.09
Std	0.01	0.02	0.01	N.A.	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C.V.	0.11	0.13	0.13	N.A.	0.16	0.13	0.16	0.09	0.11	0.12
Field No.	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Min	0.06	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.08	0.08	0.10
Max	0.12	0.13	0.13	0.11	0.09	0.11	0.09	0.13	0.11	0.13
Ave	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.09	0.08	0.11	0.09	0.11
Std	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
C.V.	0.18	0.14	0.15	0.10	0.09	0.12	0.11	0.09	0.07	0.08

N.A.: not available

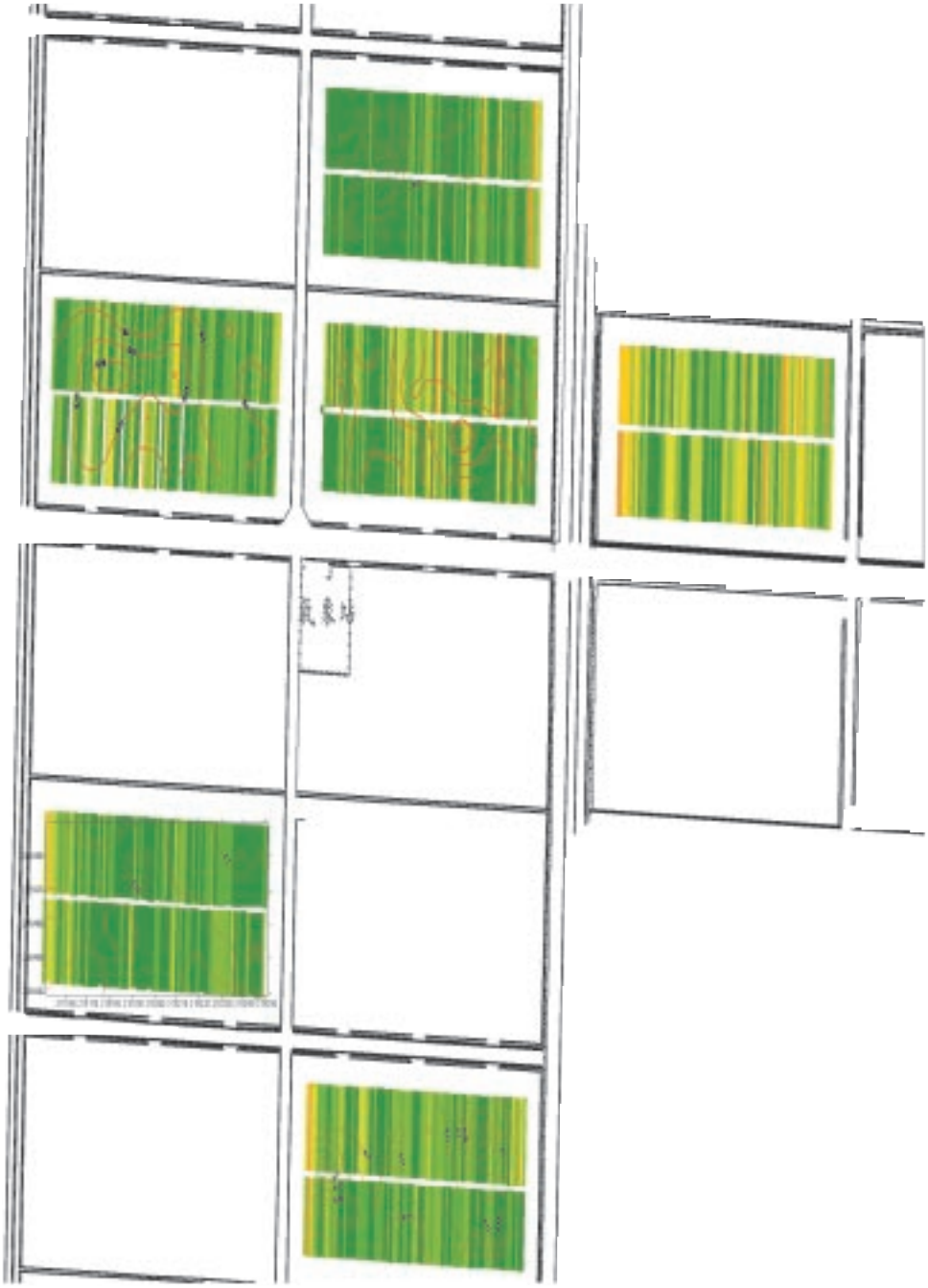


圖2. 八十九年一期稻作之稻穀產量圖及土壤含氮含量分佈圖。

Fig 2. Rice yield map of the first crop overlay with soil nitrogen map in 2000 year.

故執行精準農業成功之要因，即必需發展及應用有效且精確的方法，加以評量土壤之空間變異與產量之質、量組成因素的相關性。而土壤變異之研究範圍包括：土壤變異之特性與變異大小、採樣方法、推測及量測土壤變異之感測技術等，最後則是建立土壤變異與作物產量變異之相關性。故蒐集需要的土壤資訊，並適當的用於描述土壤變異性，係執行精準農業相關研究能夠成功之主要因素(Macbratney *et al*, 1997)。

分析本研究區土壤樣品且進一步繪製土壤性質分佈圖，如圖3所示，並在土壤性質分佈圖上標記採樣點及核對網格土壤採樣外之逢機土壤樣點。由圖面資料及半變異圖分析顯示，以12.5公尺之採樣密度，對於基本土壤性質之掌握已經足夠，但是對於施用肥料之分佈掌握而言，可能土壤採樣密度還需要更加細密，特別是類似磷肥此一較不易移動之土壤性質。此外，土壤採樣密度之探討，係隨著肥培管理之精密度而異，如圖3(a)逢機採樣點與0.01%顯著差異之土壤氮素含量的空間分佈圖相吻合，故12.5公尺之土壤採樣密度在此一要求條件下應可以接受；但如果土壤全氮量之顯著差異係要求須在0.0025%以內者，如圖3(b)所示，則12.5公尺之土壤採樣密度差異則無法被接受。亦即土壤採樣之密度需要配合其它農田管理技術，如果施肥管理技術粗放，則採樣密度可以減少許多，但若施肥技術是相當精密的，則土壤採樣密度與採樣技術則需要相對的提高。因此，合宜的土壤採樣技術，是有待精準農業其它研究群組發展之相互配合，方能達到令人滿意之成果。

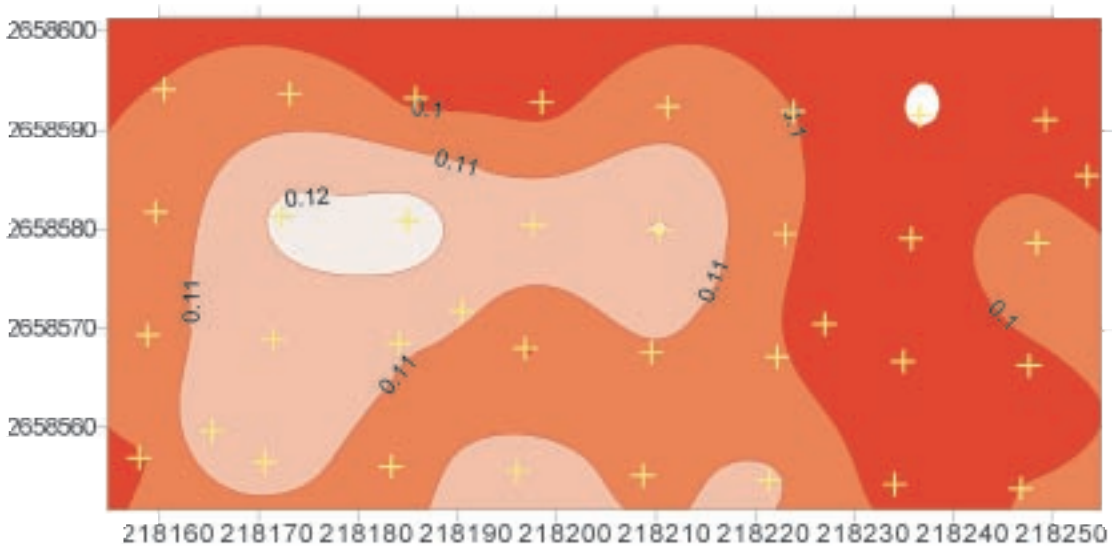
柒、結 語

在土壤資料庫與決策系統方面，已有密切而穩定之結合，只要變量施肥機可以進行連結運作，則精準農業之初步主體工程大體上即已完成，並應可實際應用於農田肥培管理。本研究計畫對於土壤資料庫之建立與應用上，大體發展在土壤性質分析及採樣技術、土壤殘留肥力評估一直到推估調整施肥推薦方面，仍有極大之空間發展，並預估應可在三年內完成最佳化之施肥管理資訊。

捌、引用文獻

1. 張守敬。1950。 臺灣省土壤肥力概述。台灣肥料公司報告第七號。
2. 郭鴻裕、朱戡良、江志峰、劉滄棪、王明果、黃政恆、張茂盛、周泰均、江國忠、陳吉村。1995。本省耕地土壤詳測調查之土系化學性質均勻度初步研究。土壤肥料通訊 50：23-31。
3. 郭鴻裕、朱戡良、江志峰、劉滄棪、劉禎祺。1999。臺灣地區農田土壤品質監測網之建立與應用。年度報告(未發表)。
4. 小山雄生。1975。 N15利用水稻田土壤窒素肥沃度測定實際生產力。日本土肥誌 46(7)：260-269。
5. 鬼鞍豐、吉野橋、前田乾一。1975。稻作期土壤窒素有效化過程。日本土肥誌 46(7)：255-259。
6. Bouma J. 1997. From soil survey to a soil database for precision. Soil factor section. In:1st European conference on precision

(a) The random sampling sites meet the grid (12.5M*12.5M) sampling sites level.(0.01% difference)



(b) The random sampling sites not meet the grid (12.5M*12.5M) sampling sites level.(0.0025% difference)

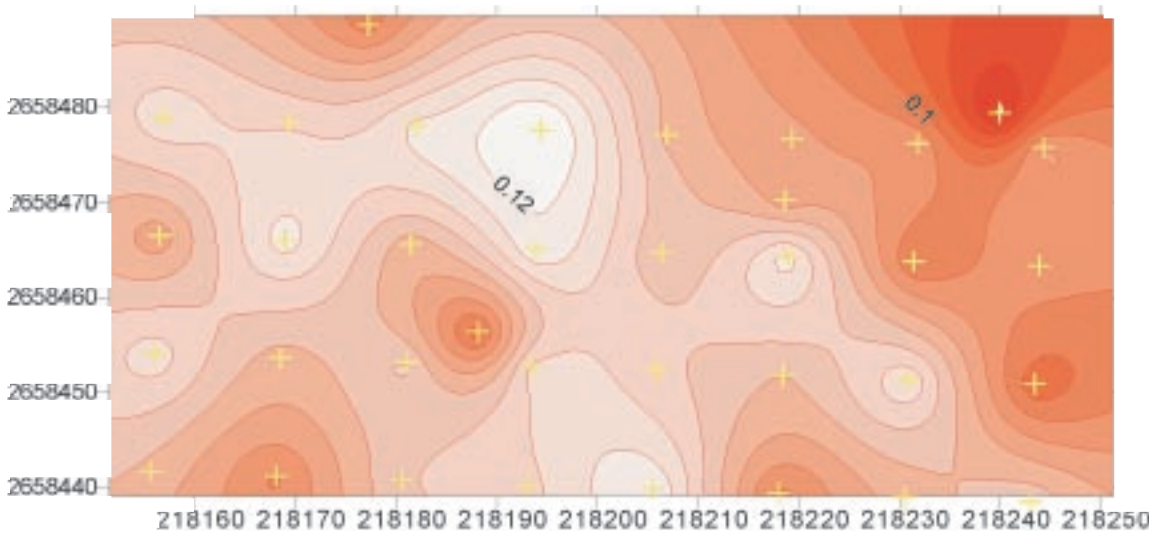


圖3. 試驗田區土壤採樣密度與土壤性質空間分佈之相關性。

Fig 3. The relationship of sampling site density and the soil properties spatial distribution.

agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.

7. Board on Agriculture National Research Council. 1997. Precision agriculture in the 21st century. Geospatial and information techonologies in crop management. Committee on assessing crop yield: Site-specific farming, information system, and research opportunities. National Academic Press, Washington.
8. Dampney, P. M. R., M. A. Froment and C. J. Dawson. 1997. The variability of pH and available phosphorus, potassium and magnesium in soils within arable fields in England. Soil factor section. In:1st European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
9. Roberson, G. T. 1997. Precision agriculture: A comprehensive Approach. p2. North Carolina University.

11 Study the Distributions of Soil Fertilizer of Rice Precision Agriculture by the Soil Databases

Horng-Yuh Guo, Jen-Chyi Liu, Tseng-Wei Tan, Chien-Liang Chu, Tsang-Sen Liu, and Ming-Chi Yeh
Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien, Taiwan 413, ROC
E-mail:hyguo@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

A rice production system of the pilot project of precision agriculture was conducted in TARI farm since the first crop of 2000. Accurate methods for assessing the spatial variability of soil, and relating it to yield quantity and quality components, must be developed and implemented. This paper describes the spatial variability of soil in the farm. Works to establish the links between the spatial variability of soil and the spatial variability of crop yield components are discussed. Soil database is combined with decision-making system in this project, if the machinery system of variable-fertilizer application will be operated, the system of nutrient management in this pilot project can be worked. Further studies of the estimation of fertilizer application rates based on soil database and plant uptake are needed. The system shall be completed before 2002.

Key words: Precision agriculture, Soil databases, Information of fertilizer application, Soil spatial variability.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
水稻產量與植體營養元素含量之相關性
153-166, 2002

12 水稻產量與植體營養元素含量之相關性

張愛華　劉禎祺　李艷琪　朱戩良
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail:ahchang@wufeng.tari.gov.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 154
壹、前　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 154
貳、試驗步驟與分析方法 －－－－－－－－－－－－－－－－ 155
參、研究試驗田之產量變異探討 －－－－－－－－－－－－－ 155
肆、水稻植體分蘗盛期營養元素含量概況 －－－－－－－－－ 156
伍、分蘗時期營養元素含量與產量變異之相關性 －－－－－ 161
陸、結語 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 163
柒、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 163

12 水稻產量與植體營養元素含量之相關性

張愛華 劉禎祺 李艷琪 朱戩良
行政院農業委員會農業試驗所農業化學組
E-mail:ahchang@wufeng.tari.gov.tw

摘 要

以水稻爲主要試驗作物，在行政院農業委員會農業試驗所農田進行精準農業之試驗研究，分析與評量試驗農田植體營養狀態之變異與土壤性質變異之相關性，並進一步利用地理統計軟體繪製各試驗田區之植體營養變異分佈圖。根據農場室於水稻收穫後所得之產量與植體分析資料進行協同克利金(co-kringing) 分析，以評估植體營養分對產量之最佳關係。發展及應用有效且精確的方法，藉以評量水稻營養分之空間變異，俾建立植體養分變異與作物生長變異之相關性。

關鍵詞：精準農業、植體營養、肥培管理。

壹、前 言

近年來，由於世界貿易、環境關懷與消費者喜好等外在影響因素，使得農業產業受到很大的壓力。爲了適應農業之生產及市場之改變，農業研究需要一個新的調整，精準農業是一個現代化農業發展之新方向，過去我國農業之研究幾無實際利用本科技於農業生產，需要加強此方面之研究。精準農業管理所遭遇之變異問題很多都是由土壤變異之性質所引起，然而即使在美國，現有之土壤資料之密度與指標仍無法滿足精準農業所需。現行已經數位化之資料也無法滿足精準農業之解析度與需求內容。執行精準農業成功之要因，乃是必需發展及應用有效且精確的方法去評量土壤之空間變異與產量之質、量組成因素的的相關性。以土壤資料爲基礎，依不同之自然環境與作物別，分別建立一試驗田區供爲各學門科技應用整合發展精準農業是必要之過程。

精準農業的主要工作內容，乃是繪製產量圖並將各生產限制因子找出以掌握其動態變化，再因應生產條件之不同而據以加強管理，用以解決農作物收穫之變異量(Earl *et al*., 1996)。一般精準農業包含三個重要組成元素，即資訊、技術與管理，而對農民有用之資訊包括：作物特性、土壤特性、肥力需求、雜草族群、病蟲害、作物生長反應、收穫資料以及收穫後處理資

料等等，故精準農業對於生產過程中每一階段之資訊收集與應用都相當重要(Roberson, 1997)。

土壤空間變異是一種區域性無規則之習性，爲繪製具可信度之定量作物營養變異圖，小區域之估測必需要有某種程度之可依賴度(Roberson, 1997)。如果每一樣點只採取少量之土樣去量測土壤性質，則所測得之值可能會大幅度的起伏並混淆大趨勢變化(郭等，1999)。通常這是採樣效應之影響，可以在某一區以多採一些土樣混合均勻樣品再分析消除。但是要有多少樣品混合成一代表樣品，並無規則可尋，一般是依土壤之變異程度及誤差之允許程度所決定。一般農民需要明確告知多少樣品混合成一代表樣品，利用空間統計之技巧可以解決樣品大小與分佈之困擾(Oliver *et al*., 1997)。

本計畫之研究目的爲配合「水稻精準農業（耕）體系之研究」之群體計畫試驗區，發展有效且精確的方法，進行相關之水稻植體分析資料，建立水稻生長與肥培管理相關性之研究。本階段之試驗研究，分別在水稻分蘗盛期與收穫期等不同時期採取水稻植體，藉以分析水稻之營養狀態，並以地理統計分析與地理資訊系統，製作植體營養狀態分佈圖，評量水稻營養分之時間與空間變異，供爲變量施肥之依據與施肥管理等相關性研究之基礎，期能建立精準農業肥培及養分管理之參考依據。

貳、試驗步驟與分析方法

一、田間調查與管理方式

本研究以水稻爲主要之試驗作物，預計本年度可栽種兩期作。選擇農業試驗所約十公頃面積之水稻田，於分蘗盛期、幼穗形成期以及水稻收穫時，採取水稻植體供分析之用，植體及土壤物理性採樣樣區大小爲625 m^2(25m×25m)。田間施肥量則以施肥手冊推薦量施用。

二、植體分析項目與方法

主要之水稻植體分析項目，包括：全氮含量、磷、鉀、鈣、鎂以及其他微量元素之含量。

三、精準農業之植體分析及分佈變異圖製作

水稻生長各階段所進行之植體採樣後，所得之植體分析資料與農場提供之產量資料，可供進行協同克利金(co-kringing)分析，以尋找植體營養狀態及土壤性質對產量之最佳關係。並進一步利用地理資訊系統繪製產量及水稻植體養分狀態之空間分佈與變異圖。

參、研究試驗田之產量變異探討

爲瞭解試驗田區之水稻產量變異狀況，利用農試所農場經營之八十八年二期無處理水稻田區第78、84、85、86號等四塊田區，調查水稻產量並製作稻穀產量分佈圖，如圖1所示，每筆稻穀產量資料之調查面積爲1.2公尺(收割機之割面寬) × 20公尺至25公尺，總計共690筆資料。八十九年一期及二期仍持續進行無處理試驗，並繼續調查水稻產量，部份水稻試區之稻穀產量調查資料，如表1所示；而八十九年一期稻穀產量分佈圖，則如圖2所

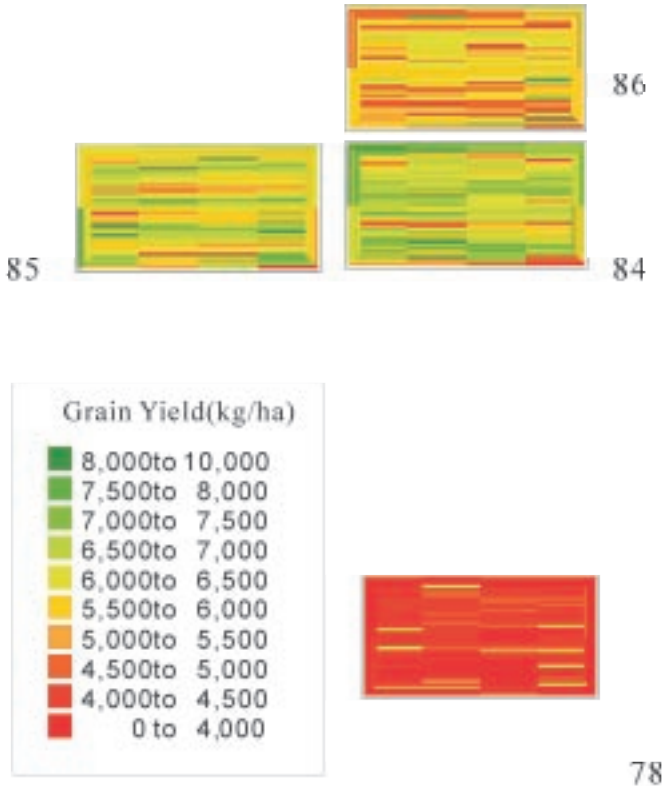


圖1. 部份供試田區八十八年二期稻作產量分佈圖。

Fig 1. The grain yield map of field no. 78, 84, 85 and 86 of the 2nd crop of 1999.

表1. 部份供試田區八十九年一期及二期稻穀產量調查。

Table 1. Grain yields of experimental plots harvested from of the 1st and 2nd crop of 2000.

