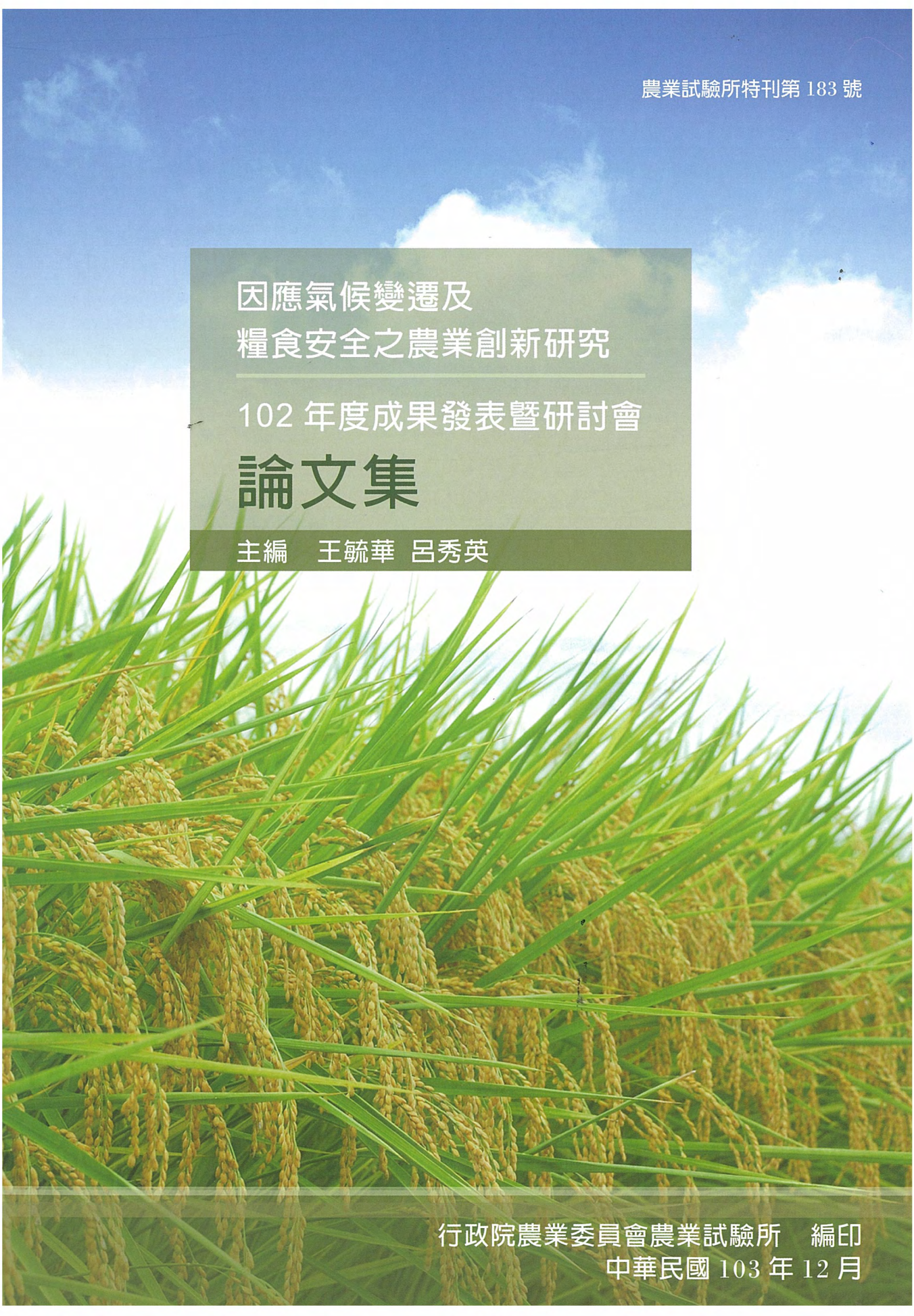
農業試驗所特刊第 183 號

因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究

102 年度成果發表暨研討會

論文集

主編　王毓華　呂秀英



行政院農業委員會農業試驗所　編印
中華民國 103 年 12 月

農業試驗所特刊第 183 號

因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究—102 年度成果發表暨研討會論文集

主編

王毓華、呂秀英

行政院農業委員會農業試驗所 編印

中華民國一〇三年十二月

Taiwan Agric. Res. Inst., Spec. Publ. No. 183

Agricultural Innovation Studies for Coping with Climate Change and Food Security

Edited by:

Yu-Hua Wang, Hsiu-Ying Lu

Taiwan Agricultural Research Institution

Proceedings of 2013 Workshop held at
Taiwan Agricultural Research Institution (TARI),
Council of Agriculture, Taiwan ROC
on October 28-29, 2013

Published by TARI
December, 2014

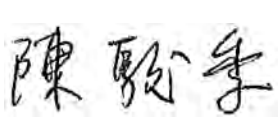
序

近年來全球氣候極端異常頻率增加，依聯合國農糧組織統計資料及世界氣象組織統計報告顯示，全球的氣候正在逐步改變中。氣候變遷所衍生的異常災害，最常見的包括氣溫上升、降雨型態改變、農作物生產不穩定、動物遷移習性改變等，因而造成農業帶向兩極移動、大氣中二氧化碳濃度增加、降雨過度集中或乾旱、土壤質地惡化、作物生理與生育情形異常、病蟲害生態改變等。農業係高度依賴天然資源與環境變異的生物產業，對於天氣與氣候的變化十分敏感，因此氣候變遷對於糧食生產環境更是首當其衝，進而影響糧食供應的穩定性。由過去『全球百大農業問題』文獻顯示，糧食安全與氣候變遷是與農業息息相關的重要議題。

為了緩解與調適氣候變遷對農業生產及糧食安全的衝擊，行政院農業委員會特於99年6月15日召開「因應氣候變遷農業調適政策會議」，並將會議決議之各項策略與措施融入施政計畫內分年分工推動與執行，另於100年5月間舉行「全國糧食安全會議」，規劃五大議題綜合討論。經農委會陳前主委武雄指示農業試驗所於當(100)年籌辦「因應氣候變遷作物育種及生產環境管理研討會」，邀請國內外專家針對「作物育種」及「生產環境管理」兩項議題再深入探討，期以歸納解決方向，並據以研擬行動方案來因應氣候變遷對我國農業發展的影響。為提升我國因應氣候變遷之調適能力，維護國內糧食安全，農委會於101年起執行特別申請額度之整合型計畫—「因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究」，由農業試驗所擔任統籌機關，結合跨部會、跨領域各界研發能量與研究資源，以四年期程，分由多元面向導入，聚焦於六大研究主軸及研究目標，期能在氣候變遷情勢下，引領科技創新，共同攜手合作以降低氣候變遷及糧食安全對國內農產業之衝擊，維護農業環境生態永續。

本計畫涵蓋農、林、漁、牧等不同領域，參與的機關單位包括農政單位、試驗改良場所及大專院校等共40個機關/單位，藉由客觀的計畫績效評估制度，每年採用滾動式調整計畫研究方向，以達成計畫總目標。101年執行77個計畫，102年執行72個計畫。整體計畫執行策略，分別由政策面、技術面、生產面、產業面及環境面著手。本計畫自101年起，經由各參與機關單位共同合作投入相關研究，兩年來已陸續累積相當豐碩的成果，透過本次研討會之研究議題的口頭報告與海報展示，不但能展示本會之研究成果，藉由整合跨領域、跨機關之研發成果分享，亦能加強研究人員互動溝通，有助於強化我國農業研發能力，對於我國農業研究能量之聚集具有重大意義。本專刊乃收錄本次研討會之口頭報告的論文內容，冀望能提供給國內各試驗機關或大專院校、產業團體從事或推動因應氣候變遷及糧食安全相關議題之參考，以提早因應並調節氣候變遷對農作生產的衝擊。

行政院農業委員會農業試驗所
所長



中華民國 102 年 12 月

目錄

主要國家糧食自給率內涵比較分析

李仁耀 [1] 張呈徽 [2,4] 林啟淵 [3] 1

農地脆弱度評估及應用之研究

李承嘉 [1] 詹士樑 [1,2,4] 黃國慶 [3] 戴政新 [1] 吳貞儀 [1] 16

建構糧食安全應變機制提升糧食安全決策之研究

張靜文 [1,3] 吳榮杰 [2] 顏晃平 [1] 29

推動臺灣農產品碳標籤可行性之研究─以米產品碳標籤為例

江秀娥 [1,2] 蔡政諺 [1] 林盈甄 [1] 張采蘋 [4] 48

耐旱節水水稻新品系之研發

羅正宗 [1,3] 呂奇峰 [1] 陳榮坤 [1] 陳演書 [1] 劉啟東 [2] 63

小麥耐熱種原評估

林訓仕 [1,2] 71

耐低溫大豆品種選育及低投施栽培技術改進

吳昭慧 [1,2] 黃涵靈 [1] 80

耐逆境雜交牛樟、泡桐與桉樹選拔與利用

何政坤 [1,2] 張淑華 [1] 陳永修 [2] 施欣慧 [2] 吳家禎 [1] 陳媗 [1] 89

國產水稻新穎性加工製品及專用米穀粉開發

宋鴻宜 [1,6] 林貞信 [2] 蔡明原 [3] 蘇梅英 [3] 須文宏 [4] 陳時欣 [4] 江伯源 [5] 97

北中南東地區環境親合型作物輪作經營模式之建立

楊志維 [1,5] 戴振洋 [2] 詹碧連 [3] 余德發 [4] 113

毛豆外銷專區及恆春地區洋蔥環境親和型輪作系統經營模式建立

黃祥益 [1,2] 周國隆 [1] 賴榮茂 [1] 李承翰 [1] 侯秉賦 [1] 124

氣候變遷對農業長期生態系之影響長期觀測

陳琦玲 [1,4] 蔡正國 [1] 吳旻晃 [1] 江志峰 [1] 蔡志濃 [1] 陳純葳 [1] 陳健忠 [1] 余志儒 [1]
石憲宗 [1] 陳淑佩 [1] 蕭巧玲 [1] 楊純明 [1] 何佳勳 [1] 姚銘輝 [1] 張哲瑋 [1] 吳泓書 [1]
孫文章 [2] 王瑞章 [2] 吳文哲 [3] 136

高產飼料稻米專用品種之選育

賴明信 [1] 吳東鴻 [1,2] 李長沛 [1] 卓偉玄 [1] 顏信沐 [1] 174

飼料甘藷品種 (系) 產量比較及其胰蛋白酶活性分析

賴永昌 [1,3] 廖文昌 [2] 黃哲倫 [1] 185

臺中秈 17 號糙米在畜禽飼糧中之應用 (I)

李春芳 [1,4] 施柏齡 [1] 廖宗文 [1] 李秀蘭 [2] 范耕榛 [1] 陳文賢 [1] 賴明信 [3] 193

樹薯替代玉米為家禽能量飼料之研究

李昇儒 [1] 廖震元 [2] 王淑音 [3,4] 201

鳳梨釋迦果園防風栽培及災後復育技術之研究

盧柏松 [1,2] 江淑雯 [1] 陳奕君 [1] 208

氣候變遷之農業生產調適決策支援系統之建置

劉滄琴 [1,3] 黃毓斌 [1] 許伯任 [2] 216

氣候變遷對臺灣西南海域主要經濟性魚種資源與漁場影響之研究

賴繼昌 [1,2] 黃建智 [1] 楊清閔 [1] 何珈欣 [1] 吳龍靜 [1] 黃星翰 [1] 洪銘昆 [1] 226

主要糧食與蔬果利用天然低溫之貯藏系統研發

王怡玎 [1,3] 劉富文 [2] 239

雞糞生質能燃燒發電與雞糞堆肥溫室氣體產量之評估研究

蘇忠楨 [1,5] 徐世勳 [1] 王淑音 [2] 黃大駿 [3] 孫世勤 [4] 廖明村 [4] 蕭為澤 [1] 許聖民 [1] 蕭哲仁 [1] 244

Contents

An Analysis on Food Self-sufficiency Ratios of the Developed Countries
J.-Y. Lee [1], C.-H. Chang [2,4] and C.-Y. Lin [3] 1

A Study on the Vulnerability Assessment and Application of Agriculture Land
C.-J. Lee [1], S.-L. Chan [1,2,4], G.-C. Huang [3], J.-S. Dai [1] and J.-Y. Wu [1] 16

Developing a Contingency Plan to Upgrade Food Security in Taiwan
C.-J. Wen [1,3], R.-J. Woo [2] and H.-P. Yen [1] 29

Feasibility Study on Establishing a Carbon Footprinting Labelling System for Taiwan's Agricultural Product
H.-E. Chiang [1,2], C.-Y. Tsai [1] ,Y.-C. Lin [1] and T.-P. Chang [4] 48

Development of New Draught - Resistant Line for Rice
J.-C. Lo [1,3], C.-F. Lu [1], R.-K. Chen [1], Y.-S. Chen [1] and C.-D. Liu [2] 63

Evaluation of Heat Tolerance Germplasm in Wheat
H.-S. Lin [1,2] 71

Selective Breeding of Cold Tolerance Soybean and the Improvement of Agricultural Practices for Low-Input Facility
C.-H. Wu [1,2] and H.-L. Huang [1] 80

Selection and Utilization of Stresss Tolerant *Cinnamomum*, *Paulownia*, and Eucalyptus Hybrids
C.-K. Ho [1,2], S.-H. Chang [1], Y.-H. Chen [2], H.-H. Shih [2], C.-C. Wu [1] and J. Chen [1] 89

Establishment of Environmental Friendly Crop Rotation System in Taiwan
Z.-W. Yang [1,5], C.-Y. Tai [2], B.-L. Chan [3] and D.-F. Yu [4] 113

Environment Friendly Model Establishment for Vegetable Soybean Rotation in the Export Professional Fields and Onion Rotation in Hengchun Area
H.-Y. Huang [1,2], K.-L. Chou [1], J.-M. Lai [1], C.-H. Lee [1] and P.-F. Hou [1] 124

Long Term Monitoring on the Effect of Climate Change on Agricultural Ecosystem
C.-L. Chen [1,4], J.-K. Tsai[1], M.-H. Wu[1], C.-F. Chiang[1], J.-N. Tsai[1], C.-W. Chen[1], C.-C. Chen[1], J.-Z. Yu[1], H.-T. Shih[1], S.-P. Chen[1], C.-L. Hsiao[1], C.-M. Yang[1], C.-H. Ho[1], M.-H. Yao[1], J.-W. Chang[1], H.-S. Wu[1], W.-C. Sun[2], R.-C. Wang[2] and W.-J. Wu[3] 136

Development of High Yield Forage Fice

M.-H. Lai [1], Dung-Hung Wu [1,2],C.-P. Li [1], W.-S. Jwo [1] and C.-S. Tseng [1] 174

A Compared of the Root Yield and Trypsin Inhibitor Activity of Sweet Potato Lines for Animal Feeds

Y.-C. Lai [1,3] ,W. C. Liao [2] and C.-L. Huang [1] 185

Application of Taichung Sen No. 17 Brown Rice in Livestock Diets (I)

C.-F. Lee [1,4], B.-L. Shih [1], C.-W. Liao [1], H.-L. Lee [2], G.-J. Fan [1], Y.-C. Chen [1] and M.-H. Lai[3] ... 193

Study of Cassava as Corn Replacement for Poultry Feed

S.-R. Lee [1], C.-Y. Liao [2] and S.-Y. Wang [3,4] 201

Research of Aatemoya Orchard Windproof Cultivation and Post Disaster Restoration Technology

P.-S. Lu [1,2], S.-W. Chiang [1] and Y.-C. Chen [1] 208

Developing a Decision Supporting System on Agricultural Production for Coping with Climate Change

T.-S. Liu [1,3] Y.-B. Huang [1] P.-J. Hsu [2] 216

Impact of Climate Change on the Economical Fish Resources and Fishing Ground off the Southwestern Taiwan Waters

C.-C. Lai [1,2], J.-Z. Huang [1], C.-M. Yang [1], J.-S. He [1], L.-J. Wu [1], H.-H. Hung [1] and M.-K. Huang [1] 226

Research and Development on Long-Term Storage of Staple Crops, Fruits and Vegetables in Naturally-Cooled Storage Systems

Y.-T. Wang [1,3] and F.-W. Liu [2] 239

Poultry Litter-to-Energy: an Analysis of Economic Benefit and Greenhouse Gas Production Scenario

J.-J. Su [1,5], S.-H. Hsu [1], S.-Y. Wang [2], D.-J. Huang [3], S.-K. Sun [4], M.-T. Liao[4], W.-T. Hsiao [1], S.-M. Hsu [1], and C.-J. Hsiao [1] 244

主要國家糧食自給率內涵比較分析

李仁耀[1] 張呈徽[2,4] 林啟淵[3]

摘要

本研究蒐集 FAO、日本、中國大陸、韓國及英國等國家或國際組織糧食自給率的編算方式，藉以分析其與台灣現有編制方式的差異，並探討其政策應用的意涵。結果發現台灣現有以熱量所衡量「所有食物」與「傳統食物」的糧食自給率，兩者的相關係數達到 0.94，兩者趨勢是一致的；不過從數值來看，2009 年糧食自給率只有 32%，但是傳統食物的糧食自給率則是有 81.1%。由於氣候、技術等因素的限制，本國在非傳統食物的生產上並不具備比較利益，這些差異化產品反應的是消費者對於多樣化的需求，可能並非維繫生存所需。因此，採用「傳統食物的糧食自給率」，可能較能反映本國的糧食安全程度。政府在制定糧食自給率政策時，常常以提升本國生產農產品為手段，在政策制定時，由於氣候、技術等因素的限制，非傳統食物的增產上，推廣不易，而應以傳統食物為其政策實行的目標。

關鍵詞：糧食自給率、傳統食物、非傳統食物。

前言

全球氣候變遷、環境急遽惡化，常導致糧食作物生產不足，加上能源日益枯竭，作物往往移為生質能源之用，此外新興經濟體崛起，糧食生產與消費同時發生結構性的調整，致使糧食供應吃緊，糧食價格屢屢攀高。我國為糧食淨進口國，糧食價格高漲影響民生甚鉅，糧食安全課題也日益受到高度重視。

我國積極與貿易夥伴洽談自由貿易協定，政府已宣示 10 年內加入「泛太平洋戰略經濟夥伴關係協定」（TPP），貿易自由化程度將大幅提高，其中農產品項目於相關協定將降至零關稅的目標，勢必衝擊現有農業生產結構，而農產品貿易為糧食供應來源之一，相關政策變動亦將影響我國糧食安全。

有關衡量糧食安全指標建構上，我國依循聯合國糧農組織（ Food and Agriculture Organization, FAO ）規範，按年編製「糧食平衡表」，並據以發展糧食生產指數、糧食自給率、糧食生產出口比率、糧食供應進口比率以及糧食供應 PFC 比率等 5 項指標。

---

1 國立高雄應用科技大學國際企業系。
2 修平科技大學應用財務金融系副教授。
3 國立嘉義大學應用經濟系。
4 通訊作者 電子信箱：chunghui@mail.hust.edu.tw；電話：04-24961123#2401。

林國慶(2010)以「糧食自給率」做為糧食安全指標，並針對目前我國以熱量為基礎的糧食自給率之計算方式，提出修正建議為，我國國產糧食國內生產量（主要糧食之國內生產量扣除供作中間投入使用部分、折算用進口中間投入生產之間接產出糧食部分），可供國內眾人食用之比例，然而，該研究並無就所需之飼料自給率進行估計。因此，李仁耀等 (2011)進一步以國內畜產品的生產量，估算國內飼料消費量，求得各項畜產品的飼料自給率後，藉以調整畜產品的類別(糧食)自給率，探討我國糧食自給率的變化。

日本的糧食安全指標主要以糧食自給率為主，同時在品目別自給率上，也計算了一項以飼料自給率調整的糧食自給率，同時，也另外計算主食用穀物自給率，藉以排除飼料穀物的影響 (李仁耀等，2011)。至於在中國方面，馬九杰等 (2001)以膳食能量供需差異比率、糧食總供需差異比率、…、國際糧食價格上漲率等 8 項指標，建構出中國糧食安全預警指標體系。另外，中國國務院頒「糧食安全中長期規劃綱要」，明訂生產水準、自給水準以及物流水準等 3 個構面，共計 15 項指標，作為糧食安全綜合指標。

許聖章 (2007) 發現台灣 2002 年加入 WTO 之後，農家所得分配不均的程度相對於非農家開始增加。而市場逐步開放的結果，由於部份農產品國內的生產成本遠較國外高，致使農民缺乏足夠競爭力來加以因應，雖然行政院訂立『農產品受進口損害救助辦法』，惟認定受損的標準難以達到，致使保護效果有限，重要農產品的糧食自給率逐步下降，像穀類糧食自給率由 2002 年原本的 56.3%，降至 2009 年的 38.1%。

我國地狹人稠，為糧食淨進口國。當國際糧價產生波動、發生氣候變遷等事件時，容易產生糧食危機，使我國陷入無法確保糧食安全的狀態，造成社會不安。同時，平時糧食無缺，但仰賴糧食進口的國家，像日本與韓國等與我國國情相同的國家，也擔心由於國際糧價高漲，若外國採取禁止出口的措施，對其國家糧食安全的危害，因而紛紛提出許多相對應的措施。像是 2011 年南韓總統李明博就在國民經濟對策會議上宣佈要將糧食的自給率提高到 50% (韓國中央日報，2011)，而我國行政院農委會也於 2010 年所舉行的「糧食安全會議」中，提出 2020 年我國的糧食自給率目標將提高到 40%。由此可知，糧食安全已成為許多國家的重要議題。

由於糧食安全相關指標很多，在第二節中，首先介紹聯合國糧農組織與主要國家之糧食自給率並進行討論；在第三節中，介紹英國《糧食自給率》的編制內容概要；第四節英國《糧食自給率》的計算範例；第五節則針對英國《糧食自給率》的變動趨勢；第六節為臺灣糧食自給率之試編；最後，則為結論與建議。

聯合國糧農組織與主要國家之糧食自給率

一、聯合國糧農組織糧食自給率

國際間常依循聯合國的「糧食平衡表編製指導手冊」（The Handbook for The Preparation of Food Balance Sheets），編制糧食平衡表，利用國內生產、進口、出口與存貨變動等資料，按年計算國內各類糧食供給量，進而推估平均每位國民每日各種營養素可攝取量，藉以反映農產品供需、瞭解國民營養狀況以及評估國家經濟發展階段之重要參考；同時，計算糧食自給率，衡量一個國家在特定期間所能夠提供糧食供給的能力，為重要的糧食安全指標。

依託於糧食平衡表的編製之下，FAO「糧食平衡表編製指導手冊」建議編制自給率，藉以作為一國糧食需求與供給能力與政策制定的參考指標。有關於 SSR 的公式定義如下：

$$\text{SSR} = \frac{\text{國內生產}}{\text{國內生產} + \text{進口} - \text{出口}} \tag{1}$$

SSR 為 100 時，表示該項產品在本國的供給完全依賴國產；當 SSR 為 0 時，表示該產品在本國的供給完全依賴進口。此一自給率廣為各國所應用，並被作為一個國家的糧食安全程度與政策目標的制訂基準。

在個別產品的自給率計算上並不困難，但是，在一群產品的自給率計算上卻存在爭議。在 FAO 的之「糧食平衡表編製指導手冊」中，目前提供的是利用各單項產品的重量加總來進行類別產品自給率的計算公式，如小麥與其他穀物的自給率可表示為：

$$SSR = \frac{(\text{小麥} + \text{其他穀物})\text{國內生產}}{(\text{小麥} + \text{其他穀物})\text{的}(\text{國內生產} + \text{進口} - \text{出口})} \tag{2}$$

同時，小麥、穀物與牛羊乳等，亦可以透過重量進行加總[1]。此一利用重量加總的方式，在糧食作物間使用其爭議可能較小，但是，將糧食作物與肉類、乳類利用重量加總，則失去其可比較性。因此，FAO 也建議糧食平衡表中，各種加總問題可以利用「貨幣價值」(monetary values)為基礎或者是「營養價值」(nutritive values)為基礎來加以解決。

二、日本之糧食安全自給率

日本在農業統計的制定與研究上是相當先進與細緻的國家，也是台灣農業統計與農業施政所主要學習的重要對象。如同前述，FAO 提出不同品項的重量逕行加總之後，所計算出的糧食自給率，存在數量加總的問題，為此 FAO 指出可以利用「貨幣價值」為基礎或者是「營養價值」為基礎來加以解決，日本則在 1988 年後，通過「食料需給

[1] 雖然，FAO 手冊中提到產品加總可以利用營養成分或價格來加權平均，但是，其 SSR 係採取重量加總的方式來進行計算。

表」發表熱量自給率(或稱卡路里 (calorie)自給率；以下統稱熱量自給率)。

基於數量可加總與可比較性的基礎上，日本以衡量糧食自給率的計算指標有二：分別為以「產品熱量」及以「產品金額」為基礎，將不同單項的產品自給率進行加權平均，計算綜合糧食自給率（Food Self-sufficiency Ratio）。而其計算公式如下：

1.「產品熱量」為基礎之糧食自給率

$$R_{et} = \frac{\sum P_{it} E_i}{\sum C_{it} E_i} \times 100 \tag{3}$$

R_{et} ：以熱量計算之糧食自給率； P_{it} ：i 產品當年國內生產量；

C_{it} ：i 產品當年國內可供消費量； E_i ：i 產品每百公克所含熱量

2.「產品金額」為基礎之糧食自給率

$$R_{pt} = \frac{\sum P_{it} V_{i,D}}{\sum \left[(C_{it} - NI_{it}) * V_{i,D} \right] + \sum \left[NI_{it} * U_{i,F} \right]} \times 100 \tag{4}$$

R_{pt} ：以價格計算之糧食自給率； $V_{i,D}$ ：i 產品國內價格；

$U_{i,F}$ ：i 產品進口價格； P_{it} ：i 產品當年國內生產量；

NI_{it} ：i 產品當年淨進口量； C_{it} ：i 產品當年國內可供消費量；

由式(3)及(4)中可得知，不論以產品熱量或是以產品金額為基礎之糧食自給率，數值區間皆位於 0 到無窮大之間，當糧食自給率愈高時，代表國內所消費之糧食 (包括食用及非食用)，由本國所生產供應之比率愈高，糧食安全的程度也愈高。以「金額」為基礎的糧食自給率，分母為國人為獲取糧食消費的總支出，分子則為國人消費國內生產產品的支出，反應一國之農業生產能力，所能夠提供國人生命與健康的「所得支付」能力；而「產品熱量」為基礎的糧食自給率，分母為國人為獲取糧食消費的總熱量，分子則為國人所消費國內生產產品的總熱量，主要係反應本國之農業生產能力，所能夠提供國人生命與健康的「熱量支付」能力。

除此之外，日本針對穀物部分所進行自給率的計算，係採數量加總的方式，其中包含有「穀物自給率」及「主食用穀物自給率」兩個項目。而「穀物自給率」(包含食用與飼料用)的計算概念與 FAO 相同，但「主食用穀物自給率」係為日本所特有的自給率計算方式，其主要意義在於將食用與飼料用兩部分的穀物供需加以區分，進而計算食用穀物的自給率，避免由於進口大量飼料穀物，致使所計算出的穀物自給率偏低，造成決策誤判的問題。其主要用途為衡量並反應其國人食用穀物的自給率水準。

值得一提的是，日本在類別產品自給率的計算中，另外提供一項利用「個別產品飼料自給率」調整之「個別產品自給率」。其主要理由是日本對於牛肉、豬肉與雞肉

的消費比例日益增加，從而日本當地飼養這些禽畜動物的穀類消費也大量增加，但這些穀類（如玉米等）的供給主要還是仰賴進口。也就是說，日本大量進口穀物飼養禽畜動物後，看似整體禽畜動物的自給率大幅的提高；但是，這些利用進口飼料穀物飼養所生產的禽畜產品，在某種程度上應將其視為禽畜產品的進口，因此，目前所計算的禽畜產品自給率將高於其國內提供飼料穀物所實際能夠生產的自給率。透過「個別產品飼料自給率」的調整後，「個別產品自給率」將低於目前生產與消費狀態下所計算的結果，反應該國實際生產該類產品的自給狀況。其計算方式可調整為：

$$SSR = \frac{\text{國內生產量} * \text{飼料自給率}}{\text{國內生產量} + \text{進口量} - \text{出口量}} \tag{5}$$

上述各項自給率指標的優點在於，可以瞭解國內消費所糧食 (包括食用及非食用)中，由國內生產供應之比率。但其缺點有：1.未考慮消費熱量在國民間的分配。2.當國外進口的數量減少時，雖可能造成國內糧食發生短缺現象，但由於計算糧食自給率時，國外進口的部分位於分母，致使糧食自給率反而上升，而得到糧食安全愈高的錯誤結論。

三、中國大陸之糧食自給率

中國糧食的概念，除包括稻穀、小麥、玉米、高粱、穀子及其它雜糧之外，還包括有薯類和豆類，其中稻穀、小麥、玉米、高粱、穀子及其它雜糧的總合又被稱為穀物。檢視中國最據權威的官方統計刊物「中國農業年鑑」以及「中國農業發展報告」，都沒有提供關於糧食自給率的統計資料分析資料。但是，中國農業科學院農業經濟與發展研究所郭燕枝等 (2008)曾以中國農業發展報告的相關資料，計算中國的糧食供需指標包含糧食自給率與穀物自給率兩項，計算方式也是採 FAO 以重量直接加總，所得結果為 2007 年中國的糧食自給率為 98%，穀物自給率為 106%；同時，依據中國國務院 2008 年制訂的《國家糧食中長期規畫綱要》，2010-2020 年中國的糧食自給率目標為 95%以上，穀物自給率則是訂在 100%。

四、南韓之糧食安全自給率

依據南韓糧食計農林水產部 2011 年「農林水產糧食統計年報」，該國所涵蓋的糧食品項包含米、大麥、小麥、玉米、大豆、馬鈴薯以及其他穀物等 7 類。在個別產品部分，計算個別自給率以及個別糧食自給率。其中個別自給率係利用個別產品的國內生產量為分子，國內需求量為分母，計算而得；國內需求量包含：食用、加工、飼料與種子及其他。個別糧食自給率同樣的以國內生產量為分子，但是，分母部分則是以國內需求量扣除飼料後為之。至於在總合糧食部分，利用重量直接加總的方式，來計算總合自給率及總合糧食自給率，其計算方式同個別產品之計算。

李紀林、崔智賢、文賢京 (2001) 在「Calorie 基準食糧自給率分析」的討論，韓國「糧食供需表」自 1995 年開始，雖然也曾計算熱量自給率，但並未作為正式統計用。而他們的研究認為韓國的穀類自給率從 1975 年的 73%到 1999 年的 29%，呈現持續下降的趨勢，海外糧食輸入依存度高，政府若不尋求其他的政策手段，糧食自給率將會繼續下降。糧食自給率持續的下降，不單單是糧食安保，可能更進一步地威脅到國家安全。

同時，南韓總統李明博提及 2010 年南韓糧食自給率（包括飼料用作物）僅 26.7%，因此，在 2011 年首爾舉行的國民經濟對策會議上宣佈「有必要把糧食的自給率提高到 50%」。

五、台灣之糧食自給率

台灣糧食自給率的計算和日本類似，可分成「價格為基礎」及「熱量為基礎」等兩種方式，其中熱量為基礎之糧食自給率的計算過程是一樣，惟「價格為基礎」之糧食自給率卻有所差異，為此以下將說明台灣糧食自給率之計算過程。

(一)分類：台灣將國內所消費之糧食依據初級產品型態分 10 大類、35 小類編算其自給率。(分類同糧食生產指數)。

(二)數量之調整：為釐清各項糧食之最終來源，並避免初級產品與加工品重複計算，因此在編算糧食自給率時，國內生產量僅考慮初級產品部分，加工品（包括水產類之乾漬品、乳品類之奶粉與其他製品及油脂類之各項產品）生產量略而不計，其進出口量則換算成原料後歸入初級產品中。由於進出口量調整之故，部分糧食之國內供給量會與「糧食平衡表」所載有所差異。

(三)計算公式及方法：糧食自給率係指國內消費之糧食（包括食用及非食用）中，由國內生產供應之比率。計算綜合糧食自給率則分別以價格及熱量計算，以反映各種糧食之相對重要性。

1. 產品熱量為基礎之糧食自給率

$$R_{et} = \frac{\sum P_{it} E_i}{\sum C_{it} E_i} \times 100 \tag{6}$$

R_{et} ：以熱量計算之糧食自給率； P_{it} ：i 產品當年國內生產量；

C_{it} ：i 產品當年國內可供消費量； E_i ：i 產品每百公克所含熱量

2.產品金額為基礎之糧食自給率

$$R_{pt} = \frac{\sum P_{it} W_{i,3M}}{\sum \left[(C_{it} - NI_{it}) * W_{i,3M} \right] + \sum \left[NI_{it} * W_{i,3M} \right]} \times 100 \tag{7}$$

R_{pt} ：以價格計算之糧食自給率；$V_{i,D}$ ：i 產品國內價格；

P_{it} ：i 產品當年國內生產量； NI_{it} ：i 產品當年淨進口量；

C_{it} ：i 產品當年國內可供消費量；$W_{i,3m}$ ：i 產品最近 3 年移動平均價格

不論以產品熱量或以產品金額為基礎之糧食自給率，其數值皆位於 0 到無窮大之間，當糧食自給率愈高時，代表國內消費之糧食(包括食用及非食用)，由國內生產供應之比率愈高，糧食安全的程度也愈高。

利用糧食自給率作為糧食安全指標的優點，在於可以瞭解國內消費所糧食(包括食用及非食用)中，由國內生產供應之比率。其缺點為：1.此一指標並未考慮消費熱量在國民間的分配。2.此一指標並未扣除掉糧食中非食用的部分。3.當國外進口的數量減少時，雖可能造成國內糧食發生短缺的現象，但由於在計算糧食自給率時，國外進口的部分位於分母，此時糧食自給率反而上升，而得到糧食安全程度愈高的錯誤結論。4.計算產品金額為基礎之糧食自給率時，所使用的價格為將產品之國內價格與進口價格，加權之後所產生的最近三年移動平均價格，此時如果國內價格遠低於國外價格時，將可能造成國內生產的糧食價值被高估，使得糧食自給率被高估。

英國《糧食自給率》的編制內容概要

一、政策目標

依據英國環境、糧食與農村事務部(Department for Environment, Food and Rural Affairs, Defra)，對於糧食安全的定義為：「確保所有消費者於所有時間均能以可負擔的價格獲取足夠、安全且營養的食物，以維持健康而有活力的生活。」(Defra, 2006) 由於英國的糧食安全著重於以「可負擔的價格」獲取足夠、安全且營養的食物，因此，Defra 採取以價格為權重的糧食自給率作為糧食安全指標。

二、英國《糧食自給率》的主要內容

(一)糧食自給率的計算品項

英國糧食自給率的計算除了一般所計算的全體的糧食自給率外，還增列「傳統糧食(indigenous food) 的自給率」。主要理由是消費者可能肇因於偏好因素，而消費在國內一般無法取得的進口農產品或反季節 (out-of-season) 農產品，而這些產品並非為了維繫生存所必需。(Defra, 2005)

因此，採用「傳統糧食的自給率」，主要係考量食物可以被本國所生產的部分(Defra, 2008)；此外，生產非傳統食物以及反季節食物，可能必須耗用大量的能源。(Defra, 2005)利用這兩種自給率來觀察糧食安全程度，對於糧食安全政策的制定會產生

不同的思考。

其中，全體的糧食自給率 (self sufficient ratio for all food; SSRa)的定義：

$$SSRa = \frac{\text{國內生產之食用糧食}}{\text{國內生產之食用糧食} + \text{進口食用糧食} - \text{出口食用糧食}} \quad (8)$$

(8)式中，進口食用糧食的部分為國內傳統 (indigenous) 生產的食物以及國內非傳統(non-indigenous) 可生產的食物。因此，Defra 之傳統糧食的自給率 (indigenous food self sufficient ratio; SSRi) 定義如下：

$$SSRi = \frac{\text{國內內生產之食用糧}}{\text{國內內生產之食用糧} + \text{進口傳統食用糧食} - \text{出口傳統食用糧食}} \quad (9)$$

至於如何將食物品項歸類為傳統、非傳統食物？Defra (2005) 在「The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development: Final report」一文中指出，其實傳統食物與非傳統食物的分類上，並無一個嚴格的定義。但提供其計算傳統的糧食自給率時，所使用的食物分類 (表 1)。

其中，糖被歸類為傳統食物，主要是糖在英國可利用甜菜生產；肉類、動物脂肪以及蔬菜皆列入傳統食物；水果列為傳統食物者有蘋果及洋梨等，非傳統食物者則為香蕉及柑橘等，至於季節性水果如草莓、杏仁及其他軟性水果，則將其分別以傳統食物與非傳統食物各半計算；油料種子以及穀類中，小麥，玉米，燕麥，菜籽油等為傳統食物，而棕櫚油，大豆油，大米，高粱等為非傳統食物；其他未列名者則作為非傳統食物。

表 1. 英國之食物分類

	傳統的 (indigenous)	非傳統的 (non-indigenous)
1	糖 (Sugar)	--
2	肉 (meat)	--
3	動物性脂肪 (animal fats)	--
4	蔬菜 (vegetables)	--
5	蘋果和梨 (apples and pears)	香蕉，柑橘等 (bananas, citrus etc)
6	半數的草莓、杏仁與其他軟性水果(1/2 strawberries, apricots and other soft fruit)	半數的草莓、杏仁與其他軟性水果 (1/2 strawberries, apricots and other soft fruit)
7	小麥，玉米，燕麥，菜籽油等 (wheat, maize, oats, rapeseed oil etc)	棕櫚油，大豆油，大米，高粱等 (palm oil, soya oil, rice, sorghum etc)

資料來源：Defra, 2005, The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development: Final report.

(二)進出口商品價值的重新評估

在處理進出口產品的價格時，由於產品的形態差異，將導致其價格的不同，特別是食物經過加工之後，附加價值提升，若利用加工食品的價格進行自給率的計算，將高估進出口產品對於糧食自給率的影響。舉例來說，本國米價格 1 斤 100 元，但出口時，經由包裝後卻出現報價為 200 元的情況，將會扭曲此一產品對於糧食自給率的影響。為避免進出口商品之價值由於經由加工過程，提升附加價值後，其商品價值與國內同樣產品的價值差距過大，因此，英國依據進出口產品的形態差異，進行價格調整；此一調整權重係考量產品的加工程度所造成的附加價值差異，並將其還原至原始初級產品的價值。

Defra 在以價格計算糧食自給率，依據商品在加工過程中所增加附加價值的多寡，區分成未經加工的商品 (Unprocessed commodities)、輕度加工的商品 (Lightly processed foods) 及高度加工商品 (Hightly processed foods)三類，並依商品所屬種類，乘上相對應的重估價因子(revaluation factor)，以重新計算進出口品的商品價值。至於未經加工的商品 (Unprocessed commodities)、輕度加工的商品 (Lightly processed foods) 及高度加工商品 (Hightly processed foods)的說明及其重估價因子整理如表 2。

英國《糧食自給率》的計算範例

依據前述定義，在此提供 Defra 對於 2004 年全體的糧食自給率 (表 3) 以及傳統糧食的自給率 (表 4) 等兩項自給率的計算範例。同時，也提供 2004 年英國進出口的糧食金額以及其價值調整範例作為參據。

表 2. 英國進出品之食物分類與重估價因子

商品種類	定義	重估價因子
未經加工商品 (Unprocessed commodities; U)	處在原始狀態或是為便於運輸儲存而經由冷凍或是乾燥處理後的食品，像是去除內臟的魚。	1.00
輕度加工商品 (Lightly processed foods; LP)	指對食品進行只有進行簡單加工，像是穀物粉、奶酪等。	0.27
高度加工商品 (Hightly processed foods; HP)	指經由加工過程後，將大大提高其食品價值的商品。像是巧克力餅乾、酸辣醬等。	0.10

資料來源：Defra, 2006, Food Security and the UK: An Evidence and Analysis Paper, p.83。

表 3. 2004 年英國糧食自給率的計算範例

單位：百萬英鎊

本國生產的人類食用食物	(1)	10,683	
家畜、家畜飼料及種子用穀物的出口	(2)		590
家畜、家畜飼料及種子用穀物的進口	(3)		1,155
中間投入淨進口(3-2)	(4)		565
本國生產食物調整(1-4)	(5)	10,118	
傳統食物的出口	(6)		1,424
非傳統食物的出口	(7)		492
食物總出口(6+7)	(8)		1,916
傳統食物的進口	(9)		4,373
非傳統食物的進口	(10)		2,818
食物總進口(9+10)	(11)		7,191
食物總消費=(1)+(11)-(8)	(12)	15,958	
傳統食物總消費=(1)+(9)-(8)	(13)	13,632	
糧食自給率			
所有食物=(5)/(12)X100		**63.4%**	
傳統食物=(5)/(13)X100		**74.2%**	

資料來源：Defra, 2006, Food Security and the UK: An Evidence and Analysis Paper, p.84。

表 4. 2004 年英國糧食自給率的計算範例 (進出口食物價值估算)

單位：百萬英鎊

品項	原始金額	重估價因子	重估後金額
高度加工傳統食物出口	1,309	0.10	125
輕度加工傳統食物出口	1,913	0.27	524
未經加工傳統食物出口	776	1.00	776
高度加工非傳統食物出口	423	0.10	50
輕度加工非傳統食物出口	710	0.27	195
未經加工非傳統食物出口	257	1.00	257
傳統食物總出口	**3,998**	-	**1,424**
非傳統食物總出口	**1,390**	-	**492**
高度加工傳統食物進口	2,051	0.10	195
輕度加工傳統食物進口	6,045	0.27	1,656
未經加工傳統食物進口	2,522	1.00	2,522
高度加工非傳統食物進口	1,387	0.10	132
輕度加工非傳統食物進口	2,196	0.27	602
未經加工非傳統食物進口	2,084	1.00	2,084
傳統食物總進口	**10,618**	-	**4,373**
非傳統食物總進口	**5,667**	-	**2,818**

資料來源：Defra, 2006, Food Security and the UK: An Evidence and Analysis Paper, p.84。

英國《糧食自給率》的變動趨勢

英國糧食自給率的最高點位於 1980 年代，同時逐漸下滑 (如圖 1) 依 Defra 所公布的資料，2011 年英國所有食物的糧食自給率為 63%，在傳統食物的糧食自給率則為 78%，目前仍維持在二次戰後的歷史高點。

1980-90 年代，英國擁有較高的糧食自給率係由於當時歐盟採取的「共同農業政策」(Common Agricultural Policy，簡稱 CAP)，同時強調透過直接補貼生產者來加速糧食生產，並非是市場的需求增長，而是透過人為的貿易壁壘來加以維持。

長期來看，無論是所有食物的糧食自給率或者是傳統食物的糧食自給率，其走勢基本上相當一致。

臺灣糧食自給率之試編

一、所有食物的糧食自給率

表 5 為台灣官方目前以所有食物為基礎所編製的價格及熱量的糧食自給率。由表可知，不論是價格或熱量計算的部份，我國糧食自給率均呈逐年下滑的趨勢，其中價格的糧食自給率由 2000 年的 79.4%下降至 2009 年 69%，而熱量部份也由 2000 年 35.4% 下降至 2009 年 32%。探究其原因，可能是近年來國際糧食價格不斷的上漲，尤其是大部份均需仰賴國外進口的小麥、黃豆與玉米，再加上我國 2000 年加入 WTO 之後，農產品貿易自由化，休耕農地日趨擴大所導致的結果。

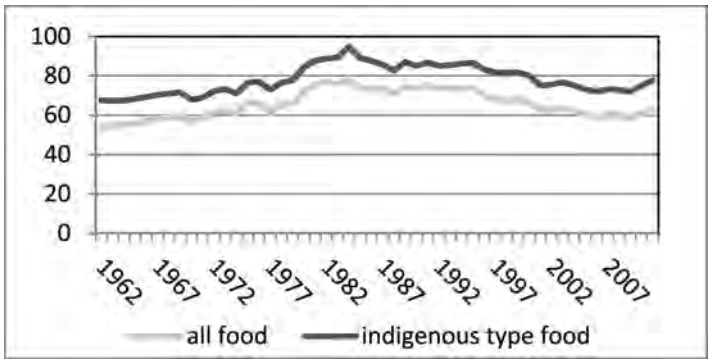


圖 1. 英國 1962 年至 2011 年的糧食自給率

表 5. 台灣目前以價格和熱量計算的糧食自給率

單位:%

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
糧食自給率(價格)	79.4	81.5	81.4	78.0	75.6	73.9	73.9	72.9	70.5	69.0
糧食自給率(熱量)	35.4	34.6	35.8	34.3	32.3	30.3	31.6	30.1	32.3	32.0

資料來源：農委會。

二、傳統食物的糧食自給率

生活水準上升，消費習慣改變，使得人們對糧食種類的需求也發生極大的變化，像台灣早期以稻米為主食，但飲食日漸西化，多樣化之後，逐漸對稻米的需求下降，而增加消費原本台灣生產量少的小麥相關製品，像是麵包、麵食…等，而這樣改變，使得台灣原本生產稻米供過於求，許多農田休耕，反之原本不適合我國生產的小麥反而供不應求，大量從國外進口，造成目前台灣所編製的糧食自給率，日趨下降，面臨糧食安全問題。而此時如想要以增加國內小麥的生產來增加糧食安全程度的話，又面臨到成本過高，資源浪費的問題。因此，為了要讓農政單位能進一步了解我國糧食自給率下降的原因，是否是因台灣原本傳統就已生產的產品之生產不足所造成的，抑或是非傳統生產的產品不足所引起的，而如果是後者的話，那麼為了增加我國糧食安全程度，就必須為了考量在國內生產時，所增加的成本是否過高的問題。所以，本研究試圖增加編製英國傳統食物自給率以作為未來政府施政的參考。

由於我國與英國的氣候環境有很大的差異，所以編製我國傳統食物自給率時，無法沿用表 1 英國對於傳統與非傳統食物的分類，須重新制定我國自身的分類標準。針對此一問題，本研究認為傳統食物多為適合我國生產環境，生產成本相對較低的產品，加上早期國民所得較低，民眾會比較偏好消費此類的商品，故其自給率相對較高，因此，本研究將以我國 73 年各個類別自給率作為傳統與非傳統食物的分類準則，當類別自給率超過 50%時，本研究定義為我國的傳統食物，反之則為非傳統食物。表 6 為本文所針對傳統與非傳統食物的分類，其中稻米、甘薯、糖、蜂蜜、花生、豬肉、家禽肉、魚、蝦蟹類、頭足類、貝介類與所有的蔬菜水果皆為我國的傳統食物，至於其他的食物則列為非傳統食物。

表 6. 台灣傳統食物與非傳統食物之分類

	傳統 (indigenous) 食物	非傳統的 (non-indigenous) 食物
1	稻米	小麥、玉米、高粱
2	甘薯	樹薯、馬鈴薯
3	糖、蜂蜜	大豆、芝麻
4	花生	牛肉、羊肉
5	果品類	乳品
6	豬肉、家禽肉	
7	蛋	
8	魚、蝦蟹類、頭足類、貝介類	
9	蔬菜類	

資料來源：本研究整理。

表 7 為台灣現有以價格與熱量所衡量的糧食自給率與傳統食物的糧食自給率。首先，以價格來看，糧食自給率與傳統食物的糧食自給率的相關係數為 0.94，兩者趨勢基本是一致，而從數值來看，2009 年以糧食自給率為 69%，但傳統食物的糧食自給率高達 95.5%。其次，從熱量來看，糧食自給率與傳統食物自給率的相關係數亦為 0.94，兩者趨勢基本上也是一致，不過從數值來看，2009 年糧食自給率只有 32%，但是傳統食物的糧食自給率則是有 81.1%，差異頗大。

而由以上的結果可以發現，目前台灣多是進口大量低價但熱量高的國外糧食，才會造成價格糧食自給率高，熱量自給率低，但傳統食物熱量自給率高的現象，因此，政府如欲透過鼓勵農民種植許多非傳統食物以提高我國糧食自給率時，必須深思生產此類非傳統作物時，可能不僅生產成本高，且其是否能與國外產品競爭都必須審慎加以評估。

結論與政策建議

一般而言，由於氣候、技術等因素的限制，本國主要生產的農產品為傳統食物。在貿易進行後，本國會進口較為低廉的傳統食物來替代本國所生產的傳統食物；另外，由於消費者對於產品偏好的需求，會進口非傳統食物，同時，由於知識外溢，本國也可能開始生產部分的非傳統食物。可以預見的是，由於本國在非傳統食物的生產上不具比較利益，其產量必然不會太大；因此，一般而言，傳統食物的糧食自給率會高於所有食物的糧食自給率。

採用「傳統食物的糧食自給率」作為糧食安全指標的優點在於，由於氣候、技術等因素的限制，本國在非傳統食物的生產上並不具備比較利益，這些差異化產品反應的是消費者對於多樣化的需求，可能並非維繫生存所需。因此，採用「傳統食物的糧食自給率」，可能較能反映本國的糧食安全程度。

同時，在生產非傳統食物的過程中，可能必須耗費更多的水資源、土地資源以及能源。雖然提升了非傳統食物的自給程度，卻可能導致高資源損耗的情形發生，不利於環境資源的維護。

政府在制定糧食自給率政策時，常常以提升本國生產農產品為手段，在政策制定時，由於氣候、技術等因素的限制，非傳統食物的增產上，推廣不易，而應以傳統食物為其政策實行的目標。

表 7. 台灣以熱量計算的糧食自給率與傳統食物自給率

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
糧食自給率	35.4	34.6	35.8	34.3	32.3	30.3	31.6	30.1	32.3	32.0
傳統糧食自給率	91.8	90.3	93.0	88.0	82.9	81.7	83.7	80.5	81.4	81.1

資料來源：本研究整理。

致謝

感謝農委會研究計畫編號：101 農科-14.1.1-統-h1(1)與 101 農科-14.1.1-統-h1(2)的經費支持。

參考文獻

李仁耀等，2011。「糧食供需指標與編算系統之研究」，農委會科技計畫。

李仁耀等，2012。「主要糧食供需資訊蒐集制度之研究」，農委會科技計畫。

林啟淵等，2012。「建構因應糧食安全暨貿易自由化統計指標與資料蒐集制度之研究」，農委會科技計畫。

林國慶，2010。「提升我國糧食自給水準之策略研究」，農委會科技計畫。

許聖章，2007。「台灣農家所得分配與貿易自由化」，農業經濟半年刊，81 期，頁 93-119。

馬九杰、張象樞、顧海兵，2001。「糧食安全衡量及預警指標體系研究」，管理世界，1 期，頁 154-161。

郭燕枝等，2008。試比較我國糧食自給率和穀物自給率，『農業經濟』，第 1 期，22-24。

賴朝煌與吳榮杰，2010。「糧食安全指標之研發與其在糧食安全政策上應用之研究」，農委會科技計畫。

韓國中央日報中文網，李明博總統 應把糧食自給率提高到 50%，http://cn.joins.com/big5/article.do?method=detail&art_id=63609

韓國糧食計農林水產部，2011，「農林水產糧食統計年報」。

Defra. 2005. The Validity of Food Miles as an Indicator of Sustainable Development.