(a) 1st crop of 2000 Unit：kg/ha

Field No.	43	78	86	85	84	81
Avg.	7198	7768	8347	7851	7961	8164
Max.	9984	10528	10790	11425	10758	10363
Min.	5091	5222	5289	5852	4967	5939

(b) 2nd crop of 2000 Unit：kg/ha

Field No.	43	78	86	85	84	81
Avg.	6440	6337	7372	6613	7152	6327
Max.	7327	8482	8377	7475	8059	7536
Min.	5851	4217	6086	5797	5647	4876

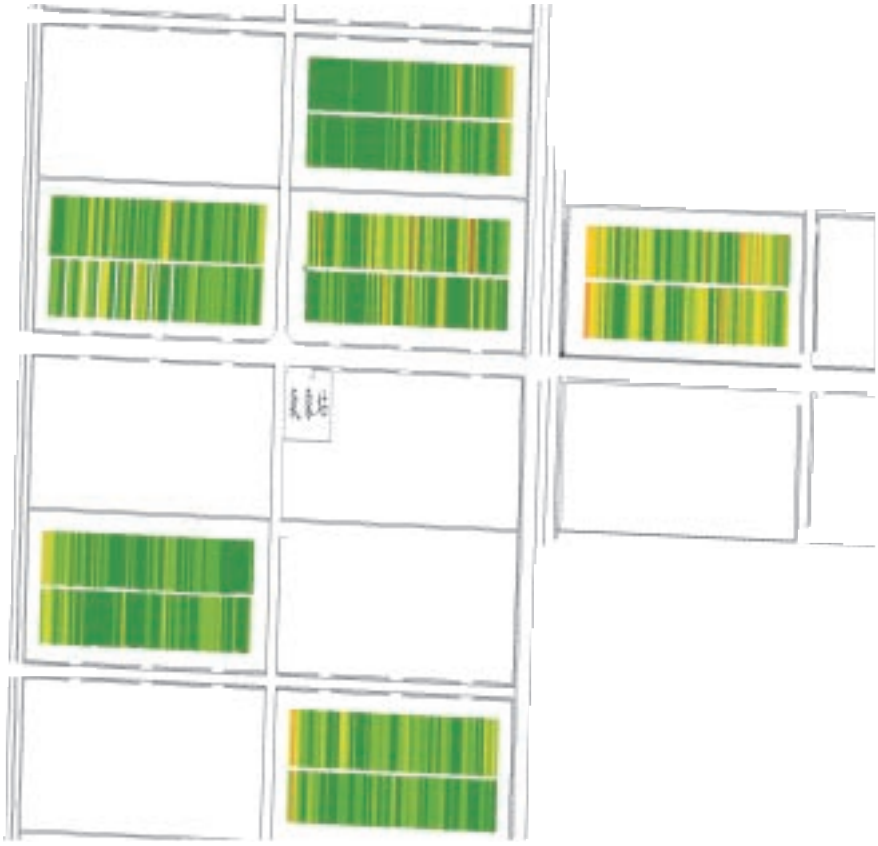


圖2. 部份供試田區八十九年一期稻作產量分佈圖。

Fig. 2.The grain yield map of field no. 43, 78, 81, 85 and 86 of the 1st crop of 2000.

示，且自八十九年起擴大稻穀產量調查面積爲第43、78、81、84、85、86號等六塊田區，並爲改進第一次調查區面積不一以及利於機械收割之方便性，以減少造成繪圖困擾之缺失，故將每筆資料之調查面積統一爲1.2公尺×20公尺，總計共840筆調查面積資料。其中，樣區如因採樣或坪割的缺株，皆依損失株數，按樣區平均株產量補齊。雖然是以人工方法配合克難之收割機調查稻穀產量，但所得資料足供本計畫研究田區產量變異之參考。

根據農場經營小組提供之資料顯示，八十九年一期稻作全部試區之總產量約爲67,822公斤，平均產量約爲6,262公斤/公頃，其中，以42號田區之7,088公斤/公頃爲最高；而以39號田區之4,471公斤/公頃爲最低。如以小區產量而言，則最高產量爲77號田B1之8,142公斤/公頃；最低產量則爲39號田D1之3,431公斤/公頃。八十九年二期稻作全部試區之總產量約爲59,515公斤，平均產量約爲5,495公斤/公頃，本期稻作以84號田區之6,421公斤/公頃爲最高；而以75號田區之4,424公斤/公頃爲最低。如以小區產量加以比較，則最高產量爲84號田A2之7,005公斤/公頃；最低產量則爲75號田B2之3,537公斤/公頃。另外，由研究探討中可發現，在二十塊精準農耕田區中，一期稻作表土之平均全氮含量約

在0.08～0.14%之間；底土之平均全氮含量則約在0.08～0.11%左右(未示出)。其中，以39號田表、底土之全氮含量最高，平均爲0.13～0.14%左右，而39號田之稻株葉片氮含量，亦是所有田區中最高者，但其稻穀產量卻是最低者，此一情形可能係由於氮肥施用不當及生產日數不足所致。

由空白試驗調查瞭解，田區內之稻穀產量有相當大之變異，即表示田區中有許多生產限制因子頗能影響稻穀產量，須待加強田區管理技術，方可降低田區內之收穫物變異量。一般主要爲土壤基本性質、養分供應以及病蟲害管理等因素，係稻穀產量變化之主要原因。如前言中所述，精準農業之主要工作乃是繪製產量圖並將各生產限制因子找出來以掌握其動態變化，以便因應生產條件之不同而加強管理，進而解決農作物收穫之變異量(Earl *et al*., 1996)。試驗田區產量變異之原因，可歸納下列幾個因素：氣象因子、土壤水分變化、土壤物理與化學基本性質、地形因素、作物病蟲害與雜草、作物品種或栽培密度與整齊度、施肥管理、田間經營管理歷史及田區操作管理技術與失誤等(Macbratney, 1997)。本研究試驗田區內稻穀產量之變異，推測主要乃由於下列因素所造成，包括各田區之土壤性質變異、前期田區土地利用不同(如圖3所示) 所造成之土壤殘留養分不一、人工施肥不均勻以

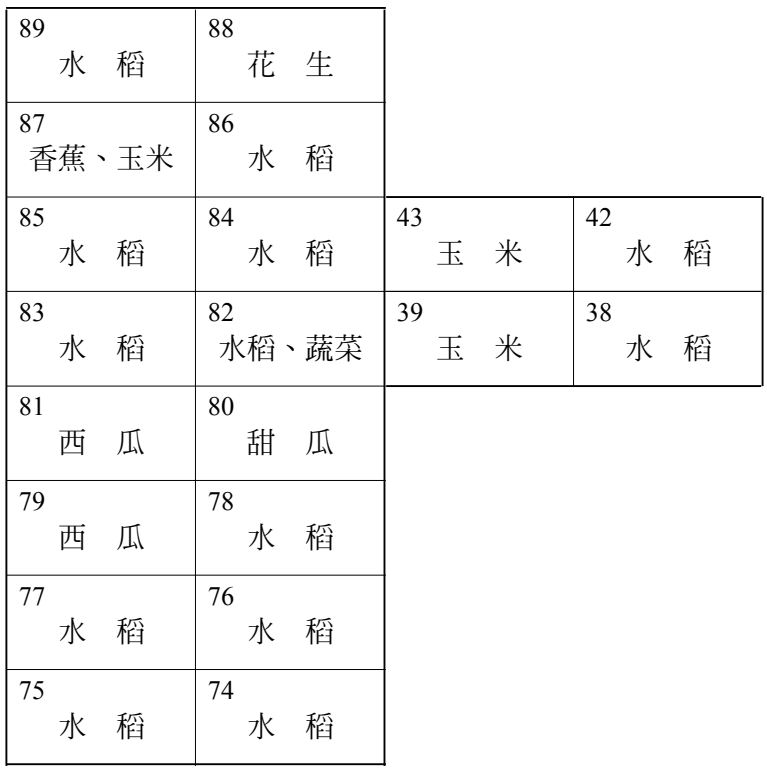


圖3. 八十九年一期作水稻精準試驗田區前期作物種類分佈圖。

Fig 3. Crops cultivated in the field of precision farming experiments prior to the 1st rice cropping season of 2000.

及其它之農田管理因素，例如插秧行距變化、整地不平坦、病蟲害或鼠害等。

肆、水稻植體分蘖盛期營養元素含量概況

水稻植體內之營養元素含量，多隨作物生長期、作物品種、氣候以及施肥量等因素之不同，而有相當大之差別，且其最適當含量又不易定出，故在此僅以各試驗田區分蘖盛期內之營養元素含量作一比較及探討。

一、八十九年一期稻作

八十九年一期稻作分蘖盛期稻株之營養元素含量概況如表2顯示，各營養元素含量範圍分別爲：氮1.55~3.65%；磷0.32~0.43%；鉀2.09~3.09%；鈣0.21~0.28%；鎂0.17~0.23%；鐵71~320ppm；錳338~1219ppm；銅3.93~7.40ppm；鋅31.7~42.1ppm；硼3.12~4.07ppm。其中，39號田稻株之氮、磷、鉀、鐵含量均高於其他田區之稻株，此可能主要因爲39號田區在一期稻作比其他田區栽種時間晚，導致分蘖盛期採樣時期較其他田區提早，造成稻株之營養要素含量遠高於其他田區。而所有田區稻株營養要素含量之平均值，與Tanaka and Yoshida(1970)提出之水稻植株營養要素含量進行比較(亦如表2所示)，發現所有田區之磷、鉀、鈣、鎂、鋅之平均營養要素含量均高於Tanaka and Yoshida(1970)所提出的磷、鉀、鈣、鎂、鋅的診斷標準；而所有田區氮含量之平均值竟比Tanaka and Yoshida(1970)所提出之氮含量診斷標準低約0.6％。探究其原因可能係因爲 (1)採樣時間不同，則水稻因生長時期不同，稻株吸收要素含量及種類亦不同；(2)若採樣時期一樣，但因施肥量或肥料種類不同，則水稻植株吸收量亦不相同。

二、八十九年二期稻作

水稻植體分蘖盛期營養元素含量八十九年二期稻作，採取六個田區進行分析探討，如表3所示，由表中顯示分蘖盛期稻株之營養元素含量範圍分別爲：氮2.58~3.01%；磷0.32~0.34%；鉀2.73~3.39%；鈣0.22~0.27%；鎂0.18~0.21%；鐵224~335ppm；錳318~393ppm；銅3.40~5.0ppm；鋅33.1~39.7ppm；以及硼4.79~5.32ppm。六個田區稻株營養要素含量之平均值與Tanaka and Yoshida(1970)提出之水稻稻株營養要素含量比較(如表3所示)，發現所有田區之磷、鉀、鈣、鎂、鋅之平均要素含量，均高於Tanaka and Yoshida(1970)所提出的磷、鉀、鈣、鎂、鋅之診斷標準；而六個田區氮含量之平均值，亦比Tanaka and Yoshida(1970)所提出之氮含量診斷標準低約0.3％。其原因可能與上述八十九年一期作所提出之原因相近。

綜觀八十九年一、二期稻作分蘖盛期水稻植株之平均營養要素含量，發現一期作之氮、鉀、鐵含量遠低於二期作；磷、錳含量則遠高於二期作；而鈣、鎂及銅、鋅、硼等含量則差異不大。此一現象可能由於一期稻作之氣候條件爲：溫度高，蒸散作用快，水稻生育速度快；而二期稻作之氣候條件爲：溫度較低，蒸散作用慢，水稻生育速度較緩慢，故造成一、二期水稻稻株之營養要素吸收量不同所致。

表2. 八十九年一期稻作分蘗盛期稻株之營養元素含量。

Table 2. The nutrition contents of rice plants measured at the maximum tillering stage of the 1st crop of 2000.

Field No.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Yield
	----------%----------					----------ppm----------					ton/ha
38	1.88	0.32	2.14	0.25	0.17	87	721	6.73	33.8	3.32	5.72
39*	3.65	0.43	3.09	0.22	0.19	320	338	7.40	32.6	3.65	4.47
42	2.11	0.32	2.09	0.25	0.18	91	679	5.58	32.6	3.32	7.09
43	2.32	0.39	2.65	0.27	0.21	99	864	7.33	34.0	3.54	5.94
74	1.82	0.36	2.37	0.24	0.17	101	756	6.66	35.0	3.45	6.59
75	2.03	0.38	2.32	0.28	0.18	117	667	5.43	36.9	3.54	5.87
76	1.74	0.38	2.64	0.23	0.17	101	708	4.39	31.7	3.44	6.25
77	1.74	0.36	2.30	0.23	0.17	87	705	5.32	33.0	4.07	6.74
78	1.79	0.37	2.39	0.23	0.18	82	941	6.83	35.4	3.67	6.66
79	1.82	0.39	2.39	0.25	0.21	71	620	6.71	37.0	3.54	5.97
80	1.59	0.34	2.19	0.21	0.17	75	564	5.64	34.8	3.36	6.14
81	1.66	0.38	2.40	0.23	0.18	76	736	5.47	35.0	3.47	6.56
82	2.20	0.41	2.71	0.23	0.17	123	662	6.68	34.9	3.67	6.31
83	1.61	0.39	2.38	0.25	0.19	81	612	5.50	34.7	3.54	6.55
84	1.67	0.37	2.19	0.26	0.17	77	580	4.39	33.0	3.56	6.76
85	1.65	0.39	2.28	0.25	0.18	82	1140	5.93	38.3	3.88	6.43
86	1.66	0.37	2.18	0.26	0.17	75	725	3.93	32.9	3.36	6.73
87	2.03	0.43	2.93	0.26	0.23	97	644	6.81	41.0	3.46	5.68
88	1.55	0.36	2.26	0.26	0.18	80	617	4.67	35.4	3.12	6.25
89	1.64	0.38	2.42	0.27	0.20	79	1219	6.01	42.1	3.65	6.37
Mean	1.91	0.38	2.42	0.25	0.18	100	725	5.87	35.2	3.53	6.25
** Critical	2.50	0.20	1.8-2.3	0.20	0.15	70-300	20-2500	6-30	27	3.4-10	

* The transplanting time was delayed, about 2 weeks for the experimental plot No. 39.

** Tanaka and Yoshida, 1970.

伍、分蘖盛期營養元素含量與產量變異之相關性

一、八十九年一期稻作

八十九年一期稻作除39號田 (插秧時間晚，而採收時間又與其他田區相同，導致稻穀產量最低) 外，其餘各田區之稻穀產量以42號田最高，爲7.09 噸/公頃；其次爲74號、77號、78號、81號、83號、84號以及86號田，稻穀產量均在6.5噸/公頃以上；而87號、38號、75號、79號以及43號田，稻穀產量較低，均在6.0噸/公頃以下；其餘田區之稻穀產量均在6.0~6.5噸/公頃之間，亦如表2所示。

八十九年一期稻作分蘖盛期營養元素含量與產量變異之相關性，如表4所示，由表四可發現稻穀產量與氮、磷、鉀、鎂、鐵、錳以及銅等營養元素呈負相關，且達 p＜0.01之顯著水準，與鈣、鋅、硼等營養元素則無明顯相關。其中，產量與氮、鉀及鐵之相關係數較高，分別爲 -0.47**、-0.40**及 -0.51**，此一現象說明了分蘖盛期水稻植株中之氮、鉀及鐵的含量增加越多，則稻穀產量可能會降低越多，顯示此時施肥量已達水稻所需的養分量，且有過量之嫌。但仍需與土壤環境及氣候因素作比較，方可確定其相關性之準確度。

此外，由各營養元素彼此間之相關性顯示，氮之吸收量與鉀、鐵及銅呈顯著之正相關，即水稻植體之氮吸收量增加時，對於鉀、鐵及銅之吸收量亦隨之增加；磷之吸收與鉀、鎂及矽亦呈較顯著之正相關；鉀與鎂、鐵及銅之吸收情形有關；而鎂則與銅及鋅之吸收量有關。由各元素彼此間吸收量之關係，說明了某些元素之吸收，彼此間應有協同作用(如氮、鉀、鐵)，而有些元素則會有擷抗作用(如鐵與錳)。

表3. 八十九年二期稻作部份供試田區分蘖盛期稻株之營養元素含量。

Table 3. The nutrition contents of rice plants measured at the maximum tillering stage of the2nd crop of 2000.

Field No.	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Yield
	----------%----------					----------ppm----------					ton/ha
43	3.01	0.33	2.73	0.27	0.19	335	366	3.40	38.6	4.90	5.93
78	2.87	0.32	2.77	0.27	0.21	290	320	4.23	34.5	5.39	5.48
81	2.84	0.32	2.99	0.27	0.20	315	393	4.13	39.7	5.18	5.74
84	2.70	0.32	3.13	0.25	0.19	281	318	4.20	33.8	4.82	6.42
85	2.58	0.32	3.26	0.24	0.19	224	386	5.00	33.1	4.79	6.34
86	2.75	0.34	3.39	0.22	0.18	245	369	4.23	36.9	5.02	6.40
Mean	2.79	0.32	3.05	0.26	0.19	282	359	4.2	36.1	5.02	6.05
* Critical Conc.	2.50	0.20	1.8-2.3	0.20	0.15	70-300	20-2500	6-30	27	3.4-10	

* Tanaka and Yoshida, 1970.

二、八十九年二期稻作

八十九年二期稻作之稻穀產量與分蘗盛期水稻植株之氮、鈣、鎂、鈉以及硼等營養元素呈負相關，且達 $p<0.01$之顯著水準；另外，稻穀產量與稻株鉀含量成正相關，且達 $p<0.01$之顯著水準；而稻穀產量與磷、鐵、錳、銅、鋅則無明顯相關，且均未達顯著水準，均如表5所示。上述結果顯示二期稻作之氮、鈣及鎂肥均已施用足量，甚至已過量，而鉀肥則仍有施用之空間。

此外，由八十九年二期作稻株各營養元素彼此間之相關性顯示，氮之吸收量與磷、鎂、鋅呈明顯正相關，與鉀則呈負相關，亦即二期水稻植體之氮吸收量增加時，對於磷、鎂及鋅之吸收量亦隨之增加，而鉀之吸收則降低。各營養元素彼此間之相關性則顯示，鉀與鈣、鈉呈明顯負相關，顯示鉀吸收越多時，鈣與鈉之吸收則越低；另外，鈣則與鎂、鈉呈明顯正相關。

因此，由上述及表4可知，影響八十九年一期稻作產量最大的營養元素爲氮、鉀、鐵；而由上述及表5可知，影響八十九年二期稻作產量最大的營養元素則爲氮、鉀、鎂、硼以及鈉等。在產量方面，八十九年二期稻作之產量遠較一期稻作爲低，最大原因可能爲氣候條件(氣溫較低)之不同，致使植株生育速度變慢，對營養元素之吸收亦變慢，使得光合作用效率降低，而光合成產物減少，導致八十九年二期稻作產量明顯低於一期稻作。

表4. 八十九年一期稻作分蘗盛期營養元素含量與稻穀產量之相關性。

Table 4. The correlation coefficient matrix of nutrition contents and rice yields at the maximum tillering stage of the 1st crop of 2000.

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Na	Yield
N	0.38	0.64	-0.04	0.33	0.87	-0.32	0.51	-0.06	0.27	0.41	-0.47**
P		0.69	0.17	0.62	0.38	0.09	0.35	0.54	0.35	-0.08	-0.24**
K			-0.06	0.55	0.61	-0.09	0.51	0.27	0.25	0.04	-0.40**
Ca				0.47	-0.11	0.19	-0.03	0.24	0.04	0.46	0.10
Mg					0.14	0.19	0.53	0.63	0.29	0.20	-0.22**
Fe						-0.40	0.34	-0.08	0.16	0.34	-0.51**
Mn							0.16	0.44	0.24	-0.13	0.26**
Cu								0.37	0.27	0.06	-0.29**
Zn									0.21	-0.06	-0.04
B										-0.13	-0.02
Na											-0.23**

* Significant at 5 % level ; ** Significant at 1 % level .

陸、結 語

由八十九年一期稻穀產量分佈圖，調查發現正常水稻田區之稻穀總產量約爲67,822公斤，平均產量約爲6,262公斤/公頃；八十九年二期稻作全部試區之總產量約爲59,515公斤，平均產量約爲5,495公斤/公頃，一般而言，正常田區同一塊田之產量變異率約在12%左右。造成八十九年二期稻作之產量遠較一期稻作爲低之主要原因，應爲氣候條件之不同，致使植株生育速度變慢，對營養元素之吸收亦變慢，使得光合作用效率降低，進而造成光合成產物減少所致。各元素彼此間吸收量之相關性，說明某些元素之吸收，彼此間有協同作用存在，而有些元素則會有擷抗作用之現象。土壤性質變異、前期田區土地利用之差異、人工施肥不均勻、插秧行距變化、整地不平坦、病蟲害及鼠害等均會造成產量之變異。故評量試驗田區植物營養狀態之時間與空間變異，以及評估產量之質、量組成因素的相關性，均可供爲變量施肥器施用養分資材之依據，以及產量與施肥管理相關性之基礎，俾以作爲探討精準農業作物營養變異與土壤性質變異之參考。

柒、引用文獻

1. 郭鴻裕、朱戩良、江志峰、劉滄琴、劉禎祺。1999。臺灣地區農田土壤品質監測網之建立與應用。年度報告(未發表)。
2. Earl, D. C. R., P. N. White, B. S.

表5. 八十九年二稻作分蘖盛期營養元素含量與稻穀產量之相關性。

Table 5. The correlation coefficient matrix of nutrition contents and rice yields at the maximum tillering stage of the 2nd crop of 2000.

	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Na	Yield
N	0.62	-0.35	0.39	0.58	0.37	-0.02	-0.23	0.52	0.31	0.40	-0.51**
P		0.42	-0.28	0.32	-0.03	0.05	0.24	0.27	0.09	-0.25	-0.16
K			-0.77	-0.38	-0.45	0.14	0.46	-0.17	-0.24	-0.89	0.49**
Ca				0.66	0.46	0.01	-0.27	0.29	0.36	0.74	-0.37**
Mg					0.14	0.07	0.17	0.23	0.58	0.53	-0.53**
Fe						0.18	-0.36	0.35	0.18	0.47	-0.27
Mn							0.22	0.32	0.12	-0.20	0.08
Cu								-0.35	-0.05	-0.38	0.05
Zn									0.38	0.19	-0.25
B										0.38	-0.48**
Na											-0.57**

* Significant at 5 % level；** Significant at 1 % level.

Blackmore and R. J. Godwin. 1996. Precision Farming-The Management of Variability. Landwards 51(4): 18-23.

3. Macbratney, A. B. and M. J. Pringle. 1997. Spatial variability in soil-implications for precision agriculture. Keynote papers. In 1st European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
4. Oliver, M. A., Z. Frogbrook, R. Webster, and C. J. Dawson. 1997. A rational strategy for determining the number of cores for bulked sampling of soil. Soil factor section. In:1st European conference on precision agriculture. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London. UK.
5. Roberson, G. T. 1997. Precision agriculture: A comprehensive Approach. p2. North Carolina University.
6. Tanaka A. and S. Yoshida.1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. IRRI. Technical Bulletin 10.

12 The Relationships between Rice Yield Variability with crop Nutrients on Precision Agriculture

Ay-Hwa Chang, Jen-Chyi Liu, Yahn-Chir Lee and Chien-Liang Chu
Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan ROC
E-mail:ahchang@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Paddy rice is the main crop for the study. The experiment field of precision agriculture is located at Taiwan Agricultural Research Institute Experimental Farm. We have analyzed and evaluated the rice nutrient spatial distribution and the soil variation of the experiment farm. Geo-statistic software and GIS were applied to map detailed plant nutrient distribution map of experiment fields. The rice yields and plant nutrition data were analyzed by co-kringing method to find the best relationship of rice nutrient and crop yields. For precision agriculture, efficient and accurate methods for assessing the spatial variability of rice nutrient, and relating it to yield quantity and quality component, must be developed and utilized in order to build the relationships between plant nutrient and growth variability.

Key words: Precision agriculture, Plant nutrition, Fertility management.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
水稻精準施肥決策系統初擬
167-178, 2002

13 水稻精準施肥決策系統初擬

陳琦玲　林毓雯　王鐘和　張瑞明　劉滄棪
行政院農委會農業試驗所農化組
E-mai:chiling@wufeng.tari.gov.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 168
壹、前　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 168
貳、精準施肥之流程 －－－－－－－－－－－－－－－－－－ 168
參、水稻肥料三要素之推薦原則 －－－－－－－－－－－－－ 170
肆、施肥方式 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 173
伍、結語 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 176
陸、誌謝 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 176
柒、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 176

13 水稻精準施肥決策系統初擬

陳琦玲　林毓雯　王鐘和　張瑞明　劉滄棪
行政院農委會農業試驗所農化組
E-mai:chiling@wufeng.tari.gov.tw

摘　要

水稻精準施肥決策系統目前僅先進行台灣栽種面積較廣之台農67號、台梗8號與台中秈10號等品種之氮、磷、鉀三要素之推薦量，未涉及其他要素之推薦。氮肥推薦原則乃以前人水稻肥料試驗結果之推薦量範圍爲基準，再依期作生產力、有機資材之施用量及土壤特性，依序調整其推薦量或施肥方式。調整程序乃先將1991年全省一、二期作十個生產力等級調整爲四個等級，以決定推薦量基準，生產力愈高則推薦量愈高。推薦量再扣除有機資材或前作殘體之施用與將提供之肥分。若考慮生產良質米則僅施推薦量的90％。至於施肥方式，則採用深層施肥者以推薦量之70％爲基肥，穗肥則依葉綠素測值或遙測資料決定全量施用或酌減施用；採用撒施者，則依土壤質地來決定每次施肥之比例，其穗肥之分配量依幼穗形成期之葉色或遙測資料決定全量或酌減施用。磷、鉀肥的推薦量則依土壤有效性磷、鉀的含量而定。磷肥之施肥方式以全部當基肥，但花蓮及宜蘭等地區則以推薦分施爲原則，鉀肥之施肥方式亦以分施爲原則。肥料實際施用量則依肥料種類再作調整。本系統將於91年度以此施肥推薦原則進行程式化。

關鍵詞：水稻、施肥、決策系統。

壹、前言

精準農耕中施肥推薦之目標，在依據土壤的空間變異，推薦不同的施肥量，以保護環境與節省資源。在執行上，乃在(及時)獲得土壤空間的肥力狀態後，即藉助施肥決策系統判定合適的推薦量，並藉著資訊傳達與農機操作，適時適地給于作物合適的肥料推薦量，以達生產與環保的目標。

有關水稻的施肥推薦，連(1996)已整合多年的試驗資料，完成相當系統化的施肥推薦，並且透過施肥手冊推廣於農民。本系統係藉電腦化聯結水稻生產力資料庫和土壤特性與肥力資料庫，作爲施肥推薦之參考資料，並且提供可讀取及時肥力與

營養狀態測定資料之功能，以期達到更迅速與精準之目標。

台灣農民因有施肥爲增量之法寶的觀念，普遍有過度施肥之習慣。根據統計資料，台灣化學肥料施用量高於開發中國家甚多。又根據台中地區水稻氮肥施用量調查，一期稻作有79％的農民超量施用，而二期稻作高達92％農民超量施用氮肥。磷與鉀肥亦有類似情形，僅比例上較低(王，1998)。台灣目前每公頃三要素施用量平均約505公斤，遠較施肥多之先進國家日本407公斤爲高，確實有改善空間。雖然精準農耕之全面執行仍有其困難之處，如成本太高、某些技術尚未成熟等，但藉由精準的機械施肥之執行，應可達合理化施肥之目的，減少化學肥料的浪費，及過度施肥所引起之環境問題。

按計畫之進度，本年度乃先研擬水稻施肥決策系統之架構，91年度則進行程式化(programming)。

貳、精準施肥之流程

精準農耕中爲克服土壤肥力空間變異所導致之產量空間變異，仍藉由遙感探測及肥力及時感測等技術，獲得田區之土壤肥力或作物生長空間變異圖，再經由施肥決策系統，控制農機變量施肥，以達到精準施肥之目的。其過程大致如圖1之流程。首先必須藉由定位系統進行測點之定位，並透過各種感測技術獲得產量圖(可顯示田區期作生產力)、土壤特性圖及植物營養狀態圖，經決策系統之判定，再控制農機進行定位變量施肥。上述技術某些還在開發中，如土壤肥力及時測定器，但因土壤的磷鉀含量變化較小，因此目前仍採傳統人工採樣並以實驗室化學分析方法測定，再以地理統計方法繪出空間分佈的肥力圖，或以前人土壤調查繪製的肥力圖代之。

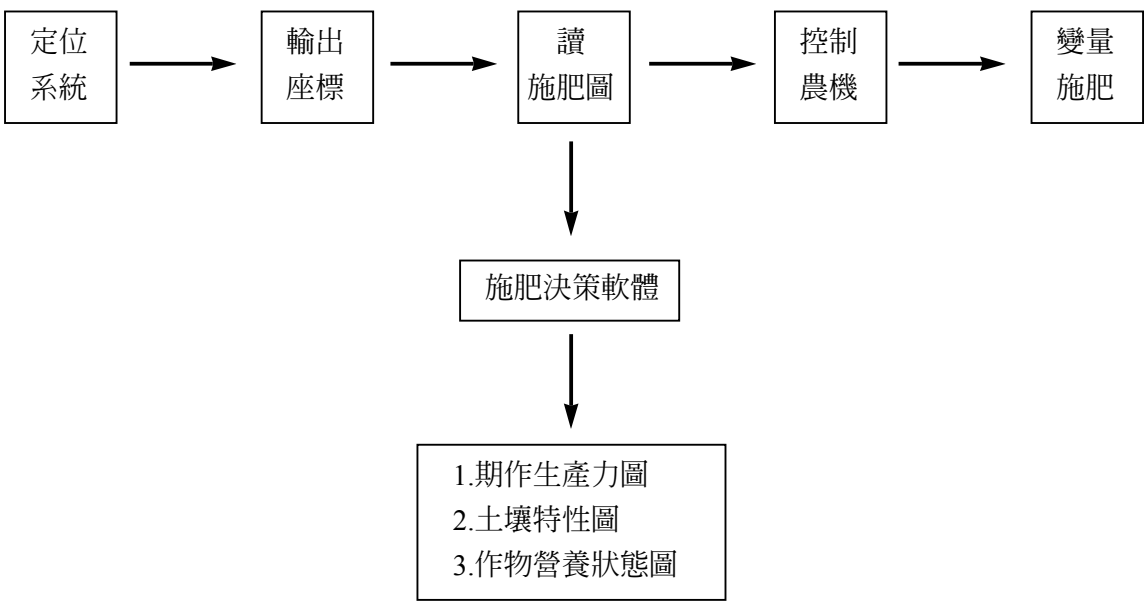


圖1. 精準施肥流程。

參、水稻肥料三要素之推薦原則

植物需求之要素共有碳、氫、氧、氮、磷、鉀、硫、鈣、鎂、矽、鐵、錳、鋅、銅、鉬、硼、氯等17種元素。其中除了碳、氫、氧係由空氣與水供給外，餘均靠土壤供給。植物自土壤中吸取的要素中，由於氮、磷、鉀三種要素之需要量較多，而且土壤中常無法充份供給，需要以肥料補充，稱爲肥料三要素。本研究配合農機之開發，先針對肥料三要素進行推薦。

土壤中某種要素之供給量低，則供給該種要素之肥料需要量高，施用效果亦大，反之則小。由多處肥料試驗之結果可以求得肥料效果指數（或肥料經濟用量），與土壤養分測定值（要素供應能力）間之相關。推薦磷、鉀需要量之最科學方法即應用此原則。氮肥需要量由於田間土壤之理化性質、氣候與耕作方式之變化，對土壤有機質分解之影響極大，頗難憑化學分析推測不同地點土壤之氮肥需要量，故在氮肥推薦需依賴過去由田間試驗所得結果與生長期間作物之反應，來調節其施用量。

由於氮素在土壤中之轉化過程較複雜，且易造成環境問題，因此施肥量研判之原則亦較複雜，氮肥的推薦流程如圖二，主要是依據前人水稻試驗結果之推薦量爲範圍，再依期作生產力、有機資材之施用量（包括前作殘留量）、米質以及土壤之質地等，依序調整其推薦量或施肥方式。磷、鉀之施肥量則僅依據土壤之有效磷、鉀含量來推薦。

一、氮肥推薦原則

水稻的生產主要賴於土壤的氮素肥力，因爲氮素是土壤中最易缺乏的要素，因此土壤氮素肥力管理是相當重要的，根據前人的研究結果，氮素的推薦基於品種、區域與期作，土壤因子中則以剖面質地、pH與排水狀態最爲影響水稻的產量，其次是土壤有機質含量與無機態氮濃度（Lian, 1989）。

1. 期作生產力

本系統之氮肥推薦量在期作生產力之考量上，乃引用陳與郭(1991)之台灣地區稻田生產力分級規範，並在顧及農機限制及稻田生產力圖將來的應用，乃將原來的十級生產力概分爲四級。由於水稻現今的栽培技術更勝於生產力調查之時，因此生產力等級之第一級仍爲第一級(產量>6.2 Mg/ha)，生產力等級之第二~四級則歸爲第二級(產量6.2-5.2 Mg/ha)，第五~七級則歸爲第三級(產量5.2-4.2 Mg/ha)，第七級以上者則歸爲第四級(產量<4.2 Mg/ha)。期作生產力可由收獲監測機獲得各田間水稻產量空間分佈圖，或以台灣一、二期作水稻生產力圖(陳與郭，1991)爲基準。各等級之施肥量則依據品種、期作與栽培方式，而有不同的氮肥推薦量（連，1996；黃，1978），如表1。

目前系統推薦之稻種，粳稻爲台農67號與台粳8號，秈稻爲台中秈10號，是台灣目前栽種面積較廣之品種。若爲其他品種之水稻，則較易倒伏之粳稻、早熟稻與圓型糯稻則比照粳稻減施15kg/ha。若爲長粒型糯稻推薦量與秈稻同。系統亦將預留擴充性，以增加不同品種之施肥推薦。

在栽培管理對氮素之需求方面，直播水稻因初期沒有保持浸水狀態，硝化作用旺盛，氮肥損失較移植栽培爲大，因此水

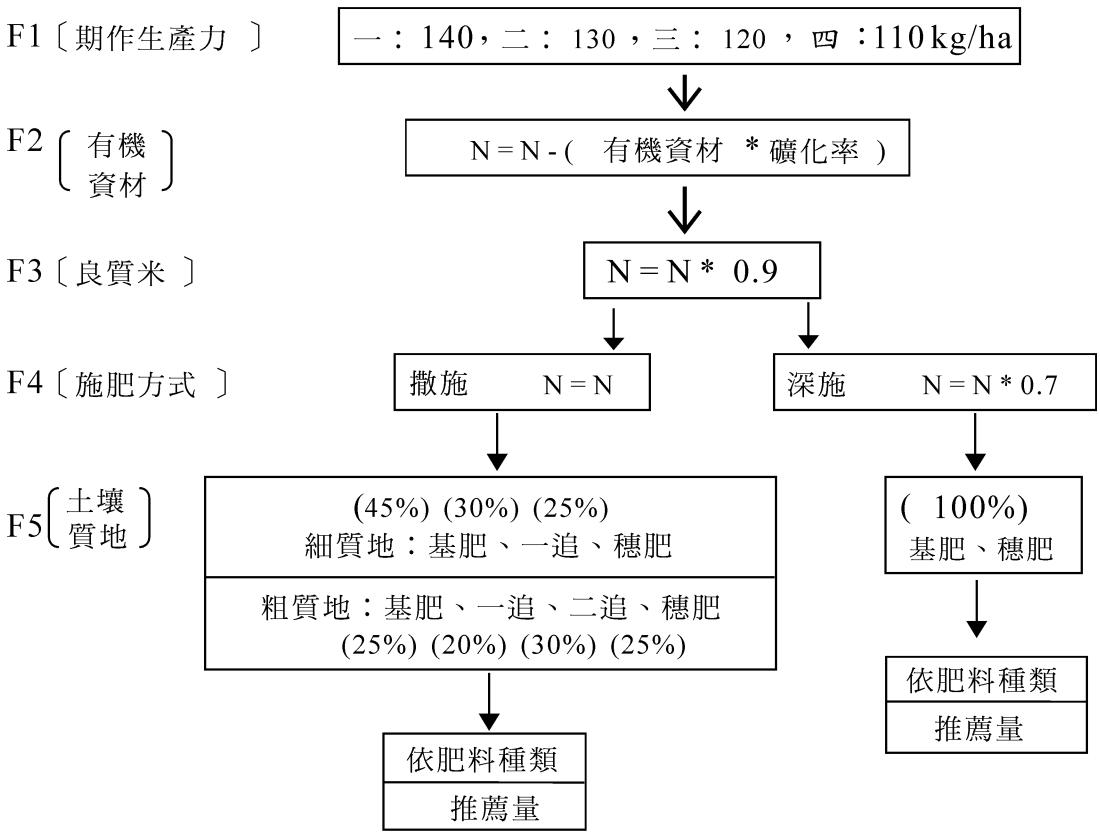


圖2. 施肥決策系統中一期作粳稻一般水田之氮肥推薦流程。

表1. 氮素推薦量等級。

	等級	I	II	III	IV
	產量（kg/ha）	>6.2	6.2-5.2	5.2-4.2	<4.2
第一期作	氮素推薦量（粳稻）	140	130	120	110
	氮素推薦量（籼稻）	150	140	130	120
第二期作	氮素推薦量（粳稻）	120	110	100	90
	氮素推薦量（籼稻）	130	120	110	100

註：一、粳稻：台農67號、台粳8號，籼稻：台中籼10號。

二、較易倒伏之粳稻、早熟稻與圓型糯稻則比照粳稻減施15kg/ha。若爲長粒型糯稻推薦量與籼稻同。

三、水田直播用量比照一般栽培增加20%。

稻之氮肥需要量增加，故系統建議較一般移植栽培增加20％之施肥量。行輪流灌溉及滲透快之水田亦因同樣理由，應增加氮肥需要量。

2. **作物殘體或有機資材之添加**

據估計(連，1996)，稻蒿在一作期間的礦化率約爲10-30％。豬糞堆肥、牛糞堆肥和稻草堆肥等(C/N=10-15)在一作間之礦化率爲50-80％。綠肥、豆粕與雞糞等(C/N=8-10)，在土壤中之礦化甚迅速，其在一作間之礦化率幾近100％。本系統中爲計算方便，乃設定作物殘體一期作的礦化率爲20％，二期作爲30％，堆肥一期作的礦化率爲60％，二期作爲80％，綠肥、豆粕與雞糞的一、二期作的礦化率均爲100％。由於田間前作殘體的殘留量不易估算，因此若沒有實測值，即以水稻產量視爲殘體可能殘留總量(假設收穫指數爲0.5)，並以稻蒿殘體一般含氮量0.6％，計算殘留氮量。氮素推薦量除了扣除前述作物殘體之殘留氮量外；若田間施用有機資材，氮素推薦量亦按前述期作礦化率加以扣除。如前作爲蔬菜，其殘留的肥分很多，應另作考量。如稻蒿殘體移走或燒

表2. 根據土壤肥力分析結果磷酐推薦量（公斤／公頃）：

土壤有效性磷（P）（白雷氏第一法）		磷酐推薦量（公斤／公頃）	
含量（ppm）	等級	一期作	二期作
0～ 1.6	極低	75	50
1.7～ 5.0	低	60	40
5.1～12.0	中	45	30
12.1～30.0	高	30	20
＞30.0	極高	15	0

(Sources: Su, 1975; Lian 1989)

表3. 根據土壤分析結果氧化鉀推薦量（公斤／公頃）：

土壤有效性鉀(K)（孟立克氏法）		氧化鉀推薦量(公斤／公頃)	
含量（ppm）	等級	一期作	二期作
0～15	極低	60	80
16～30	低	45	60
31～50	中	30	40
＞50	高	15	20

註：一、排水不良土壤按推薦量每公頃增加氧化鉀(K_2O) 30公斤
二、新竹及台北地區砂頁岩沖積土和紅壤其「中」及「高」改爲「中」30～70ppm，「高」大於70ppm. (Sources: Su, 1975; Lian 1989)

毀，則不扣除其可礦化氮量。

3. **米質**

根據作物施肥手冊中水稻之施肥推薦(連，1996)，生產良質米時，氮素用量應較一般推薦量減施10％～15％。

二、磷、鉀肥推薦原則

磷、鉀肥的推薦量，主要是基於許多試驗單位田間土壤分析的校正，再經Su(1975)及Lian(1989)修正整合而得。按土壤肥力分析結果磷酐推薦量如表2，氧化鉀之推薦量如表3。由於磷、鉀素常被土壤固定，不易被植物吸收，因此即使土壤有豐富的磷、鉀，仍然需要施用磷、鉀肥，以提供植物所需。根據試驗結果，以白雷氏第一法及孟立克氏法所測定之土壤有效磷與有效鉀濃度，最能反應植物可利用之土壤中的磷、鉀素(林，1983；林，1978)，因此以土壤的有效性磷、鉀代表土壤可供給之磷、鉀素。表2與表3即以水稻生長所需磷、鉀素，扣除土壤有效磷與有效鉀含量，而推估磷、鉀肥推薦量。

北部紅壤，主要分佈於桃園、新竹兩縣(陳，1976)。紅壤曾經悠久之風化淋溶其一般特性爲強酸性，有機物質及鹽基含量均低，而鐵鋁氧化物含量特高(陳，1979)，其吸著磷之能力強，而植物可利用之養分如氮、磷、鉀、矽、銅、鉬(李，1982)等含量均低。其當稻田者土壤質地一般相當粘重而結構緊密、透水性弱、通氣性劣（農試所，1975），相當於因滲漏水被阻滯而呈過度還原狀態。因此，水稻對鉀肥之吸收受阻，鉀肥之需要量（推薦量）較其他土類高。另外，根據試驗結果，排水不良的土壤，鉀之吸收受阻，鉀肥的推薦量必須增加。系統對於排水不良的土壤，即農試所土壤資料庫中排水等級列第四級(極不良)者，建議鉀肥的推薦量再增加30kg/ha。

肆、施肥方式

施肥的效應亦因施肥位置及時期而有很大的差異。因各種要素養分在土壤中之行動及作物營養之功能有所不同，故各種作物所需不同要素之施肥方法(施肥位置、時期)亦有所不同。一般水稻的施肥方式分爲撒施、條施與深層施肥。

一、 撒施與條施

1. **施肥位置**

要素在土壤中之流動及擴散，以氮素最速，磷不易移動，鉀在其間。土壤質地黏重時，因孔隙小及吸附力強，所施肥料之移動較在砂質土壤爲慢，故肥料在黏質土壤之肥效較緩，流失較少，肥害亦少。反之肥料在砂質土壤之效果較速，流失較多，肥害亦多，故氮、鉀肥應分施，其基肥用量在砂質土壤應小於黏質土壤，施肥位置應較後者遠離種子，同時追肥次數亦應增加。

磷肥應以全量或多量爲基肥施用，因磷肥在旱田中被土壤固定而不易移動，故施在土壤表面之磷肥不易被根部吸收；如撒施，亦難在早期利用，故磷肥應以條施方式施入適當位置。

在水田中磷亦不易移動，故當追肥施用而未混入土中之磷肥效果不佳，但在砂質水田爲還原性強之排水不良田，磷肥仍可溶解而向下移入；在此情形下，磷肥之分施有時優於全量作基肥施用者。