Defra. 2006. UK Food and Drink Manufacturing: an economic.

Defra. 2006. Food Security and the UK: An Evidence and Analysis Paper.

Defra. 2008. Ensuring the UK’s Food Security in a Changing World.

Defra. 2011. Food Statics Pocketbook.

An Analysis on Food Self-sufficiency Ratios of the Developed Countries

Jen-Yao Lee[1], Cheng-Hui Chang[2,4] and Chi-Yuan Lin[3]

Abstract

This research compiled how different countries or international organizations, say Japan, China, Korea, UK, or FAO, compute their food self-sufficiency ratios. This compiling helped to analyze how Taiwan differs from others in the computation, and the implication behind the calculation policy. In Taiwan, the current calculation of the all food self-sufficiency ratio or the indigenous food self-sufficiency is measured by calorie. It was found that the correlation coefficient of these two ratios approximates to 0.94. This implied the consistency between these two. However, from the statistics, the food self-sufficiency ratio is merely 32% in the year 2009, while its indigenous food self-sufficiency is up to 81.1%. Due to the limitation of weather or technology etc., Taiwan does not possess comparative advantage in producing non-indigenous food. The product differentiation results from the consumers' demand to variety, rather than from the survival demand. Therefore, the adoption of the indigenous food self-sufficiency ratio can better reflect domestic food security degree in Taiwan. The government, when enacting the food self-sufficiency ratio policy, generally takes domestic agricultural product enhancement as the medium goal. But due to the restriction of weather or technology etc., the prevalence of non-indigenous food is not undemanding. Finally the government should aim at the improvement of indigenous food.

Keywords: food self-sufficiency ratios, indigenous food, non-indigenous food.

1 Department of International Business, National Kaohsiung University of Applied Science.

2 Department of Applied Finance, Hsiuping University of Science and Technology.

3 Department of Applied Economics, National Chiayi University.

4 Corresponding Author, Email: chunghui@mail.hust.edu.tw; Tel: 886-4-24961123#2401.

農地脆弱度評估及應用之研究

李承嘉[1] 詹士樑[1,2,4] 黃國慶[3] 戴政新[1] 吳貞儀[1]

摘要

糧食安全考量是氣候變遷的重要議題之一，維護一定品質與數量的農地資源，促進農地資源有效利用，為確保糧食自給能力的重要前提。許多重視農業的先進國家，嘗試透過不同規劃程序與新的策略，以達到氣候變遷之調適目標。因此如何透過脆弱度評估，瞭解農地資源受氣候變遷衝擊的程度，便成為研擬農地調適策略的重要工作。本研究以 IPCC 定義之脆弱度架構為基礎，區分暴露、敏感與調適三個面向，建立指標系統，並以雲嘉南地區既有農地資源為實作地區，進行農地脆弱度評估之操作與測試，並進一步配合 AFP 程序，應用於雲林縣農地調適策略規劃，期能掌握影響農地脆弱度的關鍵因素，提供未來政府與相關研究團隊之參考。

關鍵詞：氣候變遷、農地、脆弱度、調適策略。

前言

全球氣候變遷的現象主要包括氣溫上升、降雨改變、海平面上升及冰雪覆蓋量減少、以及極端氣候事件的發生等。IPCC 第四版氣候變遷評估報告 (IPCC, AR4, 2007) 指出在全球環境變遷衝擊下，未來亞洲農業生產力將降低，部分區域將發生水資源短缺問題，其中更以島嶼國家受到氣候變化影響最嚴重。台灣位處亞熱帶海島型氣候，對於氣候變化所造成的影響非常敏感且脆弱，例如海平面上升對海岸區的衝擊、降雨改變衝擊水資源供需問題、溫室氣體濃度上升與氣溫上升對農業生產的影響、極端氣候所加劇的自然災害問題等。氣候變遷對各種領域產生重大的衝擊，其中糧食安全亦為氣候變遷重點議題之一。歐盟為了因應氣候變遷對歐洲農業衝擊，除了提出作物生產與農業系統調整外，更進一步提出結合農業多功能性的農地利用模式，藉此平衡不同歐洲地區的環境、社會與經濟功能 (Olesen and Bindi, 2002)。在這樣的背景下，如何維護一定品質與數量的農地資源，以確保國內潛在糧食自給能力，已成為國家層級的戰略課題。

1 國立台北大學不動產與城鄉環境學系。
2 國家災害防救科技中心體系組召集人。
3 國立台北大學都市計畫研究所。
4 通訊作者 電子信箱：slchan@mail.ntpu.edu.tw；電話：02-86741111#67307。

面對氣候變遷衝擊的因應做法主要集中在兩個面向，包括減量 (mitigation) 與調適 (adaptation)，其中調適部分則在於減低對於氣候變遷衝擊的脆弱度，並透過事先預測與防範機制將災害降至最低。許多重視農業發展的先進國家，也逐漸嘗試透過不同的規劃程序、新的策略模式等，來促進農地資源的有效利用。這些規劃程序中，以聯合國開發總署 (United Nations Development Programme, UNDP) 與全球環境機構 (Global Environment Facility, GEF) 在 2004 年所提出之「氣候變遷調適政策綱領」(Adaptation Policy Frameworks for Climate Change，APF) 最為廣泛地被應用於各種領域的操作中，並成為目前氣候變遷調適相關規劃的主要參考與準則規範。APF 被視為建構氣候變遷調適策略的指南，不僅可協助使用者瞭解執行調適計畫可能的選項及可採取的技術與資源外，也可以協助決策者將氣候變遷調適程序納入地區、部門與國家發展決策之中 (Lim et al., 2004；蕭代基等人，2008)。APF 執行過程包括「調適計畫範圍界定與設計」、「目前脆弱度評估」、「未來氣候風險評估」、「調適策略建構」，以及「調適過程的持續」等五個基本要素。其中，「目前脆弱度評估」與「未來氣候風險評估」係針對該地區目前與未來的脆弱度與風險趨勢進行探討，顯見脆弱度評估對氣候變遷調適策略與規劃具有重大的意義與研究的必要性。因此如何透過脆弱度評估，瞭解農地資源受氣候變遷衝擊的程度，便成為研擬農地之調適策略的重要工作。

過去農業部門在脆弱度與風險評估的研究中，主要著重在於農業生產與技術部門的探討 (Berry 等人(2006)、Hewitt 等人(2008)、Gbetibouo and Ringler (2009)、Aschonitis 等人(2012))，甚少從空間規劃的角度來分析農地資源的脆弱度與風險。另一方面，近年來農地多功能思維逐漸提升，農地資源的功能，除了傳統農業生產功能外，社會經濟與環境生態等多面向的功能對整體環境具有重要的影響 (李承嘉、詹士樑，2011；王俊豪，2011)。因此本研究嘗試整合農地多功能思維與 IPCC 的基本架構，研擬農地資源脆弱度評估方法，並以雲嘉南地區作為實作地區進行操作，進而提出農地利用調適策略加以因應，以妥善維護農地資源，作為後續研究與規劃之參考。

研究設計與資料

脆弱度 (Vulnerability) 一詞源於國外探討環境遭天然災害衝擊，其衝擊所影響之程度，目前已廣泛地被應用於天然災害與氣候變遷的研究議題。一般來說，脆弱度的定義多採用 UNEP (2001) 與 IPCC (2001) 所定義的內涵。UNEP (2001) 認為脆弱度為遭受潛在破壞的損失程度，是一種當環境、社會、經濟與政治等層面暴露於有害情勢下，維護人類福祉之手段；IPCC (2001) 則定義脆弱度為社會或自然系統遭受氣候災害時，維持系統穩定的難易程度，其中每個系統的敏感程度不同，故承受氣候變遷的能力以及無法承受時所產生的負面影響均不相同。該兩者定義之脆弱度的主要差異在於討論的暴露對象不同，UNEP 的討論著重於人類福祉暴露於災害的情況，IPCC 則是聚

焦於討論社會系統與自然系統暴露於災害下的影響。整體來說，脆弱度為衝擊與調適力之組合，其中衝擊源自於敏感度與暴露，調適行為透過調整敏感度或是暴露，尋求減緩氣候災害衝擊，同時積極提高調適能力以改善脆弱度。

前述說明可知農地脆弱度評估需要考慮不同面向、不同尺度空間以及不同的情境風險。因此本研究嘗試透過不同情境的模擬，從而分析在不同情境下，農地脆弱度的分布狀況。以下分別說明農地脆弱度評估架構、農地脆弱度指標系統以及資料說明與彙整等。

(一)研究設計

本文採用 IPCC (2007) 所提出之脆弱度定義，將脆弱度區分為暴露 (Exposure)、敏感(Sensitivity) 與調適 (Adaptation) 三個面向，並採用 Rannow 等人 (2010) 所提出之脆弱度分析架構。該模式係包括資料輸入 (input data)、重分類 (classification)、指標分數 (indicator)、規則組合 (assessment matrix) 以及脆弱度等級 (index) 等五個過程。本文以其為基礎，透過不同氣候情境進行模擬。在分析的單元上，本研究係以完整的農地坵塊作為分析單元，透過疊圖或資料彙整方式將各項指標內容彙整於其中。操作的程序上，則將各面向資料分別數入於農地坵塊，透過資料的重新分類，並依據其脆弱度低至高分別給予 1 至 3 分。在不同面向的組合方面，則透過規則組合法，將暴露與敏感面向重新組合成潛在衝擊的結果，最後將潛在衝擊與調適面向再度進行第二次規則組合，從而找出該情境的脆弱度模擬概況。

(二)農地脆弱度指標系統

根據文獻回顧中可以發現，農業部門的脆弱度指標與類型相當多樣。由於農業與農地並不容易直接劃分，基於資料的可收集性，指標類型複合性與農地多功能性，本研究將雲嘉南地區農地脆弱度指標系統定義如表 2 所示。由表中可以知道這些指標分為三個層次，最細項的為指標細項，其次為指標群，最後為指標面。指標面向包括暴露、敏感與調適三方面；指標群則包括氣候預測 (EP)、災害潛勢 (EC)、海平面上升 (ES)、土壤 (S01)、水 (S02)、區塊(S03)、敏感地區 (S04)、農戶特性 (A01)、農業組織 (A02)、社經特性 (A03) 等十個項目，其中暴露面向的三個指標群分別代表不同氣候情境。

在脆弱度指標給分方面，由於各項指標的衡量模式不同，為簡化分析的困難度，本研究透過排序後，依其強弱給予相對性的評分。亦即，透過該項程序後，所有的評分結果僅是代表雲嘉南地區不同農地之相對分數，而非絕對性的量化指標。其中，每項指標的脆弱度分數越高，代表該指標的脆弱度越高，例如，分數為 1 表示脆弱度低，分數為 3 表示脆弱度高。為使操作具有一致性，本研究採用 Arcgis 分組功能 (Quantile) 進行分類，將指標分為三個等級。若為判別指標，如敏感地區中是否位於敏感地區，則將位於敏感地區給予分數 3 分，反之則 1 分。不同指標細項乃至指標群與指標面的

整合方面，由於各項指標的權重不易衡量，本研究目前係以平均數進行彙整，並透過排序後重新給分。

表 1. 脆弱度指標評估給分標準與代號說明

	指標群	指標細項	尺度	代碼	給分標準
暴露(E)	氣候預測	溫度對作物之衝擊	5x5km^2	EP	透過影響作物生長期的狀況給予分數 1-3 分
	災害潛勢(EC)	災害潛勢	農地區塊	EC	根據災害潛勢等級給予分數 1-3 分
	海平面上升(ES)	海平面上升(2m)	農地區塊	ES	是否受到衝擊給予分數(1/3)
敏感(S)	土壤(S01)	內部排水性	農地區塊	S01-1	依據 TALIS 分數進行排序後分組給予分數 1-3
		有效深度	農地區塊	S01-2	依據 TALIS 分數進行排序後分組給予分數 1-3
		酸鹼值	農地區塊	S01-3	依據 TALIS 分數進行排序後分組給予分數 1-3
		沖蝕指數 k	農地區塊	S01-4	依據 TALIS 分數進行排序後分組給予分數 1-3
	水(S02)	離灌排渠道距離	農地區塊	S02-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		灌溉面積比	村里	S02-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
	區塊(S03)	農地區塊	農地區塊	S03-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		農戶耕地規模	村里	S03-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
	敏感區 S04	生態保育地區	農地區塊	S04-1	是否位於生態保育地區給予分數 1/3 分
調適(A)	農戶特性(A01)	農戶比	村里	A01-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		耕作指揮者年齡	村里	A01-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		主要教育程度	村里	A01-3	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		平均農戶農業收入	村里	A01-4	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
	農業組織(A02)	農會參與 I (會員數/農牧人數)	鄉鎮	A02-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		農會參與 II (產銷班數)	鄉鎮	A02-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		農會參與 III (參加講(研)習人數/農牧人數)	鄉鎮	A02-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		農會參與 IV (農會收支比)	鄉鎮	A02-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		農村再生參與	鄉鎮	A02-3	是否參加農村再生給予分數(1/3)
	社經特性(A03)	扶養比	村里	A03-1	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3
		老化指數	村里	A03-2	排序後，分為三等分，並給予分數 1-3

(三)資料說明與彙整模式

由農地脆弱度指標系統表可知該項指標系統包括了不同尺度與不同類型的資料項目。在資料來源方面，暴露面向資料包括 TCCIP 所提供之氣候模擬資料(5km x 5km)，用以分析溫度與降雨對作物生長的衝擊。災害潛勢資料則為營建署市鄉局在 2006 年與 2007 年之「國土規劃前置作業辦理計畫－子計畫 10 國土保育地區防災空間規劃策略之整合型規劃」(第一期、第二期) 計畫之研究成果。海平面上升則是以陳吉宏等 (2001)「氣候變遷海平面上升對我們之衝擊評估與適應策略」一文所提出海平面上升影響範圍之計算方法，從而計算雲嘉南地區在海平面上升 2 m 的影響範圍。敏感面向資料則係來自 TALIS 與農地資源空間配置相關計畫成果。調適面資料則依據縣市統計要覽、農業普查、各級農會年報與社會經濟資料庫共同平台等官方統計資訊。這些資料包括了不同空間尺度的資料，如村里與鄉鎮單元的空間資料、氣候模擬的網格資料以及生態保育地區的多邊形資料等。事實上本文係以探討農地為出發點，故最為基礎的分析單元係為農地區塊。若要整合不同空間尺度資料，甚至進行組合分析，需具有一個標準的套疊模式。本研究採用的方法係重心落點法，亦即當區塊 A 的重心位於該村里單元 B 時，表示該區塊 A 所對應的地區為村里 B。透過這樣的結構來進行資料的整合，其疊合概念如圖 1 所示。其中，本方法的操作會使得後續相關面積計算的結果並非與實際真實結果一致，故僅可認為該面積為近似面積或相對面積的概念。

本研究的評估架構與程序如圖 2 所示，基本上係依循 IPCC 的整體架構與程序。其中，潛在衝擊包括暴露面向、敏感面向的評估內容，最後透過潛在衝擊與調適能力的組合與運算，可計算出脆弱度的分布概況。以下說明整體的操作結果；

在潛在衝擊方面，包括暴露面向以及敏感面向兩種操作。暴露面向方面，本文分別處理氣候預測、災害潛勢與海平面上升等三種情境的分析。「情境一：氣候預測」係考慮溫度對稻米生產的影響程度[1]。由於稻作生長週期在不同月份具有不同的溫度考量，本文假設該農地單元溫度若低於最低溫或高於最高溫度者，視為受到氣候變遷影響，反之則否[2]。接著，將 TCCIP 所提供之不同氣候情境 SRES-A1B、SRES-A2、SRES-B2 等的模擬結果分別進行評分與比較後，最後選擇 SRES-A2 為模擬情境的代表，並與農地進行套疊，彙整出氣候預測情境成果如圖 3(1)。「情境二: 災害潛勢」係考慮國土保育地區之一級災害潛勢地區以及二級災害潛勢地區。這些分布說明了該地區面臨的災害潛勢與威脅程度。透過與農地範圍的套疊，結果如圖 3 (2)。「情境三：海平面上升情境」係透過陳吉宏等 (2001) 「氣候變遷海平面上升對我們之衝擊評估與適應策略」

[1] TCCIP 氣候預測資料包括溫度與雨量，由於雨量無法取得稻作栽種過程所需降水量之標準，故在本研究省略不計。

[2] 稻作生長周期與最適溫度對照表係參考章珮茹 (2008) 之設定。

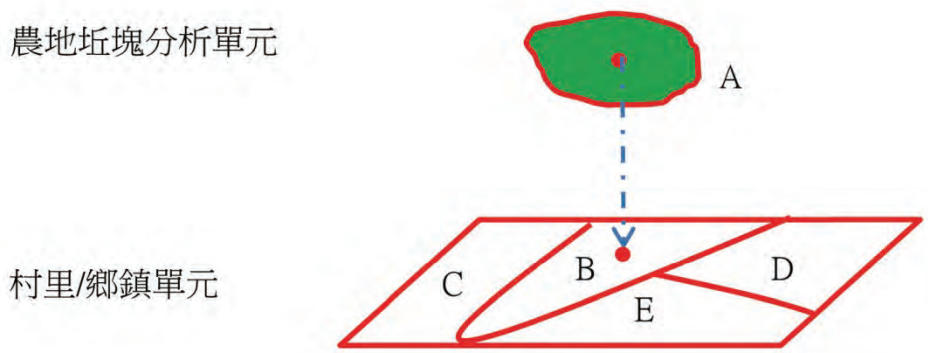


圖 1. 不同空間尺度資料彙整概念示意

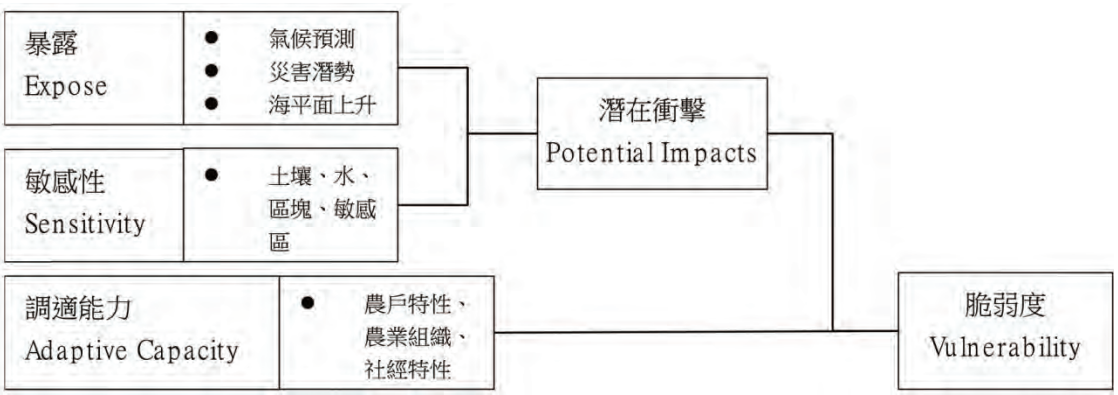
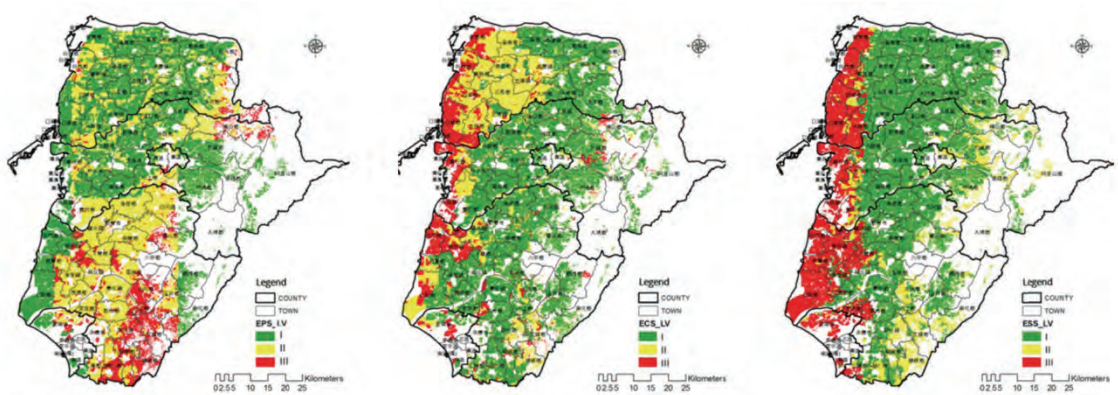


圖 2. 農地脆弱度評估架構與程序



（1）情境一：氣候模擬　（2）情境二：災害潛勢　（3）情境三：海平面上升

圖 3. 三種氣候情境下之潛在衝擊面向的農地脆弱度分布

一文所提出海平面上升影響範圍之計算方法，從而計算雲嘉南地區在不同的情境下海平面上升的影響範圍。將結果與農地套疊後，最後其情境結果如圖 3 (3) 所示。敏感面向則包括四個指標群 (土壤、水、區塊以及敏感地區) 以及九個細項指標。土壤群指標對農地或其作物生產都具有顯著的影響性。由於農地因應不同季節，種植的作物有所不同，故造成對其各項細項指標的需求模式也有所不同。本文簡化這些評估的過程，係以一般概念上的認知以及統計分布的模式進行處理。水指標群方面，由於雲嘉南地區對於水資源管理相當重視，因此將重點放在考慮農作與灌溉之間的相關性。區塊群方面，主要是說明每塊農地的特質與規模。敏感地區方面則考慮生態資源保育地區的座位與否，對環境保育具有重大意義。透過整體資料運算與彙整後，可計算出農地之敏感面向的脆弱分布。最後，將暴露面向之三種情境與敏感面向進行彙整，可整理出農地脆弱度在潛在衝擊面向的結果，整理如圖 3。模擬結果來看，氣候預測的主要影響的地區為台南的平原地區、雲林古坑、嘉義梅山與台南東南坡地地區；災害潛勢則衝擊了雲嘉南沿海地帶以及雲林縣西半部，其中雲林縣的這些地區為重要的生產地區；海平面上升會造成最大範圍的衝擊，但是不會影響到原來的主要生產重地。

在調適面的分析上，主要內容係以村里的分布結構為重點。調適面指標群包括三個指標群，包括農戶特性、農業組織以及社經特性。這三項特性主要是分別說明個體農戶的脆弱特性、農戶與農戶之間的互動結構以及農業村里的社會經濟負擔等三種特質。整合上述指標可得調適面向的農地脆弱度概況 (圖 4)，結果顯示主要脆弱地區位於雲嘉南地區之沿海地區以及縣市交界處，包括了雲林縣的台西、東勢、元長、四湖、北港、水林、口湖，嘉義縣的六腳鄉、東石鄉、簿子鄉、鹿草鄉、布袋鎮，台南市的白河、後壁、東山、柳營、六甲、大內、官田、山上、左鎮、玉井、龍崎、新化、北門、將軍、佳里、西港、七股等地區。

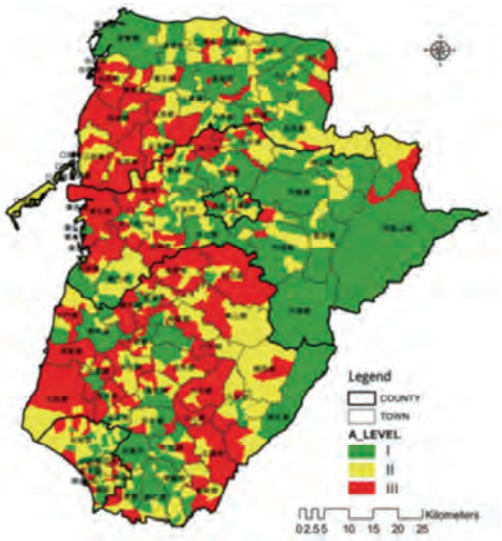


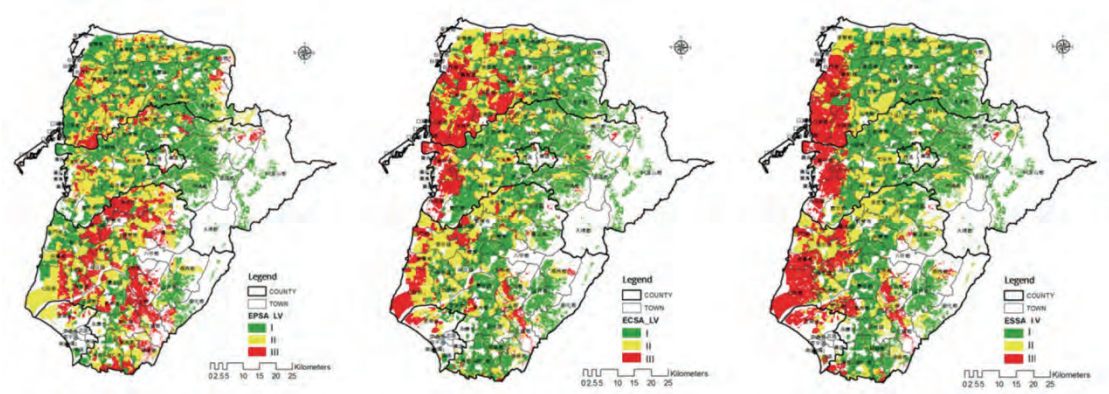
圖 4. 農地脆弱度調適面向之分布

根據前面的說明，本文進一步將潛在衝擊的情境結果與調適面向的成果進行組合，整理結果如圖 5 之 (1) (2) (3) 所示。情境一 (氣候模擬) 的分析結果如圖 5 (1) 所示。其中，台南市屬於脆弱度高的農地最多，計有 43,851.41 公頃，其次則為雲林縣的 9,058.86 公頃以及嘉義縣的 5,481.35

公頃，整體來說，脆弱度高的農地占總農地面積的 18.90%，其中台南市原來的農業生產地區已成為脆弱度高的地區。另外值得注意的是雲林與嘉義在脆弱度低的農地，具有明顯的連續性，越往西部沿海則脆弱度等級會逐漸上升。在情境二 (災害潛勢) 的模擬結果來看，雲嘉南地區脆弱度高的農地計有 61,721.37 公頃，占總農地面積的 19.98%，其比例略高於類型一。這些農地的區位主要在西部沿海地區，其中以嘉義的東石鄉與布袋鎮，雲林縣的口湖鄉、水林鄉、北港鎮、元長鄉、東勢鄉、台西鄉與四湖鄉最為顯著。兩縣之高脆弱度農地面積也相當接近。值得注意的是在這樣情境下脆弱度低的農地有 151,099.93 公頃，其中台南市高達 60,572.29 公頃，為境內最高。表示在考慮災害潛勢的情況下，台南市的農地相對優勢更高。在情境三 (海平面上升) 的模擬結果中，脆弱度高的農地面積最高，高達 21.76%，計有 67,238.40 公頃。其中以沿海地區受到衝擊的範圍最大。相對於情境二來說，雲林縣受到影響的區域面積減少且更為集中，嘉義縣則無明顯差異，台南縣則呈現大規模的衝擊。而其中值得特別注意的是在這個情境下，三個縣市脆弱度低的農地面積都在五萬公頃上下，顯示了雲嘉南地區農地仍具有一定的生產能力。

農地調適應用

依據以上的脆弱度評估，本計畫參考 APF 程序 (如圖 6) 於 2013 年 7 月至 11 月期間於雲林縣進行實三個縣市在脆弱度低的農地面積都在五萬公頃上下，顯示了雲嘉南地區的農地仍具有一定的生產能力。作，藉此研擬雲林縣農地調適策略，提供雲林縣政府推動氣候變遷農地調適之參考，同時也期望藉此實作及後續檢討，提供作為調整與修正農地調適規劃與操作內容之參考。



（1）情境一：氣候模擬　　情境二：災害潛勢　　（3）情境三：海平面上升

圖 5. 三種氣候情境下之農地脆弱度分布

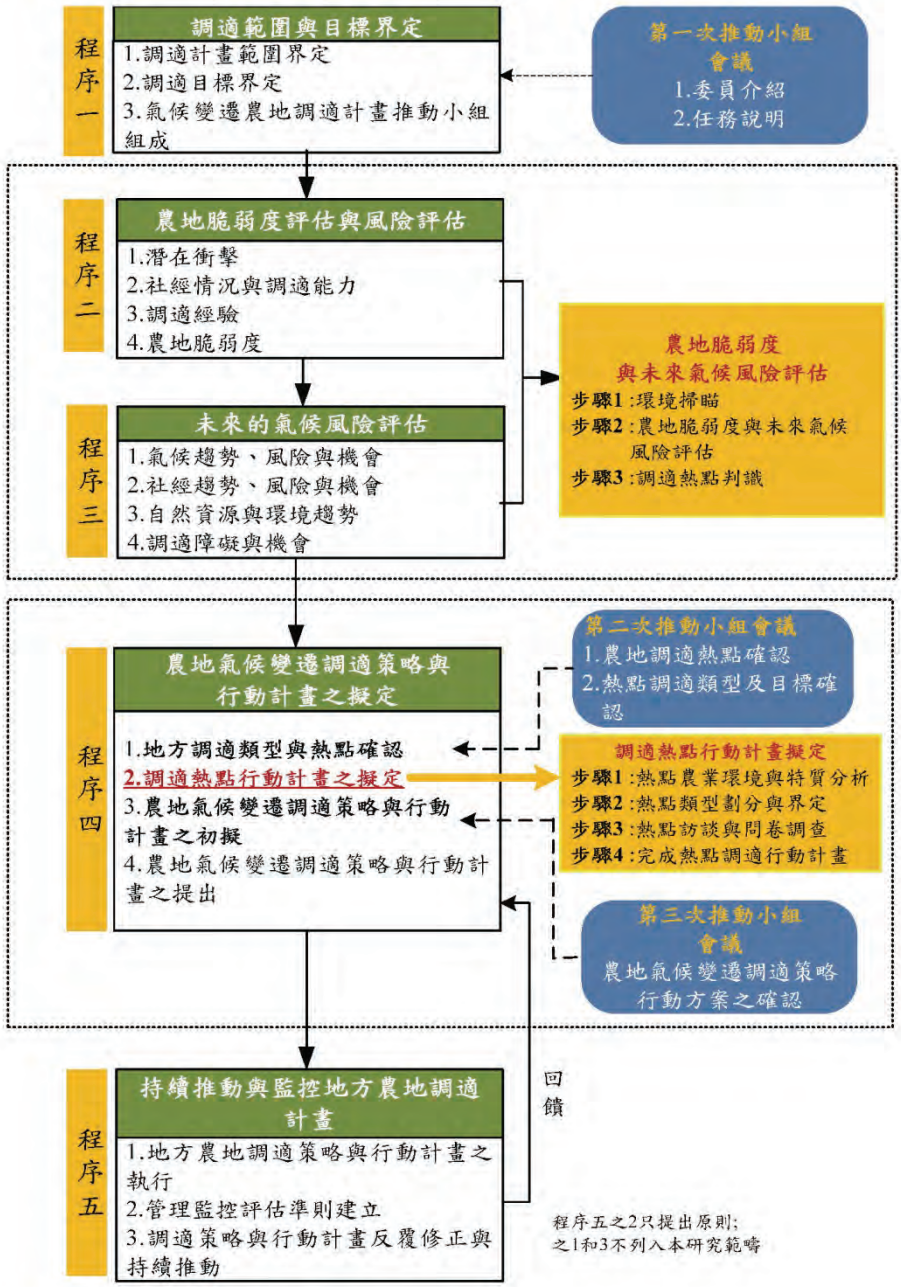


圖 6. 農地調適規劃程序

本計畫將前述農地脆弱度評估應用於圖 6 之程序二與程序三進行「農地脆弱度與未來氣候風險評估」，包括 1.環境掃瞄；2.農地脆弱度與未來氣候風險評估；3.調適熱點判釋等操作步驟。環境掃瞄包括農業自然與社會經濟環境、氣候變遷與影響，以及農業相關政策與計畫分析等內容；農地脆弱度與未來氣候風險評估包括評估農地氣候

變遷暴露 (Exposure) 程度、評估氣候變遷衝擊的敏感性 (Sensitivity)、氣候變遷的潛在衝擊 (Potential impact) 分析、調適能力 (Adaptive capacity) 評估、脆弱度 (Vulnerability) 評估分析、未來氣候風險評估分析等內容；調適熱點判釋係考量該地區的發展是否符合過去相關計畫的政策設定或預期目標、與地方認知的衝突以及特定計畫的需求衝突等面向，並經氣候變遷農地調適計畫推動小組討論確認後，提出調適熱點地區之清單。

結論

本研究透過雲嘉南地區的實例操作，從而探討農地脆弱度評估的分析程序與應用模式，並從其中得到幾項結論。首先，在農地脆弱度評估指標的選擇上，過去大多研究是以大規模大尺度的方式來探討農業方面的脆弱度，對於農地方面的探討則相當稀少，也因此提高了指標篩選的困難度。這些指標多來自於農業相關政策與脆弱度研究，由於尺度以及目的性的不同，有些指標群無法直接採用在農地脆弱度評估上。在選擇的過程中，許多具代表性的農地脆弱度評估指標無法具體實現在本研究中，如旱災的相關資料、其他代表作物的生長模式等等，因此未來在農地脆弱度的探討上，仍須憑藉著相關資料庫建置的完整性方能進行更好的處理。

其次，在農地脆弱度評估方法上，本計畫受限於資料格式的特性，暴露面、敏感面之指標係以農地區塊為分析主體，調適面則是以村里單元為分析主體。這樣的結果造成疊圖邏輯的困擾，主要原因來自於農地區塊不盡然完全砌合於村里單元或其他相關的空間圖資。因此本研究利用重心法來處理這方面的影響，但這樣的過程會造成資料上一定程度生態謬誤之誤差。另外，由於脆弱度指標評分不易，故本研究採用相對指標的衡量模式來對各項指標進行評分，增加了指標評分的一致性。整體而言，本研究的分析單元包括兩個主要的主體，一為農地區塊，另一為村里 (鄉鎮) 單元。在衝擊面主要是利用農地區塊作分析的基礎單元；在調適面則是村里等行政單元。本計畫採用規則組合法進行兩種面向的整合，透過這樣的組合規則，將有助於建立農地區塊的脆弱度評估結果。

最後，雲嘉南地區農地脆弱度評估的成果方面，可分為潛在衝擊與調適面向兩方面來說明。本研究將衝擊面分為暴露與敏感兩種類項，並以農地區塊為分析單元進行脆弱度評估過程。從衝擊面的總體評估結果來看，雲嘉南地區的農地一般來說具有相當好的生產功能，尤其是位於雲林、嘉義與台南北部平原地區的農地，而受到衝擊的地區為雲嘉南地區的東西兩側。進一步從不同面向的衝擊結果也可以呈現這樣的特性。暴露面包括氣候預測、災害潛勢與海平面上升等三種情境。在暴露面的模擬結果來看，氣候預測的主要影響的地區為台南的平原地區、雲林古坑、嘉義梅山與台南東

南坡地地區；災害潛勢地區影響了雲嘉南沿海地帶以及雲林縣西半部，其中雲林縣的這些農地為重要的生產地區；海平面上升會造成最大範圍的衝擊，但是不會影響到原來的主要生產重地。在敏感面向之脆弱度評估結果方面，雲嘉南地區主要的脆弱地區位於雲林與台南沿海地區以及台南的東南坡地地區。在調適面向方面，本研究以村里單元作為主要的分析單元。雲嘉南地區在調適面向脆弱度評估結果中，空間型態的分布上雲林與嘉義較為相似，台南則為獨立的特質個體。在各項細項指標的評估結果也大致呈現這樣的特徵性。整體來看雲嘉南地區之農地脆弱度等級分布，不論在何種情境下，雲嘉南地區的沿海地帶都為主要的高脆弱地區，其次為雲林縣西半部地區，再其次則為台南市中心到東南地區的鄉鎮地帶

參考文獻

王俊豪、方珍玲、陳美芬，2012。農地多功能利用指標系統之建構，臺灣土地研究，第 15 卷第一期，第 31-71 頁。

台灣氣候變遷推估與資訊平台計畫網站，2011。http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/NCDR/main/about.aspx。

李承嘉、詹士樑，2011。「氣候變遷影響下農地資源合理利用與儲備機制之研究」，行政院農業委員會委託。

章佩如，2008。「氣候變遷對農地影響之研究—以稻作適宜性為例」，臺北大學不動產與城鄉環境學系碩士論文。

陳吉宏、曠永銓、蘇國旭，2001。「氣候變遷海平面上升對我國之衝擊評估與適應策略」，台北：環保署委託研究。

蕭代基、王京明、張瓊婷、楊智凱與黃德秀，2008。氣候變遷調適政策藍圖之研議－台灣氣候變遷調適政策綱要架構，6-7，台北：財團法人中技社。

Aschonitis, V.G., Mastrocicco, M., Colombani, N., Salemi E., Kazakis, N., Voudouris, K., and Castaldelli, G. 2012. Assessment of the intrinsic vulnerability of agricultural land to water and nitrogen losses, via deterministic approach and regression analysis. Water Air Soil Poll. 223: 1605-1614.

Berry, P.M., Rounsevell, M.D.A. , Harrison, P.A. and Audsley. E. 2006. Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. Environmental science & policy. 9: 189-204.

Gbetibouo, G.A. and Ringler, C. 2009. Mapping South African Farming Sector Vulnerability to Climate Change and Variability: A Subnational Level Assessment, IFPRI Research Brief 15-3, Washington, DC: International Food Policy Research Institute.

Hewitt, J., Chen, K. and Hill, H. 2008. Assessment of Climate Change Impacts on Agricultural Land Use Suitability, http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CGsQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww4.agr.gc.ca%2Fresources%2Fprod%2Fdoc%2Fpfra%2Fpdf%2Fassess_clim_chang_prairies_e.pdf&ei=kkcWUPbiEcvmmAWZ4oDwBQ&usg=AFQjCNFes1FUMAZ-RfYh3Fa6CPAw6Jf3pg, 2012.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. Impacts, Adaptation, and Vulnerability Climate change, 2001. Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, UK.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change, Geneva, Switzerland.

Lim, B., Spanger-Siegfried, E., Burton, I., Malone, E., Huq, S. 2004. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies. Policies and Measures. Cambridge University Press, Cambridge.

Olesen, J. E. and Bindi, M. (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy. 16: 239–262.

Rannow, S., Loibl, W., Greiving, S., Gruehn, D. and Meyer, B.C. (2010). Potential impacts of climate change in Germany—identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning, Landscape Urban Plan. 98:160–171.

UNDP. 2008. Adaptation to Climate Change: the New Challenge for Development in the Developing World, 6-8, New York: UNDP.

UNEP. 2002. Assessing human vulnerability due to environmental change: Concepts, issues, methods and case studies, UNEP/DEWA/ RS.03-5, United Nations Environmental Programme, Nairobi, Kenya.

A Study on the Vulnerability Assessment and Application of Agriculture Land

Chen-Jai Lee[1], Shih-Liang Chan[1,2,4], Guo-Ching Huang[3], Jheng-Sin Dai[1] and Jhen-Yi Wu[1]

Abstract

Food security is one of the concerned issues of climate change. It is fundamental for a country to maintain a certain amount of agriculture land and promote the efficiency of agriculture land utilization. There have been many innovative strategies for the adaptation of climate change in the developed countries. To achieve the goal of climate change adaptation for agriculture land, vulnerability assessment of farmland is important. Based on the framework of IPCC, the research applies the structure of exposure, sensitivity, and adaptation to build the indicators and conducts the evaluation in terms of the designated area in Yunlin, Chiayi, and Tainan County. Through the application, the key factors of the vulnerability of farmland system are identified. It can be applied as a reference of guideline for the government to formulate the feasible local adaptation actions in the future.

Keywords: Climate change, Agriculture land, Vulnerability assessment, Adaptation strategy.

1 Department of Real Estate & Built Environment, College of Public Affairs, National Taipei University.

2 Department of Real Estate & Built Environment, College of Public Affairs, National Taipei University.

3 Graduate Institute of Urban Planning in National Chung Hsing University

4 Corresponding Author, Email: slchan@mail.ntpu.edu.tw; Tel: 02-86741111#67307.

建構糧食安全應變機制提升糧食安全決策之研究

張靜文[1,3] 吳榮杰[2] 顏晃平[1]

摘要

本研究之目的主要為參酌國外主要先進國家糧食安全相關政策與因應措施，盤點國內相關糧食安全因應對策，並在過去研究的基礎上，提出一套可衡量我國糧食安全情況的預警系統，並依此系統提出相對應的因應對策做為參考。本研究專家問卷分別針對構面權重以及指標預期變動方向與程度進行調查，以便計算糧食安全指數之總分數，並將之劃分成「藍燈」、「藍黃燈」、「黃燈」、「黃紅燈」以及「紅燈」五個等級。實證結果顯示，1992 年至 2004 年我國糧食安全整體構面大致上呈現高於平均水準的「藍燈」，但自 2005 年起，全球穀物價格、石油價格高漲，整體糧食安全程度由「藍燈」轉為「藍黃燈」。2008 年更發生全球金融風暴，同年度石油價格、國際糧價達到歷史新高，致使整體糧食安全程度進一步下滑至必須啟動短期因應策略的「黃燈」。2011 年起因各國因應對策奏效，全球構面燈號 2010 年起由「藍黃燈」轉為平均水準以上的「藍燈」，帶動整體糧食安全指標在 2011 年轉為較為情況改善的「藍黃燈」。2013 年前三季預警結果顯示我國整體糧食安全均處於平均水準以上，是為「藍燈」；但各構面顯現糧食有不安全情況的，為國家足夠性與永續性以及食品安全與營養兩項，且不安全主要受到國際糧食價格波動和食品安全性不足所影響，政府有必要配合長、中、短程應變機制，來減輕我國受到國際糧價影響的程度，並加強減少源頭農藥使用的宣導，以使消費者食用的農產品更為安全。

關鍵詞：糧食安全指標、燈號、預警機制、因應對策。

前言

根據 1996 年 FAO 邀集各國領袖於羅馬召開世界糧食高峰會 (World Food Summit, WFS)後所提出之糧食宣言，定義糧食安全為：「由個人、家計、國家、區域和全球層面，確保所有人民於所有時間，在物質及經濟面均能獲取足夠、安全且能滿足其偏好需求的營養食物，以維持健康而有活力的生活」。該定義可簡單歸納出糧食安全的幾個構面，即糧食安全應能包含足夠性 (availability)、可及性 (access) —包含實體可及性和經濟可及性、利用性 (utilization)等條件。

1 玄奘大學企管系。
2 國立台灣大學農業經濟系教授兼系主任。
3 通訊作者 電子信箱：jingwen.chang@gmail.com；電話：03-530-2255#5559。

糧食安全可以從小至個人組成的家計單位層級(household level)，或者大到國家層級(national level)、全球 (global) 環境等不同層面加以衡量。每層均環環相扣，彼此並非完全獨立，而是具有密切的相關性。因此，對於本國糧食安全之風險評估，應有一套具備系統和全面性的量化衡量指標，包括能夠反映糧食安全各種風險的關聯性、具備容易了解、取得及具透明性指標，以及呈現穩定和可信度高的訊息。

我國現行用來探討糧食安全的指標有多項，包括糧食自給率、糧食生產指數、糧食庫存量等。然這些指標僅就個別類項進行評量，如糧食自給率僅能瞭解我國糧食自給能力，糧食庫存量僅能顯示我國糧食不余匱乏的時間長短。可用來衡量糧食安全的指標雖然眾多，但彼此間欠缺有系統整合，以及無有效的監控和預警功能，導致相關決策單位缺少足夠資訊，以明確地進行糧食安全規畫與處置策略擬定。故而，若能將相關指標所揭露之資訊進行整合來建置糧食安全預警系統，使決策單位能事前知曉所可能面對的風險程度，並及早做出必要的因應處置，將能有效降低或避免潛在的危機。因此，本研究目的在探討如何建置我國預警系統，並提出相關的處置措施和因應策略，以協助我國確保糧食安全政策目標。

主要國家糧食安全指標設計

本研究將國家劃分為糧食進口國與糧食出口國兩類，並從中選擇主要國家進行指標建置之說明；國家選擇的基準，是以該國已有完整指標之建置者為主，並與 FAO、聯合國等國際組織能相接軌為選擇依據。

一、糧食淨進口國

在糧食淨進口國中本研究蒐集英國、日本、南韓作為標的國家進行指標資料之蒐集。其中英國經濟學人設計之糧食安全指標主要是評估各國糧食安全的可承擔性(affordability)、足夠性 (availability)及品質與安全性 (quality and safety)，藉由 25 個具代表性的指標 (包括定量和定性資料)，進行加權分數的計算，最後可得出糧食安全的總評分數 (0 至 100 分的尺度，並以 100 分代表最佳狀況)。經濟學人設計的全球糧食安全指數，具權重及量化的特性，故可表現指標相對重要性及進行各國比較。唯一的缺點，是該指標主要針對貧窮國家較為有用，對於高所得國家而言，該指標並無法詳實反應其所面對的潛在糧食風險。

至於日本指標的設計，是根據緊急情況的嚴重程度，設定 0 至 2 三項分級，並各有分級的因應對策。分級的準則主要是依經驗法則進行判斷，雖然簡單易懂但標準判斷較為粗略，敏感度稍嫌不足。比如 0 級危機說明「緊急情況的變化，以致特定農產物的需求和供給失衡，對飲食生活有產生重大影響的可能性時」，並提出「預期在日本國內發生大歉收」之例子。此時，國內大歉收在何種程度下，才可能對飲食生活有

產生重大影響，在內容並無明確解釋。再者，1、2 級危機只運用「最低限度熱量」是否足夠進行單一指標判斷，於實際作法上太過粗糙。

與我國國情相近的南韓，則考量全球、國內和家計部門構面，在每項構面下，又各有兩項子構面，分別是：全球足夠性、全球市場與貿易、南韓足夠性、食物鏈的穩定或抗壓性、家計部門可負擔性與可及性，以及食物安全與營養等六項，最後才是各式代表性指標(總計有 21 項)，故其在分類方式上稍嫌繁雜。不過，南韓相對英國 DEFRA 的作法，進一步將糧食安全風險量化，設計出可比較的分數模式，是較具特色部分。但是，在加權分數計算過程中，對於相對權重的決定太過主觀，且無一套客觀的分析方法，各項指標並未考量對糧食安全正、負向影響層面，導致所計算的分數有可能會產生偏誤；最後，該指數是否能真正進行糧食安全預警，亦或是以符號反應出糧食危機程度 (如利用燈號表示等)，並沒有進一步加以驗證及陳述。

二、糧食淨出口國

糧食淨出口大國中，本研究則蒐集美國、加拿大、中國等三個國家，對糧食安全判定的指標與準則，說明如下。

由於美國目前所面臨的糧食安全問題，並非整體糧食供給的不足，而是國內貧富差距所導致糧食分配的不均，故美國糧食安全衡量主要是以家計部門 (household) 為主，比較適合已開發國家採行。但是，其在使用上仍有一些缺點：如不同的人對於飢餓會有不同理解和定義，故需要蒐集更詳細、廣泛的家計成員生理經驗資訊，以提供準確的信息；相對的，通常花費於人力、物力的成本非常高。再者，糧食安全調查是採用問卷型式，藉此找出家計部門對於獲取基本糧食需求困難程度，故對於問卷內容設計要有很高專業要求、抽取樣本要具有代表性，且訪查人員要經過一定訓練，不能有誘導受訪者填答的情況發生。雖然問卷能提供在一定經濟和社會的背景下，可能導致飢餓發生的資訊，但是卻無法評估飢餓產生的更深入原因，此為另一項缺失。

加拿大農業部架構的全面性糧食安全行動計畫中，重要主題包括環境和自然資源、社會、經濟和政治可行的環境，並訂定十項優先順位，以及糧食安全相關指標。觀察其優先順位和指標內容，基本上已包含全球、國家與家計構面的精神。但是，其目前只是規劃一些目標大綱，至於如何達成目標，以及可採行策略如何，並無進一步加以擬定和說明。

現行中國除了國務院公布的「國家糧食安全中長期規畫綱要(2008 至 2020 年)」內，所列出一些糧食安全基本方針外，並無政府公開具體的糧食安全預警評估系統；然而，對於中國糧食安全衡量，仍有諸多學者設計出相關的系統加以衡量 (如上節中國部分的討論)。大體而言，多篇文章探討的觀點，主要還是以國家層級為重心，並以國家糧食總供需平衡、熱量攝取量、糧食與膳食能量之供需平衡指數、糧食生產波動指數、

糧食需求波動指數、糧食庫存與需求比率、糧食國際貿易依存度，以及國際糧食價格上漲率等八項常見變數進行衡量。上述的指標較偏向糧食安全足夠性角度，對於其他構面探討，例如全球市場與貿易、食品品質與安全性、資源永續性，以及家計部門可及性等方面，並無進行深入討論或設計代表性的指標。另外，對於各項指標間的權重決定，以及糧食安全狀態、預警燈號和分布設定，亦沒有詳細說明各項臨界值如何制訂。

建構我國糧食安全指標與預警系統之作法

一、糧食安全指標之計算

糧食安全可以從小至個人組成的家計單位層級 (household level)，或者大到國家層級 (national level)、全球 (global) 環境等不同層面加以衡量，且彼此均具有高度關連性。吳榮杰(2000) 認為在 70 年代，糧食安全主要關注在國家與全球的糧食供應，此因該年代初期世界穀物庫存急劇減少，糧價迅速上漲的關係，故增加糧食的生產與庫存，以平抑糧食供應的波動和穩定地滿足消費需求就成為糧食安全的重要目標；及至 80 年代，則轉變成家計單位或個人取得食物水準問題的探討，而進入 90 年代則轉化為強調食品安全與營養保健的效用性概念。此外，吳榮杰 (2012) 亦指出由主要國家作法觀察，透過全球、國家與家計三大層面共同進行糧食安全評估，是較具全面及周延性的作法。

再者，FAO 於 1996 年提出的糧食安全宣言中，主要包含足夠性 (availability)、可及性(access)、利用性 (utilization)及穩定性 (stability)等，結合兩者本研究糧食安全構面將建置五個面向，包括：(1)全球足夠性與永續性；(2)國家足夠性與永續性；(3)國家可及性與穩定性；(4)家計足夠性與可及性，以及(5)食品安全與營養五大構面。為了評估糧食安全風險程度，必須將抽象風險予以量化，並設計風險指標，以利進行整合與比較。本研究擬先針對五大構面的主要風險，個別設計若干項具代表性的糧食安全風險指標，至於每一指標選擇的原則為：(1)可反映糧食安全各種風險的關聯性；(2)具容易了解、取得及具透明性指標；(3)具穩健和政府公開可信度高的資料。準此，本研究建立之糧食安全指標及資料來源，將之整理於表 1：

按吳榮杰 (2012) 之研究，採用其糧食安全指標構面之設定，共分成全球足夠性與永續性、國家足夠性與永續性、國家可及性與穩定性、家計足夠性與可及性以及食品安全與營養等五大構面，並重新建立各構面之評估指標，以 1992 年至 2012 年的歷史資料進行糧食安全指標分數之計算。

為瞭解各構面及分項指標之重要性分別為何，本研究進行專家問卷蒐集專家意見，計算出權重後以 1992-2012 年的平均數作為區分，以一般財務、統計上用來代表風險程度的標準差來作為切割各種風險情況的標準。但在計算指標分數前，由於各指標原始單位部分是指數、部分是%，因此為求資料處理具一致性，以利統整計算整體分數，因此尚須預先進行資料之處理與調整。其作法是先將資料進行標準化，去除單

位因素後，轉化成最終的標準化分數。若權數已知，即可乘上標準化分數，計算出各指標的加權得分。依此分數為基礎，再根據標準差進行分數分組以得出各指標參考級距，進行糧食安全情況之區分。

本研究按表 1 所列示的五大構面下各項指標，進行專家意見之調查。本次調查結果共蒐集到 17 位專家學者之意見，包括學界 3 位、研究機構 4 位、政府機關 10 位。專家意見調查分散在官、學、研，且意見之徵詢遍及各層級。至於調查方式，乃是按

表 1. 糧食安全構面與指標建置

構面	主軸面向	代表指標	資料來源
1. 全球足夠性與永續性	生產面	◦糧食生產指數(FAO)	FAO
		◦原油價格	IMF
	消費面	◦全球人口成長率	World Bank
		◦全球所得成長率	World Bank
		◦糧食價格指數(FAO)	FAO
	資源面	◦可耕地面積比率 (% of land area)	World Bank
2. 國家足夠性與永續性	生產面	◦糧食生產指數(我國)	行政院農業委員會
		◦綜合糧食自給率—以熱量計算	行政院農業委員會
	消費面	◦我國人口成長率	行政院主計總處
		◦穀類價格指數(FAO)	FAO
		◦庫存需求比率(黃小玉組合指標)	USDA
	資源面	◦耕地面積	行政院農業委員會
		◦進口能源依存度(%)	經濟部能源局
3. 國家可及性與穩定性	實體可及性與穩定性	◦米穀實存量	行政院農業委員會
		◦穀類供應進口比率(依存度)	行政院農業委員會
		◦進口來源集中度—CR_4 指標	行政院農業委員會
	經濟可及性與穩定性	◦實質 GDP	行政院主計總處
		◦Gini 係數	行政院主計總處
		◦消費者物價食物類指數	行政院主計總處
4. 家計足夠性與可及性	家計足夠性(量與質)	◦每人每日熱量供給量	行政院農業委員會
	家計可及性	◦平均每人實質 GDP	行政院主計總處
		◦糧食消費占家庭支出比率	行政院主計總處
5. 食品安全與營養	食品安全	◦農產品農藥殘留抽檢合格率	行政院農業委員會
		◦飲食多樣化(dietary diversity)	行政院農業委員會與自行計算
	食品營養	◦糧食供給 PFC 比率與理想值總差距	行政院農業委員會與自行計算

資料來源：本研究。

本研究設計的各構面分項指標，發送問卷請專家學者進行重要性評估，每項指標分別各給予 1 分至 10 分，分數越高代表專家學者認為該項指標在構面中所扮演的角色越重要，越適合用來評估糧食安全程度；反之，則越不重要，對於評估糧食安全而言並非重要指標。根據調查結果並按照 Kim et al.(2010)之計算方式，本研究可以計算出各構面下指標權重，進而計算構面權重，將之整理於表 2。

表 2. 五大構面與其下指標權重表

	權數
1. 全球足夠性與永續性	**25.8%**
• 全球糧食生產指數(FAO)(gross)	18.8%
• 原油價格	16.6%
• 全球人口成長率	15.9%
• 全球所得成長率	13.0%
• 全球糧食價格指數(實質)FAO	16.2%
• Arable land (% of land area)	19.4%
2. 國家足夠性與永續性	**34.9%**
• 我國糧食生產指數	16.2%
• 糧食自給率—以熱量	13.6%
• 總人口成長率(國內)	11.8%
• Cereals Price Index(FAO)	14.6%
• 庫存需求比率(黃小玉組合指標)(需求當權重)	13.7%
• 耕地面積	16.4%
• 進口能源依存度	13.6%
3. 國家可及性與穩定性	**25.7%**
• 庫存量—米穀實存數量	17.9%
• 穀類供應進口比率	17.2%
• CR4	16.8%
• 實質 GDP	14.3%
• Gini 係數	15.6%
• 消費者物價食物類指數	18.1%
4. 家計足夠性與可及性	**6.6%**
• 每人每日熱量供給量	34.6%
• 平均每戶可支配所得	30.8%
• 糧食消費占家庭支出比率	34.6%
5. 食品安全與營養	**7.1%**
• 農產品農藥殘留抽檢合格率	36.8%
• 飲食多樣化 DES	31.8%
• 糧食供給 PFC 比率與理想值總差距	31.3%

資料來源：本研究計算整理。

經計算出糧食安全指數後，接續即要進行比較，並能判斷目前是否存在糧食安全風險危機。有鑑於此，本研究將以糧食安全指數為基礎，設定適用我國國情的糧食安全預警系統，並搭配對應燈號方式，以求更清楚表達目前糧食安全狀況。說明如下：

根據統計的中央極限定理 (Central Limit Theorem, CLT)：若樣本數足夠大時，樣本平均數的抽樣分配會近似常態分配，故當觀察年度較多時，糧食安全指數即可視為近似常態分配。另依照統計之經驗法則可知，大約有 68%的資料會介於平均數加減 1 個標準差的範圍內；約有 95%的資料會介於平均數加減 2 個標準差的範圍，以及有約 99%的資料會介於平均數加減 3 個標準差的距離；本研究主要採此劃分之方法，從機率的概念來判定糧食安全程度。易言之，亦即是在統計經驗法則下，說明在某種機率情況下會發生哪一種程度的糧食不安全。據此，本研究依上述中央極限定理及經驗法則，擬定出糧食安全平均分數減去 2 個標準差之左方範圍，設為糧食安全警戒區域，如圖 1 所示。

本研究以平均值作為比較之基準，在平均數以上的情況將之假設為糧食較為安全的區域，平時警戒注意即可的安全區，並以藍燈表之；第二種為 $\mu - \sigma$以上的分數，代表現行糧食安全需要加強注意，糧食安全程度有可能轉壞，採用「藍黃燈」表達；第三種為落於$\mu - \sigma$以下至 $\mu - 2\sigma$的區域，表示對目前糧食安全情況應密切注意，若不持續加強防備，之後很有可能會落於預警啟動的警戒區，因此必須密切注意其後續之動向，以適時採取因應措施或應變機制，故本區域的燈號將以「黃燈」表示；相對的，臨界值 $(\mu - 2\sigma)$ 左方範圍為糧食安全預警啓動區，依其風險高低程度，可區分成兩種

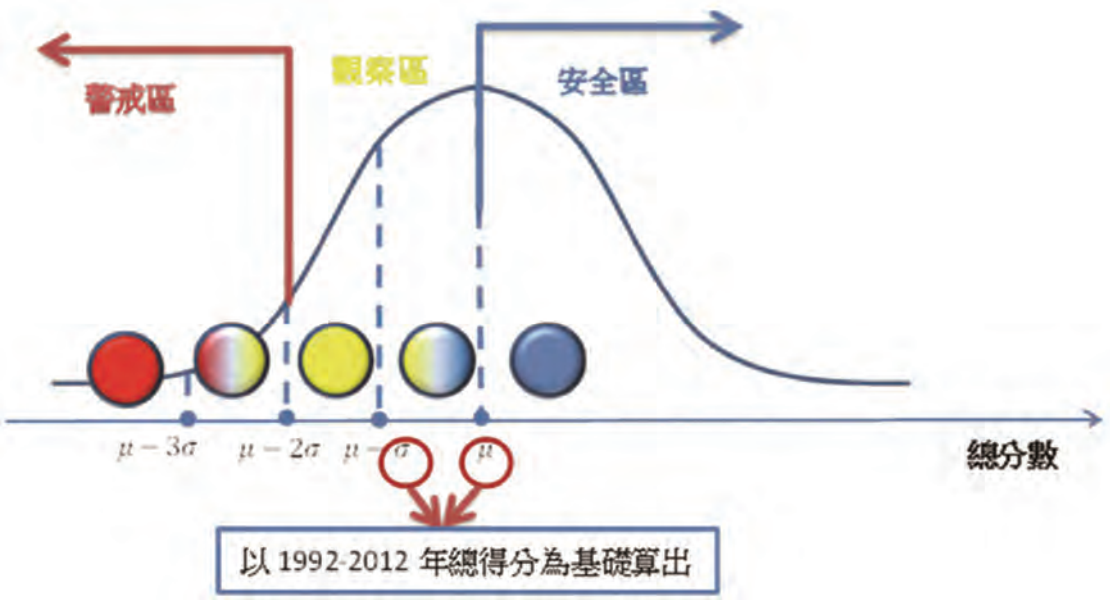


圖 1. 糧食安全預警區域及燈號說明。(資料來源：本研究整理)

情形：第一種為糧食不安全狀況仍可控制，糧食安全具有些不利的、不確定性和混合性的狀態，但安全程度有可能變得更差，亦有可能轉好的「黃紅燈」。其二為相當嚴重狀況，如突發性的天災、事故等，使得糧食安全已位於非常不利的位置上，故以能代表危機情境之「紅燈」表示。

二、預警機制

預警系統之設置，仍維持前章所述之五個構面，以避免前後衡量基準不一致。預警方式主要優先採取重要組織/政府/機關所公告、發佈期間較短，經由實際調查或合理推估之統計數據，如行政院主計總處每月提出實質 GDP 的預測數據，或是 FAO 對於黃小玉國際市場價格的預估資訊等，作為本研究預警資料發佈的依據。然對於部分資料發佈速度較慢，如我國耕地面積 (以稻米為例) 為每半年才發佈一次，則按過去 (1992-2012) 歷史資料進行估算。

上述資料發佈較慢的資料估算方式為，比如說 2004 年我國以熱量計算的糧食自給率為 32.10%，2005 年發佈的資料為 30.20%，2005 年相較於 2004 年我國糧食自給率 (以熱量計)是處於降低的狀態，降低程度為 5.9% ，但 2006 年又恢復到 32.10%，相較於 2005 年上升 6.3%。由於指標原始資料各年度各有增減，因此可將兩年資料變動情況分群，一群為正向增加，一群為負向減少。在進行預警時，可透過專家意見對該指標在未來其認為改善者，則以正向群組平均變動率之倍率進行資料調整；反之，若專家認為該項指標在未來看壞，則以負向群組平均變動率之倍率進行資料調整。本研究針對發佈較慢的資料進行專家意見調查，結果呈現於表 3。

表 3. 指標變動率倍數調查結果

構面	代表指標	變動倍率
1.全球足夠性與永續性	◦糧食生產指數 (FAO)	0.6
	◦可耕地面積比率 (% of land area)	-0.6
2.國家足夠性與永續性	◦糧食生產指數 (我國)	0.4
	◦綜合糧食自給率—以熱量計算	0.6
	◦耕地面積	-0.3
3.國家可及性與穩定性	◦米穀實存量	0.3
4.家計足夠性與可及性	◦每人每日熱量供給量	0.8
	◦糧食消費占家庭支出比率	0.8
5.食品安全與營養	◦農產品農藥殘留抽檢合格率	0.2
	◦飲食多樣化 (dietary diversity)	0.4
	◦糧食供給 PFC 比率與理想值總差距	0.8

資料來源：本研究計算整理。

我國糧食安全指標衡量與預警結果

根據前述糧食安全指標之建置，本研究實證結果列示如下：

一、1992-2012 年我國糧食安全狀況

全球足夠性與永續性構面在 1999-2006 年大都呈現較為安全的「藍燈」，顯示糧食安全水準在平均水準以上，採取穩定糧食生產、資源永續利用以及確認進口來源穩定等平常性、中長期措施即可。1992-93、1996-97 與 2008 年則出現需要加強注意並採取相對應的預備措施的「黃燈」，顯示這些年度因為糧食安全程度降低，已經偏離平均水準一倍標準差以上，有必要短期之應變機制併行中長期預備措施，以避免情況進一步惡化。

其中，2008 年因氣候變遷導致全球糧食減產，使得全球足夠性出現需要特別關注的情況，然由於發生在 2008 年下半年，因此 2008 年的燈號出現「黃燈」，但由於各國政府立即採取相關因應措施，因此 2009 年糧食安全指標回升至「藍黃燈」，顯示糧食安全情況正往好的方向前進；且由於一般糧食作物生長週期短則三個月，長則半年，因此 2009 年各國積極增產隨即彌補了 2008 年減產所造成的糧食不足的短暫性問題，故 2010 年起全球足夠性與永續性重新恢復成平時狀況下的「藍燈」。

在我國國家足夠性與永續性方面，從 1992 年至 2004 年均處於平時狀況僅需注意觀察的「藍燈」，此種情況政府措施應採長期穩定糧食供給、需求以及資源永續利用的相關政策。然 2005 年起我國國家足夠性與永續性指標開始轉壞，由原本的「藍燈」轉為需要加強注意的「藍黃燈」，再加上 2008 年發生金融危機與國際糧價飆漲等突發事件，且國際原油價格亦同時大幅攀升，對我國主要仰賴進口的黃豆、玉米、小麥等大宗穀物，不論是進口購入成本、國內配送成本等，均造成某種程度的壓力，且這些主要糧食作物價格從 2008 年以後便一直維持在高水位，對於我國而言實為需要特別密切關注。因此 2008 年以降，我國國家足夠性與永續性便一直呈現需要特別注意的「黃燈」，顯示實有必要推動穩定糧食供給及大宗進口物資價格的短期政策，同時輔以提升資源永續利用率的中長期政策，以維護國家糧食之足夠與永續利用。

在國家可及性與穩定性的構面上，2000 年以前均屬平均水準以上的「藍燈」，但 2001-2002 年卻突然出現需要密切關注、且必須推動短期穩定、長期提升資源利用相關政策的「黃燈」。探究其原因，可能與我國在 2002 年加入 WTO 有相當大的關係。2002 年我國加入 WTO 前，必須以頭期款的方式開放豬腹脇肉、雞肉、豬雜及牛雜等之頭期款配額進口及部分水果配額進口，對我國相關市場產生衝擊，影響我國糧食安全穩定性。頭期款的實施雖從 1998 年 2 月我國與美國達成協議後開始實施，但由於是逐步達成開放目標，可能因此反映在 2001-02 的國家可及性與穩定性的下降。

由於逐步開放至 2002 年我國入會後達到要求目標，市場衝擊已經完全吸納，因此

自 2003 年起糧食不安全的狀況稍微解除，轉為趨好的「藍黃燈」，至 2004 年重新恢復到平時安全水準的「藍燈」。但 2005-2007 年國家可及性與穩定性構面之糧食安全訊號重新轉弱，出現糧食安全水準降低的「藍黃燈」，由於國家可及性與穩定性構面中的代表指標考量了穀類供應進口比率以及進口來源集中度等指標，因此亦會受到國際經濟不景氣與全球減產致使糧價飆漲等因素所影響，故受前述國際事件所致，故 2008 年起至 2010 年迄今燈號一直維持在需要嚴格注意，啟動穩定供給機制的「黃燈」。然在政府積極尋求、擴大進口糧食之來源、輔導教育民眾後，2011 年起重新恢復平時情況觀察注意即可的「藍燈」。

在家計足夠性與可及性構面，糧食安全指標燈號早期較為不穩定，1992 年出現相當不安全的「紅燈」，據查應於 1992 年幾件重大事件有相當大的關係，包括 1992 年年中美金大幅升值 1 元，使得大宗進口物資相對昂貴使得家計購買不易，或是糧食消費支出大幅增加，使得家計可及性的安全程度大幅降低；此外 1991 年政府宣布結束動員戡亂時期，加上野百合學運要求國代下台，以及 1992 年臺韓斷交等等國內外情勢造成國家整體不安定，使得 1992 年出現看似甚為嚴重的紅燈，然檢視該年度原始資料，該構面標準差為 12.68，而紅燈的臨界值為構面分數需小於 22.99，1992 年該構面分數為 21.81，相當接近「黃紅燈」的臨界值，因此可以推論前述事件雖使得家計足夠性與可及性出現危急的紅燈，但只要國際情勢或是美元回穩，情況變可以改善，因此可以得知 1992 年紅燈應為突發性的美元升值和臺韓斷交等突發因素所致。

隔年在去除上述突發事件後，1993 年因政府開放間接大陸投資，使得當年度臺灣外匯存底成為世界第一，改善了平均每人實質 GDP，使得指標回復到需要加強注意並採取相對應的預備措施的「黃燈」，以及採取短期之應變機制併行中長期預備措施，進一步改善家計足夠性與可及性。因此 1994-97 年此構面變呈現持續轉好的「藍黃燈」，至 1998 年更進展恢復至平均水準以上的「藍燈」，其後由於我國家計部門在政府提高糧食自給率、維持安全庫存、生產不足時即啟動緊急進口等相關政策持續推動下，我國家計單位糧食大致上均處於足夠、不於匱乏的狀態。故除 2008 年受到金融海嘯的影響稍降為「藍黃燈」外，其餘大都保持在平均水準以上、平時採行中長期預防性政策措施的「藍燈」。

最後在食品安全與營養構面上，2003 年以前大都是安全的「藍燈」或是 1992-93 年和 1996-97 年的「藍黃燈」，顯示我國食品安全與營養在 2003 年以前尚可稱糧食安全程度無虞。然而時至 2004 年起，一路至 2008 年均出現轉弱的「藍黃燈」，至 2009 年更出現指標分數較差的「黃燈」，可能與我國在 2005 年加入世界貿易組織，開始開放其他國家產品輸入我國市場，為不影響國人權益，政府加強查緝農藥殘留因此使得該年度食品安全條件下降所致。至於 2009 年則受到 2008 年全球經濟不景氣，國際大宗穀物價格高漲，使得進口糧食價格變貴，為節省相關開支，國人可能因此降低其他替代糧食的攝取，國際情勢影響，致使飲食多樣化程度降低。

2010 年指標分數更進而降至較為嚴重的「黃紅燈」，咸信與 2010 年通過並開始執行的 ECFA 有相當大的關係，由於兩岸 ECFA 的簽署範圍涵蓋一千多項農產品，而根據陳吉仲 (2011)的研究指出，中國農民所使用的農藥有些是屬於我國認定禁止使用之農藥，進口自中國的農產品品質對消費者的健康影響甚大。且 2009 年輸入我國產品中，在動物檢疫不合格方面中國不合格案件數為 9 件，所佔比例為 5.36%；植物不合格方面，案件數為 25 件，所佔比例為 10.37%；總計不合格案數有 34 件，占全部不合格比例為 8.31 % (陳吉仲，2011)，因此可以推論 2009-10 年因 ECFA 正式生效後中國農產品進口對我國食品安全可能造成嚴重威脅，致使該年度政府加強查緝導致該年度出現從「黃燈」轉壞成「黃紅燈」的警戒現象。然 2010 年以後因為政府為恢復民眾信心，加強查緝的結果使的食品安全與營養燈號重新出現轉向的「藍黃燈」，2012 年更一舉達到安全的「藍燈」。

表 4　糧食安全各構面指數歷年燈號表現

年度	整體燈號	全球足夠性與永續性	國家足夠性與永續性	國家可及性與穩定性	家計足夠性與可及性	食品安全與營養
1992						
1993						
1994						
1995						
1996						
1997						
1998						
1999						
2000						
2001						
2002						
2003						
2004						
2005						
2006						
2007						
2008						
2009						
2010						
2011						
2012						

資料來源：本研究計算整理。

二、2013 年前三季預警結果

在整體糧食安全情況下，2013 年前三季我國糧食安全指標水準均高於平均值的「藍燈」，顯示政府應採行穩定生產、供給與資源永續利用的長期政策，並小心監控糧食安全的變化。五大構面中，全球足夠性與穩定性、國家可及性與穩定性以及家計足夠可及性指標，均呈現較平均值為佳的「藍燈」，顯示在這三個構面上，政府在 2013 年較無須啟動短期應變機制或是緊急因應對策的必要。但全球足夠性與永續性整體構面指標在 2013 年第 3 季出現由「藍燈」轉為較不穩定的「藍黃燈」，由於國際大宗穀物價格持續高漲，反映在糧食價格指數上 (該指標由第二季的「黃燈」，第三季惡化成「黃紅燈」)，拖累 2013 年第三季該構面的安全性表現。

至於國家足夠性與永續性以及食品安全與營養兩個構面，則 2013 年前三季均呈現較為不穩定的「藍黃燈」甚至出現「黃燈」，顯示出 2013 年家計部門的糧食足夠與否或是食品安全性，必須審慎注意可能出現安全疑慮，因此有必要在燈號轉變或糧食安全指數下降時，視情況啟動短期應變機制如政府釋放儲備糧食等來穩定物價與供給。國家足夠性與永續性在 2013 年第二季呈現不安全的「黃燈」，且探究構面下的指標發現，主要是受到穀類價格指數從第一季開始變出現警戒的「黃紅燈」所致，由於我國相當仰賴大宗穀物進口，穀物價格持續連兩季高漲對我國糧食足夠有相當程度的影響，因此使得國家足夠性與永續性出現不安全的「黃燈」，顯示有必要啟動短期穩定價格的相關措施。2013 年前三季預警燈號結果，整理於表 5。

為清楚闡明政府在各種糧食安全程度應有之對策與方針，本研究將各燈號下建議採行之因應對策整理如下，以供參考。

三、各燈號下之因應對策

(一) 藍黃燈

1. 判斷準則與基本考量

以 1992 至 2012 年設為基期，將糧食安全指數之總分數平均值減去 1 個標準差後，即為「藍燈」信號。此時應考量基本點，係在平常時間，即要做好各項農業生產、糧食儲備運銷，以及進口來源供給穩定等相關之準備，以確保本國糧食的安全。

2. 因應目標及策略

(1) 糧食供給確保目標之策略

1.1 增加公部門及私部門對農業的投資，特別在糧食生產、農業研究、基礎建設，如水利、產業道路、港口、倉儲設施等方面。

1.2 農業人才持續培育，鼓勵年輕人從農。

1.3 確保農業基本生產之可耕農地面積、維持核心農家的戶數。

1.4 農業研究及發展經費的擴增、積極朝高生物科技農業生產技術發展，以提升農業技術水準及農業生產力。

表 5. 2013 年前三季我國糧食安全指標燈號

構面/指標	燈號		
	2013/Q1	2013/Q2	2013/Q3
			
1. 全球足夠性與永續性			
全球糧食生產指數(FAO)			
原油價格			
全球人口成長率			
全球所得成長率			
全球糧食價格指數(實質)FAO			
Arable land (% of land area)			
2. 國家足夠性與永續性			
我國糧食生產指數			
糧食自給率—以熱量			
總人口成長率(國內)			
穀類價格指數(FAO)			
庫存需求比率(黃小玉組合指標)			
耕地面積			
進口能源依存度			
3. 國家可及性與穩定性			
庫存量—米穀實存數量			
穀類供應進口比率			
CR4			
實質 GDP			
Gini 係數			
消費者物價食物類指數			
4. 家計足夠性與可及性			
每人每日熱量供給量			
平均每戶可支配所得			
糧食消費占家庭支出比率			
5. 食品安全與營養			
農產品農藥殘留抽檢合格率			
飲食多樣化 DES			
糧食供給 PFC 比率與理想值總差距			

資料來源：本研究計算整理。

1.5 開發符合國人飲食偏好之稻作品質，以增加本國米食消費量。
1.6 鼓勵在社區及全國設置緊急糧食儲備機制。
(2) 價格和流通的安定目標之策略
2.1 增進倉儲的容量與品質。
2.2 藉由合適、有效率的配銷通路，以確保糧食供給不足之所需。
2.3 透過早期預警制度、資訊及推廣支持，加強農業之風險管理。
2.4 強化消費者安全網 (safety nets) 措施：包含有條件的現金券計畫、食物券、學校供餐計畫、食物補助或直接的營養補給計畫。

(二) 黃燈

1.判斷準則與基本考量

將 1992 至 2012 年設定成基期，總平均分數減去 2 個標準差以上數值，以及總平均數減去 1 個標準差以下的數值範圍，即為「黃燈」信號。此時糧食安全水準較低，需要對糧食安全進行密切監控；若不持續加強整備，很有可能會落於預警啟動的警戒區，故必須持續注意動向，適時採取因應措施。

2. 因應目標及策略
(1) 糧食供給確保目標之策略
1.1 充分活化利用休耕、棄耕農地，如降低休耕地補貼，鼓勵「小地主大佃農」等政策。
1.2 檢視土地使用計畫及政策，以確保有足夠土地使用於糧食生產。
1.3 減少採收後處理的損失與廢棄的糧食。
1.4 針對糧食政策及價格進行定期性的檢討會議。
1.5 建立種子庫存及其他機制，以降低在區域組織內農業投入因素之價格。
1.6 政府可尋求海外屯田，在海外氣候適合種植的地方自行生產，或是進行海外農企業投資合作，確保進口來源。另一方面，與主要生產國進行農業技術研發合作來尋求替代作物，或是品種改良來增加作物產量。
(2) 價格和流通的安定目標之策略
2.1 針對重要農產品產銷， 建立「先期預警、預先因應、妥適處理」制度，以穩定價格。
2.2 持續注意市場稻米價格，如果價格異常高漲，將適度釋出公糧調節；每日監視農產品產地及批發行情，隨時掌握價格狀況。
2.3 補助農業相關設施，如補貼農漁民用油，包括農機用油、漁業動力用油等。加強辦理農漁畜產品運輸貨車及冷藏車之汰舊換新，依噸數、貨車類型分級補助。
2.4 加強輔導拓展行銷通路，以減少不必要的通路層級及成本。
2.5 為降低民眾預期物價上漲心理，可規劃推出短期平價豬肉供應作法，如在農漁會

超市、大賣場及連鎖生鮮超市促銷，推出供應不限量、售價明顯低於市價的豬肉產品。

2.6 加強國內外產銷資訊之蒐集及揭露，增加價格形成之透明度，減少因資訊不對稱而造成之人為操作。

(三) 黃紅燈

1. 判斷準則與基本考量

觀察 1992 至 2012 年，將總平均分數減去 3 個標準差以上，以及平均數減去 2 個標準差以下區間，設定為「黃紅燈」信號。若遭遇此情境時，表示預警已經啓動，必須進行相關應變處置。由於出現糧食供給減少的徵兆，且因供需失衡，可能對人民的飲食生活造成重大影響。因此，相對未預警狀況，需要採取更具機動性、主動性的防備策略，以避免造成更加嚴重危機。

2. 因應目標及策略

(1) 糧食供給確保目標之策略

1.1 短期內增加國內稻米安全存糧基準，如由原先三個月稻米消費量，提升準備至四個半月。除了國內外，甚至可再增加海外儲備量，以提高安全存糧，減低糧食不足之風險。此外，應根據預測之供給不足數量，有計畫活用儲備數量，以確保足夠的供給。

1.2 為確保倚賴進口供給糧食穩定，相關單位須互相配合，除了謀求進口國的多角化外，同時對於相關事業者亦要求進口國的多角化，並確保得以替代供給不足農產物之產品的進口。此時亦應充分考慮國際市場行情，以及對於進口該農產物的開發中國家之影響等。

1.3 若有不肖糧商囤米，政府應加強對糧商查緝之動作，確保生產與供給之動線與稻米貨源之穩定。

1.4 政府應致力於監控國際市場價格的波動，並建立庫存與確保進口管道之暢通，追蹤進口流程以及防止不肖進口商剝削，以穩定國內供給量與供給價格，並在國際價格偏低時，建立起庫存機制與穩定庫存量，以備不時之需。

(2) 價格和流通的安定目標之策略

2.1 持續嚴密監視重要民生物資價格變動、持續監視大宗物資(小麥、玉米、黃豆、麵粉、奶粉、沙拉油等)等價格，並增加物價抽查頻率，必要時協調該等物資之供需。

2.2 加強資訊的收集，同時根據所收集、分析的資訊，透過各種媒體，適時發布關於供需和價格的動向，以及實施的對策、採取措施內容等宣傳活動，藉此消除國民及市場的不安定，同時尋求人民的理解和配合。

2.3 透過農業部門與相關單位配合，對於糧食及糧食生產必要的種子、種苗、肥料和農藥、飼料等的價格動向，應嚴格加以調查和監控。

2.4 鼓勵國民食用替代糧食以渡過短期間價格高漲的危機。

(四) 紅燈

1. 判斷準則與基本考量

以 1992 至 2012 年設為基期，將糧食安全指數之總平均分數減去 3 個標準差，即呈現「紅燈」信號。此時是面臨非常緊急之情況，整體糧食明顯不足；若任由市場機制自由運作，國民可能連維持最低生命限度之糧食都無法獲得；因此，從生產以至流通、消費，皆應有公權力強制介入來維持秩序。同時，亦應優先將資源轉換為農業生產，以確保人民可取得最低限度必要之糧食。

2. 因應目標及策略

(1) 糧食供給確保目標之策略

1.1 特定農產品供給減少，可能對飲食生活產生重大影響，故政府於平時即應預擬發生危急情況下，農產品緊急增產的計畫。計畫內容可包括：應增產的農產品為何、種植方式、其他作物的因應等。

1.2 為在緊急狀況下，農產品增產的計畫能順利進行，對於生產所需要的各項資材 (如種子、種苗、肥料及農藥、飼料等)，亦要擬出確保的策略。

1.3 為確保緊急情況下的糧食供給，除了利用儲備緩衝及進口確保措施外，生產者、食品業者及消費者亦須共同努力，以增進供給及抑制多餘需求。包括要求生產者對於農產品進行規畫性的提早產出；對於食品業者，要求抑制廢棄農產物數量，並促進農產品的流通等，至於消費者部分，除要求不要囤積或搶購食物外，對於減少食物浪費、抑制廢棄數量亦應加以宣導。另政府可同時提供給替代品的資訊，以促進消費的轉換替代。

(2) 價格和流通的安定目標之策略

2.1 實施配給及價格管制，以公平分配糧食。

2.2 為防止囤積、惜售或趁機漲價等事態出現，若無法確保糧食適當的流通之虞時，即可以公權力介入管制。

2.3 當物價持續高漲，亦或是物價有高漲的可能時，即使已實施控管、流通與指導措施，若仍無法穩定價格之虞時，則由政府設定標準價格，如限制零售業者的販售價格等，若販售價格超過標準價格，須指示將販售價格降至標準價格以下，不服從規定時，可予以處罰。

結論與建議

本研究之目的主要為參酌國外主要先進國家糧食安全相關政策與因應措施，盤點國內相關糧食安全因應對策，並在過去研究的基礎上，提出一套可衡量我國糧食安全

情況的預警系統，並依此系統提出相對應的因應對策做為參考。實證結果顯示，1992 年至 2004 年我國糧食安全整體構面大致上呈現高於平均水準的「藍燈」，需穩定維持目前水準，並採行長期農業結構改善策略。但自 2005 年起，全球穀物價格、石油價格開始逐步向上攀升後，對於無法自行生產而需仰賴黃小玉等大宗物資進口的我國，不論是家計部門取得糧食的能力，或是因需使用石油才能進行生產的農機具生產成本，均受到國際糧價、石油價格攀升而產生不利的情況，因此整體糧食安全程度由「藍燈」轉為「藍黃燈」，顯示糧食安全程度在下降當中。2008 年更發生全球金融風暴，同年度石油價格、國際糧價達到歷史新高，致使整體糧食安全程度進一步下滑至必須啟動短期因應策略的「黃燈」，且延續至 2010 年。2011 年起因各國因應對策奏效，全球構面燈號 2010 年起由「藍黃燈」轉為平均水準以上的「藍燈」，帶動整體糧食安全指標在 2011 年轉為較為情況改善的「藍黃燈」，顯示雖然糧食安全程度尚未達到平均水準，但已在明顯改善當中。

至於五大構面指標中，專家意見調查結果普遍認為國家足夠性與永續性是構面中較為重要的一環，然觀察歷史燈號結果卻顯示，2007 年以來我國國家足夠性與永續性均處於需要啟動短程因應對策的「黃燈」，顯示我國糧食安全在此部分仍有相當大的努力空間。至於食品安全與營養則在 2010 年出現糧食較不安全的「黃紅燈」，顯示因 ECFA 啟動後，我國查緝農產品農藥殘留狀況較為嚴格，而大量不合格的大陸農產品進口提高了我國食品安全的危險程度，致使出現較嚴重的「黃紅燈」。但在我國努力推動糧食安全相關政策措施以來，2012 年五大構面除國家足夠性與永續性仍有待努力外，其他均呈現平均水準以上的「藍燈」。

在 2013 年前三季預警的部分，結果顯示 2013 年前三季我國整體糧食安全均處於平均水準以上，是為「藍燈」；但各構面下則各有不同表現，其中顯現糧食有不安全情況的，仍是國家足夠性與永續性以及食品安全與營養兩項。其中國家足夠性與永續性不安全的原因，主要是受到國際穀物價格持續偏高，導致穀類價格指數呈現較危險的「黃紅燈」，食品安全與營養則是受到農產品農藥殘留抽檢合格率所影響，呈現「黃燈」。此兩者與過去歷史資料的成因一致，顯見我國糧食安全從過去到現在，主要均受到國際糧食價格波動和食品安全性不足所影響，因此顯示出政府有必要配合長、中、短程應變機制，來減輕我國受到國際糧價影響的程度，並加強減少源頭農藥使用的宣導，以使消費者食用的農產品更為安全。

由於本研究的糧食安全評估工具可隨時隨地進行調整，以求更能貼切我國國情與反映實際糧食安全狀況，因此建議未來決策單位應考量下述幾點，以使糧食安全燈號的發佈更具公正、客觀、效率。包括：

1. 設立常態性的組織團隊，以進行系統規劃、執行與監控修正等任務。此團隊可由各

利害關係者、政府相關部門人員和顧問委員會等專家共同組成，定期開會決定預警系統指標增刪、基期更新，以及權數調整等事宜，希冀本糧食安全預警系統能更敏銳監控內外環境變化，提供最準確資訊，早期進行風險預防。

2. 本研究的糧食安全預警機制，對於部分落遲資料仍必須仰賴專家學者提供變動程度之意見，前述組織團對雖可達到此一目的，然若要進一步提前預警，目前僅能仰賴具有公信力的國際組織發佈預測資料，我國在相關資料之預測較為缺乏，加上農業從種植到收穫均有可能產生變化，與其他產業輸入即知輸出的情況差異甚大，若相關政府統計單位能夠如經建會景氣對策信號般尋求確定之先期指標，對於提前預警我國糧食安全狀況將有相當大的助益。
3. 根據專家學者的建議，如果糧食安全預警結果一知道就公布給社會大眾，若糧食不安全將會造成社會恐慌。因此建議要成立政府跨部會因應小組，對於糧食安全預警程度先進行政策沙盤推演，以避免如食用油造假或是牛奶殘留抗生素等食品安全事件一般，造成民眾恐慌心理而發生市場不理性行為。

參考文獻

吳榮杰，2000。「農產貿易自由化環境下臺灣糧食安全政策的省思」，中國農村經濟學會會議實錄，糧食安全政策與措施座談會，3-16。

吳榮杰，2012。「建立糧食安全應變處置與預警系統之研究」。行政院農委會科技研究計畫。101 農科-14.1.1-企-Q1(2)。臺灣農村經濟學會。

陳吉仲，2011。「ECFA 對台灣農業部門影響的 Q&A」，群策會反 ECFA 種子講師訓練營。

Kim, Byeong-Ryul , Ik-su Jun and Jong-Yeol Yoon. 2010. “Food Security and Establishment of Distribution System of Overseas Agriculture” Working Paper. Korea: The Korea Rural Economic Institute.

日本農林水產省：http://www.maff.go.jp

行政院研究發展考核委員會：http://www.rdec.gov.tw/mp100.htm

行政院經濟部水利署：http://fhy2.wra.gov.tw

行政院農業委員會：http://www.coa.gov.tw/show_index.php

行政院農業委員會農糧署：http://www.afa.gov.tw

世界銀行(World Bank)：http://data.worldbank.org/indicator?display=map

糧農組織(FAO)：http://www.fao.org/corp/statistics/en/

美國農業部(USDA)：http://www.usda.gov/

韓國農業部：http://english.mifaff.go.kr/main.jsp

日本農林水產省：http://www.maff.go.jp/

英國農業部(DEFRA)：http://www.defra.gov.uk/

Developing a Contingency Plan to Upgrade Food Security in Taiwan

Chang, Jing-Wen[1,3], Rhung-Jieh Woo[2] and Huang-Ping Yen[1]

Abstract

The main purpose of this study was deliberate major developed foreign countries' food security policies and contingency mechanism, interrogation domestic food security countermeasures. On the basis of previous studies, we tried to figure out a set of early warning system to measure food security situation and so the system put forward corresponding countermeasures as a reference. Our study distinguish the food security index into five levels as traffic light such as "blue", "blue-yellow", "yellow", "yellow-red" and "red".

The empirical results show that from 1992 to 2004 the overall food security scores were higher than average level, which were "blue light". But since 2005, higher and higher cereal prices and oil prices, made food safety level from "blue" fall to"blue- yellow". Furthermore, with 2008 global financial tsunami, and the same time that oil prices and international food prices reached a record high, resulting in a further decline in the overall food safety to "yellow light", induce government needs to imply short-term coping strategies. Because the effective countermeasures, the overall light was "blue-yellow" in 2010, improve to "blue" at 2011.

The results showed that season 1~3 of 2013, overall early warning of food security indexs are above-average, are the "blue lights". But under various dimensions that indicate food insecurity were mainly caused by fluctuations in international food prices and food unsafety. The government needs to apply long-, mid- and short-run contingency mechanisms to reduce the degree of influence by international food prices, and to strengthen of reducing pesticide from the begining, so can make consumer eat more safety..

Keywords: Food Security Index, Traffic light, Early warning system, Coping strategies.