2.**施肥時期**：

表4. 肥料三要素施肥法（撒施）。

(一)氮肥分配率（％）

1.**一般水田**

品種	土壤	基肥	氮肥分配率			
			插秧後一期十五天、二期十天	插秧後一期三十天、二期二十天	插秧後一期四十五天、二期三十天	幼穗形成期(穗肥)
粳稻	質地較細者	45-50	－	30	－	25-20
	質地較粗者	25	20	30	－	25
	南部	30	－	30	40	－
籼稻	中北部	25	－	25	30	20

註：一、質地較細者：粘土,黏質坋質壤土
　　二、質地較粗者：砂質壤土

2. **漏水田**

施肥期	插秧後一期七天、二期五天	插秧後一期二二天、二期一六天	插秧後一期三七天、二期二五天	穗肥
分配率(%)	20	25	30	25

3. **直播水田(水田直播)**

地區	播種前	四－五葉期	四－五葉期後			幼穗形成期
			一期五天二期三天	一期十天二期七天	一期二十天二期十四天	
西台灣(新竹－一期除外)	－	25	－	25	25	25
台東	25	－	－	25	25	25
新竹、花蓮一期	25	－	50	－	－	25
花蓮二期	25	－	25	－	25	25

（二）磷鉀肥分配率（％）

肥料別	地區	基肥	一追	二追	穗肥
磷肥	一般地區標準法	100	-	-	-
	花蓮地區一期	50	30	20	-
	宜蘭地區	50	25~50	25~0	-
鉀肥	一般地區	0~40	40~0	40~60	(20~0)
	花蓮地區	20	30	30	20

(Source: Lian, 1996)

施肥時期的要點在於施用肥料時，適爲作物需肥時期，如是一方面可減少損失，另一方面可供作物適時利用。故追肥時期的適當與否，對於用肥的經濟與肥效，均有極大影響。

在積極的意義，施肥時期的運用尙有調節作物營養生長與生殖生長，達提高收穫指數或收穫物品質之功效，在水稻方面適當的施肥時期可提高穀蒿比，防止倒伏。

根據連(1996)提出之水稻肥料三要素之施肥法如表4。其中氮肥之分配率，依稻種、土壤特性而調整。磷、鉀肥之分配率則依區域土壤特性而不同。

二、深層施肥

根據調查結果，台灣氮肥的利用率低於50％(洪與劉，1979)，顯示氮素的損失對環境帶來的潛在衝擊。根據多人的研究結果(洪與劉，1979；洪等，1980)，深層施肥可提高肥料的利用率，以致減緩對環境的衝擊，亦節省能源。根據連（1983）之試驗，顆粒尿素之深施雖無增產效果，但較一般尿素之標準施法可節省20％之氮肥。深層施肥只要在基肥時，施用原來推薦量的70％，再依實際需要施用穗肥。因基肥係以機械施用，肥料種類以粒狀之複合肥料台肥5號爲原則，如需磷用量較多則改用台肥39號。

銨態氮肥如施於土壤表面甚易揮散損失(在鹼性土壤尤其嚴重)，以深施爲宜(水田)。在水田中之深施或全層施用，尙有防止銨態氮轉變硝酸態氮後脫氮損失之功效。

一般而言，深層施肥有下列的幾項優點（王，1997）：

1. 省力又省工：可較慣行人工表面撒施法減少施肥次數約2-3次，降低勞工費用支出。
2. 省肥與防止水質被污染：深施提高肥效，節省氮素肥料用量約25％，省肥又防止水質被污染。
3. 糾正農民偏好多施肥料之習性。
4. 增加稻穀產量：機械施肥可促進根系伸長、葉片較直立、使受光率較多、植株也較健旺，能增加有效穗數與促進穀粒飽滿，使機械施肥區增產率5～10％。

唯土壤質地太砂質性，且保水力又差者，則不宜採用深層施肥，因肥效無法保持易流失。

無論是撒施或深層施肥，穗肥施用與否及其施用量視幼穗形成期時之葉色、葉片態勢、病蟲害以及氣候情形決定之。以往穗肥之施用依據農友之經驗，在精準農耕之研究群中，則正嘗試以遙感探測或葉綠素量測來決定穗肥之施用與施用量之多寡。

雖然目前插秧兼深層施肥機的施肥速率較慢，且常發生輸肥管阻塞情形，但因其有上述之優點，精準農耕計畫中之施肥決策小組，仍建議農機小組先進行插秧兼深層施肥機之研發。

伍、肥料種類

一、 撒施與條施

不同時期肥料施用量乃依前述推薦流程所估算之氮素需要量及肥料種類計算而得。就著精準農耕之精神，使用單質肥料應較能達到精準之目標，但實行上較費工。

在氮素肥料中，許多水稻試驗顯示尿素之肥效與硫酸銨相當。在水田一公斤尿素（氮46％）之效果大約與二公斤硫酸銨（氮21％）相同，但一公斤尿素的價格低於二公斤之硫酸銨許多，故尿素顯然較硫酸銨經濟。尿素表面施肥，易造成氮的揮發損失，故施硝酸鈣則在水田中易脫氮損失，因此系統建議撒施時採用硫酸銨。磷鉀肥則建議採用過磷酸鈣與氯化鉀。但爲節省肥料混合及運送之勞力，亦可使用複合肥料台肥39號(12-18-12)爲基肥，以施用所需要的全部磷肥及部分氮鉀肥。不足之氮鉀肥以單質肥料或含磷少之複合肥料當追肥施用。

除了上述的建議，系統亦將按使用者欲採用之肥料種類，依據推薦量，計算施用量。

二、深層施肥

雖然就精準農耕之精神應以隨空間肥力變異，以單質肥料搭配合理的施用量，但限於插秧兼深層施肥機之承載量及施肥速度，仍先研究施用複合肥料(台肥5號及台肥39號)之深層施肥機。

比較Lin(1967)與Lin(1982)之土壤磷含量，顯示台灣地區水田有明顯的磷含量累積，且根據Lin(1985)之全省各試驗區之試驗亦顯示水稻對磷、鉀肥之效應不及氮肥，施用磷、鉀肥僅分別增產0.6-0.8％與0.7-1.5％。因此，除了磷含量較低之水田，建議施用台肥39號，一般水田均建議施用台肥5號，一方面售價較便宜，另一方面單位面積用肥量亦較台肥39號少，成本較低。由於上述原因，複合肥料之使用，將以氮素需要量爲首要計算基準。

伍、結語

一、目前施肥決策系統爲初步架構，尚待更多研究成果之整合，使其趨於完整精準。如包括土壤中之前作殘渣之地力氮素釋放量之預測依據積算溫度，將土壤30℃下灌水培養一定期間所測得之NH4化成量爲基礎，再依土壤中之積算溫度推測其釋放量。決定穗肥之遙感探測技術與葉綠素測定的推薦基準。

二、施肥決策系統雖可按品種、氣候、土壤等因素，推薦氮磷鉀個別要素之施用量，但深層施肥機僅能施用複合肥料，將使精準施肥之目的受到限制，建議考量發展同時分施單質肥料之可行性。

陸、誌謝

本研究施肥決策原則主要是基於前農試所農化系主任連深博士所撰之水稻施肥手冊(1996)，本文亦經前連深主任修改斧正，謹致謝忱。

柒、引用文獻

1. 王明茂。1997。六行式水稻插秧兼深層施肥機簡介。高雄區農技報導。第20期。高雄區農業改良場。
2. 王銀波。1998。台灣農業環境保護，農業與生態平衡研討會專刊。國立中興大學土壤環境科學系。
3. 李子純。1982。紅壤稻田生產力改進試驗。中華農業研究31(2):71-88。

4. 林家棻。1983。臺灣省土壤肥力能限分類規範調查研究。臺灣省農業試驗所民國71年年報。p.77-82。
5. 林家棻。1983。磷素肥料在土壤中變化與聚積研究。臺灣省農業試驗所民國71年年報。p.82-87。
6. 林家棻。1978。本省中部若干土壤中鉀釋放特性之研究。中華農業研究27(4):297-308。
7. 洪崑煌 、劉文斌。1979。不同時期所施肥料氮利用率與稻穀收量之關係。國立台灣大學農學院研究報告19(1):1-18。
8. 洪崑煌等。1980。水稻田氮素肥培管理之初步研究。科學發展月刊8(8):703-710。
9. 連深。1996。作物施肥手冊－水稻。行政院農業委員會與台灣省政府農林廳編印。
10. 連深。1983。紅壤的水稻生育、收量與矽酸肥力之關係。農學團體72年度聯合年會特刊。p.1-18。
11. 陳春泉、郭鴻裕。1991。台灣地區稻田生產力分級規範及調查。
12. 陳春泉。1976。桃園縣土壤調查報告。臺灣省農業試驗所報告第33號。p.107-112。
13. 陳振鐸。1979。臺灣磚紅壤之利用與管理。臺灣省土壤肥料學會發行。p.48-64。
14. 黃武林。1978。稻作施肥改善推廣報告。台灣農業。p.111-138。
15. 臺灣省農業試驗所。1975。全省主要水田土壤生產潛力之比較及有關營養因素研。民國64年年報。p.60。
16. Lian, S. 1989. Fertility management of rice soils in R.O.C. on Taiwan. In FFTC Book Series No. 39.
17. Lin, C.F., et al. 1967. A report on the soil test for the cropland of Taiwan. Taiwan agricultural research institute bulletin 28.
18. Lin, C.F. 1985. Fertility capability classification as a guide to P, K-fertilization of lowland rice. pp.103-120. In: soil taxonomy (P. MacGregor, ed.). FFTC Book Series No. 29. FFTC/ASPAC, Taipei, Taiwan, ROC.
19. Su,N.R. 1975. Fertilizer applications to rice in Taiwan. FFTC Extension Bulletin No. 60. FFTC/ASPAC ,Taipei, Taiwan ROC.

13 Fertilization Recommendation System for Rice in Taiwan

Chi-Ling Chen, Yu-Wen Lin, Chong-Ho Wang, Jui-Min Chang and Tsang-Sen Liu

Department of Agricultural Chemistry, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

E-mail:ychiling@wufeng.tari.gov.tw

ABSTRACT

Three major essential elements (N, P, K) are involved in current fertilization recommendation system. The fertilization recommendation for nitrogen is based on the results of experiments conducted in Taiwan, and adjusted with the crop productivity, organic material application, and soil properties. The crop productivity rankings are divided into four levels, modified from the ten levels of productivity rating of paddy in Taiwan. The higher the productivity the higher rate of fertilization is recommended. The rate should be deducted for the nitrogen released from the residue of the previous crop. The rate is deducted by the 90% recommended rate for the production of high prized rice. The rate was adjusted by 70% rate as long as the fertilizer was applied in deep-depth and was split into several dressings during rice growth. The rate for panicle initiation stage was dependent on the leaf chlorophyll value or remote sensing information. The amount of the individual three or four splits was decided by soil texture provided broadcast application is adopted. After nitrogen rate was decided, the actual fertilizer rate can be calculated with different kind of fertilizers. The recommendation rates for phosphorus and potassium were dependent on the levels of available P and K in the soil. The varieties of rice included in the system were Tainung 67, Taiken 8 and Taichung Sen 10. The fertilization recommendation system yielded from this project will be programmed and be completed by the end of 2002.

Key words: Rice, Fertilization, Recommendation system.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
精準農業水稻產量分佈偵測系統
179-192, 2002

14 精準農業水稻產量分佈偵測系統

盧福明[1] 蔡致榮[2] 張福祥[3] 黃國祥[2] 林連雄[4] 林達德[1]

[1] 國立台灣大學生物產業機電工程學系

[2] 行政院農業委員會農業試驗所農工組

[3] 國立岡山農工職校生物機電科

[4] 國立宜蘭技術學院生物機電系

E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 180

壹、前 言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 181

貳、文獻探討(國外產量分佈偵測系統) －－－－－－－－－ 181

參、材料與方法(國內水稻產量分佈偵測系統研究現況) － 183

肆、結論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 188

伍、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 188

14 精準農業水稻產量分佈偵測系統

盧福明[1] 蔡致榮[2] 張福祥[3] 黃國祥[2] 林連雄[4] 林達德[1]
[1]國立台灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
[3]國立岡山農工職校生物機電科
[4]國立宜蘭技術學院生物機電系
E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

摘 要

本文目的爲探討精準農業作物產量分佈偵測系統應用於國內本土性水稻生產的現況。國外雖有其他穀物產量分佈偵測系統之開發，但應用於東洋式水稻聯合收穫機之產量分佈偵測系統之研究仍待開發。本文除了探討定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料，並報告國內近年來相關研究成果。爲了監測產量的空間變異，在臺灣使用之聯合收穫機至少必需安裝定位、穀流量測與穀粒含水率量測之資料擷取系統。應用久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機裝設下列元件製作田間產量圖：穀物流量感測器、穀物水分計、資料擷取系統、液晶顯示幕、行走速度感應器、擷取爪啓動感應器、及GPS全球定位系統。聯合收穫機裝配GPS全球定位系統與穀物產量和水份感測器之田間測試結果，已可連續紀錄單位時間內所收割稻穀重量、水分及收穫機地理座標資料。整理上述三項資料之後即可應用軟體繪出水稻田區產量分佈圖，判斷高低產量的確定位置，供農場經營決策之參考。水稻產量分佈偵測系統之定位誤差在1公尺以內。民國九十年五月到十一月之間共進行十九次稻田收穫試驗，包括農試所精準農業試驗田五次，其他爲台南縣、高雄縣和屏東縣水稻田。測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尚待進一步研析。

關鍵詞：精準農業、產量圖、全球定位系統、感測器、水稻聯合收穫機。

壹、前言

精準農業(Precision Agriculture)乃是針對農田及植栽的變異性給予最適當的耕作決策與處理，以減少資財之耗費，增加收益並減輕環境的衝擊。傳統農耕方式將整個田區之作物、土壤等特性視爲均一，故無論是灌溉水量、肥料或是農藥之施用量，均是針對整個田區施用(盧，2000)。精準農業利用衛星定位系統(GPS)，地理資訊系統(GIS)配合農業自動化科技執行既定之耕作策略。例如針對發生病蟲害或有雜草的局部田區實施帶狀施藥(patch spraying)。另例如自動記錄分析各別小田區的作物產量與耕作處理間的相關性，以做爲農場經營決策的參考，亦屬於精耕農業的範疇。

本文目的爲探討精準農業作物產量分佈偵測系統應用於國內水稻生產的現況。國外雖有其他穀物產量分佈圖偵測系統之開發，但應用於東洋式水稻聯合收穫機之產量分佈偵測系統之研究仍待開發。本文亦探討定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料，供開發適合國內水稻收穫用之定點產量及水分即時偵測系統之參考，以便結合衛星定位系統(GPS)製造國產儀器設備提供田區產量分佈系統，供農場管理決策分析用。

田間作物產量監測方法以穀物爲例，如圖1方塊圖所示，主要包括監測主控器、定位GPS感測器、穀流感測器、穀物水份感測器、穀物揚升機速度感測器、啓動/暫停感應器與收穫機速度感測器。

貳、文獻探討(國外產量分佈偵測系統)

經由相關文獻與資料之蒐集分析，得到定點產量即時監測與圖化技術之國外相關經驗與資料如下述。

一、美國水稻定點農耕研究

德州農工大學農工系Searcy氏與農業試驗站Stansel氏從1996年6月至1999年8月間(涵蓋四個水稻產季)進行一項水稻產

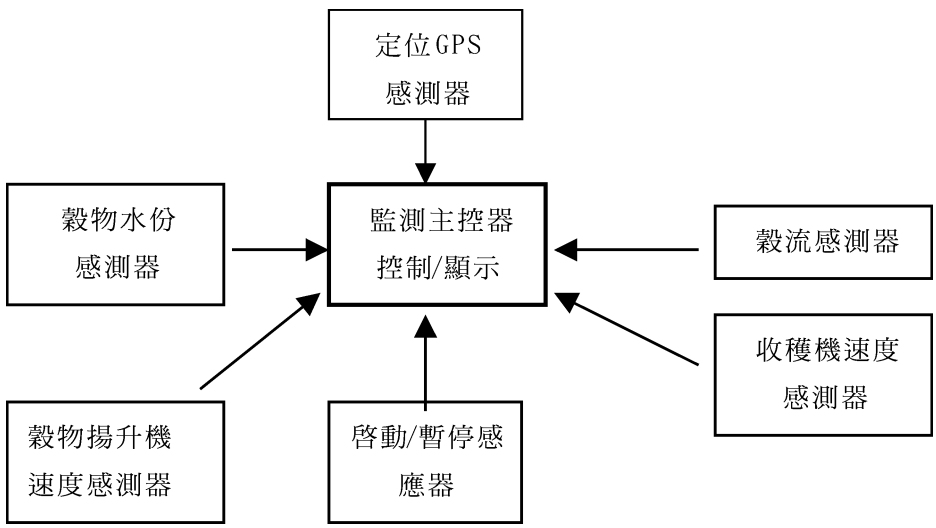


圖1. 田間收穫穀物之產量監測系統方塊圖。

量圖化計畫，其第一年在建立產量圖化技術，而接著三季則於農戶之用地進行農藝試驗。該計畫之主要目的係在德州水稻帶建立產量圖化技術，以方便對農戶用地之試驗區進行產量、處理施用與偵察資料之圖化與相關性分析工作，最終目的爲開發具地理參考基準之水稻田用田間偵察設備。計畫執行期間，三個農戶使用Case聯合收穫機與Case公司所生長之圖化組件Advanced Farming System，另一農戶與在Beaumont之德州農業試驗站則使用John Deere 聯合收穫機與Green Star圖化組件。

Michigan州立大學1996年對產量監測器之評估，針對玉米產量以稱重車輛來量測並與感測器所得產量作比較，其於每個農地進行大約20次連續之收穫作業，指出每次收穫產量監測器之變異在3%（含）以上，而產量監測器與稱重車輛估測值間之總差異在0.2％至5％間。而田間坡度改變與進料機構堵塞造成穀物流脈動現象乃是產量監測器不準之原因(Anonymous, 1997)。

二、澳洲水稻產量圖化技術

1995年RDS公司捐一個Ceres 2產量監測器與Hermes資料記錄器給澳洲Longerenong學院，其乃澳洲之第一顆產量監測器。在1996年四月當水稻開始收穫時，研究人員覺得把產量監測器裝到水稻聯合收穫機可獲得相當之經驗，因此在New Holland公司與稻農協會之協助下，此RDS公司之產量監測器、資料記錄器以及Fugro公司之DGPS被裝至New Holland TX66型水稻聯合收穫機上。很不巧地，由於資料記錄器與DGPS之問題，第一年並無具地理參考基準之資料被收集，但產量與稻穀含水率資料則被以Excel軟體記錄與分析，在13處地點與時期紀錄多過10,000筆產量與含水率資料。該試驗地區(Denis Gleeson)之800公頃水稻田大部份係種植在不同等高線農地上，具有非常不規則之形狀 (Williams, 1997)。

1997年Bert Schultz地區之水稻，以裝在Claas CS 114聯合收穫機上之AgLeader產量監測器與Fugro公司之DGPS進行產量圖化研究工作，不像Denis Gleson地區之田地，Bert Schultz之水稻田係以雷射輔助整平，並具長方形佈局。該年度收集到地理參考基準之資料，並進行產量圖繪製及產量與含水率變異之分析。

在小而不規則形狀之水稻田量測產量，監測器以收穫頭全寬度來計算產量會有缺失。雖然大部份產量監測器都有裝置可以轉換收穫頭寬度，但是通常都不方便使用。在某些田區大約30%的時間係花在調整與變動收穫頭寬度。所有採用之產量監測器中，只有RDS公司之產量監測器具備遙控轉變裝置來改變收穫頭寬度，雖然只有四段收穫頭寬度，卻是最方便操作的一型。

使用產量監測器進行產量之量測與噴霧霧粒大小之量測具有若干相似處，通常量測霧粒的設備會量測幾千個個別霧粒之直徑，而產生大量之數據資料，於太大與太小霧粒之極端情形下其量測誤差大多取決於所使用儀器之型式，這與以產量監測器量測產量相類似，其也具大量資料，且非常低與非常高之產量值可能與收穫機動態造成之大量誤差有關。因爲收穫機速度減慢時，產量監測器會顯示高產量，因此，即使前進速度是低的，稻穀流量卻仍是高的，相反的情形則會於收穫機突然加

快速度時發生。大部份之產量監測器都會設定偏差值以嘗試彌補此缺點，但都相當不成熟。

假如稻穀並未完全覆蓋感測器之作用平板，穀物含水率之讀值會受到低穀物流量影響，這通常在收穫頭空轉某些時間後發生，但儘管在只使用部份收穫頭寬度時，通常都有足夠之穀物流以獲得正確之讀數。水份計以揚升器穀物含水率讀數爲主，其結果合理而正確度在20%附近，RDS公司產量監測器之含水率讀數增量爲0.5%，當讀數遠離16－24%之範圍時，準確度喪失。在1996與1997年之兩收穫季中，含水率變動都相當大。含水率係水稻收購產業與農民之一項主要爭論問題。收穫時使用穀物含水率感測器可使農民避免遞送太濕穀物至處理場而遭罰款。

對種植在不規則形狀水田上水稻之產量監測，因作業時一直改變收穫頭寬度而不準確，在此種情形下倘欲因使用產量監測技術而獲取最大利益，自動改變收穫頭寬度的感測器或處理產量圖之其他方法是必需加以考慮的。倘若產量監測器從裝在輪子上之感測器來計算行進速度，當在非常泥濘之情形下，輪子打滑或下陷都將增加產量預估之誤差，因此由GPS系統提供之速度值是較正確的。收穫機行走中使用水份感測器的準確度對農民而言是很重要的。收穫時水稻產量與含水率變動相當大，其意味著水稻產業使用定點管理技術具備獲利之潛力。

三、產量分佈圖相關研究

Wagner與 Schrock(1987,1989)使用螺旋機決定作物產量，指出收穫頭開始吃進作物與眞正穀流量測間之時間延遲，可以輸送延遲表示穀粒由收穫頭移動至淨穀筒之時間，可以一階時間延遲來計算收穫機內穀物之重新分配；實驗室測試穀流，就乾穀(10至19.2% w. b.)而言係成線性反應，惟當穀物含水率增加時則呈現非線性反應，其起因於螺旋機內穀物滑動量隨著體積增加而增加，尤其當較高穀物含水率時。

Perez-Munoz and Colvin (1996)評估AgLeader Technolgy公司Yield Monitor 2000指出此種產量監測器值得信賴，可提供足夠準確之資訊繪製產量圖，惟產量信號需適當處理以修正時間延遲，而可能的兩種延遲來源爲穀物於收穫機內移動之時間及信號盈起與衰減之時間。

Birrell氏等人(1996)比較兩型產量感測器(撞擊式質量流量測使用AgLeader Yield Monitor 2000，而體積流量測使用Claydon Yieldometer，指出在收穫機動態穀流之模式化上，簡單時間延遲與一階模式皆合理，但簡單時間延遲模式優於一階模式。簡單時間延遲模式較不受雜訊影響，但當收穫機進出作物時不能準確將產量之階梯變化加以模式化；相反地，一階模式可妥善模式化產量之階梯輸入，但受雜訊影響而需對原始資料作平滑(smoothing)處理，使用完整資料製作產量圖時瞬間產量之克利金處理(Kriging)相當健全耐用。

參、材料與方法(國內水稻產量分佈偵測系統研究現況)

國立台灣大學生物產業機電工程學系、行政院農業委員會農業試驗所農工組、國立岡山農工職校生物機電科和國立宜蘭技術學院生物機電系所組成的研究團隊，

自1999年開始進行水稻產量分佈偵測系統之研究。

產量分佈偵測系統爲顧及產量監測系統應用普及性及技術整體性，並考量國內水稻收穫環境多潮溼與高含水率情形，監測組件容易因堵塞或積污而不正常作動，因此必須考慮容易拆卸清理與安裝的特點。產量分佈偵測系統包括監測主控器、穀流感測器、穀物水份感測器、穀物揚升機速度感測器、啓動/暫停感應器與收穫機速度感測器如圖2所示(盧等,2000)。收穫中，系統啓閉磁性感應器察覺到有稻桿被夾入脫穀筒時才開始將各感應器所讀到的數據存入數據收集器內，包括收穫機前進速度、地理位置、水稻含水量和水稻流量。

國內水稻聯合收穫機目前使用較多之主力機型爲三菱VG65型、久保田R9405G型與野馬牌GC85型，其規格與性能概略比較如表1所示。爲因應未來精準農耕技術推展之需，大割寬與高作業能率之機型乃大勢所趨，有必要進行國內水稻聯合收穫機使用機型、數量與穀物流動向之調查，冀以決定配合定點產量即時監測試驗所需之適合機種。

台大生物產業機電工程學系自1999年起在久保田R9101G五行式水稻聯合收穫機上裝設產量分佈偵測系統(圖2和圖3)，並於2000年購置野馬牌GC85型聯合收穫機乙部以進行後續相關試驗。久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機上裝設下列元件以便偵測田間產量：穀物流量感測器（Micro-Trak，CGS 2000），穀物水分計（DMC儀器），資料擷取系統（Micro-Trak，TNG-100，和Data-Trak TNM-1000），液晶顯示幕（Grain-Trak TNY-4400），行走速度感應器，擷取爪啓動感應器，和GPS（航天公司 DGPS-220）。

農業試驗所農工組與台大爲了共同研發適用國內小穀流水稻聯合收穫機產量與穀物水份感測器基本試驗需求，亦購置野馬牌GC85型聯合收穫機淨穀輸送相關零件，建立試驗室動態產量監測試驗台一

表1. 國內水稻聯合收穫機主力機型之比較。

廠牌型號	三菱牌VG65型	久保田牌R9405G型	野馬牌GC85型
機體長寬高	442/202/225 cm	482/283/279 cm	458/210/265 cm
總重	3070 kg	3449 kg	3790 kg
駕駛室	無	附冷氣駕駛室	附冷氣駕駛室
汽缸數/總排氣量	4缸/ 2476cc	5缸/2499 cc	4缸/3455 cc
引擎馬力	73 PS/ 2800rpm	75 PS/2800 rpm	85 PS/2600 rpm
割寬/行數	1650-1700 mm/5行	1950-2025 mm/6-7行	1975 mm/6行
儲穀倉容量	1500 L	1850 L	1850 L
作業能率	每分地9-14分鐘	每分地9-13分鐘	每分地7-10分鐘
價格	185萬	226萬	260萬

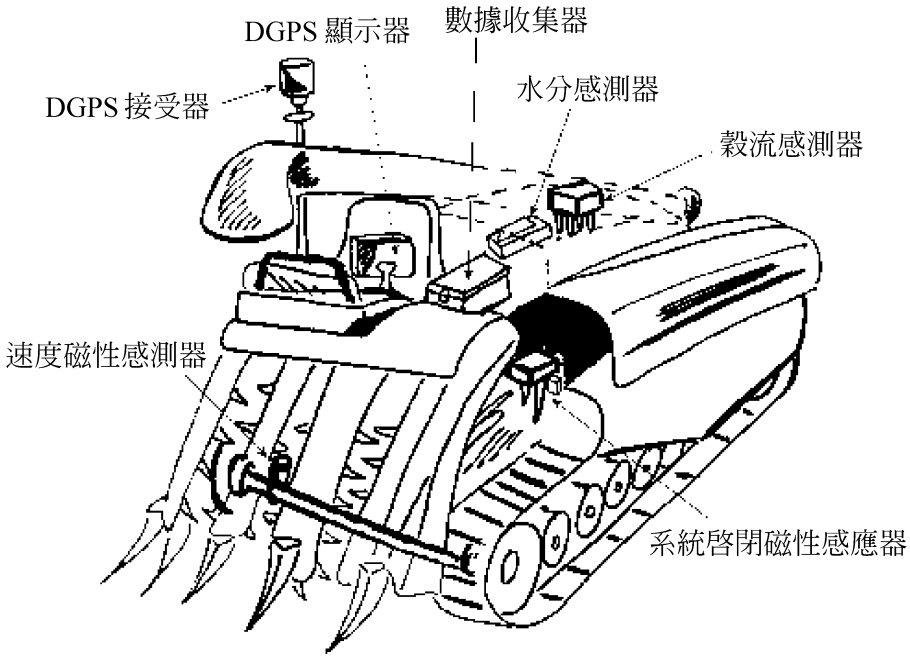


圖2. 收穫機上感測器裝設點。



圖3. 久保田R9101G聯合收穫機裝設產量分佈偵測系統田間作業情形。

座，冀望用以探討不同稻穀含水率與供料率下相關感測器(引進或國內自製)之反應，並提供作爲感測器校正台。

2001年五月到十一月之間共進行十九次稻田收穫試驗，包括農試所精準農業試驗田五次，其他爲台南縣、高雄縣和屏東縣水稻田如表2所示。測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尚待進一步研析。

目前所用的GPS衛星定位軟體之介面設計相當友善，容易修改。應用時亦能夠充分掌握技術，不受委託廠商之影響。在Selective Availability解除以後定位精確度爲1-2公尺以內。收穫機可收五行，讀到的數據包括收穫機前進速度、地理位置、

表2. 2001年田間收穫記錄。

項目 / 次別	收割日期	收割地點	收割面積 (公頃)
第一次	5月11日	高雄區改良場	0.21
第二次	5月29日	高雄區改良場	0.29
第三次	6月9日	高雄縣岡山鎮	0.25
第四次	6月16日	高雄縣岡山鎮	0.35
第五次	6月19日	高雄縣岡山鎮	0.26
第六次	6月12日	高雄縣阿蓮鄉	0.42
第七次	6月23日	高雄縣阿蓮鄉	0.38
第八次	6月28日	農業試驗所	0.50
第九次	6月29日	農業試驗所	0.50
第十次	7月14日	台南縣七股鄉	0.24
第十一次	7月28日	台南縣七股鄉	0.19
第十二次	8月5日	台南縣七股鄉	0.13
第十三次	10月14日	高雄縣橋頭鄉	0.17
第十四次	10月21日	高雄縣橋頭鄉	0.17
第十五次	11月10日	高雄縣橋頭鄉	0.10
第十六次	10月27日	高雄縣路竹鄉	0.14、0.22
第十七次	11月19日	農業試驗所	0.50、0.50
第十八次	11月20日	農業試驗所	0.50、0.50
第十九次	11月22日	農業試驗所	0.50

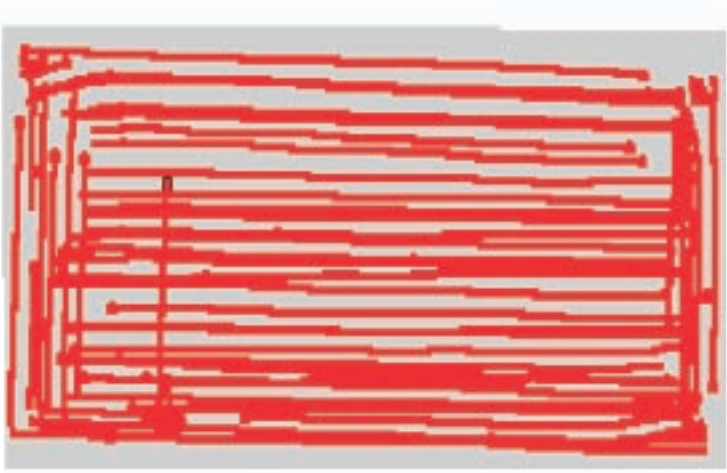


圖4. 水稻收割軌跡圖(農試所78號田區90.11.19)。

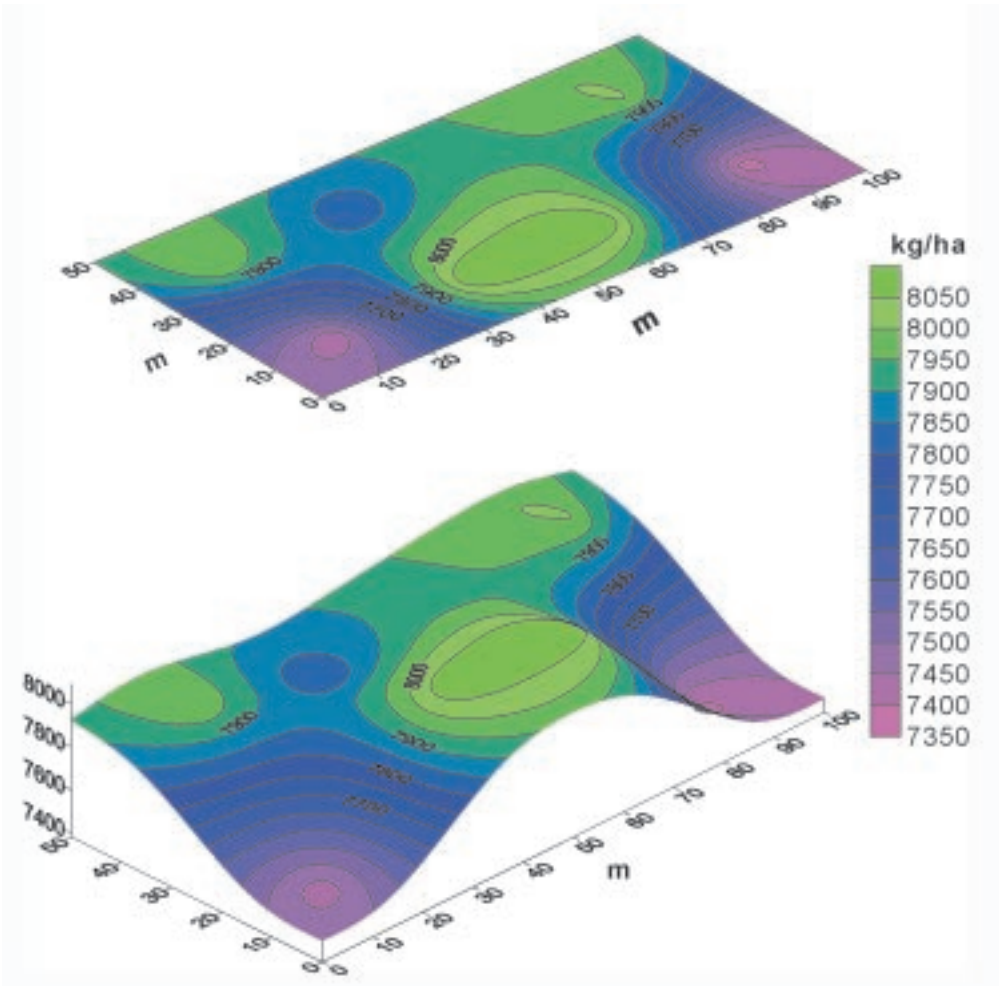


圖5. 農業試驗所田間收割產量分佈圖(39號田區)。

水稻含水率和水稻流量。

田間試驗在機械之穩定度與耐久性方面，經幾次試驗修改後，已達要求，可記錄所有感應器所讀到的數據。使用水稻產量偵測系統在進行產量偵測時，須先進行作物之密度(Crop Density)、含水率偵測器之偏移值(Moisture Sensor Offset)、產量偵測器之校正(Flow Sensor Calibration)等設定，以確保產量偵測之準確性。收割面積、含水率偵測、產量偵測等，都可經微調使得偵測值更接近實際值。

產量分佈圖及收穫機在田間運轉之軌跡圖如圖4和圖5所示。圖5爲田區長100公尺、寬50公尺(0.5 公頃)之產量分佈等高線圖、各小區塊溼穀產量介於7,350公斤/公頃到8,100公斤/公頃，本塊田平均溼穀產量爲7,867公斤，稻穀含水率爲20.5%。

肆、結　論

本文探討國內水稻收穫用之定點產量及水分即時偵測系統之現況，並分析國外有關農作物產量分佈偵測系統之應用。國內已在久保田R9101G五行式（割寬1.6公尺）水稻聯合收穫機上裝設下列元件以便測量田間產量圖：穀物流量感測器、穀物水分計、資料擷取系統、液晶顯示幕、行走速度感應器、擷取爪啓動感應器、和GPS系統並已進行多次田間測試。目前所用GPS衛星定位軟體之介面設計相當友善，容易修改。在Selective Availability解除以後定位精確度爲1-2公尺以內。水稻聯合穫收穫機可收五行，讀到的數據包括收穫機前進速度、地理位置、水稻含水率和穀物流量。

台大及農試所所用產量分佈偵測系統對於收割面積、含水率偵測、產量偵測等，都可經微調使得偵測值更接近實際值。經過十九次田間收割試驗, 測試結果可記錄田區水稻產量及稻穀水分含量，準確度介於80-90%之間。提升精確度之校正工作尚待進一步研析。

雖然國外有關產量分佈偵測系統的應用都偏重於大型西洋式聯合收穫機，其感測元件構造機能及使用經驗仍可應用於未來開發國產產量分佈偵測系統元件之參考依據。

伍、引用文獻

1. 盧福明。2000。精準農業體系之農機研發趨勢。刊於水稻精準農業(耕)體系之研究。p.106-109。楊純明、林俊義主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
2. 盧福明、蔡致榮、張福祥、黃國祥、林連雄。2000。精準農業自動農機操作系統之開發期末研究報告。國立台灣大學生物產業機電工程學系。
3. Anonymous. 1997. Evaluation of yield monitors. Michigan report, NCR-180.
4. Williams, B. 1997. Rice yield mapping. Symposium on precision agriculture research in Australia. July, 1997.
5. Wagner, L. E. and M. D. Schrock. 1987. Grain flow measurement with a pivoted auger flow sensor. Transactions of the ASAE 30(6): 1583-1586.
6. Wagner, L. E. and M. D. Schrock. 1989. Yield determination using a pivoted auger flow sensor. Transactions of the ASAE 32(2): 409-413.

7. Perez-Munoz, F. and T. S. Colvin. 1996. Continuous grain yield monitoring. Transactions of the ASAE 39(3): 775-783.
8. Birrell, S. J., K. A. Sudduth and S. C. Borgelt. 1996. Comparison of sensors and techniques for crop yield mapping. Computers and Electronics in Agriculture. 14: 215-233.

14 The Rice Yield Mapping System

Fu-Ming Lu[1], Jyh Rong Tsay[2], Fu-Shang Chang[3], Kuo-Hsiang Huang[2], Lian-Hsiung Lin[4] and Tate Lin[1]

[1] Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[3] National Kang-San Vocational School, Kaohsiung 820, Taiwan, ROC

[4] Department of Bio-Mechatronics, National I-Lan Institute of Technology, I-Lan 260, Taiwan, ROC

E-mail:lufuming@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

The objective of this paper was to study the application of rice yield mapping system for local rice production in line with precision agriculture. Although there are several grain mapping systems in use in other countries, the mapping system for oriental rice combine is still under developing stage. This paper reviewed development of mapping system in foreign countries and reported the up-to-date research activities on local rice mapping system in past years. In order to monitor the yield spatial variations, the local rice combine available in Taiwan has to be equipped at least with data acquisition system for locating and measuring grain flow and grain moisture. A Kubota R9101G 5-row combine (cutting width 1.6 m) has been equipped with the following instruments such as grain flow sensor, moisture sensor, data acquisition system, display monitor, speed sensor, run/hold sensor and GPS to study rice yield mapping system suitable in Taiwan. Based on the information collected from these sensors, rice yield map can be produced by an application software and served as a criterion in farm management decision making. The GPS offset in locating the harvester is within 1 meter. Nineteen field harvesting tests had been completed between May and November, 2001. Five field tests were conducted at precision farm of Taiwan Agricultural Research Institute. Other tests were conducted at

Tainan, Kaohsiung and Pingtung counties. Although yield and moisture content of harvested rice can be monitored by the yield monitor at 80-90% accuracy, further calibration works are required to upgrade the accuracy of the yield monitoring system.

Key words: Precision agriculture, Yield map, GPS, Sensor, Rice combine.

應用於水稻精準農業體系之知識與技術
GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業
193-204, 2002

15 GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業

廖盈達[1] 葉仲基[1] 梁連勝[2]
[1]國立台灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 194
壹、前言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 195
貳、文獻探討 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 195
參、實驗設備與研究方法 －－－－－－－－－－－－－－－－－ 198
肆、結果與討論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 200
伍、結論 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 203
陸、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 203

15 GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業

廖盈達[1]　葉仲基[1]　梁連勝[2]
[1]國立台灣大學生物產業機電工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農工組
E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

摘　要

本文目的係建立一套可用GPS控制之桿式噴藥機，能對特定田區進行定點定量之施噴作業，以達成精準噴藥之策略。實驗設備包括：1.Trimble GPS Pathfinder Pro XRS：主要包括接收機、天線以及資料收集控制器。接收機具有12個頻道，可接收GPS衛星與基站差分修正訊號及NMEA傳輸格式及通訊協定；天線具全方向性，地平線以上皆可接收到GPS衛星訊號；資料收集控制器可對接收機作參數設定，具2MB資料記憶量。2.控制及分析軟體部分：包括TSC1操作軟體Asset Surveyor、資料後處理軟體Pathfinder Office、GIS輔助軟體ArcView及PC ARC/INFO。3.桿式噴藥機：台南縣仁德鄉鉅業公司製，型號ZTSL500，使用動力爲13馬力四衝程汽油引擎。4.噴藥控制模組：係美國Spraying System公司產品，型號爲744A，具有三組開關電磁閥，可同時或分別控制左中右三組噴藥桿。5.GPS控制器：係國內廠商自行研製，可輸入擬施噴田區之地理坐標，並與GPS所接接收之信號做比對，藉以決定噴藥閥之啓閉。實驗方法包括：1. 動態路線定位之實測作業：選擇一條行走路線並將GPS天線固定在車輛上再將紀錄的路線套疊相關圖層進行分析。2.田間噴藥機之實際操作：1)利用筆記型電腦輸入擬施噴田區之經緯度坐標於一CF卡上，再將該卡片插入GPS控制器；2)將桿式噴藥機駛入擬施噴之田區，觀察GPS有無作動噴藥用電磁閥，爲便於遠處監看，另置一作動信號燈。結果與討論:1.由GPS定位實驗結果顯示，在靜態點位觀測之誤差量與動態各種路徑的實測方面，將行走路線套疊台灣大學之地圖分析後，其誤差量皆可保持在3公尺以內。2.當桿式噴藥機駛入坐標設定之擬施噴田區後，信號燈立即亮起並轉動，同時噴藥電磁閥立即作動，進行田間施噴作業；而一旦噴藥機駛離擬施噴之田區後，信號燈立即熄滅不動，噴藥電磁閥亦立即關閉，不再進行施噴作業。

關鍵詞：全球衛星定位系統、桿式噴藥機、噴藥控制閥。

壹、前 言

隨著科技與知識的進步，且愈來愈高漲的環保意識之下，發現傳統的農耕方式忽略了天然及後天人爲所造成的土壤環境及作物的持續性變異，所引發的農地不正當使用，而衍生許多資源效率與環境保護的問題。例如肥料與農藥的過度使用、毒性物質長期殘留與作物生長環境劣化導致產量顯著降低等現象，均在傳統農耕制度中一一顯現。爲改善傳統一致性農耕方式所造成的環境污染問題及讓作物有一更良好的生長環境，進而對產量有所提升，於是精準農業(Precision agriculture)理念因此產生，希望依照田區土壤性質之差異性及作物生長需要，給予最適當的資源投入及耕作，以避免多餘的資源投入與對環境的破壞