---

1 Department of Business Adminstration, Hsuan Chuang University.

2 Department of Agricultrual Economics, National Taiwan University.

3 Corresponding Author, Email: jingwen.chang@gmail.com; Tel: 886-3-5302255#5559.

推動臺灣農產品碳標籤可行性之研究─以米產品碳標籤為例

江秀娥[1,2] 蔡政諺[1] 林盈甄[1] 張采蘋[1]

摘要

為減緩地球暖化的危機，重要的工作之一是減少溫室氣體的排放量。而人類的相關經濟活動，如產品的生產製造與消費，都存在增加或減少溫室氣體排放的貢獻度。例如，食品貿易因長途運輸所造成的 CO_2 排放量，絕對比在地生產在地消費的食品來得高，如果消費者能夠選用較低食物哩程的產品，就相對減少 CO_2 排放，也有助於當地產業發展。為鼓勵消費者多選購在地生產農產品，以減少溫室氣體排放，本計畫 101 年度起即配合環保署碳標籤制度，進行米產品類別規則 (PCR) 之建置、盤查米產品碳足跡並獲得米產品的碳標籤，以揭露碳排放量資訊，作為農產品碳標籤示範並為評估推動台灣農產品碳標籤可行性之基礎。米產品碳足跡的盤查，蒐集產品生命週期五大階段之相關能資源投入量，計算碳排放量，101 年度以霧峰香米為對象，其 2 公斤包裝產品之 CO_2 排放當量為 4.5 公斤。霧峰香米已獲得環保署之碳標籤證書。另消費者對於產品碳標籤的認知與接受度的研究發現，現階段一般消費者對於碳標籤的認知度仍低，雖有 2/3 以上受訪者認為產品應標示碳排放量，但在價格相同前提下，願意優先購買碳標籤產品者僅有 3 成多。

關鍵詞：碳足跡、碳標籤、生命週期評估、消費者認知。

前言

聯合國政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 於 2013 年 9 月 27 日發表的第五份評估報告中指出，人類活動造成溫室氣體濃度增加極可能是全球暖化主因，信賴程度達 95%以上。如果持續排放溫室氣體，最壞的情境是本世紀末升溫 4.8℃，海平面上升 82 公分，分別較 2007 年的評估高出 0.8℃及多上升 22 公分。全球暖化的嚴重性不言可喻，各國政府皆積極推出相關的減緩或調適策略。

我國為因應氣候變遷，行政院於 101 年國家建設計畫中提出相關目標，包括創新活動的經濟，永續低碳的環境，因應氣候的變遷，落實綠色生活與生產，落實潔淨生產，以達成促進綠色經濟成長之目標；推動綠色工廠生產環境並建立標章制度；健全

1 農業試驗所農業經濟組。

2 通訊作者 電子信箱：HEChiang@tari.gov.tw；電話：04-23317652。

環保產品及碳標籤產品行銷通路。

在農業部門，農委會亦於 2010 年 6 月 15 日召開「因應氣候變遷農業調適政策會議」，針對農業之資源與生態、產業發展、防災救災及節能減碳等議題進行跨領域研討。經過會議熱烈的討論，為避免臺灣農業面臨全球氣候變遷的重大影響，將秉持「健康、效率、永續經營」農業施政方針，研擬以「低風險、低碳排、新商機」為願景的農業調適策略。會中並特別提出 7 項關鍵性因應策略，分別是依風險程度建構糧食安全體系、整合科技提升產業抗逆境能力、推動低碳農業、發揮邊際土地之生態及滯洪功能、強化農村自主防災體系、開創低耗能、低碳排的綠金新商機，以及建立生物多樣性風險管理策略。而其中第三項關鍵策略「推動低碳農業」，其主要內容為發揮在地生產優勢、鼓勵在地消費、發展低碳足跡農產品、建立農業碳排放量盤查制度。

為減緩地球暖化的危機，重要的工作之一是減少溫室氣體的排放量。而全球溫室氣體排放量中，農業部門占了 13% (IPCC，2007)，因此，農業除了擔負維持人類基本生存的功能外，也負有緩和氣候變遷的責任。而人類的相關經濟活動，如對於產品的消費需求，也存在增加或減少溫室氣體排放的貢獻度。例如，食品貿易因長途運輸所造成的 CO_2 排放量，絕對比在地生產在地消費的食品來得高，如果消費者能夠選用較低食物哩程的產品，就相對減少 CO_2 排放，也有助於當地農業發展。

為鼓勵消費者多選購在地生產農產品，以減少溫室氣體排放，本計畫以盤查重要農產品的碳足跡，申請產品碳標籤，作為消費者選購產品的參考，並藉以評估推動台灣農產品碳標籤制度，對於在地農產業發展的影響與其可行性。本計畫 101 年度起即配合環保署碳標籤制度，進行米產品類別規則 (PCR) 之建置、盤查米產品碳足跡並獲得米產品的碳標籤，以揭露碳排放量資訊，作為農產品碳標籤示範並為後續評估之基礎。

台灣米產品類別規則建置

台灣是全球第 11 個頒有碳標籤的國家，其他國家包括英國、法國、瑞典、瑞士、加拿大、美國、澳洲、日本、泰國、南韓等，其碳標籤如圖 1。環保署主導我國推動碳足跡相關政策，已制定碳足跡標示相關要求/規範，產品碳足跡通過驗證及審查後，可依環保署的規範進行碳足跡標示。2009 年 12 月 15 日環保署公布「台灣碳標籤」如圖 2。

為了使同一種類型、功能之商品或服務，在計算碳足跡排放量時能有相同的計算基準，以確保其公平性與透明性，因此建置「產品類別規則 (product category rule，簡稱 PCR)」是盤查碳足跡的主要文件。

環保署於其台灣產品碳足跡資訊網 (http://cfp.epa.gov.tw) 公告「碳足跡產品類別規則訂定指引」如圖 3，本所即依據其指引訂定「米產品類別規則」。

根據 PCR 訂定指引，要建置米的產品類別規則，必須經過 4 大階段 (圖 4)。由於盤查產品碳足跡是廠商自發性的投入，非屬強制性的規定，因此多由廠商代表或公會發起制定 PCR，惟本案制定米產品類別規則係由農業試驗所代表發起。



圖1. 各國碳標籤圖示



圖 2. 台灣碳標籤圖示與其意涵

初始階段，發起廠商代表必須在環保署的台灣產品碳足跡資訊網 (以下簡稱碳足跡資訊網)登錄以宣告將訂定某種產品的 PCR，經環保署確認有其必要性且名稱範圍適當後，始得組成工作小組開始撰擬 PCR 草案。在初始階段必須先將米產品的生命週期流程圖畫出，包括原物料取得、製造、配送銷售、消費者使用及廢棄等 5 大階段 (圖 5)。



圖 3. 碳足跡產品類別規則訂定指引

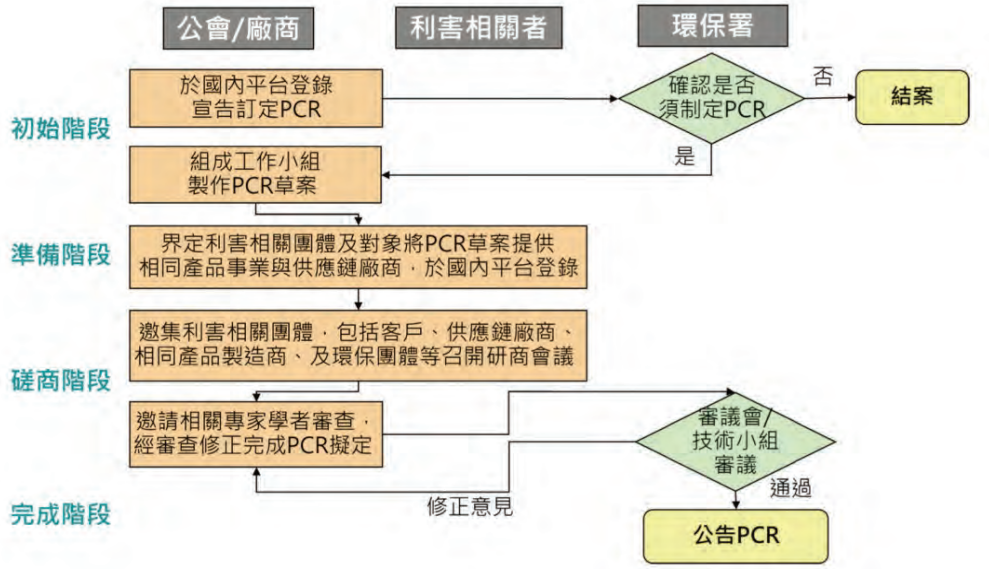


圖 4. 建置米產品類別規則程序

進入準備階段，將撰擬好的 PCR 草案公告於碳足跡資訊網，提供給利害相關團體和業者查閱，必須經過 14 天公告始得進入磋商階段。

於磋商階段，發起廠商必須邀集利害相關團體，包括客戶、供應鏈廠商、相同產品製造商及環保團體等召開研商會議，一一檢視 PCR 草案內容是否合宜，就相關業者而言是否有不合理或窒礙難行之處；經過討論及溝通後取得共識並修正 PCR 草案內容，連同利害相關者所提意見及回覆處理情形，必須登錄於碳足跡資訊網供查閱 (圖 6)。

在此一階段除邀集利害相關者進行磋商外，仍須邀請相關產業界專家、學者及至少一位生命週期評估方面的專家進行內部審查。依據專家意見再修正 PCR 草案，並將相關審查意見及處理情形登錄於碳足跡資訊網。

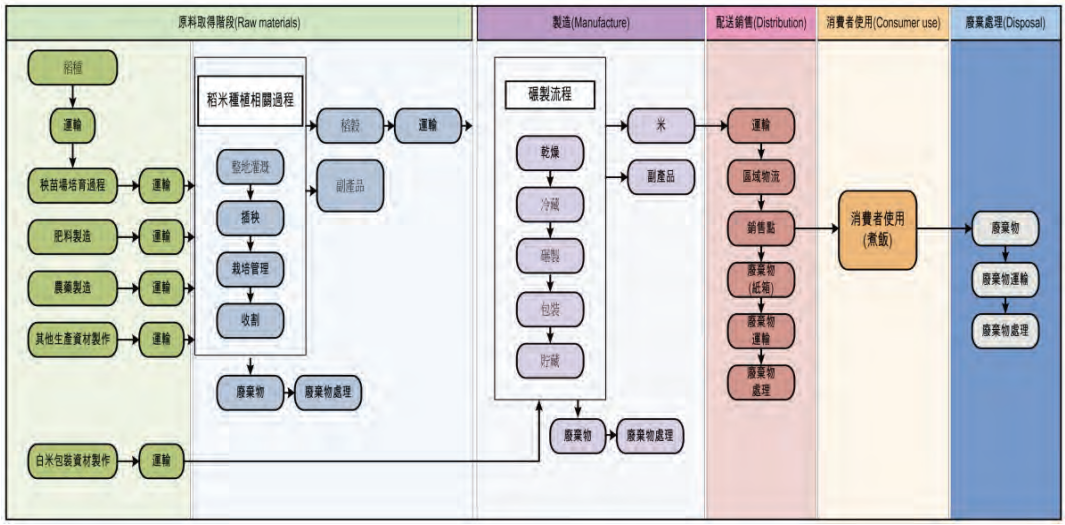


圖 5. 米產品生命週期流程圖



圖 6. 宣告訂定台灣米產品類別規則及其相關作業文件

最後階段，將修正草案送至環保署，經由其所組成之技術小組審查會議審議通過後，將米產品類別規則第一版公告於碳足跡資訊網 (圖 7)，以供相關米產品之生產廠商據以盤查碳足跡，有效期限為三年。

台灣米產品碳足跡盤查與查證

完成米產品類別規則公告後，本所即據以進行霧峰香米碳足跡之盤查作業。依據米產品的生命週期五大階段，蒐集霧峰香米生產專區的代表農戶資料，包括在育苗、田間生產之各項能源 (電力、油料)、肥料、農藥等之使用量;碾米廠製造階段之用油、用電等數據;配送階段之運輸工具類型，配送里程等資料；消費者使用時所必須耗用的水、電等，及使用後包裝材之廢棄處理等資料，經過分類、歸納，匯整成有效的一級數據，利用 simapro 進行資料分析換算成二氧化碳排放當量，以 CO_2e 表示 (表 1)。有些資料無法取得一級數據，直接以次級資料取代亦可，但比例不可過高。本次盤查霧峰香米之碳足跡，一級數據比例達 75%，數據品質佳。

根據盤查結果分類，霧峰香米 2kg 包裝之碳足跡為 4.5kg，其中以原物料階段比例最高，占 70% (圖 8)，為排放熱點，尤其以肥料施用所造成的相關溫室氣體排放量較多。

碳足跡盤查計算結果彙總成霧峰香米產品碳足跡報告書後，必需經過第三公證單位進行查證，始得向環保署申請核發碳標籤證書。本次霧峰香米碳足跡的查證工作係由台灣檢驗科技公司(SGS)進行，其經過資料初審、符合性查證及資料查證等三階段查證，一一核對相關數據、引用的次級資料及相關資料庫等，通過查證後發給霧峰鄉農會查證聲明書(圖 9)。



圖 7. 台灣米產品類別規則第 1 版公告

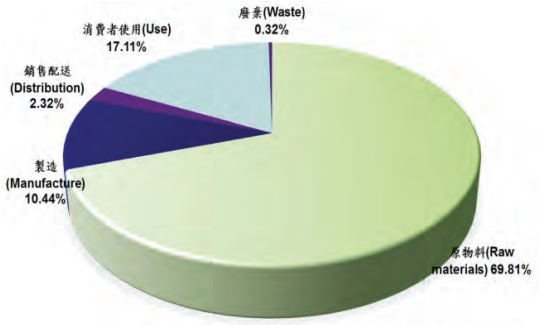


圖 8. 霧峰香米碳排放量比例圖



圖 9. 霧峰香米通過 SGS 之查證聲明書

表 1. 霧峰香米 2kg 包裝之碳足跡盤點表

Table1. Inventory list for Wufeng rice 2kg packaging carbon footprint

產品名稱	階段別	各階段品項	原物料/製程名稱	活動數據名稱	資料來源	品質			數據分級		排放量 ($kgCO_2e$/2kg Rice)	比例	
						高	中	低	一級數據	次級數據		一級數據	次級數據
一包霧峰香米 2 KG	原物料	育苗過程	育苗過程	電力	秧苗商提供	V			V		0.008377	75%	25%
				柴油	秧苗商提供	V			V		0.103577		
				肥料	秧苗商提供	V			V		0.001605		
				消毒藥劑	秧苗商提供	V			V		0.076250		
		農戶種植階段	插秧	柴油	霧峰農會提供	V			V		0.022201		
			施肥肥料要素	氮要素	霧峰農會提供	V			V		0.168604		
				磷要素	霧峰農會提供	V			V		0.016839		
				鉀要素	霧峰農會提供	V			V		0.050485		
				其他要素	霧峰農會提供	V			V		0.626448		
				田間CH4排放	霧峰農會提供	V			V		1.194780		
				田間N2O排放	霧峰農會提供	V			V		0.789792		
			農藥	除草劑	霧峰農會提供	V			V		0.001764		
				除草劑	霧峰農會提供	V			V		0.010642		
				除草劑Triazine	霧峰農會提供	V			V		0.002671		
				除草劑Triazine	霧峰農會提供	V			V		0.019610		
				殺菌劑	霧峰農會提供	V			V		0.008616		
				殺菌劑	霧峰農會提供	V			V		0.000801		
				殺蟲劑	霧峰農會提供	V			V		0.001510		
				殺蟲劑	霧峰農會提供	V			V		0.002683		
			農機具使用耗材	汽油用量	霧峰農會提供	V			V		0.005398		
				機油用量	霧峰農會提供	V			V		0.000564		
				柴油用量	霧峰農會提供	V			V		0.058028		
		包裝外袋	PE包裝袋開採&製造	開採集製造	產品組成(BOM表)		V			V	0.063000		
			紙箱包裝開採&製造	開採集製造	產品組成(BOM表)		V			V	0.068145		
		原物料運輸	收割後稻穀運輸	稻穀運輸	GoogleMap		V			V	0.008836		
	製造	白米碾製	濕穀乾燥	柴油	碾米廠	V			V		0.178105		
			濕穀乾燥	電	碾米廠	V			V		0.028439		
			碾米流程	電	碾米廠	V			V		0.075846		
			貯藏	冷媒R-22	碾米廠			V		V	0.212941		
	銷售配送	全國物流配送	產品配送運輸	產品運輸	Google Map	V			V		0.100724		
				包裝材焚化處理	產品組成			V			0.009318		
	消費者使用	煮飯	電子鍋烹煮	電	電子鍋使用手冊			V		V	0.809360		
				水	電子鍋使用手冊			V		V	0.001930		
	廢棄	廢棄物	產品廢棄處理	包裝材焚化處理	產品組成			V		V	0.014970		

資料來源：農業試驗所。

雖然通過第三者查證，仍需再將查證結果及霧峰香米產品碳足跡報告書等相關資料，再送交環保書審查，其中申請廠商 (霧峰鄉農會) 必須承諾減碳作為，環保署才會同意發給碳足跡標籤證書 (圖 10)，霧峰香米才能貼上碳標籤 (圖 11)，有效期限亦為 3 年。

台灣米產品減碳策略

本研究的主要目的之一，是透過米產品的碳足跡盤查，期能找出臺灣米產品的碳排放熱點，作為稻米產業進行「減碳」的努力方向。

經由執行米產品類別規則建置及米產品碳足跡盤查後，得知稻米於種植階段所產生之碳排放量佔比較大，且其中大部分係在於施用肥料所產生，其排放量共佔了整個標的產品碳排放量約 7 成。

此一結果與國際上相關農產品的碳足跡盤查或研究一致，如日本、義大利、泰國、柬埔寨等。國內先前已有許多專家學者也指出施用肥料會相對性的產生溫室氣體，每施用 1 萬噸氮素肥料，會產生 350 公噸氧化亞氮(N_2O)，相當於 10 萬噸 CO_2 當量(申雍，2008)。又依據研究與 IPCC 準則推估，2006 年臺灣北部地區兩期作水稻田約排放 CO_2 11.8 萬公噸與 CH_4 8,400 公噸，合計約為 31 萬公噸 CO_2 當量(吳以建、盧虎生，2010)。

因此，為減少稻米於種植生產階段的碳排放量，設法降低化學肥料與農藥的使用量，如政府推行數年的「合理化施肥」措施、鼓勵有機農業的生產，皆為減碳可以努力的方向與可行的措施。

依據農委會各試驗改良場所進行合理化施肥之田間試驗調查與示範結果顯示，合理化施肥不僅可以減輕病蟲危害、於水稻生育後期也減少因下雨或颱風吹襲倒伏機率，使得水稻抽穗整齊、成熟度一致，能穩定水稻產量、提升品質、也能減少成本投入(肥料費、農藥費及人工費)，生產者如能正確選擇及合理有效使用肥料，將能有效提升肥料利用效率及減少溫室氣體之排放(表 2)。



圖 10. 霧峰香米的碳足跡標籤證書



圖 11. 貼有碳標籤之霧峰香米 2kg 包裝產品

表 2. 合理化施肥之減碳模擬表

Table 2. Simulation for carbon reduction of rationalization fertilizing

地區別	肥料施用量 (公斤／公頃)	100 年栽培面積 (公頃)	使用推薦量肥料節省 (公噸)	換算減少的碳排放量 (0.035mtN_2O*296) CO_2 e mt
桃園區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 120：80：80 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 142：125：118	19,908	氮素：438 磷酐：896 氧化鉀：757 合計：2,091	4,538
苗栗區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 134：60：106 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 188：66：117	10,301	氮素：556 磷酐：62 氧化鉀：113 合計：731	5,760
台中區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 130：55：55 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O =256：90：133	78,168	氮素：9,849 磷酐：2,736 氧化鉀：6,097 合計：18,682	102,036
台南區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 160：112：98 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O =272：152：148	96,418	氮素：10,799 磷酐：3,857 氧化鉀：4,821 合計：19,477	111,878
高雄區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 103：53：70 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O =160：75：100	11,250	氮素：641 磷酐：248 氧化鉀：338 合計：1,227	6,641
花蓮區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 90：45：55 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O =110：61：64	25,863	氮素：517 磷酐：414 氧化鉀：233 合計：1,164	5,356
台東區	推薦施肥量 N：P_2O_5：K_2O = 121：58：69 慣行施肥量 N：P_2O_5：K_2O =166：65：103	12,348	氮素：556 磷酐：86 氧化鉀：420 合計：1,062	5,760
合計		254,256	氮素：23,356 磷酐：8,299 氧化鉀：12,779 合計：44,434	241,968

資料來源：李健摓，2010；本研究整理換算減少的碳排放量。

另在農藥的使用方面，雖然水稻生產難免受到病蟲危害，影響產量與品質，除了上述合理化施肥可同時減少病蟲害發生的機率外，對於採用生物性防治法、如性費洛蒙捕蟲器誘殺害蟲、天敵昆蟲的釋放或天然的防蟲製劑等，皆可以減少化學農藥的使用量，降低農藥製造過程的排碳量，與對環境、生態所造成的破壞，更可以維護消費者食用的安全性。

台灣一般消費者對碳標籤的認知與接受度

為瞭解推動產品碳標籤是否能被消費者所接受，本研究 101 度、102 年分別蒐集 1,087 份及 259 份一般消費者的意見資料進行分析。101 年度調查地點分佈於台灣主要都會地區，僅詢問受訪者對碳標籤的基本概念及認知情況。102 年則針對霧峰香米的通路消費者 (含購買者及未購買者)進行認知與接受度之意見調查。

在認知情況方面，101 年度受訪者中，59%對碳標籤及碳足跡都不知道 (表 3)，二者皆知的只有 14%，只知其一者也只占 13-14%，可見一般消費者對於碳足跡或碳標籤的概念認知不足。102 年度受訪者中已有 56%知道碳標籤 (表 4)，但對其意義仍有些不清楚。且看過產品上貼有碳標籤的受訪者只有 30%。

表 3. 101 年受訪者對碳標籤與碳足跡認知情況表

Table 3. Poll for participant's cognition of carbon footprint label and carbon footprint in 2012

單位 (%)

地區別	台北市 (n=300)	新北市 (n=200)	新竹市 (n=100)	台中市 (n=194)	台南市 (n=99)	高雄市 (n=194)	合　計 (n=1087)
二者皆不知	62	53	52	64	66	53	59
二者皆知	12	22	19	14	8	11	14
只知碳標籤	11	18	11	14	12	13	13
只知碳足跡	15	7	18	8	14	23	14
合　計	100	100	100	100	100	100	100

資料來源：本研究 101 年調查整理。

表 4. 102 年台灣民眾對碳標籤認知情況表

Table 4. Poll for Taiwan consumer's cognition of carbon footprint label in 2013

項　目	次　數	百 分 比
知道碳標籤	147	56
不知道碳標籤	112	43
知道碳標籤代表的意義		
環保	107	41
揭露二氧化碳排放量	131	50
有機	22	8
不清楚	80	31
看過產品上貼有碳標籤者	79	30

資料來源：本研究 102 年調查整理

雖然受訪者對於碳標籤或碳足跡的認知仍不足，但經過提示碳標籤的圖示與意義後，101 年有 73%的受訪者認為標示碳排放量這件事是重要的或是非常重要的 (表 5)；102 年度的受訪者中 64%表示農產品也應該要標示碳排放量 (表 6)，可見台灣一般消費者對於環境議題的重視程度頗高。

101 年受訪者在對碳足跡或碳標籤認知程度不高的狀況下，對於貼碳標籤產品的購買意願低 (表 7)，大多數受訪者 (44%) 以價格為購買產品之主要考量依據，在價格相同時，會優先購買貼碳標籤商品者占 34%。顯示受訪者對貼碳標籤產品的接受度仍處於觀望態度。

表 5. 101 年受訪者認為標示碳排放量重要性

Table 5. Poll for importance of labelling carbon emission in 2012

項目	次 數	百 分 比
非常重要	316	29
重要	476	44
還好	240	22
不重要	19	2
非常不重要	2	0.2
不知道	34	3

資料來源：本研究 101 年調查整理

表 6. 102 年受訪者對農產品標示碳排放量的必要性

Table 6. Poll for essentiality of labelling carbon emission of agricultural product in 2013

項目	次 數	百 分 比
應該要	168	64
不一定	62	24
不需要	24	9

資料來源：本研究 102 年調查整理

表 7. 受訪者對貼碳標籤產品的購買意願

Table 7. Poll for participant’s buying willing of Carbon footprint labelled products

購買意願	次 數	百 分 比
無關碳標籤有需求就買	221	20
以價格作為考量依據	297	27
便宜就買	180	17
價格相同會優先購買貼碳標籤商品	369	34
願意出高價購買碳標籤商品	20	2

資料來源：本研究 102 年調查整理

至於針對霧峰香米通路的受訪者，大多數相當支持霧峰香米 (表 8)，高達 41%以上因為有碳標籤會更常買;願付價格方面，79%受訪者願意多支付金額購買貼碳標籤之霧峰香米 (表 9)；願付額度以每包高於 10 元最多(65%)。可見貼碳標籤對霧峰香米有加分作用。

結論與建議

本研究業依環保署公告之「產品類別規則訂定指引」及相關程序，完成臺灣米產品類別規則制訂，並經審查通過，於本(101)年 11 月 12 日公告於環保署之台灣產品碳足跡資訊網；並依環保署之「產品與服務碳足跡計算指引」與臺灣米產品類別規則，進行霧峰鄉農會香米之碳足跡盤查，以為將來台灣相關米廠商進行其米產品盤查碳足跡之示範案例。

本次霧峰香米碳足跡盤查結果，每包 2 公斤米的碳排放量為 4.5 公斤，其中以原料階段碳排放量比例最高，占了 70%，所以原物料階段即為碳排放之「熱點」，可透過合理化施肥或朝向有機生產的模式，以減少米產品之碳足跡。若能依據各地區水稻生產的合理化施肥推薦量施用肥料，則本研究推估台灣 1 年將可減少 24 萬公噸的 CO_2e。

表 8. 受訪者對於貼碳標籤霧峰香米的購買意願

Table 8. Poll for participant's buying willing of Carbon footprint labelled wufeng aroma rice products

購買意願	次　數	百 分 比
不論是否有碳標籤都會購買霧峰香米	74	32.2
因為有碳標籤會更常購買霧峰香米	95	41.3
不會因為碳標籤改變原來買米的習慣	28	12.2
不一定	33	14.3

資料來源：本研究 102 年調查整理

表 9. 受訪者對貼碳標籤霧峰香米之願付價格

Table 9. Poll for participant's willingness to pay for carbon footprint labelled wufeng aroma rice products

項　　目	次　數	百 分 比
願意多支付金額	173	79
不願意多支付金額	46	21
願意支付額度(目前售價 230 元/包/2kg)		
240 元/包/2kg	112	65
250 元/包/2kg	36	21
260 元/包/2kg	13	8

資料來源：本研究 102 年調查整理

本研究針對一般消費者進行碳足跡或碳標籤的認知調查，發現受訪者對於碳足跡或碳標籤的認知程度仍不足，但漸漸在進步當中；而大多數受訪者認同標示碳排放量的重要性，但對於貼碳標籤的產品接受度仍受價格影響；受訪者對貼碳標籤霧峰香米的支持度頗高，且將近 8 成受訪者願意多支付價格，目前願意支付額度以每包 2 公斤較原價多 10 元者居多。可見一般受訪者對於碳足跡或碳標籤的認知仍有待加強推廣。

透過本計畫的執行，發現要完成產品碳標籤的申請與使用，其執行程序相當繁瑣，三大階段即 PCR 撰擬、輔導盤查碳足跡及第三者查證，必須配合環保署的審查會議及相關利害相關者磋商會議、內部專家審查會議至少 4 次；盤查廠商之產品碳足跡至少 3 次訪場蒐集資料、分析資料、再確認等；配合第三者查證也需要 2 次以上會議。

另有關的文件作業，包括 PCR 草案初版、二版、定稿；碳足跡盤查報告書、相關會議記錄及意見回覆或處理情形等，也必須一一登錄於環保署的碳足跡資訊網，通過查證後，必須再查填相關資料上傳給環保署，才能申請碳標籤。

本項碳足跡盤查與碳標籤申請業務，大多數廠商皆委託專業服務，包括第三者查證，皆必須付費，依據產品製程的複雜程度，至少必須花費 60 萬元以上，對於一般規模不大或農產業者而言，是一項沉重負擔。且根據消費者的調查結果，目前貼有碳標籤的產品並無法提升售價，消費者仍以價格為購買商品之主要考量，顯示經濟效益不彰。

因台灣農產品多為初級消費產品，無妥善包裝，無法進行碳足跡標示，消費者難以獲得相關資訊；又現階段消費者對碳足跡或碳標籤的認知程度尚不足以影響產品的購買行為；農產品多為相關衍生商品的原料，因此本研究建議，以提供農產原料的碳排放量資料作為相關產品的碳足跡盤查係數，取代於初級農產品上直接貼碳標籤的模式，除可省卻相關繁雜的碳標籤申請作業程序及成本支出外，將有助於農產相關衍生商品的碳足跡或碳標籤的推動。

參考文獻

申雍，2008。全球暖化-農業部門之現況與未來，台灣農村經濟學會主辦「因應節能減碳之農業政策研討會」會議資料：5-23。

行政院環境保護署，2012。「米」碳足跡產品類別規則。

行政院環境保護署，2010。產品與服務碳足跡計算指引。

行政院環境保護署，2010。產品類別規則訂定指引。

朱鴻鈞，2012。因應氣候變遷之農業科技研討會議報導，台灣經濟研究月刊 35(3)：79-83。

吳以建、盧虎生，2010。稻米生產產之生命週期與碳足跡環境影響評估，農政與農情 212：66-68。

吳添益、蔡正賢、張素貞，2009。苗栗地區水稻合理化施肥技術，豐年 59(21)：45-47。

李健捧，2010。水稻合理化施肥的好處，豐年 60(4)：31-33。

梁啟源，2008。氣候變遷對台灣經濟的影響，科學發展，424。

楊純明，2008。全球暖化-農業部門之現況與未來，台灣農村經濟學會主辦「因應節能減碳之農業政策研討會」會議資料：24-35。

羅虹，楊純明，2010。正視溫室效應及溫室氣體之減量，技術服務季刊 81：20-23。

譚增偉、黃維廷、江志峰，2009。合理化施肥之回顧與展望，技術服務季刊 80：29-32。

黃聲威，2010。大高雄發展有機農業之探究，城市發展半年刊第 9 期：8-35。

Hillman T, Ramaswami A. 2010. Greenhouse gas emission footprints and energy use benchmarks for eight U.S. cities. Environmental Science and Technology. 44:1902-1910.

Minx J, Wiedmann T, Wood R, Peters GP, Lenzen M, Owen A, Scott K, Barrett J, Hubacek K, Baiocchi G et al. 2009. Input-output analysis and carbon footprinting: an overview of regional and corporate applications. Economic Systems Research. 21:187-216.

Feasibility Study on Establishing a Carbon Footprinting Labelling System for Taiwan's Agricultural Product

Hsiu-E Chiang [1,2], Cheng-Yen Tsai [1], Ying-Chen Lin [1], and Tsai-Ping Chang [1]

Abstract

Reducing emission of greenhouse gas is one of important tasks to slow down risk of global warming. Economic activities included producing and consuming can both affect greenhouse gas emission. For example, carbon emission of long distant transported goods will be higher than local products. According to above concept, buying local products can be helpful for reducing greenhouse gas emission. Farther, it is also useful for local industry development. In order to encourage consumers to buy local agricultural products, we followed the Taiwan CFP system (Carbon footprint of product) to start to establish the product categorization rules (PCR) of Taiwan rice. In 2012, we finished the carbon footprint inventory of wufeng aroma rice. The PCR data of rice can be base of feasibility study of promotion carbon footprint label of Taiwan agricultural product. The method of carbon footprint accounting is included collecting input data of energy or resources in 5 stages of product life. In 2012, we accounted 4.5 Kg carbon emission of producing 2Kg wufeng aroma rice. Furthermore, 2Kg packaged wufeng aroma rice also got carbon footprint label certification from Environmental Protection Administration Executive Yuan, ROC (Taiwan) in 2012. Otherwise, in study of consumer perception and acceptance of product carbon footprint label, we found the consumer's cognition of carbon footprint label is still at a low level. Although many consumers considered that emerging realistic counting number of carbon emission is important to carbon footprint label, there is only 30% of survey participants willing to buy carbon footprint label products which price is not raised.

Keywords: Carbon footprint、Carbon footprint label、Assessment of product life、Consumer perception.

1 Technical Service Division and Agricultural Economics Division, TARI, Taichung, Taiwan.

2 Corresponding Author, Email: HEChiang@tari.gov.tw; Tel: 04-23317652.

耐旱節水水稻新品系之研發

羅正宗[1,3] 呂奇峰[1] 陳榮坤[1] 陳演書[2] 劉啟東[2]

摘要

稻為全球三大主要作物之一，全球稻米的生產約有 75%來自於灌溉方式所栽培的水稻，在農作物的栽培中，水稻是所有作物中耗水量最大的作物。近年來，隨著氣候異常，加上都市化民生用水及工業化用水量激增，引發水源運用分配的問題，因此改善農業用水資源利用的情形，才可達到農業永續經營的目標。現行水稻湛水栽培耗用大量水源，成為農業灌溉用水的最大宗，因此在水資源分配競爭的情況下，提升灌溉用水效率，發展節水栽培技術，對水稻的生產、糧食的供應相當重要。本計畫擬研發適合臺灣地區的節水栽培品種，評估節水栽培對水分利用效率的影響，藉此發展出低投入、高效率的環境親合性栽培技術。本試驗進行 8 個雜交組合，繁殖 9 個 F1 雜交組合，並於看天田進行觀察選拔，並有 35 個品系進行觀察試驗，以篩選下一世代作為明年度初級產量比較試驗之育種材料。35 個參試材料於節水環境下有 11 個品系發揮較佳耐旱特性，生育及產量性狀與慣行栽培環境下並無明顯差異，甚或高於慣行栽培下之材料。

關鍵詞：水稻、節水、育種。

前言

在台灣，極端氣候造成乾旱，導致大規模的休耕問題，並進一步嚴重影響本國水稻的生產。顯然，水稻之耐旱性狀育種愈加重要，如何加速改善水稻的抗旱能力有其必要及急迫性。全球氣候變遷，致使水資源出現極端變化，隨之而來的乾旱成為世界性的問題，栽培之作物也勢必面臨水資源缺乏的困境，且缺水乾旱對作物之質與量會產生嚴重之影響 (鄒等，2006)。在作物生長逆境中，乾旱對稻米生產是僅次於病蟲害的第二位限制因素 (山倉，1981)。在水資源日益缺乏的今天，如何提高水稻的耐旱能力與水分利用效率，已成為育種家們關注的主要課題之一 (褚等，2006)。

稻米是台灣最主要的糧食作物，水稻培育需大量的灌溉水，如水分不足，將造成植株生長及光合產物減少，穀粒充實度及稻米品質皆因而降低。如何提高水稻對缺水

1 台南區農業改良場嘉義分場。
2 國立嘉義大學農藝學系。
3 通訊作者 電子信箱：jclo@mail.tndais.gov.tw；電話：05-3751574 #11。

逆境的適應能力，及水稻旱作亦逐漸成為水稻節水栽培的重要途徑之一。水稻品種間在同一生育期下，對缺水程度的反應並不一致，因此節水策略應從品種開始，釐清各品種的水分利用效率，在視不同生育期的需水量，可較精準的改善灌溉用水效率，達到節水栽培的目的。

在水稻耐旱育種試驗中，通常採用乾旱條件下的產量表現來評價品種的耐旱性。然而在乾旱環境下作物基因型與環境的交感增加，使產量的遺傳力降低，因而僅透過對產量的選擇來培育耐旱品種的效率並不高。為此，有學者認為選用對乾旱逆境反應敏感且遺傳力較高的次級性狀 (葉片捲曲程度、葉片水分含量、幼苗耐旱性等) 作為耐旱鑒定指標，可以克服直接根據產量表現選育品種的不足，推動耐旱育種工作的有效進行。作物品種生育初期具耐旱特性是該品種抗性的重要指標之一 (高等，1984; Iskender and David, 2001; Jeannette *et al*., 2002)，因此苗期抗旱鑑定勢必為重要環節，在秧苗期進行耐旱性鑑定，可對多量品種 (系) 系統材料進行簡單快速篩選，降低育種選擇的複雜性、減少田間工作量、避免天氣影響，提高選拔效率、加快育種程序 (周等，2005)。本計劃利用傳統及分子輔助育種進行耐旱 (節水)水稻新品系之研發，期選育出適合台灣地區節水栽培之新品系，以達到節省灌溉水量並能維持穩定的稻作生產量與品質。

前人研究

植物抗旱性是植物對水分缺乏環境的耐受能力，Levitt (1980) 將植物的抗旱性定義在供水量很低的情況下，植物可以生存的能力。Turner (1997) 則認為抗旱性是作物遭受週期性缺水仍能具有正常生長及結實的能力，由於作物生產最終目的是產量，學者進一步指出，在缺水條件下，作物能獲得足夠的產量能力稱為抗旱性。抗旱性包括避旱性、耐旱性及復原抗旱性等，因此抗旱性涉及三個主要生理範疇：(1) 乾旱條件下作物維持高含水量；(2) 作物在低含水量的狀況下保持其生理功能；(3) 乾旱後作物含水量和功能的恢復 (Blum, 1999)。

植物遭遇缺水時會產生許多適應能力，以應付不良的乾旱生長環境。在作物生產田間，僅在乾旱期間生存是不夠的，作物必須生產合理的產量以達栽培目的。作物對於乾旱的適應機制一般而言分為四種 (Fukai and Cooper, 1995)：

一、逃旱性 (drought escape)

作物生長於大量降雨和高土壤水分效率期間完成其生活史，以躲避乾旱時期。乾旱的發生時期為決定穀粒產量之重要因素，由於早熟品種通常能逃脫晚期逆境，故當遭遇晚期逆境時可能較晚熟品種有較高的穀粒產量。

二、避旱性 (dehydration avoidance)

為作物在乾旱期間避免於低水分狀態之機制，以維持較高的葉片水勢。主要有兩個方法：

1. 從土壤中獲取更多水分，如植物可生成較深及較密的根系吸收土壤深層的水分。
2. 早期乾旱階段緩慢利用土壤水分，以便在後期有更多可用之水分。由於水田中犁底層 (hard pan) 的產生，水稻比陸稻對於水分的利用有更多限制，通常抑制深層根系統的發展及經由深層的滲透作用、滲漏及土壤表面之水分蒸發作用 (evaporation) 損失更多的水分。植物水分狀態藉由根系統維持水分吸收的平衡和地上部水分需求所決定，因此要使植物有高葉片水分潛勢可藉由地上部機制的維持以降低水分需求。

三、耐旱性 (dehydration tolerance)

植物即使在低水分潛勢下也可維持代謝的機制稱為耐旱性，當具有耐旱性的品種(系) 遭受致命性低水分潛勢時亦會導致植物體死亡。

Arrandeau (1989) 認為，水稻同化產物的轉運特性與耐旱性有關，當水分逆境發生在穀粒充實期間，耐旱性可使植物維持代謝活性數天和繼續轉運先前在充實穀粒所產生的同化產物。同化作用的生產貯存在水稻穀粒成熟期間 (ripening period) 被認為由二部分所構成，第一部分為水稻植株至抽穗期同化產物的貯存，於成熟期間轉運至穀粒；另一部分為成熟期間同化產物生產。相較於其他穀類作物，水稻穀粒充實期間有更多同化產物的貯存 (Weng *et al.*, 1982)，因此在晚期逆境中耐旱性對水稻是非常重要的。

四、乾旱恢復性 (drought recovery)

當乾旱發生於作物生長初期，乾旱恢復性為一個重要的機制。一些水稻品種為多分蘗之基因型，而這些分蘗的產生如果在解除乾旱後有足夠的時間生長以完成穀粒充實則可減緩乾旱所造成的損失。

基因表現的恢復與乾旱期間綠色葉片保持的能力有關，當逆境出現在幼穗分化期葉片的維持尤其重要，因為維持良好葉片的品種 (系) 在抽穗期後乾旱解除，可產生更多的同化產物 (Lilley and Fukai, 1994)。

材料與方法

利用本場已建立之水稻幼苗及成株耐旱性篩選系統，進行雜交育種後代耐旱株之篩選，選育耐旱水稻新品系：(1) 於溫室中以世代促進方式，加速雜交後代種子之純化，每世代種子利用 20% PEG 溶液進行水稻幼苗耐旱性之篩選 (圖 1)。(2) 以溫室水泥槽之土耕方式，施以 15~-20 kPa 之土壤水分逆境，進行水稻成株耐旱性之篩選。(3) 配合田間旱田直播之看天田節水栽培方式，進行雜交後代植株之篩選。

利用分子標誌輔助水稻耐旱品種之選拔：(1) 利用良質米團隊建立之水稻耐旱性狀基因 QTL 相關資料與分析技術，篩檢臺灣及國外水稻具該特性栽培品種或種原 30 個以上，以了解該基因於國內稻種的分布情形。(2) 選擇國內適當栽培品種與本場育成之

品系，作為與國際稻米研究所 (IRRI) 合作計畫之材料，應用 IRRI 之設備與環境，提升我國分子標誌輔助水稻耐旱 (節水) 選拔之技術。

結果與討論

水稻屬於淺根系的作物，對吸收深層土壤的水分的能力有限，在缺乏土壤水分的環境非常敏感 (Inthapan and Fukai, 1988)，因此許多育種學家希望找出抗旱或耐旱特性作為育種的目標，故本計畫希望於種子發芽至幼苗階段進行雜交後代篩選，在 F_2 分離世代以譜系法及混合選種法進行室內及田間選拔，比較不同選拔方式之效益，以有效進行子代耐旱篩選，提升耐旱選種成效。由表 1 發芽率表現可知，水稻雜交 F2 世代種子於滲透壓逆境下之發芽率，不同雜交組合間的表現不同，整體而言，陸稻親本之雜交後代種子具有較高的發芽率，兩親本均為一般水稻之雜交後代種子，經 20% PEG 篩選的發芽率表現較低，顯示陸稻之耐旱特性較水稻佳。Sun *et al*, (2010) 亦指出陸稻種子於滲透壓逆境下之發芽率較水稻佳，本試驗與其有相似之結果。由圖 2 得知，雜交

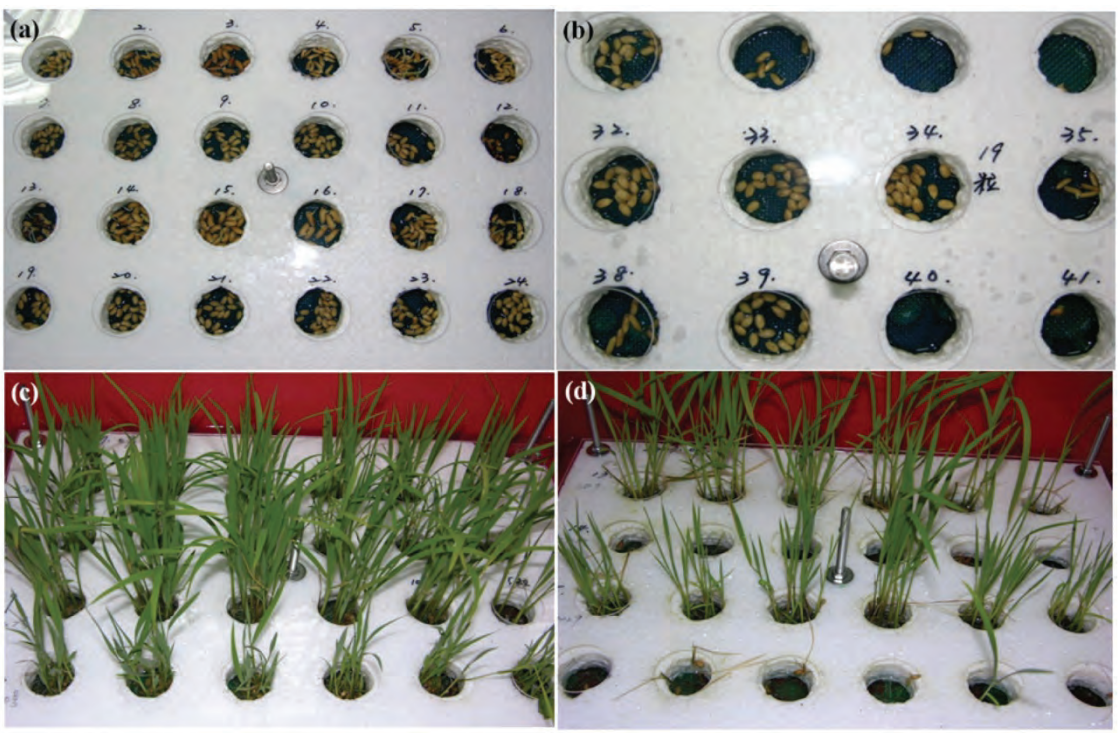


圖 1. 雜交種子於 20% PEG-6000 濃度中篩選(a)(b)及幼苗於 20% PEG-6000 濃度中篩選(c)(d) 。

Fig. 1. The hydroponic culture system for drought tolerance screening with Kimura solution containing 20% PEG at germination stage (a, b) and at seedling stage (c, d).

表 1. 利用 24%PEG 溶液進行 F2 種子發芽性耐旱篩選

F2 培育組合	發芽率
朝紫 / 茶山	64.3%
山美(紅糯) / 南系 2034	78.9%
茶山(香糯)/ CNY951701	91.2%
南系 2034/ CNY951701	46%

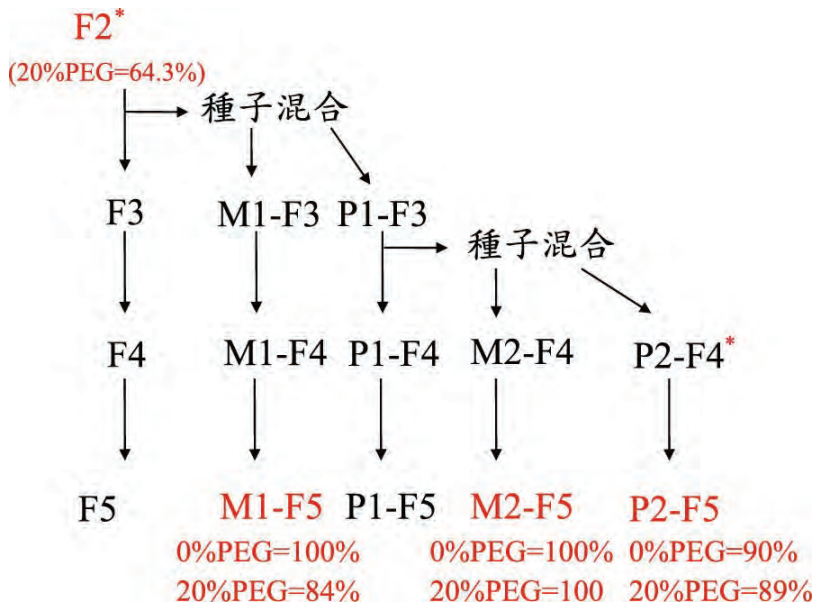


圖 2. 雜交組合(朝紫 × 茶山)不同世代耐旱篩選之發芽率表現

Fig. 2. Germination rate of Cross (Asamurasaki × Cha-Shan) in various generation.

組合 (朝紫 × 茶山) F_2 世代經 20% PEG 篩選之發芽率為 64.3%，經兩次 20% PEG 篩選之 M_1F_5 世代之發芽率提升至 84% (0 % PEG = 100 %)，經三次 20 % PEG 篩選之 M_2F_5 發芽率為 100% (0% PEG = 100%)，P_2F_5 發芽率為 89% (0 % PEG = 90%)。經三次 PEG 篩選的 M_2F_5 及 P_2F_5 之發芽率約為 100% 大於經兩次 PEG 篩選的 M_1F_5 為 96%。本試驗利用稻種子發芽階段以 20% PEG 滲透壓處理以模擬乾旱環境，結果顯示具選拔效應，將可應用於早期世代篩選及旱稻直播品種之選育。

本研究試驗利用水陸稻雜交組合，試驗結果至目前為 F_5 世代，由發芽率的結果顯示，經 PEG 篩選對水稻在滲透逆境下有提升發芽率的效益。稻作雜交後代選拔多採用譜系選種法 (pedigree method)，此法自 F_2 世代開始選種，育成新品種之時間較短，但因憑表型直覺選拔，優秀基因型易遺漏。在作物數量性狀之表現並非全由顯性之數量基因所決定，一般遺傳率較小，遺傳率較低之性狀應避免早世代選拔，而混合選種法可彌補譜系法之選拔缺失。本試驗中發現經三次 PEG 篩選的結果顯示利用譜系法及混

合選種法對水稻雜交子代有相似的效益，未來可持續探討以 PEG 於水稻種子發芽至幼苗階段進行雜交後代篩選，以達成縮短耐旱水稻育種年限提升選種成效。

稻作雜交育種工作從日據時代至今大多採用譜系育種法 (pedigree method)，在理論上此法自 F_2 世代開始選拔，如支配期望性狀之遺傳基因數少，可及早把握同接合型系統，並在育成途中兼作系統之特性觀察與檢定，故育成新品種之時間較短；但支配期望性狀之基因數多，同接合體出現率低，早期只憑表型形態直覺選拔，優秀基因型易遺漏。台灣水稻育種習慣使用譜系法由於場地與財力之限制，以較小之群體供選拔，無形中降低選拔機會與效率，品系或系統之選拔過分著重目察之選拔 (visual selection)，故選拔效率甚低 (張，1961)。此外學者亦指出，產量等數量性狀並非全由顯性之數量基因所決定，而其中由累加性基因對與不同基因對之相互作用佔大部分，數量性狀一般遺傳率較小，應避免早期世代選拔 (胡和黃，1980)。本試驗以聚乙二醇 (PEG-6000) 配置高滲透溶液模擬土壤乾旱條件於種子發芽階段進行雜交後代篩選，接著以譜系法及混合選種法進行田間選拔，比較其不同育種方法之選拔成效且進行有效的種子耐旱篩選，以縮短及提升育種時效。

結　語

臺灣地區現行的水稻栽培多採湛水栽培方式，在數個月的生育期間經常維持 3-6 公分的水深，常需要不斷的灌水以補充植株的蒸散及水田蒸發的損失，耗費相當龐大的灌溉水量，然而水稻產量與稻作總用水量間並無密切之直線關係。換言之，經常湛水栽培對水稻的產量並非絕對有益。台灣地區水資源之壓力與日遽增，當進行水稻節水栽培技術之研發，首先面對是品種之選擇，由於現今栽培品種多由湛水環境下所選育，對未來推行節水栽培技術可能是一大限制因素。因此，水稻節水栽培體系之推展應寄望於水稻節水(耐旱)品種之研發，目前臺南區農業改良場正進行此一育種計畫，期望不久未來能選育出適宜節水栽培之水稻新品系。

參考文獻

山倉，1981。植物水分虧缺和半乾旱地區農業生產中的植物水分問題，植物生理生化研究進展 3：114-119。

周廣生、崔克輝、靳德明、曹湊貴、徐才國、駱炳山，2005。發根力作為栽培稻品種苗期抗旱鑑定指標的研究，中國農業科學，38：2571-2576。

胡燦、黃賢喜，1980。水稻雜交育種譜系法與單子選種法之比較，臺中區農業改良場研究彙報，3：7-14。

高吉寅、胡榮海、路漳、楊國良，1984。水稻等苗期抗旱生理指標的探討，中國農業科學，17：41-45。

張德慈，1961。今後臺灣水稻品種改良之芻議，中華農學會新報，36：1-15。

鄒桂花、梅捍為、餘新橋、劉鴻豔、劉國藍、李名壽、羅利軍，2006。不同灌水量對水、旱稻營養生長和光合特性及其產量的影響，作物學報，32(8)：1179-1183。

褚旭東、李貴仕、王志、胡運高，2006。不同乾旱脅迫條件下水稻品種的抗旱性比較研究，中國稻米，5：9-11。

Blum, A.1980. An evaluation of seed and seedling drought tolerance screening test in wheat. Euphytica 29: 727-736.

Blum, A. 1999. Towards standard assays of drought resistance in crop plants. *In* : Molecular Approaches for the Genetic Improvement of Cereals for Stable Production in Water-Limited Environments. An international workshop held at the International Maize and Wheat Improvement Center, EI Batan, Mexica.

Fukai, S. and M. Cooper. 1995. Development of drought-resistant cultivars using physio-morphological traits in rice. Field Crops Res. 40: 67-86.

Inthapan P. and S. Fukai. 1988. Growth and yield of rice cultivars under sprinkler irrigation in south-eastern Queenaland. 2. Comparison with maize and grain sorghum under wet and dry conditions. Aust. J. Exp. Agric. 28: 243-248.

Iskender, T. and J. David. 2001. Andrews germination and seedling cold tolerance in sorghum I. Evaluation of rapid screening methods. Agronomy J. 93: 1386-1391.

Jeannette, S. B., C. Richard and P. L. Jonathan. 2002. Salinity tolerance of Phaseolus species during germination and early seedling growth. Crop Sci. 42: 1584-1594.

Kato, T. 1990. Heritability for grain size of rice (*Oryza sativa* L.) estimated from parent-offspring correlation and selection response. Japan J. Breed. 40：313-320.

Lilley, J. M. and S. Fukai. 1994. Effect of timing and severity of water deficit on four diverse rice cultivars. III. Phenological development, crop growth and grain yield. Field Crops Res. 37: 225-234.

Li, X., Z. W. Sun, R. M. Huang, L. N. Yan, and C. G. Lu. 2010. Response to water deficit at different growth stages of hybrid rice crosses and their cluster analysis. Jiangsu Journal of Agricultural Science 26: 225-231.

Sun, Y. Y., Y. J. Sun, M. T. Wang, X. Y. Li, X. Guo, R. Hu, and J. Ma. 2010. Effect of seed priming on germination and seedling growth of rice under water stress. Acta Agronomica Sinica 36: 1931-1940.

Surek, H. and N. Beser. 2005. Selection for grain yield and its component in early generations in rice (*Oryza sativa* L.). Trakya Univ. J. Sci. 6: 51-58.

Turner, N. C. 1997. Further progress in crop water relations. Advances in Agronomy 58: 293-339

Wang, H. Z., J. Ma, X. Y. Li, R. P. Zhang, and Y. Li. 2004. Study on drought resistance and screening of the drought resistance assessment indexes at germinating stage of rice. Southwest China Journal of Agricultural Sciences 17: 594-599.

Development of New Draught - Resistant Line for Rice

J. C. Lo[1,3], C. F. Lu[1], R. K. Chen[1], Y. S. Chen[2] and C. D. Liu[2]

Abstract

Rice (*Oryza sativa* L.) is one of the most important staples in the world. Seventy five percent of the world's rice is grown under flooded, or submerged conditions, it is also one of the biggest users of the world's developed freshwater resources. Water for agriculture, especially for irrigated rice production, is becoming increasingly scarce due to greater urban, domestic and industrial demand. This research aims to obtain a proper method for the development of rice varieties can maintain or increase rice production under the situation of facing decline water availability. In 2013~2013, a total of 8 new combinations were crossed, 9 new F1 generation were developed, a total of 35 strains were selected out in F6 generation for observation tests. A total of 11 strains that allow rice production to be maintained or increased in the face of declining water availability.

Keywords: Rice, Saving water, Breeding.

1 Taiwan Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA.

2 Department of agronomy, National Chiayi university.

3 Corresponding Author, Email: jclo@mail.tndais.gov.tw ; Tel: 05-3751574 #11.

小麥耐熱種原評估

林訓仕 [1,2]

摘要

小麥屬溫帶作物，在臺灣僅適於冬季裡作種植，隨著全球暖化及全球極端天氣影響，高溫將是臺灣種植小麥所面臨的挑戰之一，因此小麥耐熱新品系選育則顯重要。本耐熱種原評估試驗以自國際玉米小麥改良中心 (International Maize and Wheat Improvement Center, CIMMYT) 引進之 167 個耐熱品系為材料，提早於 10 月播種，進行耐熱種原評估試驗，同時調查病害感染狀況，試驗結果顯示，共有 73 個品系產量高於臺中選 2 號，成熟期則以 130~135 天最多，蛋白質含量主要分布介於 12.5%~13.5%，多屬中筋品種。依據各品系之性狀表現，已自 167 個品系中選拔 20 個品系，作為後續產量及區域試驗之參試材料，並進一步確認其耐熱性表現。

關鍵詞：小麥、耐熱、種原。

前言

全球小麥種植面積約 2 億 1 千公頃，提供全世界 21%食物來源 (FAO, 2010)；Tubiello *et al.* (2000) 指出，自西元 2000 至 2025 年，世界小麥平均產量須由每公頃 2.6 公噸提升至每公頃 3.5 公噸，才足以維持全球小麥需求；但因小麥為溫帶作物，植株生育易受溫度影響，例如印度河-恆和平原 (Indo-Gangetic Plain; IGPs) 為南亞地區小麥重要產區，主要國家有印度、巴基斯坦、尼泊爾及孟加拉，其中印度及巴基斯坦小麥產量分別高居全球第二及第六，Ortiz *et al.* (2008) 推測，隨著全球暖化趨勢，此地區小麥整體適栽區域將往北移，將導致最適小麥栽植區域之面積下降，進而影響小麥產量，同時伴隨著暖化，降雨將逐漸增加，而加劇小麥病蟲害的發生，而此栽培地區移動之情形，在北美亦有相同趨勢。

因國人飲食習慣改變，小麥儼然已成國人第二主食，近年來全球極端天氣已導致糧食作物生產受到嚴重影響且有產量下降趨勢，臺灣平均每年需進口 110 萬公噸以上小麥，但 101/102 年期國內小麥種植面積僅約 290 公頃 (不含金門縣)，總產量約 870 公噸，自給率不足千分之一。因小麥為溫帶作物，冬季裏作為臺灣小麥最適種植期，然而隨著氣候環境變動，冬季高溫已為小麥穩定生產之限制因子，營養生長期高溫常導致植株矮化、分蘗數減少、抽穗時間提早，導致產量下降，生育期高溫高濕亦伴隨

1 臺中區農業改良場。
2 通訊作者 電子信箱：linhsuns@tdais.gov.tw；電話：04-8523101#270。

小麥白粉病、赤黴病顯著發生，因此，耐熱小麥新品種選育實為重要且須及早進行之工作，藉以因應未來氣候之考驗，並可活化休耕農地，提高糧食自給率 (林，2013)。

小麥耐熱篩選

小麥孕穗期最適溫度為 11.7±1.61℃，最高溫及最低溫分別為 21.4±2.33℃、1.8±0.25℃，開花期最適溫度為 23.0±1.15℃，最高溫及最低溫分別為 32.0±1.74℃、9.7±0.43℃，穀粒充實期最適溫度為 21.3±1.27℃，最高溫及最低溫分別為 34.3±2.66℃、9.6±0.75℃ (Farooq *et al*., 2011)；臺灣目前小麥最適生育時期為 11 月上旬至翌年 3 月下旬，衡量播種期提早至 8-9 月種植易遭遇颱風及高溫逆境，延後至 12 月播種，小麥充實期高溫亦會導致小麥千粒重下降，且梅雨季節易使成熟期小麥穗上發芽，嚴重影響產量與品質。根據臺中區農業改良場氣象統計資料顯示，彰化縣大村鄉 101 年 10 月平均溫度為 24.1℃，已較 11 月平均溫度 21.6℃高 2.5℃。此外，10 月上旬播種之臺中選 2 號期開花期亦較 11 月播種高 1.5~2.0℃ (圖 1)，故本耐熱種原評估，即以自國際玉米小麥改良中心引進之耐熱品系為參試材料，利用提早播種 (10 月)，篩選可適應營養生長期高溫的小麥品系。

農藝性狀調查

高溫逆境會縮短小麥開花至生理成熟期時間，加速幼穗分化，致使穗數減少、一穗粒數降低及產量下降 (Porter and Gawith, 1999; Saini and Aspinall, 1982; Warrington *et al*., 1977)。Yin *et al*. (2009)研究指出，當小麥生育環境溫度高於 20℃，穀粒充實速度加快，且溫度每提升 5℃，穀粒充實期即縮短 12 天。因此本試驗藉由調查株高、抽穗期、成熟期及單株產量，探討引種品系耐熱性，並藉由蛋白質含量分析，評估各品系小麥其麵粉品質及利用性。

一、株高

株高調查顯示，對照品種臺中選 2 號株高 77.2cm，167 個引種品系株高分布介於 65~110cm，主要以 80~95cm 最多，共計 115 品系 (圖 2)。

二、抽穗期

抽穗期調查顯示，對照品種臺中選 2 號為 50 天，167 個引種品系抽穗期分布介於 48~82 天，其中 66 個品系抽穗期介於 65~70 天為最多，其次為 50~55 天及 75~80 天，各有 28 及 21 個品系，此外，另有 9 品系抽穗期早於臺中選 2 號，具有早熟品種潛力 (圖 3)。

三、成熟期

成熟期調查顯示，對照品種臺中選 2 號成熟期為 115 天，參試品系以成熟期 130~135 天最多，共計 51 個，並有 25 品系成熟期早於臺中選 2 號，可作為早熟品種育種材料 (圖 4)。

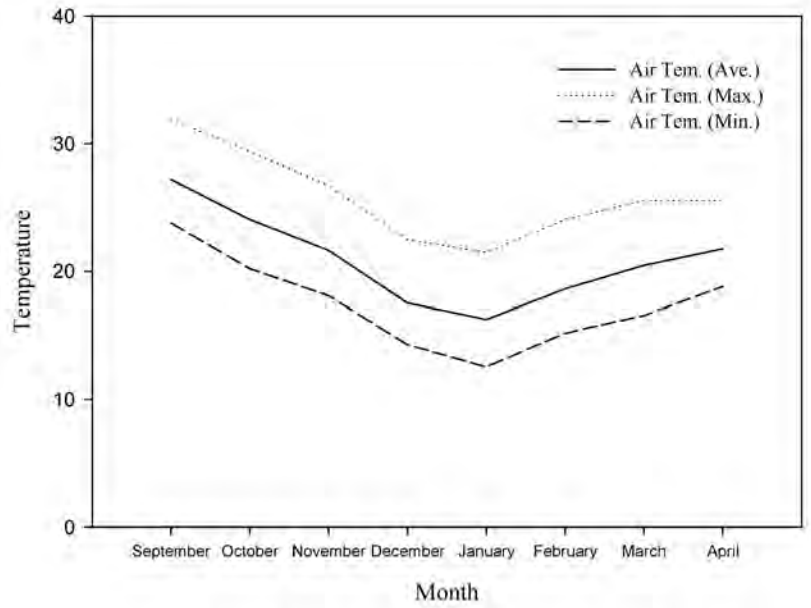


圖 1. 2011 年 9 月至 2012 年 4 月臺中區農業改良場月均溫 (彰化縣大村鄉)。

Fig. 1. Monthly mean temperature at Taichung District Agricultural Research and Extension Station from September 2011 to April 2012.

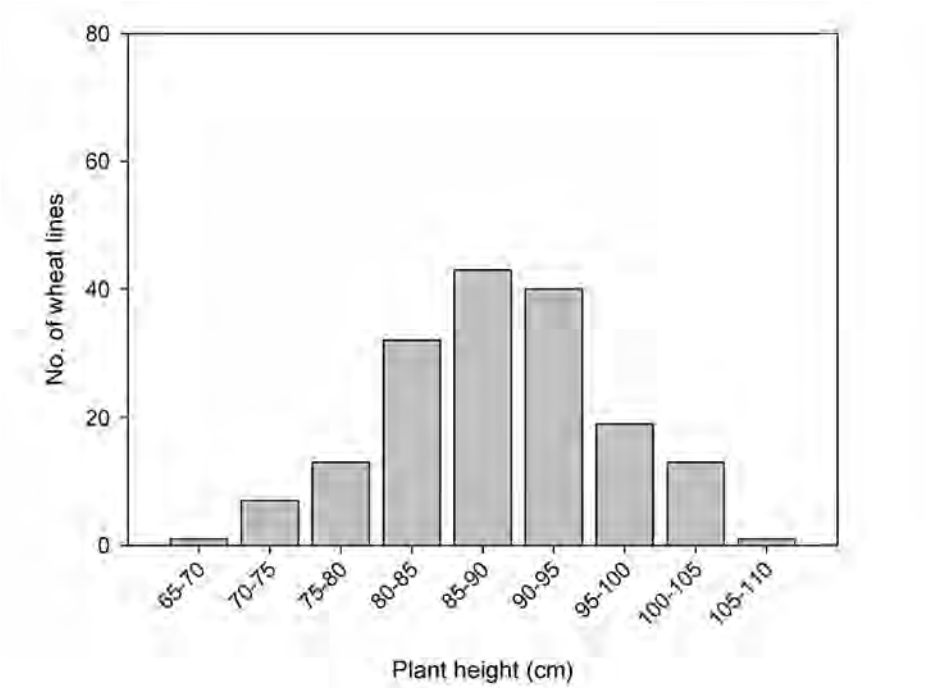


圖 2. 小麥引種品系株高分布。

Fig. 2. Distribution of plant height of introduction lines of wheat.

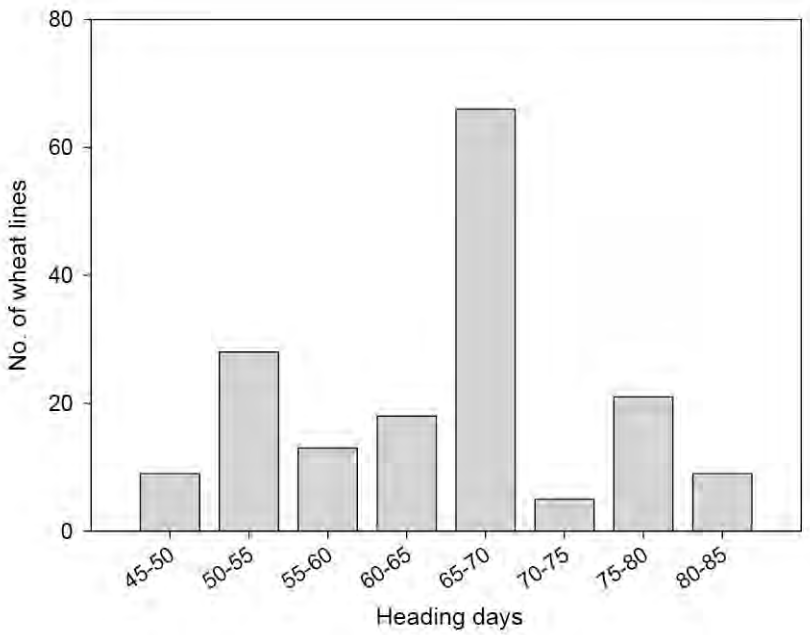


圖 3.小麥引種品系抽穗期分布。

Fig. 3. Distribution of heading days of introduction lines of wheat.

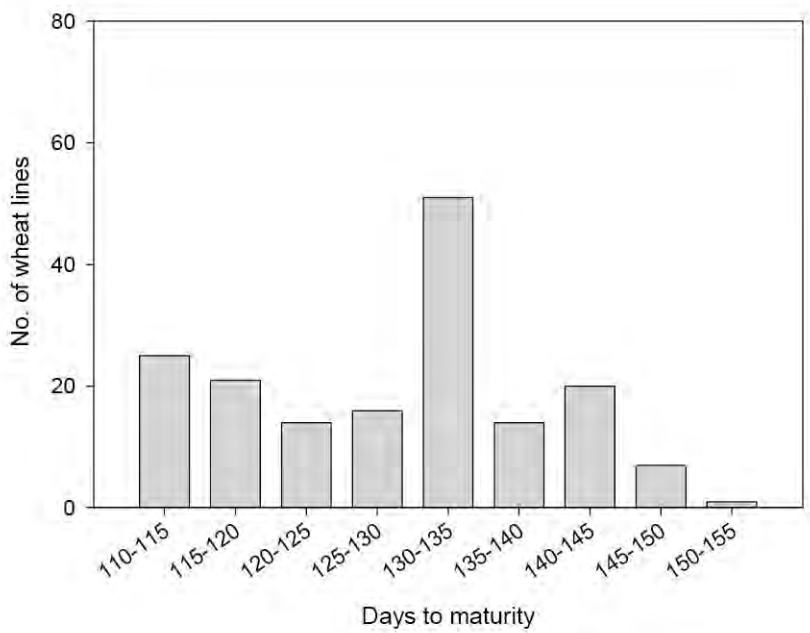


圖 4. 小麥引種品系成熟期分布。

Fig. 4. Distribution of days to maturity of introduction lines of wheat.

四、單株產量

因參試品系株數較少，因此品系產量採單株產量調查，結果顯示，臺中選 2 號單株產量為 50.7g，引種品系則介於 19.5~125.6g，其中 60 個品系抽穗期介於 45~60g 為最多，其次為 60~75g 及 30~45g，各有 45 及 30 個品系 (圖 5)。

五、蛋白質含量

本試驗以全麥粉檢測其蛋白質含量，於小麥採收後利用磨粉機磨粉，並以 0.210mm 篩網過篩，利用近紅外線光譜分析儀 (Near Infrared Spectroscopy, NIR) 分析其總蛋白質含量，結果顯示，臺中選 2 號蛋白質含量為 12.8%，引種品系蛋白質含量分布於 11.5%~14.5%，其中以 12.5%~13.5%最多，共計 145 個品系，佔總品系 86.8% (圖 6)。

病害調查

小麥抽穗至開花期間，多霧高濕環境易誘發小麥病害，例如銹病 (Rust)、白粉病 (Powdery Mildew)、赤黴病 (Fusarium Head Blight) 及葉斑病 (Septoria tritici) 等。小麥白粉病主要危害葉片，有時亦可侵害葉鞘、桿及穗，初被害部表面呈現圓形或橢圓形白色斑點，嚴重時漸擴大全面呈白色，最後變灰色或淡褐色，其上散生黑色子囊殼。小麥赤黴病在田間發生的主要時期為小麥抽穗至開花期，環境氣候為多濕多霧的情況下，潛伏在田間的病原菌則容易侵入小麥穗部，進而造成感染。初期在穗殼上產生水浸狀淡褐色斑點，逐漸擴大到整個穗部，氣候潮溼的情況下，穗軸與穗殼交界之基部會產生粉紅色之黴狀物，嚴重時，整穗枯死 (郭等，2013)。本次耐熱篩選試驗中，全程無施用病害防除藥劑，觀察引種品系及臺中選 2 號罹病狀況，結果發現，臺中選 2 號及引種品系皆無感染銹病，臺中選 2 號則對葉斑病、白粉病及赤黴病皆無抗性，引種品系則分別有 47 個品系感染葉斑病、50 個品系感染白粉病、47 個品系感染赤黴病 (圖 7、8)。

結語

小麥屬溫帶作物，位處亞熱帶的臺灣種植小麥除需面對高溫逆境外，高相對溼度亦對小麥生育造成影響，此外，近年來極端天氣，如晚冬及早春連續降雨也壓縮小麥栽植適期，造成小麥產量下降。本耐熱種原評估試驗即為選育可適應不同於小麥臺中選 2 號栽培適期之小麥新品種，特別針對可適應 10 月上旬播種特性進行調查，結果發現有數個品系具有發展潛力，後續將針對上述品系進行更進一步的產量及區域試驗，希望能育成耐熱小麥新品種，並配合栽培管理技術，生產豐產質優之國產小麥，達到活化休耕農地，提高糧食自給率目標。

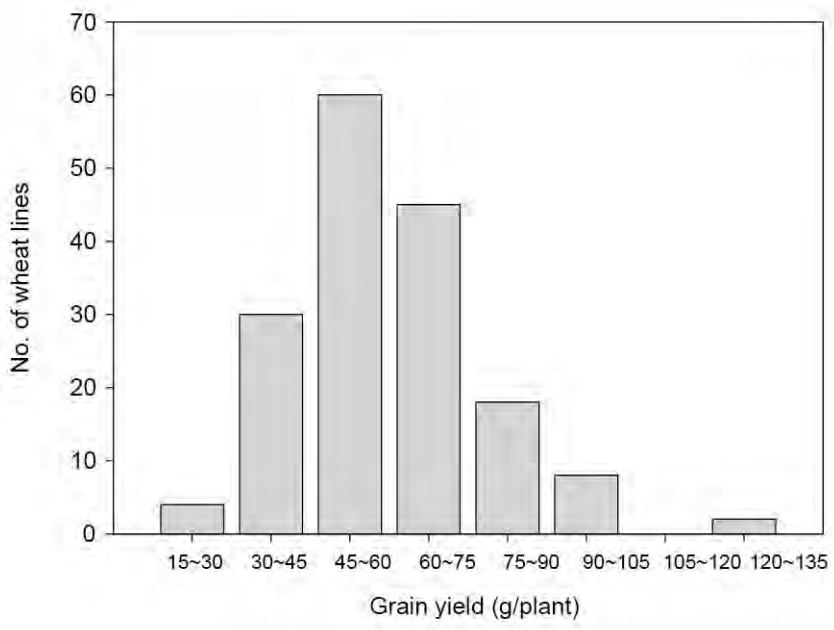


圖 5. 小麥引種品系單株產量分布。

Fig. 5. Distribution of grain yield of introduction lines of wheat.

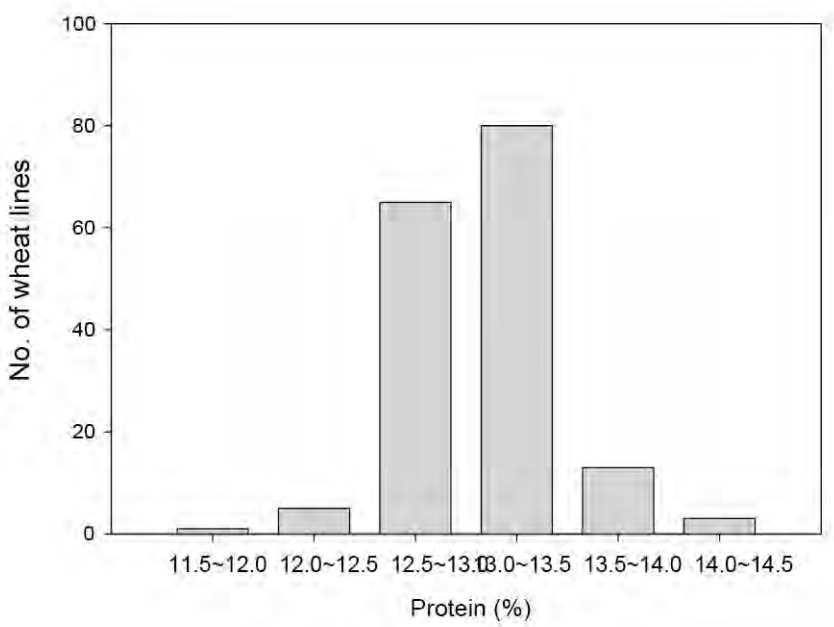


圖 6. 小麥引種品系蛋白質含量分布。

Fig. 6. Distribution of protein content of introduction lines of wheat.

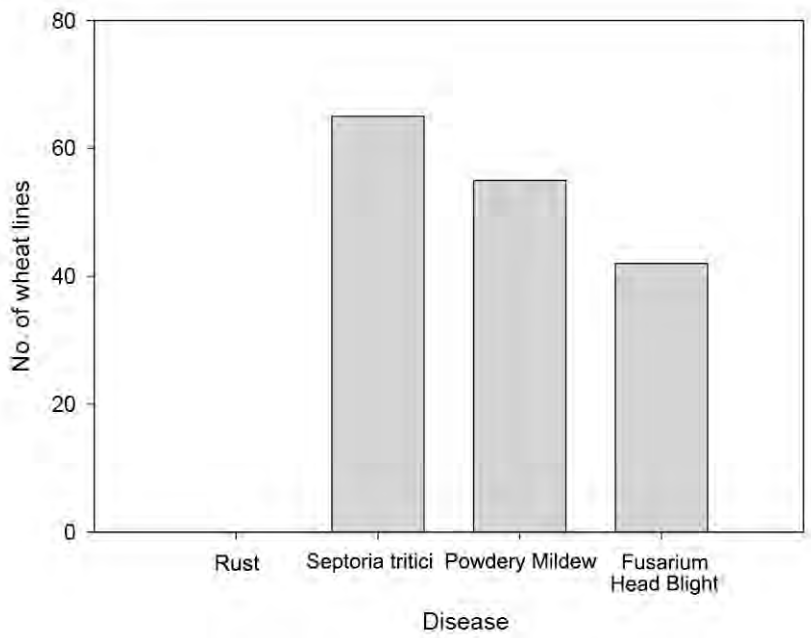


圖 7. 小麥引種品系罹病狀況。

Fig. 7. Disease inflection of introduction lines of wheat.

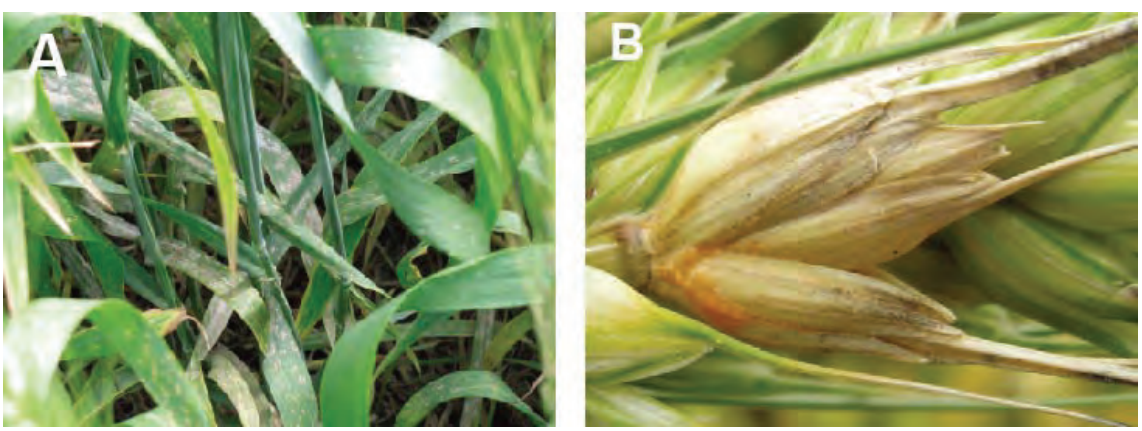


圖 8. 小麥罹病病徵。A：白粉病。B：赤黴病。

Fig. 8. Symptoms of disease of introduction lines of wheat. A: Powdery Midew. B: Fusarium Head Blight.

參考文獻

林訓仕，2013。暖化對小麥栽植區及產量之影響。行政院農業委員會臺中區農業改良場特刊。116: 267–270。

郭建志、林訓仕、廖君達、黃冬青，2013。小麥赤黴病之病原鑑定及防治藥劑篩選，行政院農業委員會臺中區農業改良場特刊，117: 169–175。

FAO. 2010. Statistical database. http://www.faostat.fao.org.

Farooq, M., H. Bramley, J. A. Palta and K. H. M. Siddique. 2011. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. Crit. Rev. Plant Sci. 30:1–17.

Ortiz, R., K. D. Sayre, B. Govaerts, R. Gupta, G. V. Subbarao, T. Ban, D. Hodson, J. M. Dixon, J. I. O. Monasterio and M. Reynolds. 2008. Climate change: can wheat beat the heat? Agric. Ecosyst. Environ. 126: 46–58.

Porter, J. R. and M. Gawith. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. Eur. J. Agron. 10: 23–36.

Saini, H. S. and D. Aspinall. 1982. Abnormal sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) induced by short periods of high temperature. *Ann. Bot*. 49:835–846.

Tubiello, F. N., C. Rosenzweig, R. A. Goldberg, S. Jagtap and J. W. Jones. 2000. U.S. national assessment technical report effects of climate change on U. S. crop production part I: wheat, potato, corn, and citrus. http://www.usgcro.gov/usgcrp/nacc/agriculture/tubielloetal2000.pdf.

Warrington, J. J., R. L. Dunstone and L. M. Green. 1977. Temperature effects at three development stages on the yield of the wheat ear. Aust. J. Agric. Res.28: 11–27.

Yin, X., W. Guo and J. H. Spiertz. 2009.Aquantitative approach to characterize sink–source relationships during grain filling in contrasting wheat genotypes. Field Crops Res. 114: 119–126.

Evaluation of Heat Tolerance Germplasm in Wheat

Hsun-Shih Lin[1,2]

Abstract

Wheat is a temperate-zone crop; thus, the only appropriate season for planting wheat in Taiwan is winter. With global warming and the influences of extreme climate changes, high temperatures have posed a challenge for wheat agriculture in Taiwan. Therefore, novel heat-tolerant wheat strains must be developed. The targets of this genetic evaluation experiment for wheat heat tolerance were 167 heat-tolerant strains that were imported from the International Maize and Wheat Improvement Center. The planting time was moved to October to conduct the genetic heat-tolerance experiment. In addition, disease infection conditions were investigated. According to the experimental results, the yields of 73 strains were higher than that of wheat Taichung Sel. No. 2 and the most common maturation period was 130–135 d. The primary protein content ranged between 12.5% and 13.5%. Most wheat varieties contained medium gluten. Based on their gene expressions, 20 of the 167 strains were selected as samples for conducting additional regional yield experiments. Subsequent experiments will be conducted to verify the heat-tolerance performances of these wheat strains.

Keywords: Wheat, Heat tolerance, Germplasm.

1 Associate Researcher,Taichung DARES, COA.

2 Corresponding Author, Email: linhsuns@tdais.gov.tw ; Tel: 04-8523101#270.

耐低溫大豆品種選育及低投施栽培技術改進

吳昭慧 [1,2] 黃涵靈 [1]

摘要

因應氣候變遷進行耐逆境種源收集評估及選育能適應惡劣環境及需肥性低且抗病蟲害的大豆新品種。並建立高密度、低投施之省工栽培技術，降低大豆生產成本，以穩定農民收益。本計畫雜交育種與引種同步進行，區域試驗之大豆品系 TS99-38S 平均產量每公頃 2,107–3,896 公斤，較高雄選 10 號增加 13.0–16.2%，且耐白粉病。並從世界蔬菜中心種原庫篩選 15 個品種及國外引進 Stuart 等 6 個品種，IITA (International Institute of Tropical Agriculture) 進行 64 個品系之引種評估。省工栽培試驗，粗放栽培地區以撒播開溝、水旱田輪作田區以作畦栽培、旱田田區以條播栽培表現較佳。秋作黑豆可採密植行株距 50 公分*10 公分*2 株種植，以 9 月份為較佳播種期；春作亦可採密植行株距 50 公分*10 公分*2 株種植，以 2 月份為較佳播種期，感光性品種不宜 3 月之後種植。耐低溫適合早春或秋裡作品種選育，汰劣擇優選留 20 個品系晉級，早春以 C102-10 (TN3-S) 每公頃 2,231 表現較佳。

關鍵詞：耐低溫、大豆、栽培技術。

前言

2012 年世界大豆栽培面積為 10,662 萬公頃，產量達 25,313 萬公噸，其中美國 8,205 萬公噸，約 32.4%，巴西 6,570 萬公噸，約 25.9%，阿根廷 5,150 萬公噸，約 20.3%，中國 1,280 萬公噸，約 5.1%。以上四國大豆生產量共約世界大豆產量之 83.7%。2012 年世界大豆出口貿易共達 9,102 萬公噸，美國出口 3431 萬公噸，約 37.7%，巴西出口 3,298 萬公噸，約 36.2%，美國及巴西兩國合計出口量達世界大豆出口之 73.9%，其中主要進口國為中國 5,245 萬公噸，約 57.6%，臺灣大豆進口量 234 萬公噸為第七名，與第二名墨西哥 334 萬公噸僅差 100 萬公噸 (FAO, 2013)，凸顯兩個重點，大豆為臺灣重要飼料及糧食作物，而臺灣完全仰賴進口，自給率太低。全世界大豆生產國及需求國是如此有限，市場供需結構非常脆弱，加上近年國際糧價飆漲，且大豆占全球轉基因作物面積的 47% (7540 萬公頃)，全球大豆中基改與非基改比例為 3：1 (ISAAA, 2013)，基於糧食安全，努力振興國產大豆，提供國人安全、高品質的大豆有其迫切性。加上近年來氣候變遷，耐逆境品種選育及栽培成本降低，才能增加農民種植意願，進而提高國內大豆自給率。

1 臺南區農業改良場。

2 通訊作者 電子信箱：chwu@mail.tndais.gov.tw；電話：06-5912901#505。

不同氣候環境對大豆之產量及品質有極大的影響 (曾和詹,1979)，栽培技術的改進雖然可促進產量及品質的提升，但於不同季節選育適合栽培的品種也是重要的考量因素。品種間對溫度的反應有相當大的變異，大豆有些性狀不是單一基因或少數基因所控制，而是許多基因的綜合表現，稱之為數量性狀，例如產量、蛋白質含量、油脂含量等性狀就是數量性狀，有顯著的累加性效應。但不同性狀的遺傳率有所差異，一般遺傳率開花期、成熟期＞株高＞主莖節數、百粒重、蛋白質含量、油脂含量、光合速率＞有效節數、倒伏程度＞分枝數、主莖莢數、總莢數＞單株粒數、單株粒重。也就是生態性狀及植物學特徵的性狀（開花期、成熟期、株高、主莖節數）具有較高的遺傳率，與產量、品質有關的生理性狀（蛋白質含量、油脂含量、光合速率）居中，產量關係密切的性狀（分枝數、主莖莢數、總莢數）遺傳率較小，而產量及構成產量要素之性狀（單株粒數及單株粒重）遺傳率最小。一般而言，子實產量之遺傳率約 3–58%，其他性狀之遺傳率大都大於 50%。而作物品種對產量的貢獻占 30–40%，甚至有學者認為品種決定產量實現的 50–60%，栽培調控決定產量實現的 40–50%。因此在育種方面應加強理想型的群體構成，群體成熟時生物產量高，收穫指數大，群體產量在垂直方向的分布為均勻型，水平方向的分布為主莖-分枝並重型。群體生育動態過程中前期葉面積擴展快，達葉面積峰值時間短，持續時間長，後期葉面積下降緩慢，穀粒期中上位葉片功能期長，葉片光合速數率高。植株中等偏高，亞有限或有限結莢習性，有一定分枝，葉片不大而厚實，多莢多粒為其理想株型 (王和王, 1992)。

此外，大豆從整地、播種、雜草防除、肥料施用、中耕培土、灌溉、病蟲害防治至採收乾燥等工作，不同栽培管理影響生產成本及農民總收益。整地播種常使用方式有作畦栽培、撒播覆土、撒播覆土開溝、中耕機附掛播種器 (條播) 等方法，費用以撒播覆土為省錢，作畦栽培最貴，然而不同整地播種方式關係到後續栽培管理工作的進行，進而影響到產量。陳及連 (1993) 過去試驗顯示春夏作高溫多濕作畦栽培有利田間灌溉排水產量可增加 2.2–6.4%。撒播覆土雖為最省錢播種方式，但採田區漫灌或下豪雨，容易造成植株倒伏或低窪地區植株浸水根系受損，如不灌溉缺水嚴重容易植株矮化、莢果充實不良，產量低下 (Shafii et al. 2011, Pejic et al. 2011)。

因此本計畫目標為進行高產食用大豆之品種選育，以高品質、健康、安全作為市場區隔，並建立高密度、低投施省工栽培技術以及因應氣候變遷，耐低溫適合早春或秋裡作品種選育，配合小地主大佃農政策推行，提高禾豆科輪作，增加氮肥利用效率。

材料與方法

一、高產食用大豆品種改良

1. 人工雜交育種：雜交組合依育種目標選擇適當父母本進行人工雜交，雜交後代分離

及培育，F2-F3 世代培育採混合育種法及 F4-F6 世代培育採單粒後裔育種法進行，行距 50 公分，株距 7.5 公分，每穴一株，每個組合自成一小區，並以目前主要栽培品種為對照，F7 世代進行優良株行選拔。雜交後裔高級世代品系，進行株行品系繁殖及觀察試驗。依春、秋設置於臺南，採順序排列，以目前主要栽培品種為對照，於成熟期時進行農藝性狀及產量調查。由株行表現良好之品系為材料，分組進行品系產量比較試驗。田間採逢機完全區集設計，4 重複，小區面積為 5 公尺×2 公尺，行株距 50 公分×15 公分×2 株，生育期成熟期調查農藝性狀及產量。品系產量比較試驗表現優異 2 至 4 個品系，作為區域試驗的參試材料。田間採逢機完全區集設計，4 重複，小區面積為 5 公尺×2 公尺，行株距 50 公分×15 公分×2 株，生育期成熟期調查農藝性狀及產量。

2. 引種:世界蔬菜中心種原庫篩選、種苗商國外引種以及 IITA (International Institute of Tropical Agriculture) 的種原庫引種。

二、高密度、低投施省工栽培技術之建立

1. 低投施省工栽培技術開發：試驗地點下營、麻豆及西螺，整地播種方式採作畦栽培、撒播覆土、撒播覆土開溝或中耕機附掛播種器 (條播) 等處理，每個試區面積為 0.2 公頃，於植株成熟期進行取樣調查其不同栽培模式植株之農藝性狀，全區採收調製後進行總產量、成本及農民總收益分析。
2. 密度及播種期試驗：主要栽培品種為材料，於不同播種期進行試驗，密度分成行株距 50 公分×10 公分×2 株、50 公分×13 公分×2 株及 50 公分×15 公分×2 株 3 個等級，生育期成熟期調查農藝性狀及產量。

三、耐低溫適合早春或秋裡作品種選育

耐低溫種源收集及評估，種源來源為從亞蔬中心收集之種源 70 個品系及預備試驗雜交品系 25 個，共計 100 個品種系，於早春 (1 月上旬) 及晚秋 (11 月上旬) 進行播種，採順序排列，以目前主要栽培品種為對照。於成熟期時進行農藝性狀及產量調查，以選出耐早春及晚秋 15–20℃低溫之品系且能較主要栽培品種增產 20–30%，作為雜交親本及品系試驗用。

結果與討論

一、高產食用大豆品種改良

1. 依育種目標選擇適當父母本進行人工雜交、雜交後代分離及培育，於 F7 世代進行優良株行選拔、並進行株行觀察試驗、品系試驗及區域試驗。已完成 6 個雜交組合人工授粉。區域試驗之大豆品系 TS99-38S 平均產量每公頃 2,107–3,896 公斤，較高雄選 10 號增加 13.0–16.2%，且耐白粉病，已命名為大豆臺南 10 號。TS99-38S 之鹽

水及新化 2 個地點的平均產量及農藝性狀 (表 1 及 2)，在 101 年秋作方面，TS99-38S 的生育日數為 97 天，較對照品種高雄選 10 號晚 6 天成熟。TS99-38S 的植株高度為 42.1 公分較高雄選 10 號 51.6 公分矮，始莢位高度 11.9 公分適合機械採收，分枝數為 0.6 枝，主莖節數 11.3 節，單株莢數 22.2 個，單株粒重 11.6 公克較高雄選 10 號 8.7 公克重，百粒重 26 公克大於高雄選 10 號之 16.6 公克，每公頃子實產量為 2,270 公斤，較高雄選 10 號每公頃 1,953 公斤增產 16.2%。在 102 年春作方面，TS99-38S 生育日數為 102 天，較對照品種高雄選 10 號早 2 天成熟。株高及始莢位高度為 60.8 公分及 12.9 公分適合機械採收，且植株直立較不易倒伏，對照品種高雄選 10 號株高約 71.1 公分，部分植株有倒伏現象，影響機械採收，TS99-38S 分枝數為 1.9 枝，主莖節數 13.2 節，單株莢數 27.6 個，單株粒重 15.3 公克較高雄選 10 號 14.6 公克重，百粒重 26.7 公克大於高雄選 10 號之 19.2 公克，每公頃子實產量為 3,302 公斤，較高雄選 10 號每公頃 2,918 公斤增產 13%。

2. 引種：已從世界蔬菜中心種原庫篩選 15 個品種及國外引進 Stuart 等 6 個品種，亦向 IITA (International Institute of Tropical Agriculture) 的種原庫進行 50 個品系及 14 個 IITA 育成的品系進行引種觀察評估。

二、高密度、低投施省工栽培技術之建立

1. 低投施省工栽培技術開發

表 1. TS99-38S 區域試驗農藝性狀調查平均表現。

Table 1. The average of agronomic characters of TS99-38S in regional trial

參試品系	期作	生育日數 (d)	株高 (cm)	始莢高度 (cm)	分枝	單株節數	單株莢數	單株粒重 (g)
TS99-38S	秋作	97	42.1	11.9	0.6	11.3	22.2	11.6
高雄選 10 號		91	51.6	11.3	1.4	11.3	25.1	8.7
TS99-38S	春作	102	60.8	12.9	1.9	13.2	27.6	15.3
高雄選 10 號		104	71.1	12.2	2.3	13.4	33.5	14.6

表 2. TS99-38S 區域試驗百粒重及籽實產量平均表現。

Table 2. The average of hundred-seed weight and seed yield of TS99-38S in regional trial

參試品系	期作	百粒重 (g)	籽實產量 (kg/ha)	產量指數 (%)
TS99-38S	秋作	26.0	2,270	116.2
高雄選 10 號		16.6	1,953	100
TS99-38S	春作	26.7	3,302	113.0
高雄選 10 號		19.2	2,918	100

101 年秋作西螺地區黑豆臺南 5 號栽培模式採用作畦栽培、撒播覆土、撒播覆土開溝處理，其成本及收益分析如表 3。生產成本最高為作畦栽培每公頃 55,120 元，但籽實產量亦以作畦栽培每公頃 3,550 公斤最高，淨收益每公頃可達 104,540 元，較撒播開溝增加 7.7%收益，因此西螺地區秋作種植且有充分水源灌溉，以作畦栽培為理想栽培模式。

101 年秋作下營地區黑豆臺南 3 號栽培模式採用作畦栽培、撒播覆土開溝及中耕機附掛播種器 (條播 處理，其成本及收益分析如表 4。生產成本最高為作畦栽培每公頃 49,920 元，但籽實產量則以條播栽培每公頃 1,930 公斤最高，淨收益每公頃可達 47,380 元，較撒播開溝增加 66.4%收益，因此下營地區秋作種植且有充分水源灌溉，以條播栽培為理想栽培模式。

101 年秋作麻豆地區黑豆臺南 3 號栽培模式採用作畦栽培、撒播覆土、撒播覆土開溝處理，其成本及收益分析如表 5。生產成本最高為作畦栽培每公頃 42,000 元，但籽實產量則以條播栽培每公頃 1,950 公斤最高，淨收益每公頃可達 60,250 元，較作畦栽培增加 29.8%收益，因此在麻豆地區適合以種植與開溝同時進行之農機進行撒播開溝栽培模式。

表 3.101 年秋作黑豆臺南 5 號栽培模式成本及收益分析 (西螺)。

Table 3. The analysis of cost and benefit of Tainan No. 5 for different cultivation methods in 2012 autumn crop (Siluo)

栽培模式	整地播種 (NT $ /ha)	灌溉 (NT $ /ha)	乾燥調製包裝 (NT $ /ha)	總成本合計 (NT $ /ha)	籽實產量 (kg/ha)	籽實收益 (NT $ /ha)	淨收益 (NT $ /ha)
作畦	14,000	3,900	7,816	55,120	3,550	159,660	104,540
撒播開溝	10,500	3,900	7,244	51,040	3,290	148,140	97,100
撒播	9,000	---	7,094	45,490	3,220	144,770	99,280

表 4. 101 年秋作黑豆臺南 3 號栽培模式成本及收益分析 (下營)。

Table 4. The analysis of cost and benefit of Tainan No. 3 for different cultivation methods in 2012 autumn crop (Shiaying)

栽培模式	整地播種 (NT $ /ha)	乾燥調製包裝 (NT $ /ha)	總成本合計 (NT $ /ha)	籽實產量 (kg/ha)	籽實收益 (NT $ /ha)	淨收益 (NT $ /ha)
作畦	15,000	3,520	49,920	1,760	87,950	38,030
撒播開溝	10,500	2,930	44,830	1,470	73,300	28,470
條播	14,000	3,870	49,270	1,930	96,650	47,380

綜合結果，粗放栽培地區以撒播開溝、水旱田輪作田區以作畦栽培、旱田田區以條播栽培表現較佳。

2. 密度及播種期試驗

主要栽培品種為材料，於不同播種期進行試驗，密度分成行株距 50 公分×10 公分×2 株、50 公分×13 公分×2 株及 50 公分×15 公分×2 株 3 個等級，生育期成熟期調查農藝性狀及產量。

101 年秋作不同密度及播種期試驗，參試品種為黑豆台南 3 號及台南 5 號，播種期於秋作 9 月 12 日及秋裡作 11 月 5 日，其結果如表 6。秋作黑豆臺南 5 號耐密植，行株距 50 公分*10 公分*2 株之產量最高，每公頃 2,313 公斤。臺南 3 號則三個播種密度產量均無明顯差異；秋裡作兩品種均以密植產量較佳，但整體產量極低，均不適合 11 月上旬種植。

表 5. 101 年秋作黑豆臺南 3 號栽培模式成本及收益分析 (麻豆)。

Table 5. The analysis of cost and benefit of Tainan No. 3 for different cultivation methods in 2012 autumn crop (Matou)

栽培模式	整地播種 (NT $ /ha)	灌溉 (NT $ /ha)	乾燥調製包裝 (NT $ /ha)	總成本合計 (NT $ /ha)	籽實產量 (kg/ha)	籽實收益 (NT $ /ha)	淨收益 (NT $ /ha)
作畦	14,000	2,600	3,900	42,000	1,770	88,400	46,400
撒播開溝	10,000	1,300	4,250	37,050	1,950	97,300	60,250
撒播	10,500	---	3,930	35,930	1,780	89,150	53,220

表 6. 101 年秋作不同密度及播種期試驗。

Table 6. Planting density and sowing date experiments in 2012 autumn crop

播種日	品種	密度 (cm*cm*no.)	株高 (cm)	單株粒重 (g)	百粒重 (g)	籽實產量 (kg/ha)
9/12	臺南 5 號	50*10*2	31.5	11.2	30.4	2,313[a]
		50*13*2	34.1	8.1	33.2	2,015[b]
		50*15*2	32.9	9.2	31.8	1,766[c]
	臺南 3 號	50*10*2	45.9	6.9	10.6	1,791[a]
		50*13*2	45.9	8.3	11.6	1,734[a]
		50*15*2	46.5	8.8	11.4	1,739[a]
11/5	臺南 5 號	50*10*2	21.3	1.7	23.2	503[a]
		50*13*2	18.8	1.9	24.7	352[b]
		50*15*2	20.6	2.0	24.4	371[b]
	臺南 3 號	50*10*2	24.3	2.2	13.0	566[a]
		50*13*2	22.8	2.1	12.5	426[ab]
		50*15*2	20.3	1.6	12.6	299[b]

102 年春作不同密度及播種期試驗，參試品種為黑豆台南 3 號、台南 5 號及黃豆高雄選 10 號，播種期於 1 月 16 日、2 月 19 日、3 月 15 日，其結果如表 7。春作 1 月 16 日播種黑豆台南 3 號及台南 5 號三個播種密度產量均無明顯差異，黃豆高雄選 10 號則行株距 50 公分*13 公分*2 株之產量最高，每公頃 1,816 公斤。而 2 月中旬種植三品種均以密植行株距 50 公分*10 公分*2 株之產量最高，且較 1 月中旬及 3 月中旬種植之產量高。3 月中旬種植黑豆台南 5 號三個播種密度產量均無明顯差異，黃豆高雄選 10 號則行株距 50 公分*10 公分*2 株之產量最高，每公頃 1,433 公斤。黑豆台南 3 號為感光性品種不宜 3 月之後種植，3 月中旬種植遲至 7 月下旬採收，莢果均因下雨及高溫等因素其充實度不佳。

表 7. 102 年春作不同密度及播種期試驗。

Table 7. Planting density and sowing dater experiment in 2013 spring crop

播種日	品種	密度 (cm*cm*no.)	株高 (cm)	單株粒重 (g)	百粒重 (g)	籽實產量 (kg/ha)
1/16	臺南 5 號	50*10*2	32.2	2.9	26.6	1,019[a]
		50*13*2	33.6	3.1	28.9	836[a]
		50*15*2	33.4	3.1	24.0	816[a]
	臺南 3 號	50*10*2	36.0	2.3	10.8	1,011[a]
		50*13*2	37.7	3.5	11.2	1,004[a]
		50*15*2	40.8	3.0	10.2	1,000[a]
	高雄選 10 號	50*10*2	43.2	4.2	17.4	1,449[b]
		50*13*2	45.5	7.0	18.3	1,816[a]
		50*15*2	45.9	5.9	18.1	1,444[b]
2/19	臺南 5 號	50*10*2	32.2	19.2	28.1	3,698[a]
		50*13*2	48.3	20.6	27.8	2,962[b]
		50*15*2	50.9	15.9	30.2	2,410[b]
	臺南 3 號	50*10*2	60.8	12.1	13.9	3,107[a]
		50*13*2	62.7	11.6	12.7	2,391[b]
		50*15*2	66.9	13.6	15.0	2,347[b]
	高雄選 10 號	50*10*2	65.4	11.9	15.3	2,758[a]
		50*13*2	67.9	7.7	16.7	1,898[b]
		50*15*2	76.6	9.7	16.7	2,011[b]
3/15	臺南 5 號	50*10*2	36.1	3.0	25.6	1,197[a]
		50*13*2	37.6	4.7	25.0	1,435[a]
		50*15*2	34.6	4.0	24.1	1,067[a]
	高雄選 10 號	50*10*2	56.1	3.6	16.8	1,433[a]
		50*13*2	58.6	4.3	16.5	1,312[ab]
		50*15*2	61.3	4.1	17.7	1,088[b]

綜合結果，秋作黑豆可採密植行株距 50 公分*10 公分*2 株種植，以 9 月份為較佳播種期；春作亦可採密植行株距 50 公分*10 公分*2 株種植，以 2 月份為較佳播種期。

三、耐低溫適合早春或秋裡作品種選育

101 年 1 月上旬完成耐逆境種源 100 個品種系收集，於 1 月 13 日完成播種，生育過程中因低溫部分品系生長較差，以 A004 等 41 個品種系表現較佳，早熟品系 4 月底進行採收，部分感光性品系至 6 月中旬才成熟。秋裡作進行耐冷觀察試驗，由於 11 月 5 日種植，溫度低且日照不足，大多數品系生長情形不佳，於生育期間汰劣擇優選留 20 個品系晉級 102 年試驗 。102 年早春耐冷性試驗以 C102-10 (TN3-S) 每公頃 2,231 公斤表現較佳 (表 8)，其次為 C102-09 每公頃 2,194 公斤。

表 8. 102 年早春表現較優 10 個品種系。
Table 8. 10 better lines in 2013 early spring crop

品系代號	生育日數 (d)	株高 (cm)	單株粒重 (g)	百粒重 (g)	籽實產量 (kg/ha)
C102-04	101	30.2	4.65	12.6	1,306
C102-08	111	38.0	5.86	15.3	1,824
C102-09	106	40.1	6.97	16.3	2,194
C102-10	106	38.6	8.98	15.4	2,231
C102-11	111	48.5	6.72	25.8	1,783
C102-12	106	40.2	6.84	33.2	1,777
C102-13	113	51.4	4.22	26.8	1,263
C102-17	106	45.7	6.02	35.4	1,744
C102-19	101	41.1	5.34	23.8	1,365
C102-20	106	36.0	4.36	24.0	1,299

參考文獻

王連錚、王金陵，1992。大豆遺傳育種學，科學出版社，1–407。

國際農業生物技術應用推廣協會 (ISAAA) http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/43/executivesummary/default.asp (下載日期 2013)

陳武德、連大進，1993。大豆栽培與機械化作業，台南區農業技術專刊集合本，52–57。

曾富生、詹國連，1979。大豆增產可能性及限制因素之探討與改進對策，科學農業，28:217–248。

聯合國糧食及農業組織 (FAO) 統計年報 http://faostat.fao.org (下載日期 2013)

Pejic, B., L. Maksimovic, S. Cimpeanu, D. Bucur , S. Milic, and B. Cupina. 2011. Response of soybean to water stress at specific growth stages. Journal of Food Agriculture &Environment. 9(1):280–284.

Shafii, F., A. Ebadi, K.S. Golloje, and A. Eshghi -Gharib. 2011.Soybean response to nitrogen fertilizer under water deficit conditions. African Journal of Biotechnology. 10(16):3112–3120.