貳、文獻探討

一、精準農業

精準農業(precision agriculture)是一個根據田區自然或人爲改變狀態的不同，小心施予土壤適合的耕作處理或針對特定作物施予特殊的管理方式之農耕體系，又可稱爲處方式農耕(prescription farming)、特定地點農耕(site-specific farming)、可變率技術(variable rate technology)等(楊，2000)。在過去，農民對整個田區的耕作方式皆爲均一化，包括耕耘量、施肥/噴藥量等，不曾考慮到田區在地形及土壤種類、鹽度與害蟲猖獗區域的差異。對於利用不同肥料種類與可變率噴灑量相對應於田區特定地點，而使田區總體作物產量增加，此過程稱爲精準農業(Lachapelle *et al*., 1996)。在精準農業的運作下，相同的耕作區域將產生差異性的施作，即視土壤肥力與含水量、作物生長狀況、蟲害與病害罹患程度、雜草蔓延與危害情形等程度的不同施與不等量之肥料、農藥與灌溉等作業。故實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當的環境污染，使生產經濟效益、生態維護及環境保護三方得到最佳平衡(Auernhammer and Muhr, 1991)。

精準農業可說是一種以利用現代知識技術爲發展基礎的耕作管理系統，其最終目的爲獲得最佳利益。此管理系統將具有微管理的概念，也就是具備對田區每一特定地點可就技術與經濟層面施予最適當的管理，系統將根據輸入的田區地點不同搭配資料庫來改變包括：整地、播種、除草、害蟲疾病控制和灌溉等的施作/用率程度(Clark and McGuckin, 1996)。精準農業爲用最少的投資得到最大的獲利，並得以保護環境，結合田區產量圖對於特殊不同的田地施以特殊的耕作方法，包括：害蟲的管制防除、灌溉、按土壤種類型式予以施肥耕作、作物輪作等，以達到提高利潤並且減少對於環境的污染(Johnson *et al*., 1997)。精準農業之特定地點管理意味著適時、適地與適量的農耕，由以下這段文字可得到最佳詮釋：“Doing the right thing, in the right way, at the right place and at the right time.”爲達成上述目地，精準農業的運作需整合一系列新技術，其中包括：全球定位系統(GPS)、動態田間資料收集裝置(on-the-fly data collection devices)、地理資訊系統(GIS)與可變率設備(variable rate implements)等，基本上精準農業的運作流

程可分爲4個階段(Berry, 1998)：整體流程如圖1所示：

1. **資料的收集**(data logging)

在作業機具上裝設相關感測器來偵測作業時各小區塊作物的相關資料；再配合GPS資料以繪製大面積田區相關資料分布圖之數據。

2. **田間取樣**(point sampling)

在田間進行土壤取樣，建立土壤屬性與空間的關係。

3. **資料分析**(data analysis)

將田間產量圖與土壤圖層在GIS軟體下作分析與判斷，以決定其間的相互關係。

4. **空間模式化**(spatial modeling)

依空間分析關係建立田間耕作指示圖，使其具備『*If (Condition) Then (Action)*』的關係，例如：依照作物病害發生情況輕重，來進行該田區重噴藥、微噴藥或不噴藥作業等。

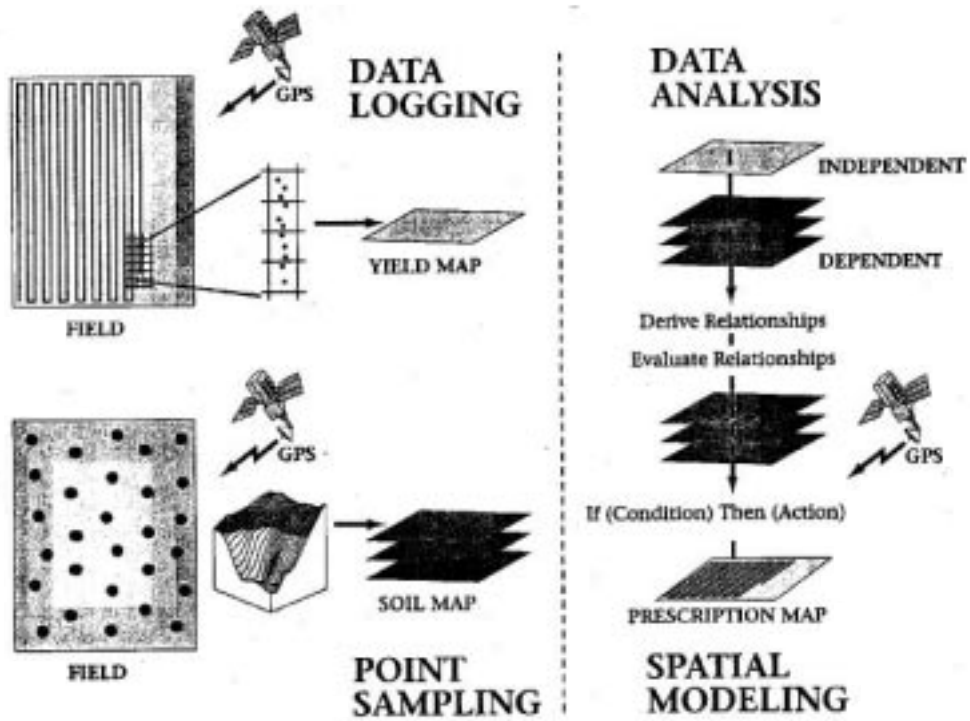


圖1. 精準農業的運作流程（Berry, 1998）。

精準農業的實際應用必須結合三方面的技術(Shibusawa, 1998)：

1. **空間變異性的描繪**(describing variability)

最簡單的構想就是計量田區的變異性並描繪它，然後根據特定地點的差異，給予必須的施作。

變異性的描述可從三方來講：

(1) 空間性的變異(spatial variability)。
(2) 時間性的變異(temporal variability)。
(3) 預測性的變異(predictive variability)。

首先無疑是對田區空間變異性的描述，因它會直接影響到田區在土壤肥力、作物生長與產量、雜草與疾病分布等資訊所繪製的田區變異圖上。在田區特定地點資訊的定位上，利用GPS或

DGPS(Differential GPS)定位可提供很大的助益。對區域性變異則可藉助遙測(remote sensing)來達成，其他如土壤取樣裝置、作物產量監測裝置、衛星或飛機所拍攝的影像資料等的發展對田區變異圖的製作皆很有幫助。

第二步是去描述時間的變異性，即對於空間的變異性在時間上的變化描述可用GIS的技術來達成。最後是作一正確的預測性變異，例如：氣象預報或植物的生長活動，預測性變異是最困難也是最重要的，可用在農業上的風險管理或耕作排程。

2. **可變率控制**(variable rate control)

爲了配合田區特定地點對施作量要求的不同，因此可變率施作機械是必須使用的。

可變率控制須提供：

(1) 施作機在田區正確的位置。
(2) 田區正確地點的變異資訊。
(3) 田區正確地點的可變率施作。

田區正確位置可由GPS定位獲得，田區變異圖或即時感測器可提供正確變異的資訊，可變率控制系統即是結合前兩項資訊應用在施作機械上，使成可變率施作機械。

3. **可變率管理的決策支援系統**(decision support system for managing variability)

決策支援系統可提供農民在耕作上爲作物產量與環保問題的解決之策，即爲田區管理策略上的衝突找出一條可行的方向，使系統最佳化。

二、變率施噴系統

變率施噴系統的組成基本上至少應包括四個次系統(Schueller and Wang，1994)：

1. 定位系統(location)
2. 田區施作指示圖(setpoint map)
3. 控制器(controller)
4. 致動器(actuator)

其中定位系統需能提供即時車輛位置，田區施作指示圖要能提供在田區隨即時座標不同所相對應的噴灑率，控制器必須能決定期望的噴灑率並調整致動器，至於設計良好的致動器應能即時產生期望的動作，以上都是不可或缺的。圖2爲一簡單的噴藥機之變率噴灑系統(Clark and McGuckin, 1996)，因爲行駛速度會直接影響噴藥車在單位面積施藥率，故速度感測器爲偵測噴藥機之行走狀況再將訊號結合即時差分GPS(Real Time Differential GPS,RT-DGPS)定位系統訊號以找出噴藥車現在位置，並配合GIS系統下之施噴指示圖，當噴藥車接近目標田區時控制器訊號就驅動噴藥桿伸展、幫浦運轉以進行田區定點定量施噴作業。此型噴藥系統採用在噴藥機上直接混合施噴的方式，濃縮藥液另外置於副藥桶，當需要時再與水自動混合稀釋，一切過程皆在噴藥機行駛的同時完成。

在設計變率系統時將面臨許多選擇性的取捨問題，例如：爲提高系統精確度將使其複雜度與花費提高，包括控制系統的類型(開迴路/閉迴路/前饋)、噴灑系統的功用(純可變率/兼具變率與混合)、噴灑管路設計與藥液混合點位置(靠近藥桶/靠近噴嘴)。對變率噴藥機而言，其期望之施藥率具有頻繁顯著的變動，因此其動態特性將非常重要。由於噴藥機的動態特性將直接影響其在正確地點的施肥或噴藥，有一研究企圖找出影響噴藥機的動態特性並利用

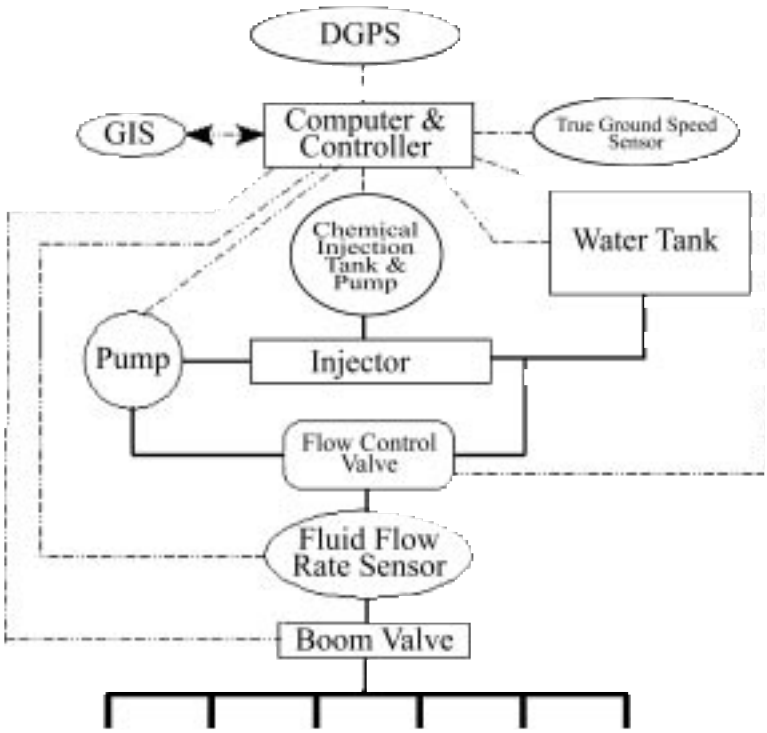


圖2. 變率施噴系統（Clark and McGuckin, 1996）。

前饋控制補償系統(Schueller and Wang, 1994)。在下列情況下需增加前饋控制的補償時間：

(1)噴藥機行駛速度變快。

(2)管路輸送延遲與時間常數增加。

(3)田區噴藥量的改變加大。

此外，噴藥機行駛路徑固定與保持定速行駛也是增進前饋控制性能的重要假設，若違反則會降低系統性能。

參、實驗設備與研究方法

本研究的主要設備包括二大部分，即：

1.全球定位系統(GPS)的硬體及軟體。

2.施噴系統。

一、全球定位系統的硬體及軟體設備

1.Trimble GPS Pathfinder Pro XRS

美國Trimble公司設計製造的GPS組件，硬體部分主要包括：接收機、天線和電源以及資料收集控制器。

(1) 接收機：具有12個頻道(Channel)、接收單頻(L1，1573.42MHz) C/A-code、1 Hz資料更新速率(update rate)。

(2) 天線：具全方向性，地平線以上皆可接收到GPS衛星訊號。

(3) 資料收集/控制器(Trimble TSC1)：可對接收機作參數設定，具2MB資料記憶量，可利用PCMCIA卡擴充。

(4) 電源：電源供應爲DC12V可重複充電式鋰電池2個，正常工作下可使用8小

時(可重複充電)。

2. **軟體部分**

(1) TSC1操作軟體－Asset Surveyor version 5.0：爲Trimble公司所出產之Pathfinder全球定位系統軟體軟體。其爲一視窗之操作軟體，使用前需先安裝在系統硬體之資料收集/控制器(TSC1) 上，由TSC1上之按鍵操作系統軟體。

(2) 資料後處理軟體－Pathfinder Office version 2.51：Trimble公司所出產之Pathfinder全球定位系統軟體，是一衛星資料差分校正軟體，爲視窗操作形式。

(3) GIS輔助軟體－ArcView version 3.1：ARCView是由美國ESRI(Environmental System Research Institute，Inc.)公司所研發的一套桌上型地理資訊系統，能夠建立地圖資料和屬性資料。

(4) GIS輔助軟體－ PC ARC/INFO version 3.4.2b：PC ARC/INFO亦爲美國ESRI公司所發展，爲MS-DOS作業系統，其可與多種廠牌規格的週邊設備搭配使用。

二、施噴系統

1. 桿式噴藥車：台南縣仁德鄉某家業者經過多年的研究之後所開發完成型號ZTSL500，使用引擎爲HONDA GX390 GCAA型四衝程汽油引擎。
2. 噴藥機部份：大農鑽石牌TS-80與實驗施噴系統壓力幫浦相同，其動力源爲噴藥車引擎以皮帶驅動。
3. 桿式噴藥車噴頭噴桿組：噴頭爲螺旋水流型ψ 1.2m/m ×35、噴桿左314㎝、右315㎝、中140㎝總長8.2m。

三、實驗方法

實驗分成兩階段進行：第一階段爲全球定位系統之實測作業；第二階段爲桿式噴藥車之實地施噴。

(一) 全球定位系統的實測作業

1. 實驗室操作：首先熟悉GPS設備Trimble ProXRS的組件及使用方法。
2. GPS實測作業：

動態路線定位：爲測試ProXRS之動態定位特性。選擇一條行走路線並將GPS天線利用磁座固定在車輛上。

選擇的路線、環境與分析方法如下所述：

(1) 路線：台大生機系－電資學院－綜合教室－小椰林－椰林大道－新生南路－辛亥路－舟山路－羅斯福路－椰林大道－舟山路側門－人工氣候室－基隆路－水源高架道路(上側)－碧潭橋－安康農場－農場小路－水源高架道路(下側)－基隆路－舟山路－舟山路側門－新總圖－綜合教室－電資學院－台大生機系

(2) 環境：路線由於經過的建築物高樓頗多且又有高架道路遮蔽，故實測環境不佳。

(3) 實測說明：將GPS天線利用磁座固定在一部MARCH車車頂之幾何中心，接收機與電池皆置於背包內，置於前座並做相關接收設定(線地物接收，manual 3D，定位間隔2秒：需考慮記憶體空間)，啓動汽車並按路線行駛。

(4) 結果分析：利用GIS專屬軟體ARCView套疊台大與安康農場電子圖檔分析，並分析車行路線重合軌跡，以了解動態誤差。

(二) 桿式噴藥車之實地施噴

1. 利用個人電腦或筆記型電腦鍵入擬施噴田區之地理座標並存檔於記憶卡上。
2. 將記憶卡插入GPS噴藥控制器內。
3. 發動桿式噴藥機引擎並啓動全球衛星定位系統及噴藥控制器。
4. 將噴藥機駛入或駛離原先設定座標之田區。

肆、結果與討論

一、動態路線定位實測成果

將實測路線以分層設色的方式顯示路線之三維點位精度因子PDOP(Position DOP)值如圖3所示，圖中可發現在台大校總區部份路段、接近碧潭橋路段與安康農場部份路段因GPS天線受到高樓阻擋，致使接收機可利用來解算定位的衛星數目減少因此PDOP值有較大的情形出現，又車行至基隆路高架橋下時GPS天線完全遭到遮蔽導致無法定位。以下對路線作一簡述，其中陰影部分爲偏高或過大的區域。

台大生機系－電資學院－綜合教室－小椰林－椰林大道－新生南路－辛亥路－舟山路－羅斯福路－椰林大道－舟山路側門－人工氣候室－基隆路－水源高架道路(上側)－碧潭橋－安康農場－農場小路－水源高架道路(下側)－基隆路－舟山路－舟山路側門－新總圖－綜合教室－電資學院－台大生機系

將實測路線套疊台大與安康農場圖層如圖4、圖5所示，圖中可看出路線與圖層大致相當吻合，但在基隆路高架橋下即發生PDOP值過高無法定位的情形出現，因此若以GPS作爲唯一的導航工具在此情況下將非常危險。

選擇在車行路線中作相同路線軌跡(PDOP＜3)測試，見圖4中椰林大道軌跡重合部份，擷取此段作動態定位誤差分析

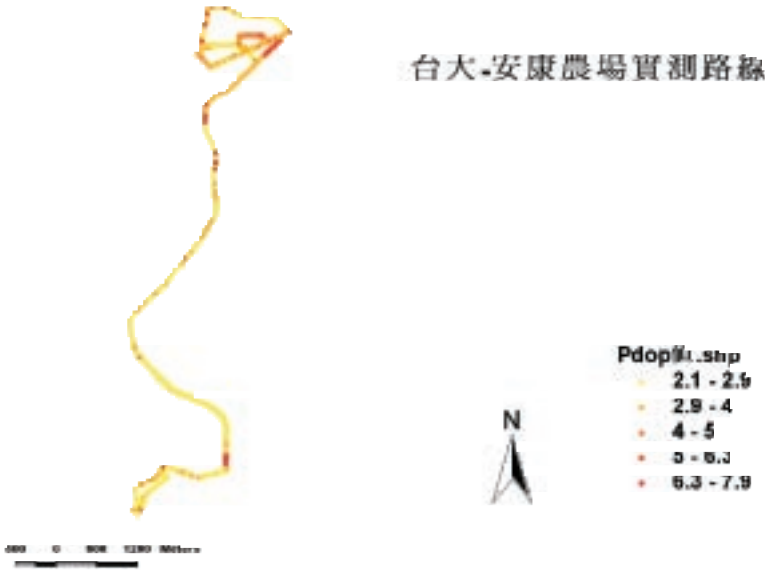


圖3. 台大－安康農場之實測路線。

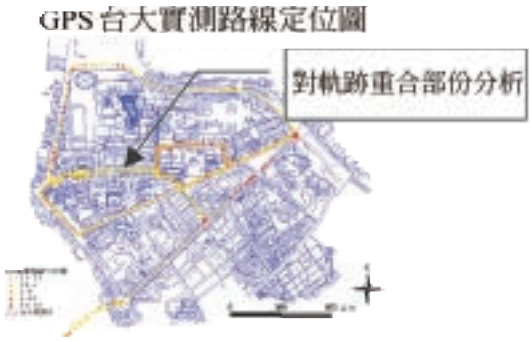


圖4. 台大圖檔套疊實測路線 。



圖5. 安康農場圖檔套疊實測路線。

如圖6所示：

1. 重合長度≒0.0025° E

平面距離≒0.0025° ×109㎞＝272.5m

2. 最大偏差≒0.00002° N

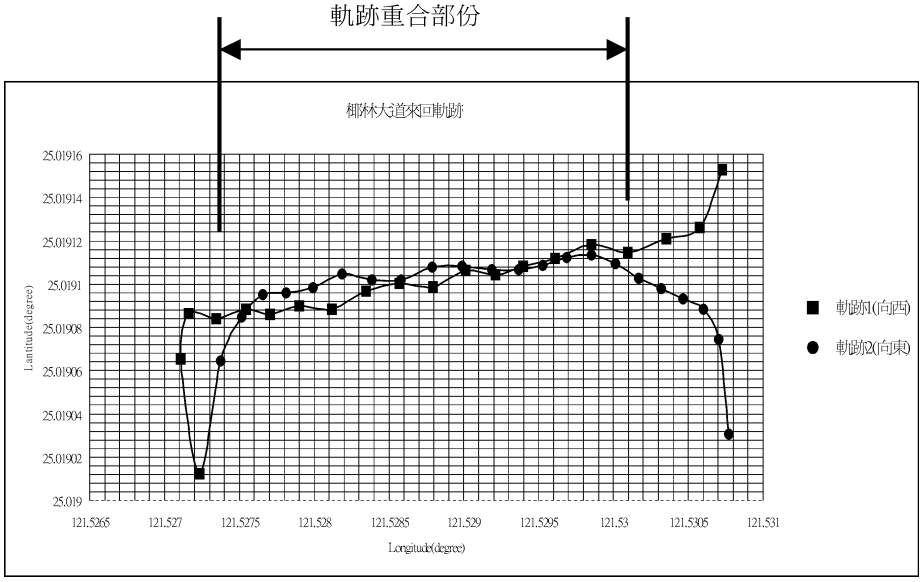


圖6 . 椰林大道來回重合軌跡分析。

平面距離≒0.00002° × 110㎞ ＝ 2.2 m，對於行進中的車輛此偏差量應在實驗誤差可接受範圍內。

綜合以上結果，將實測路線利用ArcView軟體套疊相關圖檔，PDOP(＜8)在可接受的情形下路線大致與地圖重合，除了在有高建築物或高架橋遮蔽處無法定位外，其餘路線不致有太偏離的情形出現，另外在路線中還可觀察到在轉彎處定位會有偏差較大的情形出現。