Selective Breeding of Cold Tolerance Soybean and the Improvement of Agricultural Practices for Low-Input Facility

C. H. Wu[1,2] and H. L. Huang[1]

Abstract

In order to adapt to the impacts of climate change, we collected the soybean varieties and developed the varieties that are stress tolerant and disease resistant and require low fertilizer cost. We also established labor-saving cultivation methods that can achieve high planting density, decrease costs and maintain the benefit for farmers. In this project, we cross bred and introduced soybean varieties at the same time. In the regional trial, the average yield of soybean line TS99-38S was 2,107–3,896 kg/ha, which was 13.0–16.2% more than Kaohsiung selection No.10. This line is tolerant of powdery mildew. We selected 15 varieties from AVGRIS (AVRDC Vegetable Genetic Resources Information System) and introduced 64 varieties from IITA (International Institute of Tropical Agriculture) and 6 varieties from other countries. Based on the result of the labor-saving experiment, it is ideal to cultivate by broadcasting and ploughing furrow in a more extensive cultivation system field. The rice-upland rotation fields are better suited to using ridges for cultivation and it is better to drill when the water supply is sufficient. Autumn and spring crops of black soybean can both be cultivated by creating a spacing of 50cm*10cm*2. Their proper sowing dates are September and February. Furthermore, it is not suitable to cultivate the photosensitivity varieties after March. We selected 20 lines under cold temperatures for early spring crop or autumn intercrop, and C102-10(TN3-S) had higher yields (2,231 kg/ha) in the early spring crop.

Keywords: Chilling tolerance, Soybean, Cultivation technique.

1 Taiwan Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA.

2 Corresponding Author, Email: chwu@mail.tndais.gov.tw ; Tel: 06-5912901#505.

耐逆境雜交牛樟、泡桐與桉樹選拔與利用

何政坤[1,3] 張淑華[1] 陳永修[2] 施欣慧[2] 吳家禎[1] 陳媗[1]

摘要

台灣菇蕈類產值含牛樟芝年約 85 億元，年需菇蕈木粉 31 萬公噸。台灣年進口木材自給率不足 1%，這些原料仰賴農平地速生樹種造林，由於氣候逆境使造林風險增加，對產業投資高樟芝用牛樟、菇蕈與紙漿用桉樹與製材用泡桐造林而言，因造林海拔降低及面積增加，長期性乾旱、淹水與入侵病蟲害成為對造林產業影響重大。經由曾乾旱與淹水存活之牛樟平地造林及與樟樹雜交的牛樟做為耐旱牛樟選育的方向。桉樹則以組培繁殖大陸引進耐姬小峰品系 2 個，及 5 個抗風優良營養系赤按，利用莖枝葉病病原體培養感染及桉樹釉小蜂培養選拔抗病蟲品系。泡桐則以培養簇葉病原體感染引進與雜交耐熱泡桐，選拔品系。發展組織培養與扦插繁殖技術，繁殖具有抗逆品系，在花蓮光復台糖區 4 公頃、苗栗活化休耕地 1.5 公頃、建立耐逆試驗。102 年蘇力、康芮與天兔颱風對此 3 試區進行強度抗逆選拔，結果雜交牛樟 2 品系與牛樟 4 品系、引進 2 尾巨桉與 1 赤桉品系具有抗蟲力，雜交泡桐 Pg 具有耐熱抗病力。第 1 年逆境造林顯示，牛樟品系可增加 20%存活率。引進尾巨桉與原優良赤巨桉生長相當，但無蟲害，利用栽植密度 3x3 m 造林可降低傳統 2x2 m 栽植密度的風害達 53%以上，泡桐 Pg 耐熱且生長快速，而原生台灣泡桐無法生存。

關鍵詞：氣候逆境、耐逆境品系、木材自給率、菇木類用材樹種。

前言

台灣菇蕈類產值含牛樟芝年約 85 億元，年需菇蕈木粉 31 萬噸。台灣年進口木材約 50 億元，木材自給率不足 1%可，這些原料仰賴農平地速生樹種造林，由於氣候逆境使造林風險增加，對產業投資高樟芝用牛樟、菇蕈與紙漿用桉樹與製材用泡桐造林而言，因造林海拔降低及面積增加，長期性乾旱、淹水與入侵病蟲害成為對造林產業影響重大。牛樟、泡桐與雜交桉為台灣重要經濟樹種，牛樟為牛樟芝的原料，產值約為 12 億元，一般造林 5 年的存活率都僅約 50% (Ho et al. 2010)。泡桐曾為台灣的綠色黃金，每立方公尺材積高達 2 萬元，因簇葉病使產業消失 (Wu et. al. 2012)，原栽培區在海拔 600-900 m，農平地為種苗生產地區。雜交桉為活化休耕地之短伐期經濟造林樹

1 行政院農業委員會林業試驗所育林組。
2 行政院農業委員會林業試驗所六龜研究中心。
3 通訊作者 電子信箱：ckho@tfri.gov.tw；電話：04-23039978 #2002。

種，產業需求面積達 12.8 萬公頃，可作為紙漿、製材、與菇木粉，最近因莖枯葉病與釉小蜂危害使選育之速生品種生長遲滯甚者死亡(Tung and Salle 2010)。據研究數據顯示：因極端氣候引起之旱澇使牛樟造林存活率與生長量分別降低至 50%與 20%，病蟲害與旱害使泡桐降低 20%與 80%，病蟲害與風害使桉樹降低 50%與 80%，選拔耐逆境品種及利用栽植密度可調適其存活率與提高生長量，促進農民與產業造林。

材料與方法

1. 耐旱澇選拔方法：在低海拔砂質壤土之造林地選拔耐逆境牛樟品系，及培育低海拔樟樹與牛樟的雜交牛樟品系。
2. 耐簇葉病與耐熱選拔：從大陸引進亞熱帶耐病泡桐與易罹病之原生台灣泡桐與白桐雜交，以病原體感染雜交苗，篩選雜交泡桐，在農地栽植選拔耐病與耐熱品系。
3. 耐莖枯葉病與桉樹釉小蜂選拔：引進大陸抗釉小蜂品系，以培養莖葉枯病(*Cryptosporiopsis eucalypti*)感染苗木葉片，篩選抗病蟲品系。
4. 耐逆境品系繁殖技術建立與育苗：利用組織培養繁殖耐逆境牛樟與雜交牛樟、雜交桉樹，及篩選耐簇葉病雜交泡桐苗木。
5. 在花蓮與苗栗農地造林檢驗耐逆境品系：在花蓮台糖農地建立 4 公頃檢驗區，試驗設計包括：雜交泡桐 4 品系、雜交桉樹類 5 品系、雜交牛樟與 3 牛樟品系，栽植密度 2x2、2x2.5、2x3、3x3 m 檢驗耐病蟲與抗風能力檢定，每試區均重複 4 次。本區屬壤土，部分區域屬易積水區，強降雨時淹水約 50 cm 高，本區是颱風常侵襲區，也是桉樹釉小蜂及泡桐簇葉病之病蟲害發生區。102 年蘇力颱風及天兔颱風相繼侵襲，強風與強降雨淹水對選拔之耐逆境品系進行高強度選拔。

在苗栗休耕水田建立雜交桉樹、牛樟與雜交牛樟、雜交泡桐行列栽植，桉樹以 2x4 m 栽植，4 m 行間植牛樟與雜交泡桐。水田具有硬盤，降雨時易淹水，乾旱時土壤龜裂，2013 年度蘇力颱風從新竹出海，強風侵襲，後續康芮颱風風力不大，但強降雨造成數日積水，是土壤與極端氣候雙重效應的高強度選拔。

結果與討論

一、耐逆境牛樟田間檢定

在花蓮光復區造林 11 月，牛樟 3 品系苗高生長 80–127 cm，雜交牛樟則因初期造林時嫩葉受到蟲害，使初生長遲緩，5 月以後就快速生長達苗高 72 cm (表 1)。雜交牛樟在 3 種密度試驗的苗高 113–117 cm (表 2)，雖經過蘇力與天兔颱風的 10–12 及陣風，部分地區淹水達 50 cm，不同牛樟品系栽植 5 個月的存活率為 100%以上，雜交牛樟密度試驗平均存活率為 96.2±1.0%。一般牛樟初期造林死亡率最高，約在 20–30%間，此抗逆境品系約可增加 20%存活率。在苗栗休耕地栽植，因本區原為水田，旁有 2 池塘，

地下水位高，地處田埂凹地，易造成強降雨積水，牛樟生長 6 個月苗高僅 25 cm，雜交牛樟 29 cm，颱風侵襲雖無風倒(表 3)，但積水是使牛樟生長遲緩的重要原因。

二、耐熱泡桐田間檢定

5 種雜交泡桐品系，造林 11 個月，以 Pg 品系苗高可達 224 cm，胸高直徑 4.7 cm 表現最佳(表 4)，原選拔優良品種台灣泡桐全部死亡，雖然泡桐生長快速，但 2 次颱風侵襲，均未倒伏。在苗栗休耕地造林 6 個月苗高僅 41 cm (表 3)，生長遲緩原因與牛樟相同。

三、抗病耐風倒桉樹田間檢定

引進 2 種尾巨桉與台灣選拔優良桉樹品系赤巨桉 43、及赤桉品系在花蓮造林比較，引進抗枯莖葉病及桉樹釉小蜂之尾巨品系 2 個與林試所選拔優良桉樹品系：赤巨桉 43 級赤桉 2 品系，經造林 11 個月，以赤巨桉生長最佳，樹高 461 cm，其次為引種

表 1. 耐逆境牛樟在花蓮平地造林之檢驗，栽植距離 2x2 m。

Table 1. Afforestation trial of *Cinnamomum kanehirae* with stress tolerance at Hualien county.

區集	T2 苗高 (cm)			D1 苗高 (cm)			D3 苗高 (cm)			雜交牛樟苗高 (cm)		
	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月
1	71	102	106	57	81	108	38	54	82	36	40	83
2	60	91	122	38	58	84	32	54	92	39	38	55
3	77	101	118	44	57	93	35	43	73	33	39	61
4	63	84	121	73	69	117	-	-	-	36	37	89
平均	68	94	117	53	66	100	35	50	82	36	38	72
SD	8	8.6	7.37	15	11	15	2.7	6.6	9.7	2.5	1.2	16

註：101 年 12 月 26 日造林，102 年 5 月 27 日(5 月生)與 11 月 11 日(11 月生)調查

表 2. 不同栽植密度之雜交牛樟在花蓮平地造林之檢驗。

Table 2. Afforestation trial of *Cinnamomum* hybrids planting with different densities at Hualien county.

區集	不同栽植密度苗高/胸徑(cm)								
	2x2 m			2x2.5 m			2x3 m		
	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月生	11 月
1	37	51	126	39	52	120	43	51	94
2	43	56	118	44	55	109	42	55	125
3	45	51	104	34	49	125	42	57	131
4	43	55	118	44	57	114	46	53	101
平均	42	53	116	40	53	117	43	54	113
SD	3	3	9	5	3	7	2	2.8	18

表 3. 各樹種在苗栗休耕地之造林表現與風倒率。

Table 3. Growth performance of different tree species afforestation at fallow ground of Miaoli county.

區集	牛樟		雜交牛樟		泡桐		赤桉 K1		赤桉 K10		赤桉 K20		赤桉 K21		赤桉 K41		赤桉 48		巨尾桉 38		尾巨桉 33		尾巨桉 39	
	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月	2 月	6 月
1	24	29	31	36	-	-	26	56	38	119	38	131	58	164	41	106	23	79	27	55	-	69	36	73
2	23	16	36	19	35	-	-	-	29	103	38	98	51	112	35	105	29	80	-	-	-	51	28	75
3	20	-	34	25	31	-	-	-	31	82	32	103	51	118	26	105	23	88	-	-	-		30	73
4	20	-	27	35	42	-	-	-	-	-	25	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	23	24	29	31	36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	24	28	35	28	37	70	17	86	-	-	37	141	60	155	53	131			-	-	-	60	-	-
7	18	30	23	-	-	-	25	94	33	128	37	115	53	137	32	109	32	111	-	-	-	85	26	96
8	22	22	25	34	7	-	18	96	41	125	37	115	46	131	22	89	30	114	-	-	-	66	22	79
9	22	-	25	26	35	13	23	84	26	87	36	92	45	112			29	84	-	-	-	45	23	51
平均	22	25	29	29	32	41	22	83	33	107	35	110	52	133	35	107	28	93	27	55	-	63	28	75
SD	2	5	5	6	11	41	5	16	5	20	4	19	6	21	11	14	4	16	-	-	-	14	5	14
風倒率	0		0		0		-		68		53		63		37		33		-		-		13	

註：102 年 5 月 17 日造林，7 月 15 日與 11 月 14 日調查。風倒率為蘇力颱風苗木倒伏率。

表 4. 耐熱雜交泡桐在花蓮平地造林之檢驗。

Table 4. Afforestation trial of *Paulownia* hybrids with hot tolerance at Hualien county.

區集	Lkg 苗高(cm)			Pg 苗高(cm)			Gk1 苗高(cm)			Gk2 苗高(cm)		
	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月生	11 月	初植	5 月生	11 月
1	14	68	200	16	88	377	22	23	118	15	34	104
2	13	33	83	17	56	226	24	19	65	16	38	39
3	14	11	20	22	53	135	20	11	19	15	27	-
4	13	22	43	22	56	158	26	32	102	12	29	56
高平均	13	33	86	19	63	224	23	21	76	14	32	66
高 SD	0.4	25	80	3.0	16	109	2.4	8.5	44	1.5	4.8	34
胸徑平均			2.1			4.7						
胸徑 SD			1.6			1.8						

註：Pg 泡桐樹最高 4.4 m，胸徑 10.3 cm。

的尾巨桉樹高 4401-422 cm，赤桉品系生長較慢 (表 5)。桉樹釉小蜂已經在本區發生，林試所選拔的品系均已罹蟲，未來生長將受影響。颱風是速生桉樹風倒的最大威脅，本年度 2 個颱風對桉樹倒伏影響極大，栽植密度 2x2、2x2.5、及 2x3 m 的尾巨桉 39 都造成 33%-48%的風倒率，二次颱風合計造成風倒率達 69–89％ (表 6)。但 3x3 m 栽植距離可增加桉樹抗風倒力，合計二次颱風風倒率僅 16%，降低風倒率達 53–73％。在苗栗休耕地的造林表現，赤桉高生長明顯高於尾巨桉，赤桉 K41 為抗釉小蜂品系，其他赤桉品系都發現釉小蜂，目前生長尚未影響。但蘇力颱風對苗較高的赤桉產生風害，風倒率達 33–68％，較矮的尾巨桉風倒則僅 13％，赤桉 K1 未發生風倒。本區赤桉生長比尾巨桉高，是因赤桉比較耐貧瘠及逆境，因此在水田地可推薦抗蟲赤桉品系。

表 5. 抗釉小蜂桉樹品種在花蓮平地造林之檢驗，栽植距離 3x3 m。

Table 5. Afforestation trial of *Eucalyptus* species with anti gall-forming wasps at Hualien county.

區集	赤巨桉 43			赤桉 K20			赤桉 K10			尾巨桉 33			尾巨桉 39		
	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月	初植	5 月	11 月
1	57	189	435	44	152	381	42	146	350	45	168	424	45	178	382
2	49	174	490	36	133	319	35	132	293	46	164	471	47	163	455
3	51	193	458	36	140	307	28	131	342	40	159	372	42	154	366
高平均	52	185	461	38	142	336	35	136	328	44	164	422	45	165	401
高 SD	4	10	28	5	10	40	7	8	31	3	5	49	2	12	47
胸徑平均			3.5			3.1			2.8			3.9			3.5
胸徑 SD			0.1			0.2			0.3			0.3			0.4

註：最高樹尾巨桉 7.3 m，胸徑 7.6 cm。

表 6. 2013 年颱風對花蓮光復區尾巨桉 39 不同栽植密度之風倒災害影響。

Table 6. Effect of Typhoon attack in 2013 on different planting densities of Eucalyptus UG39 on lodging rates of trees.

風倒度	2x2 m				2x2.5 m				2x3 m				3x3 m			
	蘇力		天兔		蘇力		天兔		蘇力		天兔		蘇力		天兔	
	均值	SD	均值	SD	均值	SD	均值	SD	均值	SD	均值	SD	均值	SD	均值	SD
全倒	21	8	19	17	17	14	30	13	22	12	29	5	4	1	4	1
半倒	6	3	4	4	6	2	6	3	10	5	10	6	2	2	2	2
傾斜	9	4	10	9	3	1	12	5	9	3	9	4	3	3	1	3
小計	36	9	33	8	26	18	48	8	41	24	48	10	9	3	7	3
合計	69				74				89				16			

註：2 次颱風風倒率會重複計算風倒株，天兔颱風風倒株部分是蘇力颱風風倒株扶正後再倒伏。

結論

1. 選拔出耐熱及短暫淹水之低海拔牛樟品系，可降低高溫級強陣風雨危害，102 年度協助完成林務局 5 個林管處建立牛樟採穗園，未來可生產扦插苗提供造林用。102 年度提供苗木給中興大學新化林場 0.2 公頃造林。技術移轉給產業苗木 2 萬株，在新竹造林 4 公頃。
2. 選拔出生長快速的抗簇葉病之耐熱泡桐，可利用種子繁殖，降低以前泡桐用種根繁殖產生大面積感病的風險，未來可推薦為活化休耕地短伐期經濟樹種中之用材樹種。
3. 選拔出 3 個耐病蟲之速生桉樹品系，及降低風害的造林技術，發展組培增殖技術，快速育苗，協助在苗栗建立活化休耕地短伐期樹種示範區 1.5 公頃，以利政策推廣契作造林。協助中興大學新化林產 1 公頃造林。
4. 所選拔的耐熱品系在花蓮農地、苗栗休耕地、台南新化農場各建立示範區，有助於活化休耕地政策推廣時，給農民與契作產業選種參考的依據。

致謝

作者感謝農委會科技計畫編號：102 農科-14.1.2-森-G1 的經費支持。

引用文獻

Ho, C-K. 2013. Selection, growing seedling, and demonstration afforestation. Forestry Research Newsletter. 20(4):29-35. (in Chinese)

Ho, C-K., Y-S. Cheng, U-R. Shiu, and S-H. Chang. 2011. Seedling growing and plantation of Cinnamomum kanehirae. Agriculture of National Chung Shing University. 76:2-9.

Tung G-S., and J. L. Salle 2010. Pest Alert-a Newly Discovered Invasion of Gall-forming Wasps, *Leptocybe invasa* (Fisher & La Salle), on *Eucalyptus* Trees in Taiwan. Formosan Entomologist. 30(3): 241-245.

Wu, M-L., L-M Jaung, C-K. Ho, C-Y. Lee, and T-H. Hung. 2012. PCR Technique applied to the ecologicalstudy of Paulownia witches'-broo disease in Taiwan. Taiwan J For Sci. 27(4): 345-356.

Selection and Utilization of Stresss Tolerant *Cinnamomum*, *Paulownia*, and Eucalyptus Hybrids

Cheng-Kuen Ho[1,3], Shu-Hwa Chang[1], Yung-Hsu Chen[1], Hsin-Hui Shih[1], Chia-Chen Wu[1] and Jung Chen[1]

Abstract

Annual value of production for mushroom and *Androdia cinnamomea* in Taiwan is about 8.5 billion NT dollars. The wood powder for this mushroom industry was 310 kilotons a year. With less 1% self-sufficiency ratio, the timber consumption is highly dependent on imports. To support mushroom and timber industries, fast growing trees planted in farm and plain land will become the major sources of logs in future. When industries invest afforestation of *Cinnamomum kanehirae* for *A. cinnamomea* fruit, *Eucalyptus* for mushroom and pulp, and *Paulownia* for timber, the climate adversity, such as long drought, flooding, and pathogen and insect attacks, will make great threat on these tree species, especially for some species that did not grow in plain. For selection of *C. kanehirae* with stress tolerance, we propagated the hot tolerant trees growing in plains, and hybrids of *C. kanehirae* x *C. camphor* as well. For selection of *Eucalyptus*, we micro-propagated 2 hybrids of E. urophylla x *grandis* introduced from China and 5 clones of *E. camadulensis* that might resist *Cryptosporiopsis eucalypti* and gall-forming wasps. For selection of *Paulownia*, we propagated hybrids of *P. taiwaniana* cross to *P. fortunei* with witchs'broom tolerance introduced from China. The mass-propagation including tissue cultures and cutting have developed, and thousands of propagules of these clones were produced for afforestation in Kuanfu, Hualien (a 4 ha farm belonging to Taiwan Sugar Corporation), and in Miali (a 1.5 ha fallow land). These two sites were under 3 typhoons (Soulik, Kongrey, Usagi) attack in 2013. Clones with climate adversity were selected, including 2 hybrids of *C. kanehirae* x *C. camphor*, and 4 clones of *C. kanehirae*, 2 hybrids of *E. urophylla* x *E. grandis* and 1 clones of *E. camaldulensis*, and 1 *Paulownia* hybrids. After one year plantation in stress field, these tree species with stress tolerance were confirmed. *C. kanehirae* clones increased 20% survival rate. Introduced *Eucalyptus* clones resist wasps and had the similar biomass as a superior clone without resistance previously selected. Plantation densities at 3x3 m as

replaced with 2x2 m used traditionally reduced wind damage up to 58%. *Paulownia* Pg clone with hot tolerance grew fast compare to non of native Taiwan Paulownia trees survived.

Keywords: Climate adversity, Races with tress tolerance, Self-sufficient rate of timber, Tree species for mushroom and timber.

1 Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture.

2 Division of Silviculture, Taiwan Forestry Research Institute, Council of Agriculture.

3 Corresponding Author, Email: ckho@tfri.gov.tw ; Tel: 04-23039978#2002.

國產水稻新穎性加工製品及專用米穀粉開發

宋鴻宜[1,6] 林貞信[2] 蔡明原[3] 蘇梅英[3] 須文宏[4] 陳時欣[4] 江伯源[5]

摘要

國人飲食西化及對各類麵粉製品的消費興趣提升，除嚴重影響國內米食消費量，也大幅提升國內小麥及其他雜糧進口量，使得糧食自給率下降，影響我國糧食安全，小麥、飼料玉米及大豆等穀物因國內不適合栽種或生產成本偏高，大多仰賴進口，若能妥善利用國內自給率較高的稻米，透過建立新興米食製品量產技術發展多元化產品，可減少對進口穀物之依賴及減緩全球氣候變遷對我國糧食安全之衝擊。

研究重點說明

為促進國產稻米替代進口作物，以 (一) 開創新用途，(二) 提昇量產技術，及(三) 增加附加價值三大策略作為計畫執行主軸，102 年主要研究重點如下：

(一) 開創新用途：以國產米為原料，開發可與麵粉及其他進口穀物競爭，具消費潛力之新用途及其量產技術。102 年度已建立蒟蒻米產品、米速食麵產品、速食米飯品質改進量產技術。

(二) 提昇量產技術：透過辦理國際研討會，強化我國與其他亞洲地區國家（如日、韓等國）新興米食開發技術交流，於 102 年辦理一場「米食加工技術交流國際研討會－從主食到多元化」及技術交流座談會。

(三) 增加附加價值：透過建立國產稻米基礎醫學數據或發掘機能性成分及開發高產值產品，提昇國產水稻之附加價值，促進國產米食製品消費，減少對進口穀物之依賴，102 年度已完成「強化發芽稻穀應用之研究」暨「建立國產米飯升醣指數資料促進米食消費之研究」二項計畫。

分項計畫執行方法及結果討論

一、開發蒟蒻米產品

（計畫主持人：屏東科技大學林貞信）

1 農糧署糧食產業組。
2 屏東科技大學食品科學系。
3 中華穀類食品工業術研究所。
4 宜蘭大學食品科學系。
5 中興大學食品暨應用生物科學系。
6 通訊作者 電子信箱：litahung@ms2.food.gov.tw；電話：02-23937231#549。

1. 研究方法

近年來因氣候之變遷，造成國際原物料價格高漲，且受到飲食西化及速食的影響，國人稻米消費量逐年下降，為因應現況，本研究使用蒟蒻粉與米穀粉為原料，藉由擠壓加工技術製作蒟蒻米，並針對擠壓條件和樣品進行探討。

擠壓試驗前，先對實驗原料進行一般組成分分析藉以了解原料組成及特性，以便調整擠壓條件使試驗順利。本研究計畫採用複因子實驗設計，探討擠壓加工程序變數對產品理化性質之影響，設定之變數為:蒟蒻粉比例 (5−10%)、螺軸轉速 (40−60rpm) 與加熱溫度 (50−90℃)。

首先，將蒟蒻粉與米穀粉依比例混合，待加熱套筒升溫達設定溫度並調整螺軸轉速，再以自動進料方式使原料從進料套筒落下，同時由給水孔開始給水，經過擠壓機混合、揉捏、壓縮與加熱等過程，最後由模口成形。

擠出物經由模口擠出後收集，以 40−45 恆溫烘箱烘乾 8−10 小時留存備用，烘乾後水分約為 10−12%左右，與生米水分接近，便於保存與進行理化性質分析。理化性質分析包刮樣品一般組成分、色澤、糊化度、溶解度、膨潤力、水溶性指標、質地分析與感官品評等項目，所得數據再以統計軟體進行分析。

2. 結果與討論

由表 1 可知，糊化度會隨著加熱溫度及螺軸轉速上升而有增加的趨勢。由於轉速增加，會造成機械剪力增加，若在糊化過程中實施以機械性的剪切力，如攪拌等則會破壞部分的澱粉顆粒結構，有利於糊化。一般傳統的煮米方式，米與水的比例為 1:1，但經過擠壓過程及加熱後，會造成澱粉原料糊化度的提高，如此可以減少煮米所需水量，亦可縮短蒸煮時間。在溶解度與膨潤度方面，隨著蒟蒻粉比例由 5%增加至 10%，溶解度有下降的趨勢，而各組間膨潤度雖略有差異，但添加蒟蒻粉之樣品則明顯高於市售粳米，顯示添加蒟蒻粉有助於體積膨脹，期望能藉此達到食用後有飽足感之目的。

表 1. 不同擠壓條件下樣品之溶解度、膨潤度與糊化度比較

	層級	溶解度	膨潤度	糊化度
台粳 9 號		2.54	6.63	14.63
	0	8.97[a]	7.12[c]	35.98[c]
蒟蒻粉比例(%)	5	6.51[b]	8.05[a]	38.73[b]
	10	1.08[c]	7.54[b]	40.85[a]
	40	3.89[a]	7.55[b]	24.17[c]
螺軸轉速(rpm)	50	3.96[c]	7.84[a]	37.44[b]
	60	3.54[b]	7.99[a]	54.62[a]
	50,70	4.33[a]	8.37[a]	35.31[c]
加熱溫度(℃)	60,80	3.94[a]	7.83[b]	39.48[b]
	70,90	3.11[b]	7.18[c]	44.58[a]

[a,b,c] Means within the same experimental variable followed by thedifferent letters are significantly different at 5% level by Duncan’s multiple range test.

另外，圖 1 為不同蒟蒻粉含量下蒟蒻米樣品的水溶性指標，水溶性指標代表澱粉分子在擠壓過程中裂解為可溶性物質的含量。由圖顯示，添加蒟蒻粉之組別其水溶性指標較空白組低，添加蒟蒻粉後可以降低水溶性指標，其原因可能是蒟蒻具有高保水能力 (high water holding capacity)，經過擠壓加工後可保持可溶性物質不流失。

3. 效益

因飲食西化與速食化影響，國內稻米的消費量逐年減低。本計畫利用蒟蒻不易消化而具有飽足感之特性，並利用擠壓加工技術具有混合、揉捏、剪切、加熱與成型等特性，開發蒟蒻米產品，有助提升稻米消費量，並活絡國內農地運用。

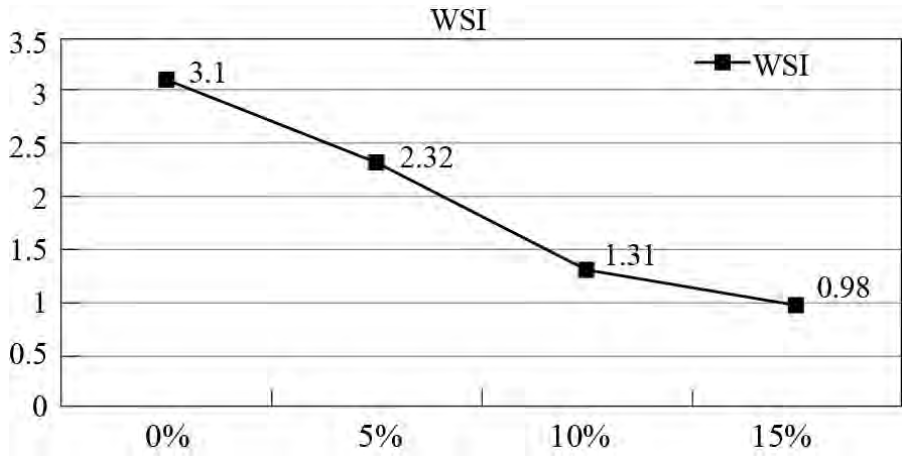


圖 1. 不同蒟蒻粉含量下蒟蒻米樣品的水溶性指標



圖 2. 蒟蒻米樣品、台粳 9 號米與日本大塚蒟蒻米之照片

二、米速食麵產品量產技術

（計畫主持人：中華穀類食品工業技術研究所蔡明原）

1. 研究方法

(1)原料選擇：國產米及公糧米(粳米及籼米)、中筋麵粉(蛋白質含量 9-11%)

(2)麵條製備

(a)復水速食麵

(b)即食點心麵

(3)吸油率、水分及水含量分析

(4)麵條烹煮特性分析

(a) 烹煮時間

(b) 泡麵質地分析

(5)感官品評

(6)試量產

(7)實驗流程圖 (圖 3)

2. 結果與討論

在麵帶製作時，添加米穀粉會增加吸水性，因此需要較多的水分製備完整麵帶，添加 10%米穀粉約需增加 1.5~2%的水分。在製程中，麵帶因為米穀粉的添加，壓延過程可明顯感受麵帶較軟，壓延厚度也變薄 (圖 4)，油炸後麵塊亦會隨著米穀粉添加越多，顏色越深 (圖 5)。

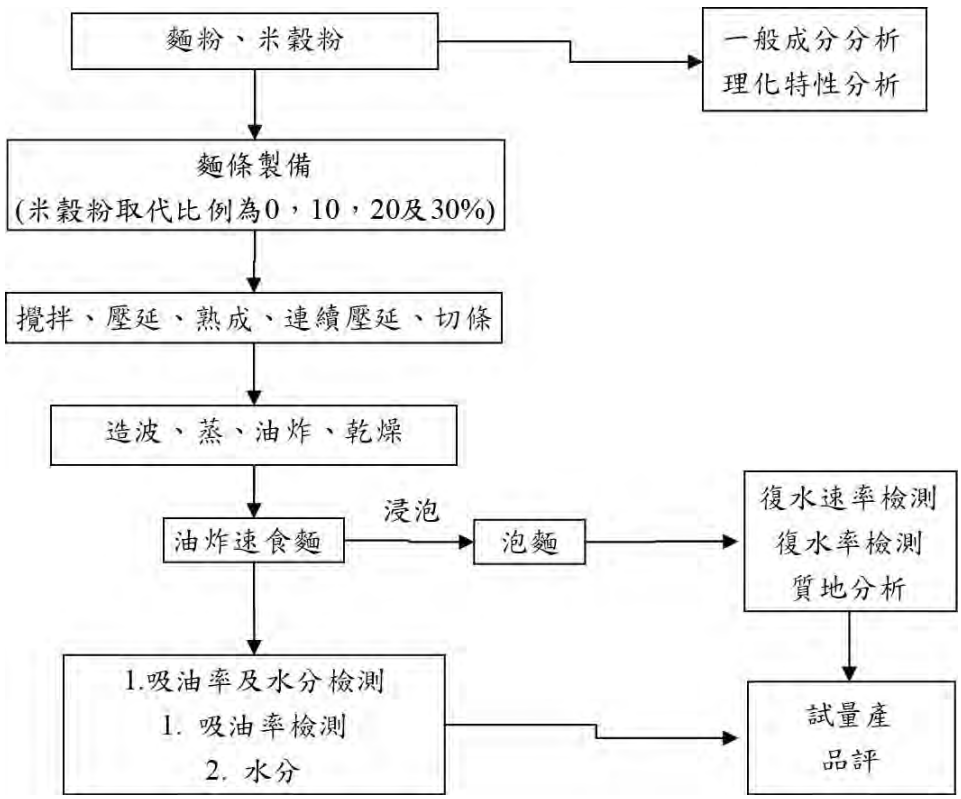


圖 3. 實驗流程圖

米穀粉取代麵粉製備米速食麵 (米點心麵) 可減少麵塊油炸後油脂含量，以速食麵為例，和未添加米穀粉的控制組比較，粗脂肪含量下降 (圖 6)，米穀粉取代度和油脂含量下降率成正相關。

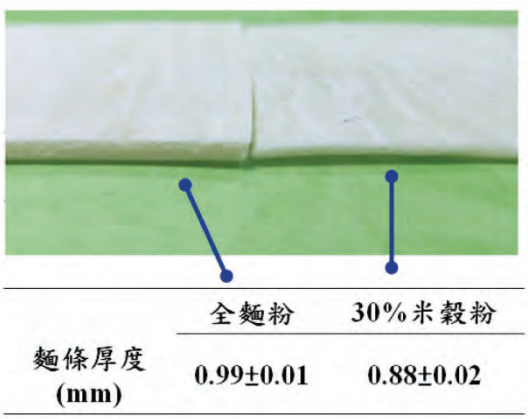
即食點心麵添加米穀粉後口感由酥脆型變硬脆型，由於不需考量復水後麵條特性，以 30%米穀粉取代度進行試量產，和市售點心麵 (科學麵、王子麵) 相比，粗脂肪含量降低 22.7~32% (市售產品粗脂肪 22~25%；30%米點心麵粗脂肪 17%)。米速食麵需考量麵條復水特性及質地，添加的米穀粉越多，復水後米速食麵硬度及拉伸強度皆下降，評估復水速率、吸油率及麵條品質結果，以 15%米穀粉取代度為試量產條件，品評結果和市售味味麵 (同一條生產線之市售品) 無差異 (圖 7)，整體分數 3.46，是評價很好的產品。

3. 效益

(1) 速食麵年產值約 104 億，米速食麵以市占率 1%粗估，可有約 1 億的產值。

(2) 以台灣每年速食麵需求量約 10 億包，每包麵塊重量約 80 克，10%米穀粉取代度來計算，每年可增加約 8000 公噸米穀粉用量，增加糧食自給率。

(3) 完成米速食麵量產技術一項。



	全麵粉	30%米穀粉
麵條厚度 (mm)	0.99±0.01	0.88±0.02

圖 4. 麵帶厚度差異

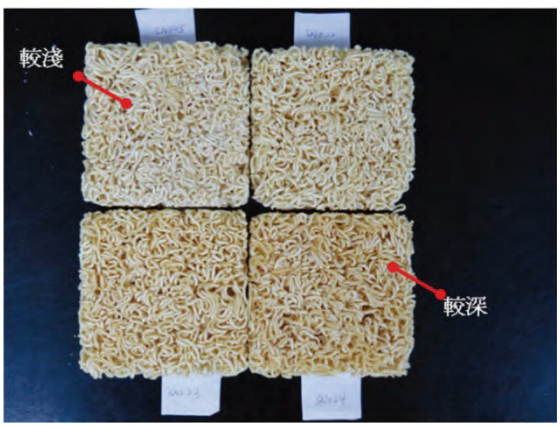


圖 5. 油炸後麵塊顏色差異

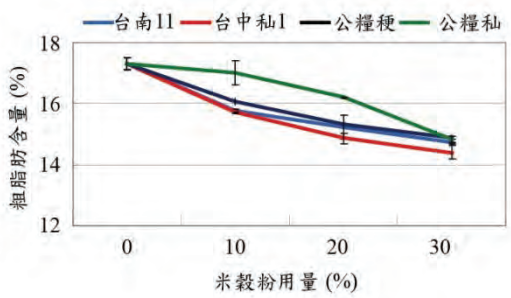


圖 6. 粗脂肪含量

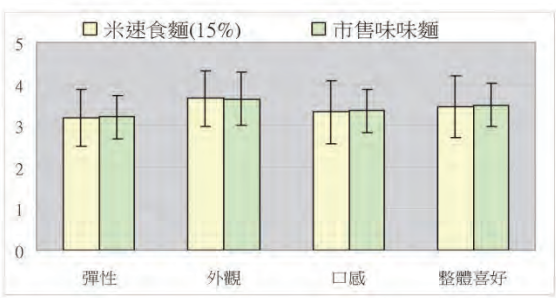


圖 7. 品評結果

三、速食米飯品質改進量產技術(圖 8)

（計畫主持人：中華穀類食品工業技術研究所蘇梅英）

1. 研究方法

(1) 一般組成分：水分、灰分、碳水化合物、粗蛋白及粗脂肪含量。

(2) 直鏈澱粉及支鏈澱粉：直鏈澱粉及支鏈澱粉:依 AACC 61-03.01 方法測定。

(3) 水活性:依水活性測定儀於 25℃下隨機取樣測定。

(4) 復水率:參考李 (2008) 之方法檢測，取 5 g 樣品於燒杯中，加入 100 ml 熱水 (95±5℃)，設定復水時間，取樣將除去速食米飯表面水分，樣品秤重 (R)。

Rehydration ratio=【R-(5 × D%)】/(5 × D%)

D%=1-W%

D%為樣品乾重

W%為水分乾重

(5) 硬度值及膠黏性：使用組織物性測定儀 (Stable Micro Systems TA-XT PLUS Texture Analysis)，參考宋及劉 (1996) 方法分析米飯物性，檢測項目為硬度值(H)及膠黏性 (-H)，並隨機取樣 9 粒米飯，採用九封格位置分佈擺放底座，利用圓形平面壓縮探頭 (probe) 進行分析，條件如下圖 9 所示。

(6) 品評試驗：將速食米飯樣品進行九分制嗜好性品評測試，品評人員為 20~30 人，評分項目分為外觀 (appearance)、口感 (mouthfeel)、整體接受 (overall)。

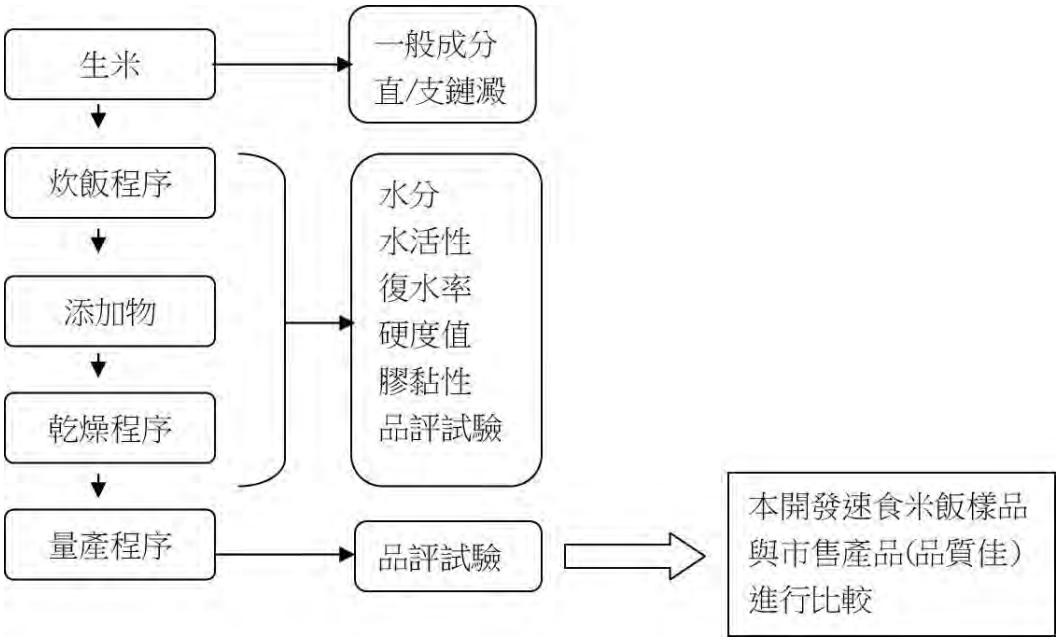


圖8. 速食米飯品質改進量產技術

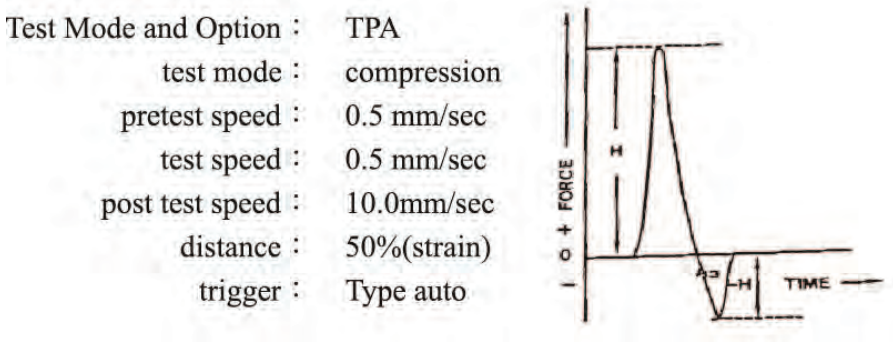


圖 9.

2. 結果與討論

本速食米飯樣品為 A、B 表示，並以不同製程條件，包含炊飯加水量、添加物及乾燥溫度等程序，以樣品控制水分 10%及水活性 0.5 為基準，並進一步建立「速食米飯量產技術」。實驗中檢測速食米飯之復水率、硬度值、膠黏性及品評試驗，對最終樣品之影響。

由實驗結果得知，經復水後米飯之復水率與硬度值呈反比 (圖 10、11)，表示復水率佳則硬度值較低，米飯口感較軟。在復水率 20 分鐘以樣品 A 為最高，相對的硬度值較低，米飯復水較佳。將樣品與市售產品之品評試驗 (圖 12)，說明樣品 A 與樣品 B 不論在外觀、口感及整體喜好比市售香積飯產品較佳，且與市售尾西產品 (品質佳) 無差異性。

本速食米飯技術開發重點為量產製程，關鍵條件控制包含炊飯加水量、添加物及二階段乾燥條件等，敘述如下：

(1) 若炊飯時加水量較低，糊化過程無足夠水分將米飯結構撐開，後續將造成乾燥後之速食米飯復水時口感較硬。

(2) 炊飯加入添加物 (膠體) 製程之速食米飯，可提高食用時之復水率。

(3) 乾燥時避開老化溫度條件，以二段式乾燥程序先進行較中低溫之乾燥條件，讓米粒中心及外層水分蒸散平衡，第二段再調高溫度進行乾燥完成，可製備出復水後品質口感較佳之速食米飯。

目前市售產品價格的 1/3 為估算為成本價 (表 2)，市售產品成本價格為尾西米飯(52 元/75g)、輕快風快煮米 (22 元/75g) 及香積飯 (29 元/75g)，其與本研究速食米飯量產樣品之成本價 (15 元/75g) 明顯差別，預估可減少 15~30%。

3. 效益

(1) 建立速食米飯製程之最適炊飯條件及二階段式量化乾燥程序，節省量產成本與工序，保留較國內外現有市售產品更佳之速食米飯復水品質與口感。

(2) 未來可導入相關新型態多元米食產品，如速食年糕、速食粿條等即食食品領域。

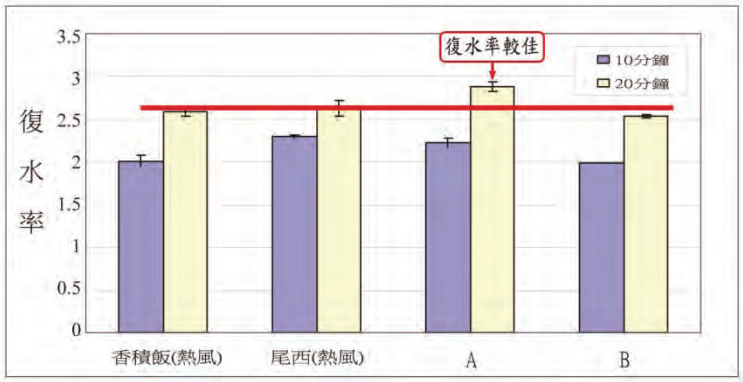


圖 10. 速食米飯之復水率

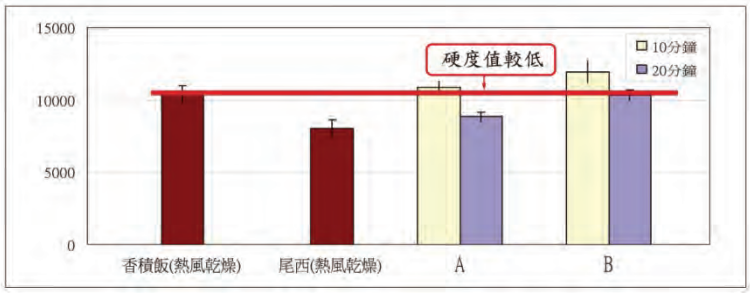


圖 11. 速食米飯之硬度值

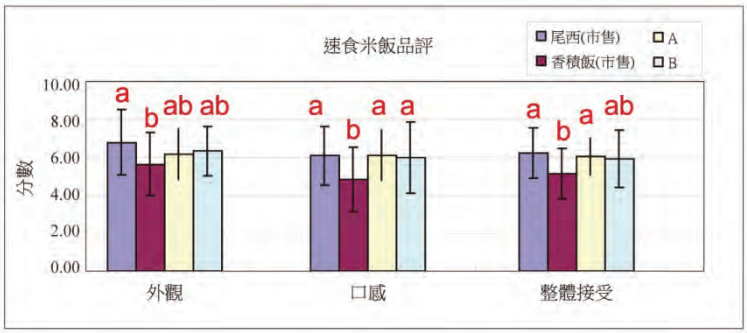


圖 12. 速食米飯之品評分析

(3) 預估速食米飯若能取代年產值 100 億元之速食麵市場 1-3%，則有約 3 億元之市場潛力，現有技術可技轉於團膳、速食食品等加工業者，所生產之速食米飯產品具儲存安定性、攜帶便利性、食用簡便性等優點，並有較速食麵蛋白質利用率高及好消化吸收之營養上優勢存在，產品並可推廣於即食食品、登山與急難救災等相關領域用途。

(4) 國產優質稻米，該量產技術開發適用於國內米食相關加工業者，可提升國產米儲存利用及攜帶便利性、並具有提昇速食米飯口感及降低成本等優勢，有助於國內外產業推廣使用，擴大國產稻米消費。

表 2. 速食米飯成本估算

市售產品	售價 (元)	成本價 (75g /元)
尾西速食米飯	207	52 元
輕快風快煮米	105	22 元
香積飯	80	29 元

項目	內容	價格 (75g/包)	備註
原料米	粳米 (14%)	4.8 元	回推水分%
設備耗能	炊飯蒸箱設備 乾燥設備	3.52 元	
包材	鋁箔夾鏈袋	5 元	含印刷
合計	速食米飯	13.32 元	直接成本

四、辦理米食加工趨勢國際研討會 -

從主食到多元化（計畫主持人：宜蘭大學須文宏）

1. 研究方法

本計畫以文獻回顧、國際研討會、專家座談會等三個面向辦理，以提供米食量產加工的新技術與新思維。

(1) 文獻回顧：請宜蘭大學食品科學系教授，分別針對主要米食加工研究重鎮，包含中國、台灣、印度、泰國、韓國、日本、美國、澳大利亞、歐洲、非洲等國家地區，進行文獻蒐集與研究，並撰寫文獻回顧 10 篇。

(2) 辦理米食加工技術交流國際研討會：邀請來自日本、韓國、與台灣的米食專家與學者進行演講。研討會同時以三機進行錄影，並邀請米食廠商及近年相關研究學者海報參展。研討會辦理完成後，針對活動演講影帶進行剪輯、後製、上字幕後，製作演講影片。

(3) 辦理米食加工技術交流專業座談會: 配合本次國際研討會辦理專業座談會，除本次邀請之國外講者外，將邀集產官學相關人士共同參與，進行更深入的技術交流座談。

2. 結果與討論

本案邀請學者撰寫 10 篇文獻回顧，針對重要國家地區的米食產品、相關研究進行分析，撰寫的篇名(及作者)分別為「米麵條的傳統與研究」(須文宏)、「中國米麵條的研究」(須文宏)、「米穀擠壓加工研究及發展」(陳輝煌)、「稻米加工副產品之利用」(陳輝煌)、「米包」(陳時欣)、「炊飯技術」(保愛貞)、「糙米食品及其加工技術」(黃俊儒)、「國人米食級主食類米食消費行為之調查研究」(江翠燕)、「速煮米」(余嚴尊)、及「發酵米製品」(余嚴尊)。

102 年 10 月 3 日舉辦的「米食加工技術交流國際研討會」於聯華實業國際會議廳舉行。會中邀請講者包含 Dr. Ken'ichi Ohtsubo(大坪研一、日本新潟大學自然科學系教授)、Dr. Malshick Shin (申末湜、韓國全南國立大學食品營養系教授)、Dr. Hiroharu

Yamada (山田博治、日本新潟大學特聘教授)、及博士(聯華實業股份有限公司研發技術總監)。他們分別以「從主食到多元化的米食加工技術開發」(大坪研一)、「以米穀粉製備無麩質產品」(申末湜)、「日本米加工產品的多元開發與推廣策略」(山田博治)、「台灣米穀粉加工現況與前瞻」(吳宗沛)，闡述日本、韓國、台灣相關米穀粉加工之研究與產業現況。本場次共計有 214 人參與。