經由一連串的靜態與動態定位試驗之後，就利用即時碼觀測定位的近3公尺誤差量，對於噴藥車噴桿總跨距8公尺而言，已能滿足在田區導引施噴的功能，故

Trimble Pro XRS即時差分定位儀已能符合噴藥車變率施噴系統的即時定位要求。

二、桿式噴藥車之實地施噴

經過實地田區測試結果得知：當噴藥機尚未進入或已離開地理座標設定之田區時，噴藥閥門關閉(圖7)；一旦噴藥機進入地理座標設定之田區時，噴藥閥門立即開啓，進行田間施噴作業(圖8)。爲便於遠處監測，於噴藥機上另裝置一具信號燈由其



圖7. 桿式噴藥機尚未進入設定田區。



圖8. 噴藥機已進入設定田區並啓動閥門進行施噴。

亮起轉動或熄滅，即可知是否進入了設定之田區。

三、討論

經由上述的實驗可以得知利用Trimble Pro XRS 的即時定位碼觀測誤差在3公尺之內，這對於應用變率施噴系統在桿式噴藥車即時的定位導引是可行的。在GPS定位系統絕大多數的共同性誤差已經由差分定位所消除，且美國前總統柯林頓已簽署命令在台北時間2000年5月2日早上八時將SA效應關閉，讓全球的使用者都能更精確的使用GPS定位系統。

伍、結　論

本研究之主要貢獻是進行精準農業體系下的噴藥車施噴系統的初步設計，包括了結合GPS定位系統與GIS等不同的理論基礎與軟硬體介面，再配合桿式噴藥車施噴系統的改良，使施噴系統具有控制定點定量的效果。由GPS定位實驗結果顯示，在動態各種路徑的實測方面其誤差量皆可保持在3公尺以內。

未來在變率施噴的應用上，首先取得經過GIS分析之病蟲危害程度圖層的待施藥田區之地理座標，藉由噴藥車上安裝的GPS接收儀引導至病蟲危害的田區，當噴藥車進入受病蟲害程度不同的田區時，則由GPS即時定位座標(誤差量3公尺)比對GIS圖層預設的程度不同區塊座標以判斷噴藥車所處之田區，並給予適當的施噴策略，以達到因地制宜且適地、適量的目的。

陸、引用文獻

1. 鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車ZTSL 500型使用說明書。
2. 楊純明。2000。精準農業之關鍵要素與科技。p.16-23。水稻精準農業(耕)體系之研究，16-23。行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
3. Auernhammer, H. and T.Muhr. 1991. GPS in a basic rule for environment protection in agriculture. p.394-402. In:Proceeding of the 1991 Symposium, Illinois: ASAE Publication 11-29.
4. Berry, J.K. 1998. Who's minding the farm?. GIS world. February 1998:46-51.
5. Clark, R.L. and R.L.McGuckin. 1996. Variable Rate Application Equipment for Precision Farming. http://www.bae.uga.edu/dept/research/precision/clark_vrt.html.
6. Johnson, R.R., J.S.Hickman and W.F.Smith. 1997. Precision Farming in Mechanized Agriculture. 63-69. Society of Automotive Engineering paper no. 972760.
7. Schueller, J.K. and M.W.Wang. 1994. Spatially-variable fertilizer and pesticide application with GPS and DGPS. Computers and Electronics in Agriculture. 11 (1994): 69-83.
8. Trimble Navigation Limited. 1997. Pathfinder Office Getting Started Guide.
9. Trimble Navigation Limited. 1998. Asset Surveyor Software User Guide.
10. Trimble Navigation Limited. 1998. TSC1 Asset Surveyor Operation Manual.

15 CDevelopment of a GPS-operated sprayer - Spraying at a destined field and by a fixed flow rate

Ying-Tar Liao[1], Chung-Kee Yeh[1] and Lien-Sheng Liang[2]

[1] Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering,
National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute,
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

E-mail:ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a precision spraying system of the boom sprayer that can be controlled by a GPS. The sprayer can be operated at a destined field by a fixed flow rate. The necessary apparatus and instruments include:1) Trimble GPS Pathfinder Pro XR: includes a receiver, an antenna and a data collector/controller. 2) Control and analysis software: includes Asset Surveyor, Pathfinder Office, ArcView and ARC/INFO. 3) Boom sprayer: manufactured by Zetor Co., Model: ZTSL500. 4) Sprayer control kit: produced by Spraying System Co., Model: 744A. 5) GPS controller: made by a domestic Company. The methods are: 1) Actual measurements by GPS: Positioning by an actual dynamic path. 2) Actual operation of the boom sprayer in field: a) Coordinates saved in a CF card by means of a computer. b) CF card inserted into the GPS controller. c) Boom sprayer operated in field, observed whether the spraying valves are actuated. d) A signal lamp mounted for the purpose of monitoring in a long distance. Results and Discussion: 1) The positioning experiments of GPS show that all the errors can be kept within three meters, either the error from the static positioning point or the error from an actual measurement by various dynamic paths. 2) When the boom sprayer is operated in a destined field, a lamp will flash and rotate. The control valves will be actuated simultaneous for spraying. If the sprayer leaves the preset field, the lamp will not flash, the valves will also be closed and the pesticide solution will not be sprayed any more.

Key words: GPS, Boom sprayer, Spraying control.

16 變異率施肥系統之研究

謝禮丞[1] 欒家敏[1] 謝廣文[1] 黃禮棟[2]
[1] 國立中興大學農業機械工程學系
[2] 行政院農業委員會農業試驗所農業工程組
Email:lchsieh@nchu.edu.tw

摘 要 ---------- 206
壹、前 言 ---------- 206
貳、材料與方法 ---------- 209
參、結果與討論 ---------- 213
肆、引用文獻 ---------- 216

16 變異率施肥系統之研究

謝禮丞[1]　欒家敏[1]　謝廣文[1]　黃禮棟[2]
[1]國立中興大學農業機械工程學系
[2]行政院農業委員會農業試驗所農業工程組
Email:lchsieh@nchu.edu.tw

摘　　要

本研究係以水稻爲目標作物，因此利用水稻插秧機做變率施肥之主體，同時採用深層施肥之方式。機械深層施肥較人工施肥可節省肥料用量約40%，減少施肥2－3次，提高產量。同時因肥料埋在土壤中不會流失，可減少肥料對環境之污染及因過度施肥造成土壤酸化之情形。本研究旨在研製一深層施肥裝置附掛在久保田SPA6乘坐式插秧機上，同時依土壤肥力做變率施肥，使其能達插秧與施肥同步進行。本施肥機採用台肥5號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲農試所推薦量之60%，375－675kg/ha。採隔行在兩秧苗中間定量施肥，其每點施肥量在8.8g至2.6g，故取施肥量分六組，每施肥點施肥8.8g，7.8g，6.8g，5.8g，4.8g及3.8g。施肥深度約6－8公分並覆土。肥料配出由輸肥輪作動，肥料輪上有施肥爪，利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移以達六段施肥控制，肥料輪作迴轉運動如棘輪之動作，使肥料自輸肥輪凹槽中落入集肥杯及肥料輸出管而掉入土壤中，輸肥輪之動力來自插秧機之插植爪，即能與插植爪同步動作。由文獻中得知，肥料在斜度62度以上，其流動性最佳，不產生死角。故肥料箱之角度設計取62度，其長寬高尺寸分別爲42cm× 30cm× 40cm，每筒肥料容量約20kg。本年度衛星定位系統(GPS)尚未裝置於此系統上。

關鍵詞：水稻(*Oryza sativa* L.)、插秧機、深層施肥。

壹、前言

施肥技術之發展、品種之改良、灌溉設施之普及等被稱爲近年來世界綠色革命之三大支柱。作物經以肥料的施用補充土壤養分之不足，或應用施肥方法使土壤中之養分供給狀態有利其收穫物生產或品質之提高，係由長年探索養分資源之運用(肥

料學)、養分之土壤分佈(土壤學)、養分在土壤中之行動(土壤化學和土壤肥力論)及作物生理上之養分需求(作物營養學)等知識長年累機所發展之技術。連(1997)指出土壤中缺少某種要素(土壤中最易缺乏氮、磷、鉀三要素)而施肥時，作物的生長量隨施肥量之增加而遞減(報酬遞減率)。由於政府的肥料價格穩定政策，農民一直享受比較低廉的肥料。另由於人工之缺乏和工資之上漲，農民爲求確保產量，常偏好施用重肥，施肥方式趨於粗放。台灣農民之肥料成本/總成本比率已自1956年之25.7%降至1976～1985年之8.4%。反之，其工資成本比率卻自1956年之41%增至1981～1985年之 57%。 依據民國85年期台灣農產品生產成本調查報告，得知以水稻進行肥培作業時如將第一、二期作並把蓬萊稻與在來稻等加總平均，則肥料費用每公頃爲5,696元，佔直接生產費用約7.0%，依據民國90年8月臺灣農產物價與成本月報，得知將水稻第一、二期作並把蓬萊稻與在來稻等加總平均，則肥料費用每公頃爲6511元，佔直接生產費用約7.7%，5年間肥料費增加14%，另對於頗爲耗工之施肥工資則尚未包括在內。年來農民爲追求較高收量，對於化學肥料之施用量仍是有增無減。而政府爲配合肥料產銷自由化政策之推動及加入世界貿易組織(WTO)，決定至民國91年取消肥料補貼政策，屆時農民水稻耕種成本亦會增加。

在精準農業的範疇內，對土壤要做肥力的精準管理。Pierce and Nowak (1999)對於土壤肥力精準管理的觀念提供如後：空間的變異(spatial variability) 存在於田區內之土壤肥力，此變異可以被正確的辨認，同時，對此一變異有合理的解釋，也就是說會影響到作物的產量、品質或生態環境；改良土壤肥力的資材，如：石灰、氮、磷、鉀等元素，能正確的施用於田間。

欲瞭解田區土壤養分變異，土壤取樣爲重要步驟之一，林等(2000)指出土壤取樣策略概分爲傳統混合取樣(traditional composite sampling)、基標土壤取樣(benchmark soil sampling)、方格法土壤取樣(grid sampling)、地景導向土壤取樣(landscape directed soil sampling)等。由取樣的土壤分析後得到的結果，經過GPS的定位與施肥機械的配合作業，如此可以進行田間的變率施肥。

一般相信水田的肥力變異性不是很顯著，Radite *et al*., (2000)認爲這種觀點是不正確的，因爲Lee *et al*., (1999)和Yanai *et al*., (2000)提供了三年實驗數據顯示，水田中的土壤有顯著的空間變異率，尤其是氮素(soil-N)。因此Radite *et al*., (2000)的試驗係建立在不同比率的上層施肥(top dressing)，將水稻田中的土壤氮肥降至最低。這個觀念是建立在爲維持水稻之高產量同時不傷害環境下，而施用與維持適當的養分，將穀物產量之空間變異降至最低。實際解決的方法是以養分移除爲基礎的施肥，如此估計爲在高產值範圍內的最經濟作法。

水稻變率及深層機械施肥是依土壤當時之肥力狀況經計算施肥量，再加以深層施肥(8-10cm)，而水稻深層施肥在日本先進國家已廣泛被稻農採用。在工商業快速發展導致人們降低從事農業生產意願，農村人口老化及國外進口農產品競爭之下，爲節省施肥勞力與減少施肥量以降低生產成本、減少過度施肥對環境的傷害與水質

的污染、及增加生產量，發展水稻變率及深層施肥機械是可行的方法。

在日本有一型尚未商品化的粒狀肥料用的施肥機，可提供作爲水田變率施肥的應用機，該機爲Hatsuta Industrial Company (model GS-MPV 8)產品。此型機械原爲氣輔式撒佈型，採固定均勻比率在水田中施肥，但其肥料比率可以由指針來調整。施肥率可以經由指針的調整，在進行施肥之前以手動調整妥當，再下田進行施肥作業。本機由一個130W的直流伺服馬達驅動，具有噴寬爲7.5m且裝有6組指針計量的裝置及12個噴嘴。每一個指針計量裝置由一個30W的直流馬達驅動，如此即可單獨控制每隔1.25m的計量裝置的準確度。

此一GS-MPV 8裝置以三點鏈接在一多用途高底盤的曳引機。圖1顯示此機含有四個主要組件：(1)電子元件(馬達與控制器)，(2)肥料筒，總容量爲120公升，(3)六組指針計量裝置，和(4)12個噴嘴。

在日本已有久保田公司(Kubota)、三菱公司(MITSUBISHI)及野馬農機株式會社(YANMAR)生產各式之深層施肥機。國內有高雄區農業改良場研製深層施肥機(王等人，1985，1990，1991)附掛在國產裕農牌YP-650型步行插秧機。

林與吳(1997)指出水稻機械深層施肥之優點爲：

1. 目前機械施肥作業是將插秧與施肥作業兩項工作同時交由插秧機及附掛之深層施肥器一次完成，可以較人工表面撒施法減少施肥次數 2~3 次。
2. 採用機械深層施肥可將肥料入表土內側施爲 3~4 公分，深施可達 8~10 公分，如此可提高肥料效果及減少施 肥用量，省工省成本。

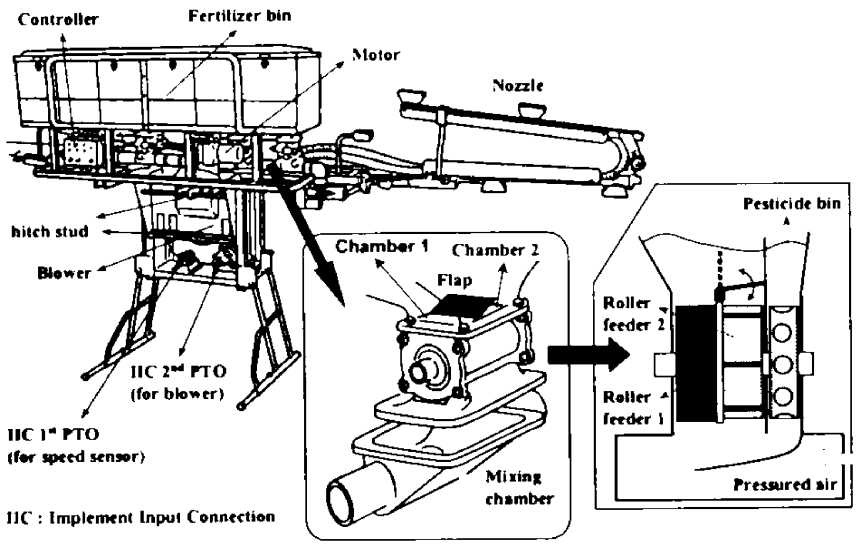


圖1. 粒肥施肥機 GS-MPV 8 (from Radite *et al.*, 2000)。

3. 因機械施肥可促進根系伸長，葉片較直立，使受光率較多植株較旺盛，並可增加有效穗數及促使穀粒飽滿，增加單位面積產量。

而王與葉(1997)報告指出83年第2期作稻穀產量以深層施肥處理平均產量4860公斤/公頃，比人工施肥增產8.6％，若以減少40％施肥量可增產10.3％。以側條施肥處理平均產量4790公斤/公頃，比人工施肥增產7.1％，若以減少40％施肥量可增產12.1％。

本研究以降低肥料用量與環保之觀念選擇使用深層施肥之技術，日本的機型在台灣有其不適用之處，如糊狀肥料之使用。所以本計畫遂以自行設計改良的深層可變率施肥機爲主要的工作目標。

貳、材料與方法

本試驗所使用之設備有插秧機、自製深層變率施肥機、鼓風機、發電機、PLC及臺肥5號肥料。

由於氮肥對作物之影響最大，因此以氮肥量作爲主要肥料計算，依據肥料作業手冊其氮肥之推薦量，一期作水稻氮肥推薦量150kg，以每分地(20m × 50m)，株距爲21cm，行距爲30cm，每兩棵中間爲施肥點爲例：

(1) 將氮肥推薦量150kg換算成臺肥五號肥料量爲150÷0.16＝937.5(kg/ha)
臺肥五號肥料之含氮量16％
(2) 機械實際用肥量爲
937.5×0.6 = 570(kg/ha)= 57(kg/0.1ha)
(3) 計算每點肥料量：(一分地20m×50m)
每行施肥點有2000/30/2 = 33(Spot)
每列用肥量：57/33 = 1.727(kg/row)
每點施肥量：1.727/(5000/21)= 7.25(g/Spot)
(4) 若知每分地之施肥量，由表1中可查得施肥時每點之施肥量。

施肥機裝置係直接安裝在插秧機上，爲減輕其負荷，又不影響作業機之耐用下，宜選用材質較輕，厚度較薄者。且直接與肥料接觸，肥料有腐蝕性故必需採用不鏽鋼或塑膠等材質。本施肥機需含有以下的元件以利完成變率施肥的動作。

一、肥料桶：

以不鏽鋼板製成，尺寸爲長42cm×寬30cm×高40cm，每筒肥料容重量約20kg，可供兩行水稻施肥之用。在肥料桶之側邊有一存量檢視窗，供操作者察看肥料統存量之用。且於輸肥輪之頂端加裝肥料開關控制板，以備將來八行插秧施肥時，可任意關住1－2條之肥料配出，可避免在同一位置重複施肥。肥料桶附有蓋子。

二、輸肥輪：

以乙聚龍製成，心軸爲不鏽鋼以防腐蝕，在輪之圓周面上鑿八個半圓形槽，內裝滑動板，輸肥輪作迴轉運動，如棘輪之動作，當插植爪每插植一株，輸肥輪轉45度。同時利用利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移，以達控制六段肥料輸出量。

三、集肥杯及肥料輸出管：

集肥器出肥口爲一Y形狀，使肥料盡量保持直線，同時集肥杯爲不鏽鋼製成內部噴上鐵伏龍粉末可使肥料粉末不附著在管壁上而造成阻塞，輸肥管徑爲39.4mm，並採用透明塑膠管，在管旁加裝吹氣裝置以加速肥料落下避免阻塞。

四、開溝犁：

表1. 肥料計量表(依株距及肥料每分地用量計算)，在兩秧苗中間施肥。(單位：公克)

分地用	12(cm)	14(cm)	16(cm)	18(cm)	21(cm)
35	2.55	2.97	3.39	3.82	4.45
36	2.62	3.05	3.49	3.93	4.58
37	2.69	3.14	3.59	4.04	4.71
38	2.76	3.22	3.68	4.15	4.84
39	2.84	3.31	3.78	4.25	4.96
40	2.91	3.39	3.88	4.36	5.09
41	2.98	3.48	3.98	4.47	5.22
42	3.05	3.56	4.07	4.58	5.35
43	3.13	3.65	4.17	4.69	5.47
44	3.20	3.73	4.27	4.80	5.60
45	3.27	3.82	4.36	4.91	5.73
46	3.35	3.90	4.46	5.02	5.85
47	3.42	3.99	4.56	5.13	5.98
48	3.49	4.07	4.65	5.24	6.11
49	3.56	4.16	4.75	5.35	6.24
50	3.64	4.24	4.85	5.45	6.36
51	3.71	4.33	4.95	5.56	6.49
52	3.78	4.41	5.04	5.67	6.62
53	3.85	4.50	5.14	5.78	6.75
54	3.93	4.58	5.24	5.89	6.87
55	4.00	4.67	5.33	6.00	7.00
56	4.07	4.75	5.43	6.11	7.13
57	4.15	4.84	5.53	6.22	7.25
58	4.22	4.92	5.62	6.33	7.38
59	4.29	5.01	5.72	6.44	7.51
60	4.36	5.09	5.82	6.55	7.64
61	4.44	5.18	5.92	6.65	7.76
62	4.51	5.26	6.01	6.76	7.89
63	4.58	5.35	6.11	6.87	8.02
64	4.65	5.43	6.21	6.98	8.15
65	4.73	5.52	6.30	7.09	8.27
66	4.80	5.60	6.40	7.20	8.40
67	4.87	5.68	6.50	7.31	8.53
68	4.95	5.77	6.59	7.42	8.65
69	5.02	5.85	6.69	7.53	8.78
70	5.09	5.94	6.79	7.64	8.91

由聚乙龍製成，尺寸爲長 11.0cm×寬 4.0cm×高 11.0cm。功用爲將地表剖開成溝，以便將肥料導入溝內，最佳裝置位置爲愈靠近插植爪處，愈能使機械插植秧苗不會發生缺肥現象。同時肥料落肥點之位置要在兩秧苗正中間，將來水稻生長才會整齊。

五、輸肥輪傳動

以插植臂由連桿、搖臂等驅動，故使插秧及施肥作業同步進行。

六、鼓風機：

利用鼓風機之風力將肥料吹入土壤中，並可防止輸肥管阻塞、加速肥料落下。

本研究設計施肥桶約裝20公斤之肥料。爲設計施肥桶及施肥輪滑槽之體積大小，應先知道肥料體積(V)與重量(M)之關係，利用台肥 5號肥料試驗結果得：

$$M = 0.843\ V \qquad (1)$$

施肥桶之構造圖如圖2，施肥輪主要是控制肥料之輸出量，本研究爲控制每施肥點爲8.8g、7.8g、6.8g、5.8g、4.8g、及3.8g六段之肥料量。而施肥輪槽之計算：利用式(1)來計算施肥輪槽之體積。

槽之半徑爲1.2公分

面積爲$1.2\times1.2\times\pi\div2=2.26cm^2$

肥料密度爲$0.84\ g/cm^3$

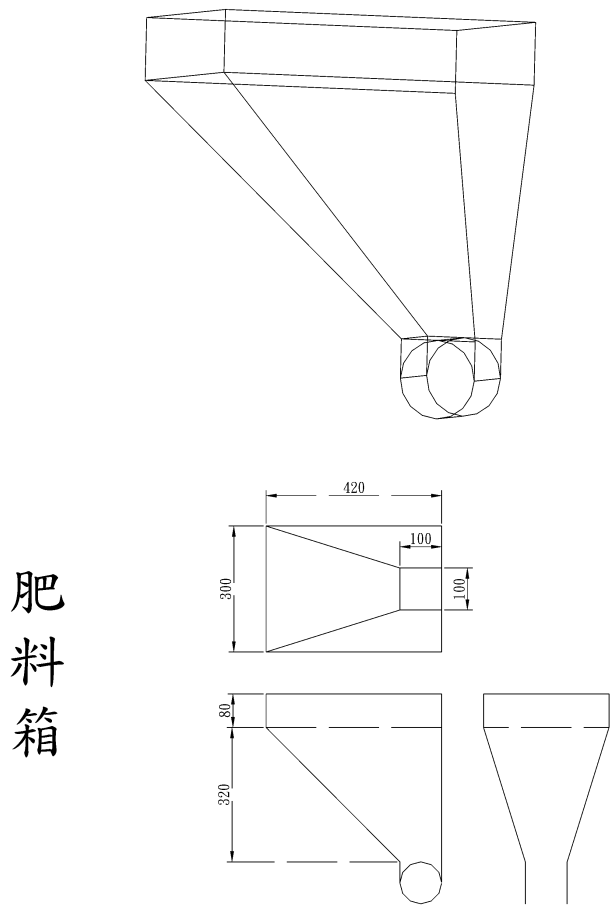


圖2. 肥料桶之構造圖。

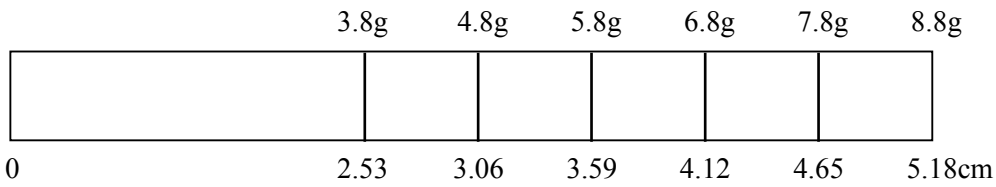


圖3. 施肥量與滑槽之相關位置圖。

施肥量有8.8g、7.8g、6.8g、5.8g、4.8g、3.8g，以3.8g計算體積爲

$3.8g / (0.84g/cm^3) = 4.52cm^3$

所以施肥量3.8 g時滑槽之長度爲：

$4.52cm^3 / 2.26cm^2 = 2cm$

而每增加1g之滑槽長度需增加

$1g / (0.84g/cm^3) = 1.19\ cm^3 \rightarrow 1.19cm^3 / (2.26cm^2) = 0.53cm$

如施肥量爲4.8g時，滑槽長度即爲

2＋0.53＝2.53cm

同理可得施肥量與滑槽之相關位置，如圖3。此外，爲確保肥料落在秧苗旁，故插植時間和肥料落下時間要一樣，插植時間之計算依陳(1993)四連桿式插植機構之運動分析與設計準則得插植爪之軌跡方程式，若考慮插秧機的作業速度，其水平方向的軌跡方程式爲：

$$Xp = r_2 \cos(\theta_1 + \beta) - r_p \cos(\theta_2 - \lambda - \beta) - r_5 \cos(\theta - \beta) - vt \quad (2)$$

r_2 ：曲柄長度，
r_5 ：連接桿伸出長度，
r_p ：插植爪長度，
v ：插秧機作業速度，
B_1 ：固定桿與曲柄之夾角，
θ_2 ：連接桿與固定桿夾角，
β ：固定桿與X座標夾角，
λ ：連接桿與插植爪夾角，
t ：時間。

而株距與插植速度及曲軸轉速之關係式爲：

株距 = 插植速度 / 曲軸轉速 × 60 (3)

本研究使用之插秧機爲日本久保田SPA85乘坐式插秧機，其插植速度=1.35m/sec，株距有12cm、14cm、16cm、18cm及21cm五種。由上述兩公式，可計算每一秧苗之插植時間如表2所示。

而肥料自然落下時間，依據牛頓之運動定律：

$$V = Vo + at \quad (4)$$

$$S = Vot + 0.5at^2 \quad (5)$$

其中，
V_o ：初速，
V ：末速，
S ：距離，
a ：加速度，
t ：時間。

肥料落下距離設爲80cm，同時肥料最後落在地上其末速度(V)爲0而得：

表2. 各種株距之插植時間。

株距(cm)	曲軸轉速 (rpm)	插植時間(sec)
21	385.7	0.156
18	450.0	0.133
16	506.3	0.119
14	578.6	0.104
12	675.0	0.089

$V_o = 9.8t$

$0.8 = 9.8t^2 - 4.9t^2$

所以 $t = 0.404$(sec)

$V_o = 3.959$ (m/sec)

插植時間和肥料自然落下時間差距太大，故爲加速肥料落下，配合插植機構插植時間而加裝鼓風機，同時因有五種株距，因此要計算五種加速風量，爲達風量之改變，在鼓風機加一變頻器以改變鼓風機之轉速，進而改變風量。

有插植時間，再應用牛頓之運動定律，可求得肥料加速落下之初速度，再應用流體力學之連續方程式就可求出理論風量，而應用流體力學之相似定律可計算風量與轉速之關係。

1. 連續方程式

$Q = 100AV$ (6)

其中，Q：流量(cm^3/min)

A：面積(cm^2)

V：速度(m/min)

2. 流量相似定律

$Q_1/Q_2 = (D_1/D_2)^2(N_1/N_2)$ (7)

軸動力相似定律

$L_1/L_2 = (\gamma_1/\gamma_2)(D_1/D_2)^5(N_1/N_2)^2\gamma$ (8)

其中，L：軸動力(kw)

D：管直徑(m)

γ：比重量(kgf/m^3)

N：轉速(rpm)

計算方法如下：

插秧機之插植速度= 1.35m/sec

株距 = 插植速度 / 曲軸轉速× 60

$V = V_o + at$

$S = V_o t + 0.5at^2$

當V= 0 , S = 80cm , t = 0.156sec

(S = 肥料自輸肥輪下方至土壤距離)

則$0 = V_o + 0.156a$ (9)

$0.8 = 0.156V_o + 0.012168a$ (10)

由(9) (10)式得

$V_o = 10.29$m/sec

$a = 65.75$m/sec2

$Q = AV$

輸肥管直徑 = 4 cm

面積 $A = 2\times2\times3.14159$

$= 12.57\ cm^2$

$Q = 12.57\times10.29\times60/10000$

$= 0.7761 m^3/min$

同理可計算不同株距所得之插植時間, 初速及鼓風機風量，其結果如表3。

參、結 論

表3. 不同株距所得之插植時間、初速及鼓風機風量。

株距(cm)	曲軸轉速 (rpm)	插植時間(sec)	初速Vo(m/s)	流量Q(m3/min)
21	385.7	0.156	10.29	0.776
18	450.0	0.133	12.00	0.905
16	506.3	0.119	13.50	1.018
14	578.6	0.104	15.43	1.164
12	675.0	0.089	18.00	1.358

本研究目標爲開發適合國內水稻田所使用的可變率施肥機，由於深層施肥機的優點而選用此種作業方式，肥料桶、輸肥輪、肥料計量器、集肥杯及肥料輸出管、開溝犁等根據以上的設計與分析、組合(圖4及圖5)，利用現有的插秧機，將雛形機(圖6)打造出來。

本施肥機採用台肥5號複合肥料，而機械施肥之施肥量約爲農試所推薦量之60%，375－675kg/ha。採隔行在兩秧苗中間定量施肥，其每點施肥量在8.8g至2.6g，故取施肥量分六組，爲每施肥點施肥8.8g，7.8g，6.8g，5.8g，4.8g及3.8g。施肥深度約6－8公分並覆土。肥料配出由輸肥輪作動，肥料輪上有施肥爪，利用可程式控制器(PLC)控制伺服馬達調整施肥爪之位移以達六段施肥控制。肥料輪作迴轉運動如棘輪之作動，使肥料自輸肥輪凹槽中落入集肥杯及肥料輸出管而掉入土壤中，輸肥輪之動力來自插秧機之插植爪，

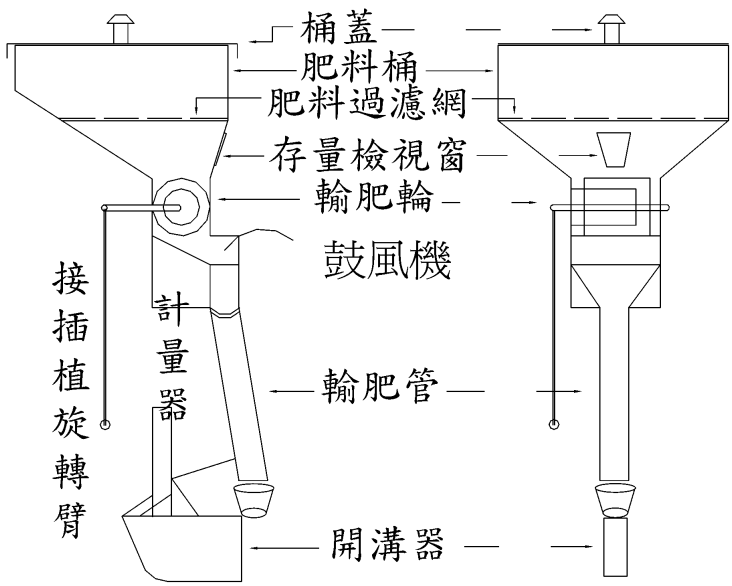


圖4. 深層變率施肥機構造圖。

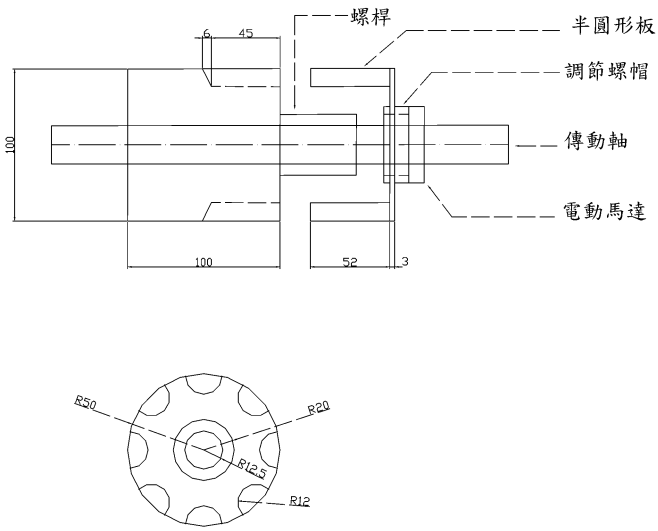


圖5. 施肥輪之構造。



圖6. 可變率深層施肥機之雛型機體圖。

即能與插植爪同步動作。由文獻中得知，肥料在斜度62度以上，其流動性最佳，不產生死角。故肥料箱之角度設計取62度，其長寬高尺寸分別爲42cm× 30cm×40cm，每筒肥料容量約20kg。

由於許多零件並非規格化之成品，開發的時間耗費較長，功能性的測試必須再多做試驗之後方能做調整與改進至田間使用。

肆、引用文獻

1. 三菱MPR 85H插秧機附掛施肥機。三菱農機型錄。大地菱農業機械進口。
2. 王明茂、李明堆、黃志明。1985。插秧機附掛深層施肥機改良與示範。七十四年農機研究發展與示範推廣報告167-170。
3. 王明茂、陳秀文、遊景昌。1990。動力插秧機附掛施肥器之研究改良。七十九年農機研究發展與示範推廣報告221-227。
4. 王明茂、陳秀文、遊景昌。1991。動力插秧機附掛施肥器之改良。八十年農機研究發展與示範推廣報告(下) 275-280。
5. 王明茂、葉俊賢。1997。動力插秧機附掛施肥器之研究改良(三)。高雄區農業改良研究彙報9(1)：60-71。
6. 林安邦、吳玉竹。1997。台東地區水稻肥培管理。台東區農業改良場。
7. 林木連，郭鴻裕，黃維廷，張明暉。2000。土壤變異之精準管理。pp. 54-64。水稻精準農業(耕)體系之研究。行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
8. 陳文吉。1993。插秧機插植機構之最佳化設計。碩士論文。國立中興大學農業機械工程系。台中。
8. 連深。1997。我們的水田該減肥了。http://www.tari.gov.tw。
9. Lee, C. K., M. Umeda, J. Yanai, M. Iida and T. Kosaki. 1999. Grain Yield and Soil Properties in Paddy Field. ASAE Paper No. 991057. St. Joseph, MI. U.S.A.
10. Pierce, F. J. and P. Nowak. 1999. Aspects of Precision Agriculture. Adv. in Agronomy 67:1-85.
11. Radite, P. A. S., M. Umeda, M. Iida and M. Khilael. 2000. Variable Rate Fertilizer Applicator for Paddy Field. ASAE Paper No. 001156. St. Joseph, MI. U.S.A.
12. Yanai, J., C. K. Lee, M. Umeda and T. Kosaki. 2000. Spatial Variability of Soil Chemical Properties in the Paddy Field. Soil Science and Plant Nutrition 46(2):473-482.

16 Study of The Variable Rate Fertilizing System

L. C. Hsieh[1], J. M. Luan[1], C. W. Hsieh[1] and L. D. Hwang[2]
[1] Department of Agricultural Machinery Engineering, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan, ROC
[2] Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC
E-mail:lchsieh@nchu.edu.tw

ABSTRACT

Rice is the object plant for the research and a rice transplanter was used to develop a variable rate machine to carry and apply variable amount of fertilizer in the field. A machine driven underground applying skill was used and it could reduce 40% chemical application comparing with manual application. The applying times could be down 2 to 3 times as well, yet increasing the yield. Since the chemical was buried in the soil, it would not be washed out. In addition, it would reduce the pollution on the land as well as avoid acidulating the soil. Therefore, a device for applying chemicals underground was developed attaching to a Kubota SPA6 rice transplanter. A local compound chemical, #5, was used in the research. The applying amount was about 60% of the recommending amount from Taiwan Agricultural Research Institute, 375 - 675 kg/ha. In the rice field, applying in alternate line and applying certain amount of chemical between two lines of rice plants were considered. The quantity of chemical to be applied on each spot was ranged from 8.8 to 2.6 grams. There were six scales used for different demands, 8.8g, 7.8g, 6.8g, 5.8g, 4.8g and 3.8g. The applying depth was about 6 to 8 cm. There was a delivering wheel designed to rotate to transfer chemical associated with an adjustable block, which is driven by a Programmable Logic Controller (PLC) based servomotor for 6 chemical rates. The wheel moves back and forth to deliver chemicals. This wheel is concaved and is able to hold chemical and let the chemical drop into a collecting cup then through an output hose into soil. The power to drive the wheel comes from the transplanting finger of the transplanter so that the chemical application is able to work simultaneously with the transplanting. Based on literatures, the

best chemical flowing angle in a tank is no less than 62 degrees and the tank slop used in the research was set at this value. The dimension of each chemical tank was set to 40 cm x 30 cm x 62 cm for width, depth and height, respectively. The capacity of each tank is about 31 kg. The Global Position System (GPS) has not been installed in the system for this year.

Key words: Rice(*Oryza sativa* L.), Rice transplanter, Underground chemical application.

名詞索引

AERONET 78, 81, 82, 88
AOD 80, 81, 82, 84, 86, 88
CCD 130, 131, 136
DMSV-1 52, 54, 56, 58, 60, 72, 76
Duncan MS3100/CIR 20, 26, 36, 37
GPS自動噴藥機 193, 194
GREEN 2, 3, 7, 10, 11, 12, 13, 17, 58, 59, 126
NDVI 6, 12, 17, 20, 21, 22, 23, 25, 28, 31, 321, 35, 36, 37, 58, 62, 66, 68, 68, 69, 72, 74, 76, 77, 106, 107
NIR 17, 18
RED 2, 3,5, 7, 1,11, 12, 13, 17, 58, 59, 126
SPOT 20,21, 22 , 23, 24, 25, 28, 30, 31, 33, 35, 36, 60, 66 67, 72, 76, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 88
SSEBI 66, 67, 70, 71, 72, 76
一次微分 105, 107, 108
土壤性質 140, 141, 142, 144, 145, 148, 154, 155, 158, 162, 163
土壤空間變異 140, 155
土壤肥力 139, 140, 141, 142, 144, 148
土壤肥力分佈圖 140, 141
土壤特性圖 169
土壤採樣技術 145, 148
土壤資料庫 139, 140, 145, 148
土壤熱 66, 67, 70, 72
土壤熱通量 67, 70, 71
大氣改正 80, 82
大氣輻射校正 57, 59
介面設計 90, 91
分蘖盛期 155, 159
分蘖期 56, 57
反射比值 102
反演模式 82, 86
水稻 2, 4, 8, 10, 11, 12,13
水稻反射率 80, 82, 84, 86
水稻產量 33, 34, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 50,52, 53, 58, 59, 61, 145, 153, 154, 155, 170 172, 178, 180, 182, 183, 184, 186, 188
水稻像元 82, 86
水稻縱捲葉蟲 4
水稻聯合收穫機 180, 181, 182, 184, 188
可感熱 66, 70, 72, 74
可攜式輻射光譜儀 114, 116, 117, 119, 124
可變率控制 196
生長期 102, 103
生長監測 20
田間定點定量施噴作業 194
光學鏡頭 131
光譜 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 13, 20, 21, 25, 26, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 57, 59
光譜指數 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 13
光譜特徵 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11, 12
光譜資料庫 89, 90, 91, 92, 98
光譜儀 115, 116, 117, 119, 124
全球定位系統 169
全球衛星定位系統 194
回歸分析 3, 6, 10, 11, 12
回歸模式 10,11
地表反照率 67, 68, 70, 71, 72, 74
地表放射率 68

地表溫度 66, 67, 69, 70, 71, 72, 74, 76
多光譜近紅外影像 26
多光譜影像 114, 115, 116, 117, 118, 119, 121, 122, 124
多光譜影像系統 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125
多頻譜系統 51, 53, 54
多變量(元)直線回歸分析 3, 7, 10
米氏理論 82
作物營養狀態圖 169
決策系統 167, 168, 169, 176
系統管理 90, 92, 96
定位系統 169
波段濾鏡 130, 131
空間分佈圖 41
空間模式化 196
空間變異性 196
肥料三要素 170
肥培管理 155
施肥 155, 158, 159, 161, 163
施肥資訊 140
施肥圖 169
相關係數 20, 21, 31, 32, 33, 35, 36, 119, 122, 123,
氣膠光厚度 80, 81, 82, 84
特定地點經營管理系統 4
特徵光譜 40, 41, 42, 43
病蟲害 2, 3, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13
窄波段 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13
能量平衡 65, 67, 69
逆境 90
高光譜影像 124, 125
高空作業車 130, 131, 136
推薦原則 170, 171
桿式噴藥機 194, 200
條施 173, 175
混合像元 52, 53, 84
深層施肥 171, 175, 176
深層變率施肥機 209
淨輻射 67, 68, 69, 70, 71, 74
產量 21, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 52, 58, 60
產量分佈偵測系統 180, 181, 183, 184, 188
產量分佈圖 155, 163
產量推估 40, 44
產量圖 180, 181, 182, 183, 188
產量圖化技術 182
粒肥施肥機 208
處方式農耕 4
單色數位像機 131
幾何校正 57
插秧機 206, 208, 209, 212, 213, 214, 216
期作生產力圖 169
植被反射光譜曲線 106
植被光譜 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13
植被指數 6, 10, 12
植體分析 154, 155, 163
植體營養 154, 155
氮肥處理 42, 43, 46
氮素 102, 103, 104, 105
氮營養狀態 102
測試 90, 91
程式設計 90, 91
微分 102, 105, 106, 108
感染百分比 3, 6, 12
感染等級 2, 3, 6, 8, 10, 11, 12
感測器 180, 181, 182, 183, 184, 186
暗密植被 80, 82
葉綠素 102, 103, 104, 105, 110
葉綠素濃度 102, 103
葉綠素總量 104

葉稻熱病 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 12
資料查詢 90, 99
雷氏散射 82
精準農耕 4
精準農業 5, 13, 20,22 36, 52, 53, 61, 67, 80, 84, 86, 90, 91, 99, 114, 116, 124, 125, 130, 131, 136, 140, 141, 145, 148, 153, 154, 158, 163, 180, 181, 186, 188, 194, 196, 203, 216
蒸發散 66, 67, 70, 72, 74, 73, 75
蒸發散量 66, 67, 70
遙測 2, 3, 4, 5, 13, 14, 20, 21, 22, 23, 24, 31, 32, 33, 36, 52, 53, 55, 56, 57, 61,66, 68, 69, 72, 74
遙測系統 113, 114, 116, 119, 120, 124, 125
遙測模式 40, 43, 46
遙感探測 130
噴藥控制閥 194
撒施 173, 175, 176
潛熱 67, 70, 71, 72, 74
瘤野螟 12, 13
穀物流量感測器 180, 184, 188
稻熱病 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12
線性回歸 32, 35, 68, 72
機械施肥 207, 208, 209, 214
機載 52, 53, 54, 56, 59, 60
輻射量平衡 67, 68
檢測技術 102
營養元素 154, 159, 161, 162
變異率施肥系統 206
變異率噴施系統 206
變異率應用技術 4
變量施肥 169
觀測資料 51, 76, 82

統一編號
1009101465

應用於水稻精準農業體系之知識與技術

楊純明
林俊義 主編

行政院農業委員會
農業試驗所 出版

ISBN 957-01-1173-9
9 789570 111736

定　價：新台幣400元