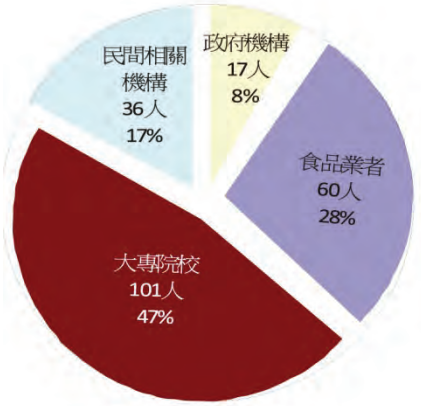
「2013 米食加工技術交流專業座談會」除上述講者外，還邀請到台灣大學食品科技研究所江文章教授與中華穀類食品工業技術研究所研發組組長蘇梅英博士共同出席，與現場參與業者與專家會談，針對米穀粉多元應用的研究與發展現況，國內及日韓米穀粉加工產業技術現況進行討論，共計有 40 人參與。

3. 效益

本案順利完成國際研討會、專家座談會之辦理，並邀請學者完成十篇米食加工與消費相關文獻匯整撰寫。本次研討會四場演講均經後製影片並上傳網路，可持續提供



米食加工技術交流國際研討會手冊封面



米食加工技術交流國際研討會參與人數與來源分析



2013 米食加工技術交流專業座談會現場

相關人士後續研究、教育、分享之目的。而十篇回顧文獻之撰寫，亦可望於來年出版成為米食專書，作為相關訊息提供重要管道。

五、強化發芽稻穀應用之研究

（計畫主持人：中興大學江伯源）

1. 研究方法

(1) 稻穀發芽生理變化-機制、構造、組成分、機能成分及酵素變化深入系列分析、了解，針對發芽的幼苗(芽)及種子(胚乳)進行機能成分萃取、濃縮、製備及加工技術研發。

(2) 稻穀發芽-高纖&葉綠素 (幼苗) 微粉製備及微膠囊化技術、新穎加工品研發。並完成組成分、機能成分及體外生理評估，未來可使產品機能化、營養化、保鍵化，追求多元化加工利用、研發基礎訊息。

(3) 稻穀發芽-酵素&機能 (種子胚乳) 微粉製備及微膠囊化技術、新穎&機能米食加工製品研發，創造新技術與應用，未來商品化潛力大，甚具市場開創力與競爭力。

2. 結果與討論

(1) 稻穀發芽酵素及機能成分萃取、製備技術

對提取發芽稻穀中的α-amylase 與各種有效成分，目前已研發萃取技術，並針對其萃取的溶劑、溫度、濃度及方法等，已找出較佳的萃取條件已可得到最高的萃取率，且對於萃取後所得的酵素及機能成分，後續的貯藏試驗及品質指標成分變化是重要的核心技術。

(2) 稻穀幼苗微(粉)化技術建立及體外生理功能評估

發芽稻穀製備、進行凍乾並微粉化處理，微粉化成不同粒徑的幼苗微 (粉)，分別為＞60、60~100、100~150、150~200、200mesh，針對不同粒徑的微粉，探討其機能成分與體外生理評估之特性，已找出營養性與理化特性最佳的條件，用以製備微膠囊及錠劑。

(3) 高纖＆葉綠素微膠囊化及新穎加工品研發

利用晶球製造器分別製作混合型及液蕊型的晶球，以稻苗萃取液作為兩種晶球的蕊材，海藻酸鈉與氯化鈣之交聯作用為製作兩種晶球的凝膠基礎，稻苗萃取液與膠體的濃度為重要因子，對晶球的外觀及凝膠特性有很大的影響。還有研發乳化的技術以改善稻苗萃取液的穩定性 (色澤、功能性等)，提高晶球的包覆率，並降低稻苗萃取液的滲漏情形。

(4) 高纖＆酵素微膠囊化及新穎加工品研發

利用晶球製造器分別製作混合型及液蕊型的晶球，以酵素(α-amylase)萃取液作為兩種晶球的蕊材，海藻酸鈉與氯化鈣之交聯作用為製作兩種晶球的凝膠基礎。

3. 效益

(1) 針對發芽稻穀，評估其生理及機能成分變化及利用：隨發芽時間延長，稻芽長度是呈正相關增加，膳食纖維、總葉綠素、類黃酮含量及抗氧化力均呈正增加。胚乳之澱粉分解酵素呈增加，受到酵素活性影響，其澱粉含量及顆粒均呈下降變化。

(2) 經發芽之稻芽可供抗氧化、膳食纖維，胚乳則可供 amylase 及 oligosaccharide 之機能素材；並可將其微粉化、微膠囊化(晶球)，提高機能成分之保護及腸道緩釋效果；本計畫未來可使發芽稻穀趨向機能化、保健化、營養化及追求多元化加工利用、研發之基礎。

六、建立國產米飯升醣指數資料促進米食消費之研究

（計畫主持人：宜蘭大學陳時欣）

1. 研究方法：

本計畫以 102 年國產一期粳米(台粳 9 號及台農 71 號)為標的物，探討期經過不同儲存條件後之酵素抗性及推算升糖指數。探討的儲存條件有隔餐飯(50^{o}C、4 hr)、隔夜飯 I (4^{o}C、24 hr)、隔夜飯 II (-18^{o}C、24 hr)、隔二夜飯 I (4^{o}C、48 hr)、隔二夜飯 II (-18^{o}C、48 hr)，對照組為新鮮烹煮米飯 (放涼至 37^{o}C)。

煮飯流程參考農委會網站加以修訂，步驟包含：洗米(使用適量的清水，快速清洗後將殘水迅速瀝乾 (重覆三次))、浸泡 (加入不同水米比的水量，浸泡 2 小時)、蒸煮(提供足夠的能量使澱粉糊化)、悶蒸 (利用鍋內餘溫燜 15 分鐘)、鬆飯 (以飯杓翻動米飯，再燜 15 分鐘讓米粒間的水份達平衡狀態)。以電鍋煮完後取出，待米飯冷卻至室溫後，進行不同條件的儲存。待測前以電鍋加熱 10 分鐘，於室溫下冷卻。

測試項目有：基本成分分析(水分、粗蛋白質、粗脂肪、粗灰分、碳水化合物)及替外酵素消化實驗及分析。進行水解指數 (HI)、升糖指數 (GI)、快速消化澱粉 (RDS)、慢速消化澱粉 (SDS) 及抗解澱粉 (RS) 的計算。

2. 結果與討論

結果得知隔餐飯的平衡水解值(C_{∞})均低於新鮮米飯，表示隔餐飯的體外酵素抗性高於新鮮米飯。隔餐飯的水解曲線也明顯的和新鮮米飯具差異性。經過 4^{o}C 及-18^{o}C 保存一天後的米飯樣品間彼此差異不大。經過 4^{o}C 及-18^{o}C 保存二天後的米飯，一般說來，樣品間彼此差異與儲存一天類似，但是台粳 9 號的平衡水解值C_{∞}偏高。比較相同溫度下，儲存時間愈長其動力學參數 k 值愈小，表示儲存時間和動力學參數 k 具負相關性。就動力學參數來說，除新鮮米飯(37^{o}C)外，台農 71 號的 k 值均較台粳 9 號低，表示台農 71 號在水解速率上較為緩慢，較有利於於血糖穩定及調控。回歸 R^2 都大於 0.97，表示回歸曲線與實驗數據的吻合性甚佳。

表 3 與表 4 為樣品的酵素消化參數(頓號)水解指數與推算升糖指數的計算值。此處，推算升糖指數採用的是 Goni 等 (1997) 的公式。由結果得知，兩種米的 GI 值雖然

表 3. 120 分鐘下，台粳 9 號和台農 71 號之水解動力學：平衡常數、反應速率常數及水解曲線面積

	C_∞ (%)	k × 100 (min^{-1})	AUC_{exp}	R^2
Taikeng 9				
37°C (fresh)	98.96 ± 0.78[a]	4.21 ± 0.13[cd]	9539.24 ± 43.20[a]	1.00
50 °C, 4 hr	86.01 ± 0.38[c]	5.34 ± 0.13[b]	8712.29 ± 28.15[c]	0.99
4 °C, 24 hr	91.76 ± 1.06[b]	6.14 ± 0.09[a]	9517.97 ± 89.72[a]	0.99
4 °C, 48 hr	92.28 ± 1.34[b]	4.35 ± 0.06[c]	8962.40 ± 151.78[b]	0.97
-18 °C, 24 hr	92.69 ± 0.98[b]	5.26 ± 0.11[b]	9363.27 ± 87.73[a]	0.99
-18°C, 48 hr	98.17 ± 0.98[a]	4.05 ± 0.05[d]	9376.21 ± 74.05[a]	0.99
Tainung 71				
37°C (fresh)	95.71 ± 0.52[a]	5.07 ± 0.05[a]	9601.75 ± 55.20[a]	0.99
50 °C, 4 hr	87.23 ± 0.43[c]	4.92 ± 0.05[ab]	8699.22 ± 36.98[d]	0.98
4 °C, 24 hr	92.54 ± 0.81[b]	4.74 ± 0.08[b]	9157.01 ± 50.37[b]	0.99
4 °C, 48 hr	93.18 ± 0.72[b]	3.84 ± 0.06[c]	8780.61 ± 38.43[d]	0.99
-18 °C, 24 hr	95.53 ± 0.33[a]	4.82 ± 0.21[b]	9482.92 ± 85.54[a]	0.99
-18°C, 48 hr	95.45 ± 1.07[a]	3.81 ± 0.07[c]	8975.92 ± 66.71[c]	0.99

表 4. 120 分鐘下，台粳 9 號和台農 71 號之之水解指數與推算升糖指數

	HI_{the}	eGI_{the}
Taikeng 9		
37°C (fresh)	64.64 ± 0.29[a]	75.20 ± 0.16[a]
50 °C, 4 hr	59.04 ± 0.19[c]	72.12 ± 0.10[c]
4 °C, 24 hr	64.50 ± 0.61[a]	75.12 ± 0.33[a]
4 °C, 48 hr	60.73 ± 1.03[b]	73.05 ± 0.56[b]
-18 °C, 24 hr	63.45 ± 0.59[a]	74.54 ± 0.33[a]
-18°C, 48 hr	63.53 ± 0.50[a]	74.59 ± 0.28[a]
Tainung 71		
37°C (fresh)	65.06 ± 0.37[a]	75.43 ± 0.21[a]
50 °C, 4 hr	58.95 ± 0.25[d]	72.07 ± 0.14[d]
4 °C, 24 hr	62.05 ± 0.34[b]	73.78 ± 0.19[b]
4 °C, 48 hr	59.50 ± 0.26[d]	72.37 ± 0.14[d]
-18 °C, 24 hr	64.26 ± 0.58[a]	74.99 ± 0.32[a]
-18°C, 48 hr	60.82 ± 0.45[c]	73.10 ± 0.25[c]

* Values represent Mean ± SD (n = 3).

** Values in a column for each sample with different superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

*** $eGI_{white\ bread}$ = 39.71 + 0.549 HI by Goni *et al*. (1997).

HI_{exp} and eGI_{exp} experimental value, HI_{the} and eGI_{the} theoretical value obtained with the equation.

具有統計差異，也跟儲存條件密切相關，但是都約落在 70 到 75 之間，表示台粳 9 號和台農 71 號都滿足中 GI 食品的規範 (60 < GI < 85，以麵包當參考值)，除了新鮮米飯外，台農 71 號的 GI 值都低於台粳 9 號。新鮮米飯的 GI 值也都高於經過儲存的米飯，其中以隔餐飯的 GI 表現最佳(低)，這應該與其水分含量較低有關。實驗顯示，過低溫的存放，對於 GI 的下降影響不大。在相同儲存溫度下，存放時間愈長水解指數 HI 值也愈小，隨之推算的升糖指數也愈小。這應該和長時間的儲存，讓澱粉分子 (直鏈或支鏈) 有機會重新排列成較緊密的結構，提高其對酵素的抗性。儲存溫度高，分子動能相對較大，可以在短時間重排，所以隔餐飯的 GI 表現都比低溫存者高。

3. 效益

(1) 本研究提供國產逢萊米台粳 9 號與台農 71 號於不同儲存溫度下的體外實驗水解結果，除獲得其水解動力參數外，並獲得其推算升糖指數，提供基礎生理數據。

(2) 本研究結果發現台粳 9 號與台農 71 號米飯均為中 GI 食品，且 GI 值偏向低 GI 的界線。有助於該米種的推廣與機能性發展。

(3) 本研究獲得儲存條件有利米飯酵素抗性的表現，有助於相關米食消費的參考與應用。

102 年主要產出

1. 新穎性米食加工製品量產技術共 3 項，102 年產出技術包括：蒟蒻米量產技術 1 項，米速食麵量產技術 1 項、速食米飯儲存技術 1 項。
2. 102 年辦理國際研討會 1 場，專業技術交流座談會 1 場，產出研討會手冊 1 冊，研討會實況錄影影片剪輯搭配字幕後置於網路，提供國內產、官、學界專業技術資訊。
3. 建立稻穀發芽－高纖＆葉綠素(幼苗)微粉製備及微膠囊化技術、酵素＆機能(種子胚乳)微粉製備及微膠囊化技術，發芽稻穀機能晶球製備技術，機能微粉化微膠囊技術。
4. 已建立米麵包建立米麵包體內升糖指數的生理數據、體外水解動力學的生化參數暨國內第一條米食的體內及體外實驗回歸公式，提供國產米食製品基礎飲食數據。

研究貢獻

一、論文發表

1. 吳蕙如、林泉昱、郭知靄、馮臨惠、**陳時欣** (Nov. 29, 2013) 儲存溫度及時間對國產米飯消化性質的影響體內試驗。第 43 屆台灣食品科技學術年會。東海大學，台中市。

2. 吳孟屏、馮臨惠、**陳時欣** (Nov. 29, 2013) 儲存溫度及時間對國產米飯消化性質的影

響體外試驗。第 43 屆台灣食品科技學術年會。東海大學，台中市。
3. 戴宜汾、王威晟、林靖雯、馮臨惠、**陳時欣** (Nov. 29, 2013) 製粉程序及糊化對若干國產米穀粉消化性質的影響-體外試驗。第 43 屆台灣食品科技學術年會。東海大學，台中市。
4. 郭詠梅、宋鴻宜、**江伯源**（Jun. 27, 2013）以外觀及物性因子探討發芽稻穀之生理及微細構造變化。第 51 次台灣農業化學學會年會。臺灣大學，臺北市。
5. 郭詠梅、李建和、**江伯源**(Nov. 29, 2013) 發芽稻穀－秧苗＆胚乳機能成分變化及抗氧化特性評估。第 43 屆台灣食品科技學術年會。東海大學，台中市。

二、技術移轉

1. 101 年度開發米籽條量產技術，技術移轉予慶禾豐食品有限公司、鴻德食品有限公司，鴻德食品有限公司並於 102 年取得雲林縣國中小學營養午餐米籽條供應合約。
2. 102 年度「開發食米飯品質改進量產技術」技術移轉予甫州實業有限公司，未來將開發外銷市場。
3. 102 年度「米速食麵量產技術」於 103 年技術移轉予中華民國農會，並委託味丹食品股份有限公司量產上市，於 103 年 10 月 1 日上市，月平均銷售量約 15 萬包。

三、其他

1. 研討會手冊
   a. 101 年米食加工與營養國際研討會-從主食到保健研討會手冊
   b. 101 年米食加工與營養國際研討會-從米飯到穀粉研討會手冊
   c. 101 年因應氣候變遷及良食安全知農業創新研究計畫成果發表會
   d. 102 年米食加工技術交流國際研討會-從主食到多元化
2. 研討會剪輯影片

   101 年國際研討會剪輯影片－(102 年國際研討會影片尚在剪輯中)

   a. 加工技術對米食消化性質影響（Dr. NobuyaShirai(白井展也)：日本全國蔬菜與茶葉研究所(NIVTS,NARO)）
   影片網址－http://www.youtube.com/watch?v=mTuAPFac9yA

   b. 國內米食加工與保健營養研究發展現況（Dr. Shin Lu(盧訓)：中華穀類食品工業技術研究所所長）
   影片網址－http://www.youtube.com/watch?v=7oGqBcp6SOM

   c. 米的營養特性及保健功效（Dr. Melissa Fitzgerald：國際稻米品質網(INQR)主席、昆士蘭大學食品科學系系主任）
   影片網址－http://www.youtube.com/watch?v=Pbhkl0FjW_0

d. 米穀粉添加對烘焙及米食品營養之影響（Dr. Ken‘ichiOhtsubo(大坪研一)：日本新潟大學自然科學系教授，前日本食品綜合研究所部長(NFRI,NARO)）

影片網址－http://www.youtube.com/watch?v=NT3-3t64xOk

3. 專書

米食研究專書出版：米思、迷思－近代的稻米科學研究（須文宏主編　2013.04.10 出版一刷 ISBN : 978-986-03-5946-6）

結論

透過米穀粉及新興米食之加工用研究，提供新形態米食加工品開發量產基礎，開發具機能性、新穎性、方便性、可口性之新興米食製品，可以在不改變國人現有飲食習慣下增加多元化米食消費選擇，並創造國產水稻附加價值與競爭性，發揮在地生產與品質穩定之優勢，創造全新米食產業鏈，並減少對進口穀物之依賴，達到提升糧食安全之目標。

北中南東地區環境親和型作物輪作經營模式之建立

楊志維[1,5] 戴振洋[2] 詹碧連[3] 余德發[4]

摘要

本試驗旨在探討利用環境親和型的作物輪作經營模式，來達到因應氣候變遷及提高糧食自給率的目的。在北部地區將二期連作水稻模式規劃成一期水稻，秋作旱作 (落花生、硬質玉米及甘藷) 的耕作模式，結果顯示種植水稻可減少農藥施用量，旱田則採用不 (低) 整地耕作措施來達到農地永續利用及環境親和之水旱田輪作經營模式；中部地區探討不同施肥量對作物生長與土壤環境之影響，結果顯示水稻-蔬菜-小麥輪作可降低施肥量來達到生產與環境兼顧；南部地區探討不同旱田輪作模式之經濟效益，結果顯示以薏苡-綠肥田菁-胡麻輪作模式之公頃淨收益最多；東部地區探討不同肥料及農藥投入量對於水旱輪作作物生長之影響，結果顯示可減少肥料及農藥投入、利用忌避作物及非農藥防治法達到環境親和水旱輪作經營模式的建立。

關鍵詞：環境親和型耕作制度。

前言

氣候變遷是近幾年影響人類生活與世界各國關切的議題，其顯著的影響包括全球暖化與極端異常氣候對生存環境所帶來的威脅。農業是人類維持生命存續的必要產業活動，然而，相較於其它產業，由於農業高度依賴自然資源，對於氣候變化也相對敏感，為最明顯感受暖化問題嚴重性的產業，因此，該如何因應氣候變遷的衝擊已是刻不容緩的事，也為世界各國在面對 21 世紀全球人類最大挑戰時的重要課題。農業在面對氣候變遷所帶來環境改變的衝擊與影響時，該如何運用農業科技作好萬全的準備，讓衝擊與損害降到最低，以及結合永續發展基礎，使農業朝向永續、安全的未來，為全民共同面對的一大考驗。

在台灣農作操作模式，以全年持續性栽培為主，易因施肥及噴灑農藥等農事操作不慎，致使栽培環境惡化，面臨生產困難之瓶頸及土壤累積肥料鹽分等問題。然而，近年來，我國每年進口大量的玉米、大豆、小麥等糧食作物。且國內水資源亦漸呈不足的現象，種植水稻其生長過程需要較多的水量，而生產雜糧作物如玉米、胡麻、黑

1 桃園區農業改良場。
2 台中區農業改良場。
3 台南區農業改良場。
4 花蓮區農業改良場。
5 通訊作者 電子信箱：zwyang@tydais.gov.tw；電話：03-4768216#255。

豆、綠豆、薏苡等其需水量是水稻的 23%。因此，面對農業生態環境日益惡化的現實，需重新審視現行農業操作模式，以積極開展環境親和型農業新技術的研究開發與普及推廣。

故本試驗為因應氣候暖化及環境變遷對農業之衝擊，並期符合節能、低污染之環保趨勢，擬開發並建立適合之作物輪作經營模式，探討不同肥料及農藥投入量對土壤環境之影響，採用不(低)整地栽培方式，減少耕犁對土壤環境的破壞，種植綠肥作物來提高土壤有機質含量並降低肥料用量，作物輪作制度對雜草與病蟲害發生種類及密度之消長變化，作物輪作所需灌溉水量以及評估輪作經營模式之經濟效益。期望藉由環境親和型作物輪作栽培制度的建立，使水資源利用更合理化外，並增進土壤肥力，減少病蟲害滋生繁衍及肥料投入，降低生產成本及減少休耕面積，有效控制稻米生產及提高雜糧自給率，以達成農地永續利用，提高農民收益。

材料與方法

一、北部地區：

1.試驗材料：水稻、硬質玉米、甘藷、落花生。2.試驗處理：(1)水稻-秋作甘藷；(2)水稻-秋作落花生；(3)水稻-秋作硬質玉米，並以；(4)水稻-二期水稻為對照。

二、中部地區：

1.輪作作物：水稻、甘藍及小麥作物（或綠肥)。2.試驗處理：一期水稻（慣行及合理化施肥)，夏作蔬菜-甘藍（慣行及合理化施肥)，秋冬作（小麥及綠肥作物)。

三、南部地區：

耕作制度為：1.甜玉米-綠肥田菁-胡麻；2.甜玉米-綠肥田菁-黑豆；3.綠豆-綠肥田菁-甜玉米；4.黑豆-綠肥田菁-甜玉米；5.紅高粱-綠肥田菁-綠豆；6.薏苡-綠肥田菁-胡麻等。

四、東部地區：

花蓮地區以一期作大豆、二期作水稻與一期作飼料玉米、二期作水稻兩種耕作模式，分為環境親和型區 (減肥減藥) 及傳統栽培區 (對照區)。以宜蘭地區水稻耕作模式為基礎，並與青蔥輪作栽培，配合種植具忌避功效之綠肥作物。

五、資料統計分析：

以統計軟體 SAS 9.1 程式進行變方分析 (SAS Institute, 1999)，並以 Fisher 的最小顯著差異性測驗 (Fisher’s protected least significant difference test, LSD test) 比較平均值之差異顯著性。

結果與討論

一、北部地區

第一期作種植水稻之環境親和為不施用、半量及全量農藥處理，種植前土壤分析結果土壤酸鹼值為 6.0，電導度為 0.1 dS m^{-1}，有機質為 2.6%，每公頃磷酐、氧化鉀、氧化鈣及氧化鎂分別為 67、291、2388 及 516 公斤，收穫後水稻每公頃產量介於 2506~2915 公斤，結果顯示全量及不施農藥水稻收穫後產量無顯著性差異 (表 1)；種植水稻收穫後土壤分析結果土壤酸鹼值介於 5.1~5.5，電導度介於 0.12~0.15 dS m^{-1}，有機質介於 2.9~3.4%，每公頃磷酐、氧化鉀、氧化鈣及氧化鎂分別介於 63~122、183~236、2242~3095 及 567~721 公斤，秋作種植硬質玉米、甘藷及落花生之環境親和為不 (低) 整地及整地處理，結果顯示產量並無顯著性差異 (表 2)。

北部地區作物栽培的有利條件為作物生長過程病蟲害發生情況不若中、南部嚴重，農藥使用量少，化學肥料亦合理施用，可推廣生產優質健康的作物，以供眾多的都會人口消費食用。惟農戶的生產面積小且零散，生產規模不大，導致生產成本提高，北部地區從農人口平均年齡高，僱工工資及機械代工操作之成本亦高，青壯人口不願承接續作，更使休耕面積增加。故北部地區如欲活化休耕地種植旱作作物，必須以產銷班為單位，朝省工栽培契作及機械化操作，降低生產成本，建議北部地區種植水稻

表 1. 北部地區施用不同農藥量處理對水稻農藝性狀及產量構成要素之影響。
Table 1. Effects of different amounts of pesticides on agronomic characters and yield components of paddy rice in northern Taiwan.

農藥處理	株高 cm	穗數 no. plant^{-1}	每穗粒數 no. panicle^{-1}	稔實率 %	千粒重 g	產量 kg ha^{-1}
全量	93.4 a[z]	19.8 a	77.7 a	89.0 a	28.7 a	2,915 a
半量	92.2 a	18.9 a	75.9 a	89.8 a	28.4 a	2,530 a
不施用	94.0 a	20.0 a	74.1 a	88.1 a	27.6 a	2,703 a

[z] 同行英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

表 2. 北部地區不同耕犁處理對甘藷、硬質玉米及落花生產量之影響。
Table 2. Effects of different tillage on yield of sweet potato, corn and groundnut in northern Taiwan.

作物	甘藷		硬質玉米		落花生
耕犁處理	桃園 3 號	台農 57 號	台南 24 號	農興 688	台南選 9 號
	---------- kg ha^{-1} ----------				
整地	20,222 a[z]	15,895 a	5,868 a	5,125 a	1,054 a
不(低)整地	19,800 a	15,020 a	5,700 a	5,010 a	1,040 a

[z] 同行英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

可減少農藥施用量，旱田則採用不(低)整地耕作措施來達到農地永續利用及環境親和之水旱田輪作經營模式。

二、中部地區

由試驗結果顯示，一期作水稻，不同處理間對水稻生育影響不顯著，但穀粒粗蛋白質含量以慣行栽培處理較高，致使食味較親和栽培處理差 (表 3)。水稻栽培後對土壤化學性質方面，以慣行栽培在土層 15-30 公分處銨態態氮 ($NH4^+$)含量最高，硝酸態氮 ($NO3^-$)在不同土層間（地面下 15 公分、30 公分及 60 公分)處理間，以慣行栽培處理略高於親和栽培處理，但差異不顯著 (表 4)。後續輪作栽培甘藍方面，不同栽培處理除了在葉球徑有顯著性差異外，分別為 18.9 公分及 17.9 公分，其餘性狀差異不顯著(表 5)，生產成本則慣行栽培處理每公斤平均成本為 7.1 元，而親和栽培處理 7.9 元 (表 6)。裡作小麥種植，結果顯示小麥台中選 2 號慣行栽培處理產量為 2,680 公斤，較環境親和栽培處理 2,630 公斤略增產 1.9%。研究顯示適當降低肥料的施用量，對作物生長表現及產量等並無顯著差異，不同作物輪作顯示可降低施肥量達到生產與環境兼顧。

表 3. 中部地區水稻親和栽培及慣行栽培處理之品質分析。
Table 3. The quality of different cropping system on rice in central Taiwan.

處理	糙米率%	白米率%	完整米率%	粗蛋白質含量%
慣行栽培	81.17 a[z]	71.33 a	62.32 a	5.93 a
親和栽培	80.77 a	71.57 a	61.84 a	5.71 b

[z] 同行英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

表 4. 中部地區水稻親和栽培及慣行栽培處理對土壤化學性質之影響。
Table 4. Effect of different cropping system on the concentration of element in soil after 1st crop rice experiment in central Taiwan.

處理別	土層 cm	pH 值	EC dS m^{-1}	OM g kg^{-1}	全氮 g kg^{-1}	NH_4^+	NO_3^-
						-----mg kg^{-1}-----	
慣行栽培	15	7.87 a[z]	0.57 a	16.4 a	1.24 a	8.5 a	12.3 a
親和栽培	15	7.84 a	0.46 a	16.3 a	1.14 a	7.0 a	8.3 a
慣行栽培	30	8.01 a	0.45 a	11.8 a	1.03 a	8.0 a	8.0 a
親和栽培	30	8.08 a	0.36 a	12.4 a	0.98 a	6.0 b	7.0 a
慣行栽培	60	8.01 a	0.17 a	0.7 a	0.43 a	5.0 a	4.0 a
親和栽培	60	7.96 a	0.17 a	2.4 a	0.32 a	4.0 a	2.6 a

[z] 同行英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

表 5. 中部地區夏作甘藍親和栽培及慣行栽培處理之產量與園藝特性。

Table 5. The effects of different cropping system on yield and fruit characteristics of cabbage at summer in central Taiwan.

處理	株高 cm	展幅 cm	最大葉長 cm	最大葉寬 cm	單球重 g	葉球高 cm	葉球徑 cm	糖度 Brix°	產量 kg 0.1ha^{-1}
慣行栽培	29.8 a[z]	64.1 a	31.9 a	32.4 a	1,009 a	11.3 a	18.9 a	5.45 a	3,330 a
親和栽培	29.8 a	59.9 a	31.2 a	31.8 a	895 a	16.9 a	17.9 b	5.30 a	2,953 a

[z] 同行英文字母相同者表示經 Fisher 的最小顯著差異性測驗在 5%水準差異不顯著。

表 6. 中部地區夏作甘藍親和栽培及慣行栽培處理之生產成本。

Table 6. The production cost of different cropping system on cabbage at summer in central Taiwan.

項目	慣行栽培	親和栽培
	NT $ ha^{-1}	
種苗費	26,400	26,400
肥料費	29,440	28,234
農藥費	51,114	51,114
人工費	110,543	110,543
機工費(整地、採收)	18,468	18,468
總生產成本	235,965	234,759
總產量	33,300 公斤	29,630 公斤
每公斤平均成本	7.1 元	7.9 元

三、南部地區

旱田輪作制度各耕作模式全年淨收益，依次為薏苡-綠肥田菁-胡麻之公頃淨收益 506,830 元最多，其次為甜玉米-綠肥田菁-胡麻之 441,850 元，紅高粱-綠肥田菁-綠豆 46,310 元，甜玉米-綠肥田菁-黑豆 209,030 元，綠豆-綠肥田菁-甜玉米 109,820 元，黑豆-綠肥田菁-甜玉米 101,260 元 (表 7)。旱田輪作制度全年田間公頃總用水量 (灌溉水量加降雨量)，甜玉米-綠肥田菁-胡麻 10,319 立方公尺；甜玉米-綠肥田菁-黑豆 10,690 立方公尺；綠豆-綠肥田菁-甜玉米 16,897 立方公尺；黑豆-綠肥田菁-甜玉米 16,904 立方公尺；紅高粱-綠肥田菁-綠豆 15,925 立方公尺；薏苡-綠肥田菁-胡麻 16,717 立方公尺 (表 8)。故作物產值以秋作胡麻 338,550 元/公頃最高，輪作模式全年淨收益以薏苡-綠肥田菁-胡麻之公頃淨收益最多。輪作模式田間公頃總用水量 (灌溉水量加降雨量) 以甜玉米-綠肥田菁-胡麻最少。因此，在南部地區轉作生產雜糧 (胡麻、薏苡) 等作物活化休耕農地，取代進口作物，並有效的利用水資源，提高國內糧食自給率。

四、東部地區

花蓮地區試驗結果顯示春作大豆籽粒公頃產量親和型區為 1,960 公斤，較傳統栽培區之大豆籽粒公頃產量 2,038 公斤略為減產 (表 9)；硬質玉米籽粒公頃產量親和型區為 3,235 公斤，較傳統栽培區之硬質玉米籽粒公頃產量 3,292 公斤略為減產 (表 9)。一期大豆-二期水稻之水稻公頃穀粒產量親和型區為 3,935 公斤，較傳統栽培區之公頃穀粒產量 4,581 公斤略為減產 (表 10)；一期硬質玉米-二期水稻之水稻公頃穀粒產量親和型區為 3,913 公斤，較傳統栽培區之公頃穀粒產量 4,953 公斤略為減產 (表 10)。

宜蘭縣地區水稻生育期間親和型區施用木黴菌等非農藥防治，較對照區少用 2 次化學農藥，試驗結果顯示在產量、稻熱病及紋枯病之罹病率上均無顯著差異；輪作青蔥，親和型區前作為萬壽菊綠肥，病蟲害防治次數減少 20%，對照組前作為田菁綠肥，產量調查顯示處理與對照間無顯著差異。因此，在花蓮地區之水旱田輪作模式結果顯示大豆及硬質玉米栽培可採用環境親和型的栽培方式達到作物生產的目的。而宜蘭地區可建議農友使用非農藥防治法，以減少化學農藥之使用，建立親和型栽培體系。

表 7. 南部地區旱田輪作制度之全年淨收益。

Table 7. Average net income for different cropping systems in southern Taiwan.

耕 作 制 度	春作 淨收益	夏作 淨收益	秋作 淨收益	合計 淨收益
	---------- (元/公頃) ----------			
甜玉米-綠肥田菁-胡麻	122,740	-10,940	330,050	441,850
甜玉米-綠肥田菁-黑豆	118,320	-10,940	101,650	209,030
綠豆-綠肥田菁-甜玉米	-5,230	-10,940	125,990	109,820
黑豆-綠肥田菁-甜玉米	23,000	-10,940	89,200	101,260
紅高粱-綠肥田菁-綠豆	-1,150	-10,940	58,400	46,310
薏苡-綠肥田菁-胡麻	133,960	-10,940	249,850	506,830

表 8. 南部地區旱田輪作制度田間總用水量。

Table 8. Average irrigation water volume for different cropping systems in southern Taiwan.

耕 作 制 度	灌溉水量	田間降雨量	總用水量
	---------- m^3 ----------		
甜玉米-綠肥田菁-胡麻	1,120	9,199	10,319
甜玉米-綠肥田菁-黑豆	1,120	9,570	10,690
綠豆-綠肥田菁-甜玉米	1,300	15,597	16,897
黑豆-綠肥田菁-甜玉米	1,300	15,604	16,904
紅高粱-綠肥田菁-綠豆	1,120	14,805	15,925
薏苡-綠肥田菁-胡麻	1,120	15,597	16,717

結論

台灣近年來稻田的利用遭遇許多問題，特別是北部地區二期稻作農民常因栽培利潤偏低而休耕，南部地區一期稻作經常遭遇缺水而宣佈休耕，這些休耕稻田的利用及維護是值得重視的問題。再加上推行水旱田調整計劃，釋放大面積休耕田，在這些休耕田上種植綠肥作物如春夏季之田菁、青皮豆，秋冬季之埃及三葉草、油菜等，可保護土壤、增加肥力、抑制雜草滋生。利用生物肥料來栽培水稻，實為一減輕化學肥料對土壤環境的衝擊，並增加土壤微生物相，達到土壤環境生物多樣性的環境親和型栽培方式，確保土壤對於氣候變遷的緩衝能力，使得作物栽培得以少施用農藥。而對於台灣而言，要達到農業永續經營的目標，必須朝向農業環境生物多樣性及盡量以有機耕作方式來達到環境親和的栽培制度，讓作物栽培與自然環境達到一種動態平衡。綜合以上成果，可建議農民採行對環境友善及親和的農耕制度，降低肥料與農藥的投入，種植綠肥作物增進土壤肥力，以及合理化施肥提升肥料利用效率，減輕農耕制度對環境的衝擊，然而政府部門也必須其採行之措施給予補助及鼓勵，方能維持農業永續的耕作體系，達到緩解氣候變遷的目標。

表 9. 東部地區春作大豆及硬質玉米環境親和型和傳統栽培之農藝性狀及產量調查。
Table 9. The agronomic traits and yield of spring cropping soybean and corn with environment friendly and traditional culture in eastern Taiwan.

作物	處理	株高 (公分)	單株莢數 (莢/株)	百粒種（克）	籽粒產量 （公斤/公頃）
大豆	環境親和型區	49.4±1.9	71.9±4.7	19.6±1.7	1,960
	傳統栽培區	54.2±2.6	73.1±7.4	20.4±0.6	2,038
硬質玉米	環境親和型區	253±9.5	19.8±1.0	23.0±1.6	3,235
	傳統栽培區	253±4.0	19.9±0.3	23.0±1.8	3,292

表 10. 東部地區秋作水稻環境親和型和傳統栽培之農藝性狀及產量調查。
Table 10. The agronomic traits and yield of fall cropping rice with environment friendly and traditional culture in eastern Taiwan.

作物	處理	株高 (公分)	穗數 (穗/株)	千粒種（克）	穀粒產量 （公斤/公頃）
大豆-水稻	環境親和型區	89.2±1.5	14.7±06	25.5±0.6	3,935
	傳統栽培區	104±6.6	16.0±05	24.9±0.2	4,581
硬質玉米-水稻	環境親和型區	93.7±2.3	13.6±1.1	24.9±0.5	3,913
	傳統栽培區	106±3.2	15.5±1.2	24.8±0.5	4,953

引用文獻

木村武，1996。設施園藝環境保全型土壤肥培管理，日本土壤肥料學雜誌，70（6）：475-480。

王永靜、程廣斌，2007。日本環境保全型農業對其我國的啓示，安徽農業科學，35(16):4949-4952。

宋勳、洪梅珠、許愛娜，1991。台灣稻米品質之研究，台中區農業改良場，5-36。

巫嘉昌、朱鈞，1994。綠肥栽培與利用，科學農業，42: 259-265。

吳詩都、許東暉、宋勳、曾富生，1986。期作分裂淘汰及不同栽培地區對水稻雜種集團育種行為之影響，農林學報，35：1-36。

吳純宜、蔡永暐，2006。有機蔬菜連作與輪作組合之研究，高雄區農業改良場研究彙報，17(1)：42-50。

吳昭慧、吳文政、連大進、黃山內，2007。綠肥大豆對水稻產量級土壤肥料之影響，臺南區農業改良場研究彙報，49:49-55。

周國隆，1999。二年制輪作制度對澎湖雜糧作物生產力之影響，高雄區農業改良場研究彙報，10(2): 1-11。

林萬居，1995。玉米省工栽培技術之探討，雜糧作物生產改進計劃執行成果報告，11-20。

林孟輝、辛仲文、許苑培，1998。北部地區稻田耕作制度及灌溉方法對作物產量之影響研究，桃園區農業改良場研究報告，35：1-10。

岩崎貢三、竹尾優子、田中壯太、櫻井克年，2001。環境保全型農業導入前後設施栽培土壤之養分累積型態之比較，日本土壤肥料學雜誌，72（2）：265-267。

侯福分、林文龍，1984。不整地栽培法之研究及展望，科學農業，32:351-355。

徐木英、林仁德，1980。水田冬季裡作玉米省工栽培試驗，雜糧作物試驗研究簡報，21:202-203。

徐華盛、蔡永暐，2001。不同農耕法及輪作系統之比較研究，高雄區農業改良場研究彙報，12(2): 37-54。

殷正華，2008。由前膽趨勢分析日本安全農業發展願景與生技策略之運用，農業生技產業季刊，8-16。

高得錚，1989。農藝作物有機栽培法之探討，謝順景、謝慶芳主編，有機農業研討會專輯，臺中區農業改良場編印，117-132。

許福星、成游貴、李美珠，1994。芻料作物生產及利用，台灣省畜產試驗所編印。

許廷宇，2008。間作對青蔥有機栽培生產之影響，國立宜蘭大學園藝學系碩士論文。

許福星、洪國源，1990。牧草栽培管理及利用，台灣牧草研究專討會專輯，137-152。

莊濬瓊，1981。裡作玉米省工栽培法之研究，雜糧作物試驗研究簡報，22:284-288。

莊同春，2006。日本環境保全型農業概述及啓迪，黑龍江農業科學，6：83-85。

張建生，1994。降低玉米產銷成本技術示範與推廣，雜糧作物生產改進計劃執行成果報告，165-170。

連 深、王鐘和。1988。田菁中間作與與耘方式對水稻與玉米輪作田土壤理化性質及玉米產量之影響中華農業研究 37(4)：416-423。

郭能成、林萬居、黃尚義，1988。玉米不整地栽培技術之研究，雜糧作物試驗研究年報，243-247。

陳世雄，1991。曬田對水稻磷之吸收及分蘗之影響，中華農藝，1：277-291。
陳世雄，1992。土壤還元電位對水稻根活性與光合作用之影響，中華農藝，2：169-181。
都韶婷、章永松、林咸永、王月、李剛、張英鵬，2007。蔬菜積累的硝酸鹽及其對人體健康的影響，中日農業科學，49(9)：2007-2014。
詹朝清、丁文彥、呂文通，1991。腐植酸及有機質肥料對青蔥生長及連作之影響花蓮區研究彙報，7:133-145。
詹碧連、吳炎融、游添榮，2011。有效利用水資源建立雲嘉南地區適當的耕作制度，臺南區農業專訊第 78 期，25-27。
詹碧連、王培珊、詹雅勛，2012。雲嘉南地區稻田耕作制度之研究，台南區農業改良場研究彙報，59: 15-25。
楊秀平、孫東升，2006。日本環境保全型農業的發展，世界農業，9：82-130。
蔣慕琰、呂理燊，1982。臺灣稻田雜草及其危害，中華民國雜草協會會刊，3:18-46。
蔣慕琰、蔣永正，1983。臺灣旱田雜草之種類生態及危害，中華民國雜草協會會刊，4:31-40。
蔣汝國、黃小珍，2004。直播及節水栽培對水稻用水量及產量之影響，台南區農業專訊第 50 期，13-16。
蔡永暐，2006。施肥對輪作田有機水稻及蔬菜生產之影響，高雄區農業改良場研究彙報，17(2): 1-18。
鄭書杏，1994。利用綠肥輪作提高作物產量及品質，花蓮區農業改良場農技報導，25:1-3。
鄭書杏、簡文憲、洪汝煌，1992。水田不同耕作制度與作物生產力之關係，花蓮區農業改良場研究彙報，8:1-16。
鄭書杏、白強，1995。不同輪作制度對後作水稻生產力之影響，花蓮區農業改良場研究彙報，11: 1-10。
錦斗美夫、長谷川愿、芳賀靜雄、神保惠志郎，1988。水稻生長與深水管理，農及園，63：723-731。
戴振洋、蔡宜峰，2012。以日本為例-談環境親和性農業，農業世界，342：77-83。
戴振洋，2012。食用番茄之環境親和型施肥技術，豐年半月刊。
羅秋雄、黃伯恩，1990。水旱田耕作制度調整對地力維護之探討，臺灣農業，26(4): 65-68。
譚增偉、王鐘和，2000。輪作制度的起源、歷史、意義與範圍，農業試驗所技術服務，44: 1-3。
Coffman, C. B. and J. R. Frank. 1992. Corn-weed interactions with long-term conservation tillage management. Agron. J. 84: 17-21.
Decker, A. M., A. J. Clark, J. J. Meisinger, F. R. Mulford, and M. S. McIntosh. 1994. Legume cover crop contributions to no-tillage corn production. Agron. J. 84: 126-135.
Dou, Z. and R. H. Fox. 1994. The contribution of nitrogen from legume cover crops double-cropped with winter wheat to tilled and non-tilled maize. European J. Agron. 3: 93-100.
Galloway, B. A. and L. A. Weston. 1996. Influence of cover crop and herbicide treatment on weed control and yield in no-till sweet corn and pumpkin. Weed Technol. 10: 341-346.
Holderbaum, J. F., A. M. Decker, J. J. Meisinger, F. R. Mulford, and L. R. Vough. 1990. Fall-seeded legume cover crop for no-tillage corn in the humid East. Agron. J. 82: 117-124.
Johnson, G.. A., M. S. Defelice, and Z. R. Helsel. 1993. Cover crop management and weed control in

corn (*Zea mays*). Weed Techol. 7: 425-430.

Miller, D. A. 1984. Forage crop. 99pp, McGraw-Hill Book Company.

Myers, J. L. and M. G. Wagger. 1991. Reseeding potential of crimson clover as a cover crop for no-tillage corn, Agron. J. 83: 985-991.

Raimbault, B. A., T. J. Vyn, and M. T. Tollennar. 1990. Corn response to rye cover crop management and spring tillage systems. Agron. J. 82: 1088-1093.

SAS Institute. 1999. SAS/STAT User's guide. Releases 9.1.3 Ed. SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.

Soane B. D., B. C. Ball, J. Arvidsson, G. Basch, F. Moreno, and J. Roger-Estrade. 2012. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. Soil Till. Res. 118:66-87.

Swan, J. B., R. L. Higgs, T. B. Bailey, N. C. Wollenhaupt, W. H. Paulson, and A. E. Peterson. 1994. Surface residue and in-row treatment effects on long-term no-tillage continuous corn. Agron. J. 86: 711-718.

Teasdale, J. R. 1993. Reduced herbicide weed management systems for no-tillage corn (*Zea mays*) in a hairy vetch (*Vicia villosa*) cover crop. Weed Technol. 7: 879-883.

Teasdale, J. R. and C. S. T. Daughtry. 1993. Weed suppression by live and desiccated hairy vetch (*Vicia villosa*). Weed Sci. 41: 207-212.

Utomo, M., W. W. Frye, and R. L. Blevins. 1990. Sustaining soil nitrogen for corn using hairy vetch cover crop. Agron. J. 82: 979-983.

Yenish, J. P., A. D. Worshom, and A. C. York. 1996. Cover crops for herbicide replacement in no-tillage corn (*Zea mays*). Weed Technol. 10: 815-821.

Establishment of Environmental Friendly Crop Rotation System in Taiwan

Zhi-Wei Yang [1,5], Chen-Yang Tai [2], Bi-Lien Chan [3], and Der-Fa Yu [4]

Abstract

The purpose of this study was to use of environmental-friendly cropping rotation model to achieve due to climate change and increasing food self-sufficiency. In the northern region will be two cropping rice pattern planning into a rice, autumn crop dry farming (groundnut, corn and sweet potatoes) farming model, the results showed rice cultivation can reduce pesticide application rate, upland is adopted without (low) site preparation tillage practices to achieve the sustainable use of agricultural land and water environment field rotation affinity business model; explore different fertilizer effects on crop growth and soil environment of the central region, showed that rice- vegetables-wheat rotation can reduce the amount of fertilizer to achieve both production and the environment ; the southern region to explore the economic benefits of different upland cropping patterns, the results are displayed in Job's tears-green manure sesbania-sesame crop rotation patterns of hectares up to a net gain; eastern region to explore the different inputs of fertilizers and pesticides impact of floods, droughts and crop rotation, the results show can reduce fertilizer and pesticide inputs, use repellent and non-crop pesticide prevention act to achieve environmental affinity upland rotation model.

Keywords: Crop Rotation, Environmental Friendly Cropping System.

1 Taoyuan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.

2 Taichung District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.

3 Tainan District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.

4 Hualien District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.

5 Corresponding Author, Email: zwyang@tydais.gov.tw; Tel: 03-4768216#255.

毛豆外銷專區及恆春地區洋蔥環境親和型輪作系統經營模式建立

黃祥益[1,2] 周國隆[1] 賴榮茂[1] 李承翰[1] 侯秉賦[1]

摘要

本計畫目的為建立外銷專區及恆春地區洋蔥合理化的輪作經營模式。於外銷毛豆專區開發新的外銷蔬菜產品如甜玉米、青花菜等，以解決連作障礙，提升農場經營效益。經連續兩年比較 4 種不同處理的耕作模式中，全年的總收益以 A 處理 (9 月上旬毛豆－11 月下旬甜玉米－2 月下旬毛豆－6 月休耕) 每公頃 121,860 元最高，較對照 D 處理 (9 月中旬毛豆－12 月休耕－2 月上旬毛豆－5 月休耕) 增加 69.3%；其次為 B 處理 (9 月上旬毛豆－11 月下旬青花菜－2 月下旬毛豆－6 月休耕) 的 91,346 元，較對照 D 處理增加 26.9%；最低的為 C 處理 (9 月中旬毛豆－12 月休耕－2 月中旬毛豆－5 月青割玉米) 的 77,762 元，較對照 D 處理僅增加 8.1%。三種洋蔥輪作處理區之 101/102 年期洋蔥產量以綠肥大豆輪作處理 61.3 mt/ha 最高，其次為田菁的 59.7 mt/ha。但以田菁輪作區之大球比率較高，收益較好。三種輪作作物之第 1 期輪作生物產量以青割玉米的 51.8 mt/ha 最高，而綠肥大豆及田菁分別為 26.0 mt/ha 及 28.8 mt/ha。第 2 期輪作作物由於 8 月份兩次颱風侵襲，造成恆春地區連續降雨及嚴重淹水，導致本期作作物全部流失。

關鍵詞：毛豆、洋蔥、輪作、綠肥、環境親和。

前言

在全球氣候變遷明顯的趨勢下，極端及異常氣候發生頻繁，預期將對國內外農糧生產發生劇烈衝擊。我國位處於熱帶及亞熱帶海洋氣候區，糧食生產屬於小農型態，在國際的氣候變遷研究中屬於高風險的邊緣地區，加上我國糧食自給率不高，將更威脅我國糧食安全及社會安定。因此，如何在氣候變遷的趨勢下，穩定發展我國農糧產業，提高國產糧食自給率，確保糧食安全，是目前必須積極面對的重要課題。目前栽培的毛豆品種因對氣候環境敏感，生育季節常遇乾旱或寒害等極端氣候，易導致產量和品質低下，加上水資源越來越有限，生產管理上的風險越來越高，如 99 年秋作高屏地區毛豆結莢期遇低溫，豆莢減產約 40%，品質低劣，農民損失超過 1 億元以上。加

1 高雄區農業改良場。
2 通訊作者 電子信箱：hyhuang@mail.kdais.gov.tw；電話：07-6622274#101。

上毛豆外銷專區一年種植春、秋兩作 5 個多月，土地利用效率低，且有連作障礙問題。因此本計畫目的是因應全球氣候的變遷，利用耐寒或耐旱的毛豆高產品種，建立毛豆外銷專區環境親和型輪作經營模式，強化農業生態環境維護，開發新的蔬菜產品如甜玉米、菠菜、青花菜等外銷，解決連作障礙，以提升台灣毛豆產品在國際市場的競爭力。

由於作物栽培輪作系統涉及品種、土壤 (李，1991；李，1992)、氣象、地理、生態等諸多因素 (戴等人，1998)，具有強烈的地域性和時空變異性，應該在綜合考慮多因素交互作用的基礎上，透過動態即時性的資訊來決定栽培管理技術措施 (吳及張，2010；吳等人，2011)。所謂「輪作」是將多種農作物安排一定的次序栽培 (蔡及羅，1992)。輪作栽培中以旱田及水田輪作；或是豆科及非豆科輪作 (廖，1991)；或是深根性與淺根性輪作，為最佳選擇的輪作模式，可以避免連作障礙。徐和蔡 (2001) 研究指出在輪作系統中，雜草控制方面，以水田雜草最少，水稻後作旱田作物亦有降低雜草發生效用。因此為利於雜草控制，在輪作體系中應將水稻涵蓋在內。蔡 (2006) 研究也顯示在水旱田輪作的情況下，作物病蟲害明顯降低，可達到病蟲害防治效果，但水田中的土壤微生物相亦受到抑制，好氣的分解菌減少，養分的礦化量降低，加上水田的整地方式，破壞土壤物理性，因此，作物生長初期，即因養分不足而生育不良。

洋蔥 (*Allium cepa* L.) 是蔥科二年生植物 (程，2005)，原產地為中亞、西亞及地中海沿岸，栽培歷史相當悠久，是世界重要的蔬菜作物。台灣地區的栽培面積約 1,100-1,200 公頃左右，產量約 6 萬公噸。主要產地為屏東縣集中於恆春、車城及枋山三鄉鎮，培面積約 600 公頃，占國內洋蔥生產面積的 67%，為國內最重要的產地。恆春地區洋蔥在 40-50 年代為重要的外銷蔬菜作物之一，近年由於勞力問題及生產成本提高，使外銷僅剩非常低的數量。又因栽培面積大幅減少，使國內洋蔥產量僅足夠供應本地消費需求的 50-60%，產期在每年 2-4 月份。由於近年主要洋蔥病害黃萎病 (Fusarium yellowdraft) 及細菌性軟腐病 (Bacterial softrot) 危害情形加劇，經常造成生產上損失。特別是近年因恆春地區颱風侵襲頻繁加上水田休耕度實施，絕大部分蔥農不再種植二期水稻，改種植田菁，使長久以來水旱田輪作系統停止運作，造成此兩種病害危害的情形有增加的趨勢，已成為恆春地區洋蔥生產的障礙之一。並且田菁種植期間常造成斜紋夜盜大量繁衍，成為夏作期間另一項問題。另外，恆春地區洋蔥栽培以慣行農法為主，有機肥料的使用較少，加上部分洋蔥田區土壤較黏重，使洋蔥生育狀況及土壤理化特性較不理想。除篩選適合的洋蔥品種之外，擬藉由輪作青割玉米及綠肥大豆改善洋蔥病蟲害及土壤問題。由於輪作青割玉米可作為動物飼料，綠肥大豆則為當地傳統綠肥作物 (黃等人，1995)，可有效增進地力。此兩項作物管理容易、對環境的適應性佳、生產投入(input) 低，並可減少化學肥料施用等優點，兼顧農業生產

及友善環境之目標。本試驗將同時評估不同輪作處理對洋蔥生產成本的影響，並估算整體生物產能，期望以最低的成本投入，獲得最佳生產效率及生態維持。

重要工作項目及實施方法

一、毛豆外銷專區環境親和型輪作經營模式建立：

(一)試驗方法：比較 4 種不同輪作模式，A. 9 月上旬毛豆－11 月下旬甜玉米－2 月下旬毛豆－6 月休耕；B. 9 月上旬毛豆－11 月下旬青花菜－2 月下旬毛豆－6 月休耕；C. 9 月中旬毛豆－12 月休耕－2 月上旬毛豆－5 月青割玉米；D. 9 月中旬毛豆－12 月休耕－2 月上旬毛豆－5 月休耕 (CK)。

(二)田間管理：毛豆及各項輪作作物施肥量參考作物施肥手冊各作物的肥料推薦量施用化學肥料，於作物生長期中依照當年「植物保護手冊」推薦的農藥施用，防治病蟲草害，其他栽培管理方法如整地、作畦、栽培、行株距、灌排水等，均按現行推薦方法實施。各期作物的殘體均留置田間埋入土壤中，調查分析項目包括各期作試驗前後進行土壤採樣分析，作物生育期間調查性狀及產量，並進行灌溉水量、節水效率、病蟲草害相及生產效益分析。

二、恆春地區洋蔥環境親和型輪作經營模式建立：

(一)洋蔥輪作制度對洋蔥生產之影響：於恆春地區洋蔥產地分別以青割玉米及綠肥大豆作為洋蔥收穫後之輪作作物，以輪作田菁作為對照處理，各 0.1 公頃。於 3 種輪作作物種植後栽培洋蔥。洋蔥栽培方式為行株距 12×15 公分，畦寬 110 公分 (含畦溝)，畦面寬 85 公分，每畦種植 6 行。施肥參考土壤分析結果及作物施肥手冊建議施肥量 ($N\text{-}P_2O_5\text{-}K_2O$ = 180-150-200)，調查洋蔥之倒伏日數、生育日數、產量、品質及蔥球性狀。

(二)輪作前後土壤肥力及生物產量變化監測：於 3 種輪作制度中每期作前、後分別進行土壤分析包含大量元素、微量元素及有機質含量，並於每期作採收時進行輪作作物單位面積生物產量調查，洋蔥則調查單位面積產量。

結果與討論

一、毛豆外銷專區環境親和型輪作經營模式建立：

(一)不同耕作模式對作物產量及生產效益評估

4 種不同處理的耕作模式對作物產量及生產效益評估，連續兩年調查結果如表 1 所示。A、B、C、D 處理的秋作毛豆的鮮莢產量分別平均為 8,860 公斤、8,826 公斤、8,650 公斤、8,970 公斤，每公斤交給加工廠價格以 16.5 元估算，每公頃產值分別為 146,190 元、145,629 元、142,725 元、148,005 元，扣除每公頃生產成本 99,350 元，故 A、B、C、D 處理每公頃粗收益分別為 46,840 元、46,279 元、43,375 元、48,655 元。

冬作 A 處理甜玉米產量 16,320 公斤，每公斤交給加工廠價格以 9 元估算，每公頃產值 146,880 元，扣除每公頃生產成本 95,250 元，故 A 處理的每公頃粗收益 51,630 元。B 處理青花菜產量 13,500 公斤，每公斤交給加工廠價格以 11 元估算，每公頃產值 148,500 元，扣除每公頃生產成本 125,800 元，故 B 處理的每公頃粗收益 22,700 元。C、D 處理因休耕無產值，並且每公頃需花費田間除草耕犁費用 3,500 元，故每公頃粗收益-3,500 元。A、B、C、D 處理的春作毛豆的鮮莢產量分別為 7,863 公斤、7,801 公斤、8,141 公斤、8,070 公斤，每公斤交給加工廠價格以 16.5 元估算，每公頃產值分別為 129,740 元、128,717 元、134,327 元、133,155 元，扣除每公頃生產成本 99,350 元，故 A、B、C、D 處理的每公頃粗收益分別為 30,390 元、29,367 元、34,977 元、33,805 元。夏作 C 處理青割玉米鮮草產量 19,800 公斤，每公斤交給加工廠價格以 1.2 元估算，每公頃產

表 1. 不同毛豆耕作模式對作物產量及生產效益評估

Table 1. The benefit estimation of yield and production in different vegetable soybean rotation models

處理	耕作模式	產 量	產 值	生產成本	粗收益	總收益
		(kg/ha)	----------(NT$/ha)----------			
A.	秋作毛豆	8,860	146,190	99,350	46,840	121,860
	冬作甜玉米	16,320	146,880	95,250	51,630	(169.3%)
	春作毛豆	7,863	129,740	99,350	30,390	
	夏作休耕	0	0	7,000	-7,000	
B.	秋作毛豆	8,826	145,629	99,350	46,279	91,346
	冬作青花菜	13,500	148,500	125,800	22,700	(126.9%)
	春作毛豆	7,801	128,717	99,350	29,367	
	夏作休耕	0	0	7,000	-7,000	
C.	秋作毛豆	8,650	142,725	99,350	43,375	77,762
	冬作休耕	0	0	3,500	-3,500	(108.1%)
	春作毛豆	8,141	134,327	99,350	34,977	
	夏作青割玉米	19,800	23,760	20,850	2,910	
D.	秋作毛豆	8,970	148,005	99,350	48,655	71,960
	冬作休耕	0	0	3,500	-3,500	(100%)
	春作毛豆	8,070	133,155	99,350	33,805	
	夏作休耕	0	0	7,000	-7,000	

註：總收益括號內數字表示與對照處理比較之百分比。

值 23,760 元，扣除每公頃生產成本 20,850 元，故 C 處理的每公頃粗收益 2,910 元。A、B、D 處理因休耕無產值，並且每公頃需花費田間除草耕犁費用 7,000 元，故每公頃粗收益-7,000 元。4 種不同處理的耕作模式中，全年的總收益以 A 處理每公頃 121,860 元最高，較對照 D 處理增加 69.3%；其次為 B 處理的 91,346 元，較對照 D 處理增加 26.9%；最低的為 C 處理的 77,762 元，較對照 D 處理增加 8.1%。

(二)不同耕作模式對田間土壤肥力影響

試驗前土壤採樣分析為 pH 值 6.73，有機質(O.M.)含量為 18.6 g/kg，有效性磷(P_2O_5)含量為 68 mg/kg；有效性鉀(K_2O)含量為 104 mg/kg，有效性鈣(CaO)含量為 2,201 mg/kg；有效性鎂(MgO)含量為 96 mg/kg。經兩年試驗調查結果，如表 2 所示。4 種不同處理的耕作模式，其田間 pH 值均下降 0.44-0.35 及有效性磷含量增加 39-64 mg/kg，但各處理間差異不明顯。而有效性鉀含量除了 C 輪作處理變化不明顯外，其餘 3 個輪作處理增加 47–53 mg/kg，但 3 個處理間差異不明顯。有效性鈣及有效性鎂含量變化不明顯。

(三)不同耕作模式對田間雜草相影響

不同輪作處理的耕作模式之田間雜草相，其調查結果如表 3 所示。由於毛豆外銷

表 2. 不同耕作模式各期作作物種植後對田間土壤肥力影響

Table 2. The effects of different rotation models on the soil nutrients after harvested of each cropping

處理	耕作模式	pH (1:1)	O.M. (g/kg)	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO
				----------(mg/kg)----------			
A.	秋作毛豆	6.07	18.4	129	180	2,530	145
	冬作甜玉米	6.10	19.1	146	215	2,620	135
	春作毛豆	5.96	19.6	155	190	2,246	110
	夏作休耕	5.99	19.4	137	175	1,746	105
B.	秋作毛豆	6.05	20.6	135	215	2,250	122
	冬作青花菜	6.03	18.5	140	213	2,380	108
	春作毛豆	5.88	20.3	146	196	1,850	116
	夏作休耕	6.16	20.6	152	185	1,671	95
C.	秋作毛豆	6.25	18.2	124	158	2,220	105
	冬作休耕	6.36	19.5	119	189	2,350	100
	春作毛豆	6.10	20.6	135	211	2,050	110
	夏作青割玉米	6.36	18.5	148	176	1,819	90
D.	秋作毛豆	6.15	20.3	140	192	2,465	115
	冬作休耕	6.35	20.5	136	225	2,350	111
	春作毛豆	6.21	19.3	123	236	2,059	125
	夏作休耕	6.30	19.6	135	212	2,001	105

專區長期旱田連作，加上每年長期使用少數幾種除草劑，造成田間雜草種類以小葉灰藋、牛筋草、香附子、刺莧、芒稷為優勢草種，尤其是小葉灰藋已影響毛豆正常的生長，並附上 101 年 9 月至 102 年 8 月試驗期間的農業氣象資料如表 4 所示供參考。

二、恆春地區洋蔥環境親和型輪作經營模式建立：

(一)輪作制度對洋蔥生產之影響及生產效益評估

101/102 年期洋蔥於 101 年 11 月 14 日種植，102 年 3 月 25 日至 3 月 27 日收穫。本 (101/102) 年期 3 種輪作處理之洋蔥產量 (表 5) 均分別較 100/101 年期提高 19.4% (青割玉米)、34.7% (綠肥大豆) 及 34.8% (田菁)。101/102 年期洋蔥產量以綠肥大豆輪作處理 61.3 mt/ha 最高，其次為田菁的 59.7 mt/ha。但田菁輪作區的大球比例為 60.9% 高於綠肥大豆輪作區，且中、大球比例總和亦高於綠肥大豆輪作處理的 80.5%。依照 102 年之洋蔥大球每袋 (15kg) 190 元，中球 160 元，小球 100 元，等外品 60 元之售價計算，以田菁輪作處理的產值每公頃 675,969 元最高 (表 6)，扣除生產成本後之粗收益為每公頃 395,569 元，為 3 種處理中最高者。由於洋蔥分級標準明確且不同等級間價差明顯，試驗處理效果之評估除考慮產量表現之外，蔥球大小比率分布亦極為重要，其為影響經濟效益的重要因子。

表 3. 不同毛豆耕作模式對田間雜草相影響

Table 3. The effects of different vegetable soybean rotation models on field weeds

處理	耕作模式	雜草種類（依田間覆蓋率多寡依序排列）			
A.	秋作毛豆	小葉灰藋	牛筋草	香附子	刺莧
	冬作甜玉米	香附子	小葉灰藋	牛筋草	刺莧
	春作毛豆	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	夏作休耕	牛筋草	香附子	刺莧	芒稷
B.	秋作毛豆	小葉灰藋	牛筋草	香附子	刺莧
	冬作青花菜	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	春作毛豆	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	夏作休耕	牛筋草	香附子	刺莧	芒稷
C.	秋作毛豆	小葉灰藋	牛筋草	香附子	刺莧
	冬作休耕	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	春作毛豆	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	夏作青割玉米	牛筋草	香附子	芒稷	刺莧
D.	秋作毛豆	小葉灰藋	牛筋草	香附子	刺莧
	冬作休耕	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧子
	春作毛豆	小葉灰藋	香附子	牛筋草	刺莧
	夏作休耕	牛筋草	香附子	刺莧	芒稷

(二)輪作前後土壤肥力及生物產量變化監測

三種輪作作物之第 1 期作於 102 年 4 月 15 日播種，生物產量以青割玉米的 51.8 t/ha 最高 (表 7)，綠肥大豆及田菁分別為 26.0 mt/ha 及 28.8 mt/ha。三種輪作作物之生物產量均較 101 年同期之生物產量增加。第 2 期輪作作物於 8 月 7 日播種，但 8 月 21 日及 8 月 28 日分別有潭美及康芮兩個颱風影響，造成恆春地區大量降雨及嚴重水患，導致本期作物死亡。比較 101 年第 2 期作亦同樣於 8 月份受颱風(天平颱風)侵襲，造成作物

表 4. 高雄區農業改良場氣象觀測站之農業氣象資料

Table 4. The weather data of weather station in Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station

月別	氣溫 (℃)			相對濕度	最多風向	平均風速	日照時數	日射量	蒸發量	降雨量	降雨日數
	平均	最高	最低	(%)		(m/sec)	(hr)	(MJ/m^2)	(mm)	(mm)	(day)
101 年											
9 月	28.1	36.2	21.5	64	N	1.0	198.2	346.2	102	167	11
10 月	26.1	33.0	19.6	65	N	0.7	197.3	300.8	101	6	2
11 月	24.5	33.4	19.2	70	N	0.9	168.0	238.4	71	36	6
12 月	20.8	31.5	10.3	71	NNW	0.9	170.6	272.6	52	25	7
102 年											
1 月	19.3	28.9	10.4	68	NNW	1.0	194.3	271.6	71	2	2
2 月	22.5	32.3	14.8	66	NNE	1.0	200.8	297.5	96	0	0
3 月	24.6	34.7	13.3	62	NNE	1.0	206.9	343.8	111	3	2
4 月	25.1	34.1	17.0	69	NW	1.0	129.5	273.2	81	134	12
5 月	28.0	35.4	21.6	73	WSW	1.1	109.0	282.2	78	256	13
6 月	29.0	36.7	23.1	65	NNE	1.1	140.7	392.5	106	156	11
7 月	28.6	38.7	22.8	65	NNW	1.2	184.1	400.1	115	113	13
8 月	27.7	35.9	21.9	73	NNE	1.4	154.4	312.3	76	819	23

表 5. 不同輪作處理區之洋蔥產量及蔥球大小比率

Table 5. The yield and bulb size ratio of different onion rotation treatments

輪作處理	100/101 年期產量 (mt/ha)	101/102 年期產量 (mt/ha)	比率(%)			
			大球	中球	小球	等外品
青割玉米	44.8	53.5	30.5	45.0	22.5	1.6
綠肥大豆	45.5	61.3	49.5	31.0	14.5	3.8
田菁	44.3	59.7	60.9	25.0	14.0	0.0

註：1. 採收日期為 102 年 3 月 25 日至 3 月 27 日。

2. 蔥球大小以蔥球腰部直徑為基準，大球 8–10 公分，中球 7-8 公分，小球 6-7 公分，直徑大於 10 公分或小於 6 公分者為等外品。

表 6. 101/102 年期不同輪作作物對洋蔥產量及生產效益評估

Table 6. The benefit evaluation of onion yield and production on different onion rotation model in 2012/2013

輪作處理	產 量 (mt/ha)	產 值 (NTD/ha)	生產成本 (NTD/ha)	粗收益 (NTD/ha)	比率 (%)
青割玉米	53.5	547,168	284,950	262,218	66.3
綠肥大豆	61.3	655,737	281,000	374,737	94.7
田 菁	59.7	675,969	280,400	395,569	100

註：產值依大球每袋(15kg)190 元，中球 160 元、小球 100 元，等外品 60 元按各處理收穫之比例合計。

表 7.101-102 年洋蔥輪作作物生物量調查結果

Table 7. The biomass investigations of onion rotation crops from 2012 to 2013

期作別	前作洋蔥產量 (mt/ha)	平均單株鮮重 (g)	平均單株乾重 (g)	乾物率 (%)	生物產量 (mt/ha)
		青割玉米			
101 年 1 期	44.8	880	202	22.9	41.0
102 年 1 期	53.5	645	201	30.8	51.8
		綠肥大豆			
101 年 1 期	45.5	65	13	20.4	18.3
102 年 1 期	61.3	157	35	22.0	26.0
		田 菁			
101 年 1 期	44.3	77	19	24.6	13.3
102 年 1 期	59.7	121	29	23.2	28.8

註：101 及 102 年 2 期作均受颱風侵襲無收穫。

嚴重損失。3 種輪作作物中以田菁對於淹水逆境的耐受性較高，生育初期若遇連續降雨植株生育狀況較青割玉米及綠肥大豆佳。因此，在 103 年度第 2 期作輪作作物均修改為田菁。

在不同輪作模式對土壤肥力的影響方面 (表 8)，兩個年度土壤 pH 值在種植洋蔥後均出現下降的情形，經過輪作後則呈現上升，土壤有機質含量也有相似趨勢，但其變化範圍較小，有效性磷、有效性鉀及有效性鈣在種植洋蔥後大幅增加，主要原因推測為洋蔥栽培過程中施用之有機質肥料及化學肥料殘效所致。而種植輪作作物時未施用任何肥料，土壤中營養由輪作作物吸收，在 3 種輪作作物耕犁後立即採土分析，所得之營養元素相對較低。102 年度三種輪作模式在經過 1 期輪作後土壤 pH 略微上升至 6.8–7.1 之間。有機質含量則下降至 1.37–2.24 之間。3 種輪作處理區之土壤有效性磷、鉀、鈣濃度呈現下降情形。電導度則由 0.14–0.21mS/cm 之間大幅降至 0.05–0.06 mS/cm。

表 8. 101-102 年度不同洋蔥輪作作物種植後對土壤肥力之影響

Table 8. The effects of different onion rotation crops on soil nutrients from 2012 to 2013

輪作時期	pH	有機質 (%)	有效性磷 (mg/kg)	有效性鉀 (mg/kg)	有效性鈣 (mg/kg)	有效性鎂 (mg/kg)	電導度 (mS/cm)
			青割玉米				
101 年洋蔥	6.41	1.98	42	99	1,705	255	0.21
101 第 1 期輪作	6.49	1.62	41	94	1,558	195	0.07
101 第 2 期輪作	6.85	1.55	36	80	1,691	222	0.08
102 年洋蔥	6.24	2.44	77	156	3,792	169	0.21
102 第 1 期輪作	6.75	2.24	40	85	1,533	199	0.06
			綠肥大豆				
101 年洋蔥	6.44	1.80	53	98	1,824	258	0.20
101 第 1 期輪作	6.43	1.43	42	98	1,591	200	0.09
101 第 2 期輪作	6.90	1.65	39	105	1,855	240	0.09
102 年洋蔥	6.50	2.35	119	173	3,747	169	0.19
102 第 1 期輪作	7.09	2.13	41	75	1,437	184	0.06
			田菁				
101 年洋蔥	6.61	2.05	46	97	1,652	245	0.21
101 第 1 期輪作	6.60	1.52	47	93	1,726	217	0.08
101 第 2 期輪作	6.85	1.54	37	82	1,730	222	0.10
102 年洋蔥	6.90	1.98	127	132	5,478	350	0.14
102 第 1 期輪作	6.90	1.37	37	90	1,559	208	0.05

註：土壤採樣時間為各期作收穫後進行。

表 9. 101 年 11 月至 102 年 10 月份恆春地區氣象觀測資料

Table 9. The weather data of Hengchun Area from Nov. 2012 to Oct. 2013

年/月	均溫 (℃)	高溫 (℃)	低溫 (℃)	雨量 (mm)	相對濕度 (%)	降水日數 (≧0.1mm)	日照時數 (hr)
101/11	24.5	29.8	20.2	37	74	3	173.7
101/12	22.2	29.1	15.6	25	73	8	134.8
102/1	21.4	27.7	15.2	37	70	8	157.4
102/2	23.5	30.0	18.0	14	73	6	182.2
102/3	24.3	32.1	16.3	4	70	2	226.9
102/4	25.0	31.2	19.2	80	74	3	179.5
102/5	27.1	32.8	19.9	288	81	15	179.8
102/6	29.1	34.3	23.9	184	78	11	220.9
102/7	28.6	33.5	23.5	239	77	17	231.5
102/8	28.2	34.0	23.2	598	80	21	173.9
102/9	28.0	33.0	23.3	451	73	14	210.5
102/10	26.2	32.7	20.2	28	68	9	235.7

註：資料來源為中央氣象局網站

(三)不同耕作模式對洋蔥病蟲草相影響

三種輪作處理區之洋蔥於本年期之病蟲害發生輕微，病害僅發生黃萎病，3 種處理危害率均為 5%以下。害蟲方面僅發生薊馬危害，但危害率 (葉面剉吸面積) 均低於 10%。雜草以小葉灰藋最多，以綠肥大豆之畦溝覆蓋率達 80%最高，青割玉米及田菁則分別為 60%及 70%。其他雜草為芒稷與大飛揚草。

結論與建議

(一)毛豆外銷專區目前全年僅種植春、秋兩作 5 個多月，土地利用效率低，且有連作障礙問題。期望在本計畫的研究下，建立毛豆外銷專區環境親和型輪作經營模式，強化農業生態環境維護，開發新的蔬菜產品如甜玉米、青花菜等外銷，解決連作障礙，提升農場經營效益。

(二)台灣農產品目前遭受中國及東南亞等國家的低價競爭，而台糖農場租金年年上漲，每公頃年租金從 2002 年 30,000-36,000 元至今上漲至 48,000–52,000 元，台糖每年從農民收到的租金好幾十億。台灣農產品外銷要有希望，建議可依台肥模式，將台糖農地收回農委會管理，規劃外銷農產品生產專業區，針對外銷農產品予以租金優惠，降低生產成本，提升台灣毛豆產品在國際市場競爭力。

(三)恆春地區由於夏、秋季雨量較高，且極容易遭受颱風侵襲，使作物受到嚴重損害。故在洋蔥收穫後建議種植生物產量較高之輪作作物，以增加土壤有機質。而第 2 期作則建議以田菁等低成本、管理容易之作物進行輪作，以避免受天然災害侵襲，造成較大之經濟損失。

引用文獻

李文輝，1991。耕作制度影響土壤肥力及作物產量之研究，輪作制度對土壤肥力及作物影響研討會論文專輯，中華土壤肥料學會編印，95-110。

李文輝，1992。耕作制度對土壤肥力及作物產量與收益關係之研究，台南區農業改良場研究彙報，28:23-37。

吳炎融、張棋松，2010。耕作模式調整對雲嘉南地區農業生態影響及經營管理，雜糧作物試驗研究年報，97:171-180。

吳炎融、張棋松、詹碧連，2011。耕作模式調整對雲嘉南地區農業生態影響及經營管理，雜糧作物試驗研究年報，98:151-160。

連深、王鐘和，1991。夏作田菁在稻田輪作制度之應用─對土壤肥力及作物產量之效果，輪作制度對土壤肥力及作物之影響研討會論文專輯，中華土壤肥料學會編印，111-128。

徐華盛、蔡永皜，2001。不同農耕法及輪作系統之比較研究，高雄區農業改良場研究彙報，12(2):37-54。

黃惠娟、曹文隆、張愛華，1995。春作綠肥作物適合性之評估，中華農業研究，44(4):413-419。

廖乾華，1991。不同輪作制度下長期施用綠肥和植物殘株對作物產量及土壤性質的影響，輪作

制度對土壤肥力及作物之影響研討會論文專輯，中華土壤肥料學會編印，44- 65。

蔡永皜，1989。秋作施肥管理與春作輪作組合對雜糧生產量之影響，高雄區農業改良場研究彙報，2(2):82-86。

蔡永皜，2006。施肥對輪作田有機水稻及蔬菜生產之影響，高雄區農業改良場研究彙報，17(2):1-18。

蔡永皜、羅瑞生，1992。作物順序與殘體利用對輪作系統中作物產量與土壤肥力之影響，高雄區農業改良場研究彙報，4(2):27-35。

戴順發、陳東鐘、劉英杰、黃賢喜，1998。作物有機栽培輪作制度之建立，農產廢棄物在有機農業之應用研討會專刊，桃園區農業改良場特刊第 11 號，172-195。

Environment Friendly Model Establishment for Vegetable Soybean Rotation in the Export Professional Fields and Onion Rotation in Hengchun Area

Hsiang-Yi Huang[1,2], Kuo-Lung Chou[1], Jung-Mao Lai[1], Cheng-Han Lee[1], and Ping-Fu Hou[1]

Abstract

The purposes of this program were to establish the environmental friendly rotation models for vegetable soybeans in export professional fields and onions in Henchun area. The experimental results of vegetable soybean rotations were summarized as follow during the fall crop in 2011 to the summer crop in 2013. Rotation model A was the highest annual profits by 121,860 NTD/ha, which was 69.3% higher than check treatment D. The rotation treatments B and C had higher annual profits, which were 26.9% and 8.1% higher than check treatment. On onion rotation trails, the onion yield of green manure soybean rotation system was 61.3 mt/ha which was the highest. The onion yields were 59.7 mt/ha and 53.5 mt/ha by sesbania rotation and forage maize rotation respectively. The biomasses of forage maize, green manure soybean and sesbania, were 51.8 mt/ha, 26.0 mt/ha and 28.8 mt/ha respectively. The growths of 3 rotation crops were limited by rainfall within seedling stage. The second rotation crop was affected by 2 typhoons that induced serious crop damage and all crops were lost.

Keywords: Vegetable soybean, Onion, Rotation, Green manure, Environmental friendly.

1 Technician of Kaohsiung District Agricultural Research and Extension Station.

2 Corresponding Author, Email: hyhuang@mail.kdais.gov.tw ; Tel: 07-6622274#101.

氣候變遷對農業長期生態系之影響長期觀測

陳琦玲[1,4] 蔡正國[1] 吳旻晃[1] 江志峰[1] 蔡志濃[1] 陳純葳[1] 陳健忠[1]
余志儒[1] 石憲宗[1] 陳淑佩[1] 蕭巧玲[1] 楊純明[1] 何佳勳[1] 姚銘輝[1]
張哲瑋[1] 吳泓書[1] 孫文章[2] 王瑞章[2] 吳文哲[3]

摘要

本研究之目的為探討氣候變遷對農業生態系之影響。由氣象資料顯示，雲林分場 1988 年至 2013 年呈現增溫之現象，而 2000 年至 2013 年各研究站平均氣溫並未呈現增溫趨勢；雨量方面顯示在 2010 年四月、2011 年四月及 2011 年 11 月之雨量有明顯高於往年之情形。水稻產量部份，雲林分場與溪口農場之水稻產量與平均氣溫、生長積溫之間無顯著相關，但可看出產量隨平均氣溫與生長積溫上升而下降的趨勢；全台 15 個試驗點之水稻產量亦與平均氣溫、生長積溫並無顯著相關，但仍可看出水稻產量隨平均氣溫與最低氣溫上升而下降，反之隨最高氣溫上升而上升；DNDC 對水稻生產模擬結果，未能呈現實際調查之南部產量高於北部之現象。水稻病害以稻熱病及紋枯病發生最多，在慣行農耕與永續農耕間無顯著差異；甘藷僅發生白絹病，在慣行農耕試驗田發生較輕微；落花生葉斑病在兩處理間發生情形相近，但銹病在慣行農耕發生率較低；荔枝酸腐病僅在慣行農耕試驗田發生輕微。在指標昆蟲方面，兩處理均以六條瓢蟲為優勢種，在年度間與多樣性方面則無明顯差異性。在雜草部份，永續農耕處理之平均雜草密度、平均雜草生質量以及每株雜草生質量皆高於慣行農耕區；輪作區之平均雜草生質量及每株雜草生質量高於連作區，而平均雜草密度則相反之。

關鍵詞：長期生態研究、慣行農耕、永續農耕、指標昆蟲。

前言

臺灣在自然生態系之研究以持續多年，在長期推展我國長期生態研究的學者金恒鑣博士的推動下，於 2006 年開始農業生態系之長期生態研究，並且與美國密西根州立大學 Kellogg Biological Station (KBS) 長期農業生態研究站維持合作關係。長期試驗之目標在於探討符合生態觀念之農耕操作能否減少亞熱帶之主要作物系統化學物質之投入。長期試驗之第一階段（95−100 年）在探討台灣幾種不同耕作制度之投入對生物多

1 行政院農業委員會農業試驗所。
2 行政院農業委員會臺南區農業改良場雲林分場。
3 國立台灣大學昆蟲系。
4 通訊作者 電子信箱：Chiling@tari.gov.tw；電話：04-23317407。

樣性之影響、生態系生產力維持之機制及其對環境之衝擊，並探求最佳管理模式；而第二階段（101−106 年度）主要目的為長期觀測氣候變遷對病菌與害蟲族群生態及農作罹病度之影響，及其對農作（水稻、花生與荔枝）生產之衝擊等，並獲悉農耕方式之投入多寡是否影響氣候變遷之衝擊，以了解各對策對氣候變遷之可調適程度。

台灣長期農業生態研究站包括：(1)農試所嘉義分所荔枝原生種保存園 (2.5ha)：果園生態研究；(2)嘉義分所溪口農場 (8.0ha)：雙期作水田與水旱輪作田生態研究；(3)臺南場雲林分場(7.0ha)：雙期作水田與水旱輪作田生態研究。三個研究站的氣象資料自 2007 年起，加入美國長期生態研究網之 ClimDB 的氣象資料庫，成為 LTER 研究網之一員。農業生態系有別於自然生態系，其試驗運作與管理均較自然生態研究站複雜，美國 26 個長期生態研究站，在農業方面亦只有 Kellogg Biological Station 一個站，該站係屬於溫帶農業生態研究站，臺灣若能建立另一完整的亞熱帶的農業生態研究站，未來除了了解我國農業生態系並提出管理法則外，亦可以與美國或其他溫帶者進行比較，提供更多元的生態系資訊，以減輕人類活動對生態造成的衝擊。

全球暖化將會衝擊農作物的生產量，造成糧食安全問題。根據 IPCC 第四次評估報告 (IPCC, 2007) 指出，1906−2005 年以來每年全球平均上升 0.74˚C。為探討氣候變遷對農業生態系之影響，本研究藉由台南區農業改良場雲林分場（以下簡稱雲林分場）與嘉義農業試驗分所溪口農場（以下簡稱溪口農場）LTER 2007−2013 年研究站及全台 15 個試驗點 2012 年一期與二期作水稻生長期之平均氣溫 (T_{ave})、最高氣溫 (T_{max})、最低氣溫 (T_{min})與生長積溫(GDDs)，進行長期氣象資料與南北部度差異對水稻產量間之相關性評估。基於過往的氣候資料有限，本研究除了以 LTER 研究站資料評估多年氣溫變化對水稻台南 11 號產量之影響。此外，利用預測模式來預估在氣候變遷下水稻之產量變化模型。

Denitrification-Decomposition (DNDC) 模式是在農業生態系統下，建立碳 (C)與氮 (N)的生物化學流程的基礎模式 (http://www.dndc.sr.unh.edu/)。模式分為兩大部分：第一部分，包含土壤氣候、作物生長、分解作用的模式，並且預測土壤的溫度、含水率、pH 值、還原電位(Eh) 和各物質的濃度分佈；第二部分，包含硝化作用、反硝化作用、發酵作用的模式，並且預測土壤與植物中二氧化碳 (CO_2)、甲烷 (CH_4)、氨 (NH_3)、一氧化氮 (NO)、一氧化二氮 (N_2O)、氮氣 (N_2)的釋放量。模式本身透過物理、化學定律和實驗下的經驗方程式合併並參數化出特別的地質化學或生物化學反應，而整個模式的形成包含有碳 (C)與氮 (N)的生物化學循環與生態機制;土壤中之碳與氮含量在植物體的成長中扮演很重要的角色，其會直接影響土壤中一系列的生物化學或地質化學的過程。在 DNDC 模式中藉由作物的參數，例如：最大產量、部分基質、碳氮比、水稻需求溫度、水的需求、固氮含量，模擬出植物體每日的光合作用、呼吸作用、

碳分配、水與氮的攝取等，藉此驗證其與觀測值是否相符。

在作物重要病害部份，本研究於本所嘉義分所、溪口農場及台南區農業改良場雲林分場設立長期農業生態園，針對水稻、落花生及荔枝等 3 種作物，在不同耕作制度 (水田, LL、水旱輪作田, LU)、不同施肥及施藥 (高投入, CA、低投入, SA) 處理下，長期調查、分析關鍵病蟲害及天敵發生之動態，本研究除了可瞭解在農業長期生態系中病蟲害及天敵之發生動態，並可探討在不同耕作制度下之生態系統中各主要因子間之交互作用，以瞭解永續維持生態系生產力之機制及其對環境之衝擊。

在指標昆蟲部份，由於昆蟲 (包括作物害蟲與天敵) 為農業生態系中重要的成員之一，其族群消長與農業生產息息相關，亦為農田生態系變異程度的重要指標 (Naeem & Li 1997; Altieri 1999)。其中，害蟲天敵的生物多樣性與豐度更是評估農業是否能夠永續經營的關鍵因子 (Schmitz 2007; Obrist & Duelli 2010)。簡言之，害蟲天敵在自然環境下可以發揮抑制害蟲族群的功能，高投入(如大量施用農藥)的作物管理破壞了這項功能，使得現今的作物生產模式陷入惡性輪迴的泥淖中。農業長期生態研究期望回溯至以往的農業管理模式，並且找到一個平衡點，可以滿足人類對農產品的需求，亦幫助農業得以永續經營。本研究參考美國密西根州立大學 W. K. Kellogg Biological Station (KBS) 長期生態研究有關指標昆蟲調查之經驗，基於 (1)符合減少使用農藥的研究目標；(2)已經確知瓢蟲為試區多種害蟲的重要捕食性天敵並且具有良好的搜尋獵物 (prey) 及遷移能力；(3)在研究人員能力所及與合理花費下進行調查工作，乃選定瓢蟲為指標昆蟲 (indicator insect)，在農業試驗所溪口農場及台南區農業改良場雲林分場試區之各處理區進行長期調查，建立基線資料 (baseline data) (Iperti & Paoletti 1999; Zahoor et al. 2003)，期了解農業生產體系肥料與農藥的投入以及氣候等因子對害蟲天敵族群的影響，幫助未來建立符合農業永續經營的作物管理模式。

在雜草相變遷部份，農田的管理措施將使農田內雜草相發生變化及變遷，造成原因相當的複雜而多樣，因此在不同農耕體系或制度下的經營管理措施，不僅須考慮對作物的效應，亦需關注對當時雜草相的影響。例如未經耕作與曾經耕作的水稻田將有不同組成的雜草群落，有學者認為雜草相的改變並非作物耕種的次數增加所造成，而係整地或水分管理不同引起(Kent *et al.*, 2001)；又如亞洲某些地區當以直播方式種植時，可使水稻田中的芒稷 (*Echinochloa colona*)、千金子 (*Leptochloa chinensis*)等一年生禾本科雜草成為優勢草種，取代移植稻田經常出現的鴨舌草 (*Monochoria vaginalis*)、細葉水丁香 (*Ludwigia hyssopifolia*)等闊葉草 (Ho & Itoh, 1991)。因此，對於不同的農耕生態系及農耕操作，應當長期調查農田的雜草相，以施予合適的雜草管理措施並避免生態環境的劣化。農耕的多種操作措施將對農耕生態系造成深遠影響，所涉及的層面十分廣泛，對於週期循環變化的雜草而言，可能直接或間接影響雜草種

類及密度的發展，而對農田的經營管理層面，則將牽涉作物與雜草間的競爭關係，並進而改變整個農田生物多樣性的維護。有鑑於此，本研究特別針對農業長期生態系試驗所設立的 2 大農耕生態系統的雜草相進行深入探討，本階段在於瞭解雙期作水田農耕生態系及一期作水稻、二期作落花生水旱輪作農耕生態系的雜草相變化及其差異。未來將持續追蹤不同農耕處理 (操作) 下雜草相的長期變遷，期能提供評估建議予不同農耕生態系下雜草管理的參考，並助益於農耕系統的永續經營發展。

材料與方法

一、農業長期研究站

1. 試驗樣區基本資料

本研究以 2006 年成立之三處農業長期生態研究站，包括台南農改場雲林分場、農試所溪口農場及農試所嘉義分所為試驗樣區，三處之基本資料如表 1 所示。

2. 投入處理及施肥管理

慣行農耕 (Conventional Agroecosystem；CA) 以現行之推薦管理方法進行耕作，肥料用量如表 2 所示；永續農耕 (Sustainable Agroecosystem；SA) 之肥料用量約為推

表 1. 農業長期生態研究站基本資料。

Table 1. Information of three LTER stations on agriculture system

			雲林分場	溪口農場	嘉義分所
土壤特性		土質	石灰性 砂頁岩沖積土	石灰性 砂頁岩沖積土	紅壤
		pH	4.0−6.5	6.0−7.5	4.0−5.0
		質地	砂質壤土	坋質粘壤土	表土：壤土 底土：坋質粘土
作物制度與投入處理	連作	LL-CA	花生-甘藷(96-97 年) 水稻-水稻(98-100 年)	水稻-水稻	荔枝園
		UU-CA			
		LL-SA	花生-甘藷(96-97 年) 水稻-水稻(98-100 年)	水稻-水稻	荔枝園
		UU-SA			
	輪作	LU-CA	水稻-甘藷(96-97 年) 水稻-花生(98-100 年)		荔枝園
		LU-SA	水稻-甘藷(96-97 年) 水稻-花生(98-100 年)		荔枝園
滲漏計		埋設時間	2008 年	2007 年	2007-2009 年
		埋設支數	8 支	6 支	6 支

註：LL 為旱作連作／UU 為水田連作／LU 為水旱輪作；CA 為慣行農耕／SA 為永續農耕。

薦量的 80%，善用最新科技技術及知識為基礎，考慮長遠的最大利益為依歸，不求取現今最大的利益為目標。

3. 各投入處理之農藥使用情形如表 3 所示。

4. 氣象資料之收集

三個長期生態研究站 (農試所嘉義分所、嘉義分所溪口農場及臺南場雲林分場) 位置圖及基本資料如圖 1、圖 2、圖 3、圖 4 及表 4 所示；氣象資料係各研究站之氣象站收集，包括氣溫、相對濕度、日射量、日照時數、降雨、風向和風速等感測器項目。氣象站每秒掃描各感測器一次，但資料記錄器僅記錄每小時各氣象感測器量測之平均值，並回傳至伺服器。

表 2. 雲林分場與溪口農場之肥料處理量。

Table 2. Quantity of fertility on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm

雲林分場			UU		LU	
			CA	SA	CA	SA
96–97 年	第一期	落花生	45:45:50	20:15:15		
		水稻			160:72:84	100:30:30
	第二期	甘藷		80:45:180	60:30:120	80:45:180
			LL		LU	
			CA	SA	CA	SA
98–100 年	第一期	水稻	160:72:84	100:30:30	160:72:84	100:30:30
	第二期	水稻	160:72:84	100:30:30		
		落花生			45:45:80	20:15:40
溪口農場			LL		LU	
			CA	SA	CA	SA
96–97 年	第一期	水稻	180:175:130	100:89:68	180:175:130	100:89:68
	第二期	水稻	120:60:60	80:30:30		
		甘藷			80:45:180	60:30:120
98–100 年	第一期	水稻	140:70:85	100:30:30	140:70:85	100:30:30
	第二期	水稻	120:60:60	80:30:30		
		落花生			45:45:40	20:15:15

註：各處理為：LL－水田連作，LU－水旱輪作，UU－旱田連作，CA－慣行農耕，SA－永續農耕；作物品種分別為：水稻－台南 11 號，甘藷－台農 57 號，落花生－台南 14 號；施肥比例為 N: P_2O_5: K_2O。

表 3. 各投入處理之農藥投入

Table 3. Different treatments between conventional (CA) and sustainable agroecosystem (SA)

	水田	旱田
慣行農業(CA)	預估對產量有明顯影響時才用藥	使用現行管理模式
永續農業(SA)	不用藥處理	病蟲害嚴重時才用藥

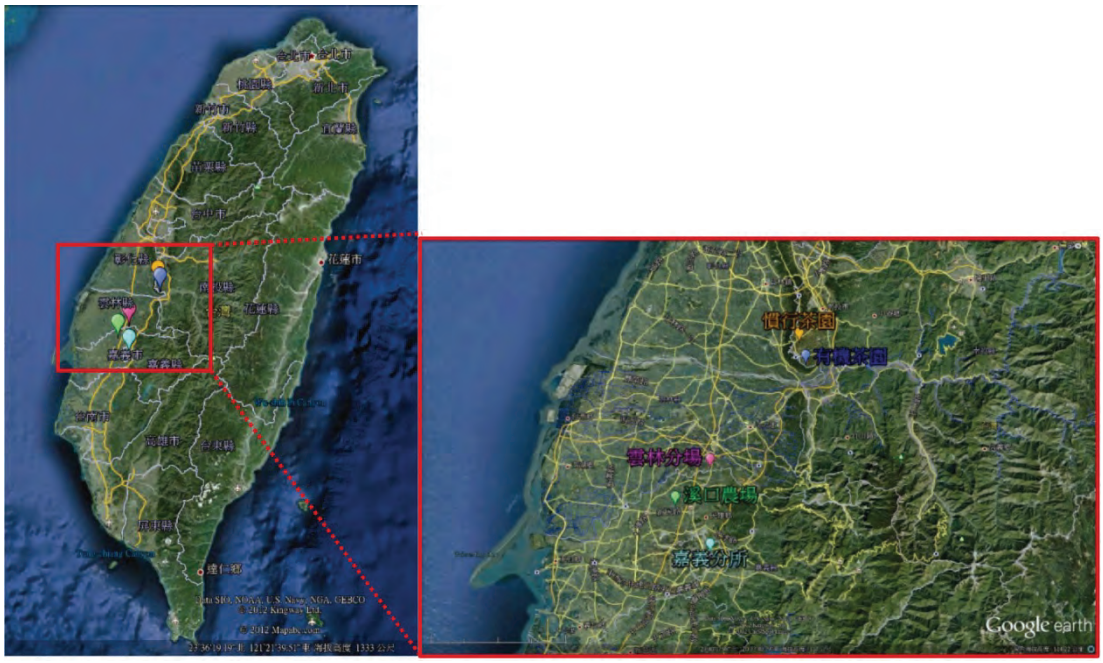


圖 1. 臺灣農業長期生態研究站位置圖。

Fig. 1. The location of three LTER stations on agriculture system in Taiwan



圖 2. 雲林分場試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 2. The location of different treatments on Yuin-Lin branch station (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)



圖 3. 溪口分場試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 3. The location of different treatments on Chi-Ko branch farm (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)

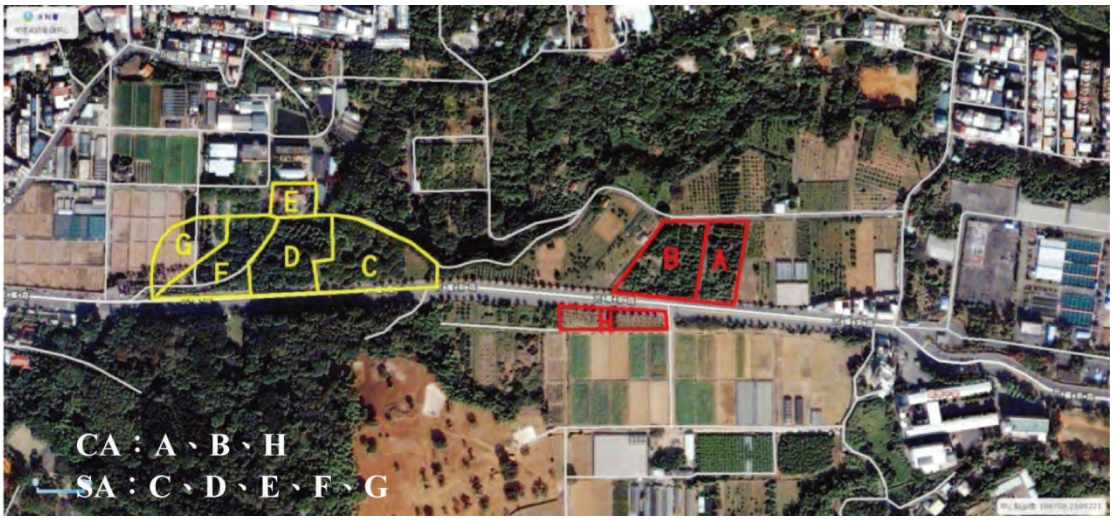


圖 4. 農試所嘉義分所荔枝園試驗設計配置圖(CA：慣行耕作模式；SA：永續耕作模式)。

Fig. 4. The location of different treatments on Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute (CA: conventional agroecosystem; SA: sustainable agroecosystem)

二、氣溫對水稻台南 11 號產量之影響

1. 長期生態研究站歷年水稻生長期氣溫與其產量之迴歸分析

為瞭解台灣農業站之長期氣溫變化趨勢以及評估多年氣溫變化對水稻產量之影響，本研究之研究對象為南部栽種面積較廣水稻品種台南 11 號，並採用設於台灣 LTER 研究站雲林分場與溪口農場場內農業氣象站歷年 (2007 年至 2013 年) 氣溫資料及採慣行耕法之歷年產量進行相關與迴歸分析，若遇氣象站內偵測儀器於部分日期出現故障而導致缺值產生時，則改以近歷年該日之氣溫資料平均值 (normal year) 取代。另外，

表 4. 台灣三處農業長期生態研究站氣象基本資料表。

Table 4. Meteorological information of three LTER stations on agriculture system.

	G2M35 溪口農場	G2L02 嘉義分所	72K22 雲林分場
經緯度　經度	120°40’47”	120°47’01”	120°47’64”
緯度	23°58’18”	23°48’57”	23°63’30”
海拔高度(公尺)	16	50	35
成立時間	1987 年 6 月	1922 年 9 月	1987 年 4 月
氣象資料登錄			
Morpho	2006 年開始	2000 年開始	1990 年開始
ClimDB	2000 年開始	2000 年開始	2000 年開始
氣象觀測項目			
氣溫　平均溫度	V	V	V
極端最高溫		V	V
極端最低溫		V	V
露點溫度			V
光度　全日射量(MJ)	V		V
日照時數(Hour)	V		V
光量子計(μmol)	V		
相對溼度	V	V	V
降雨量	V	V	V
風速	V	V	V
風向	V	V	V
蒸發散量			V
大氣壓力			V
土壤溫度　5 公分	V		V
10 公分	V	V	V
20 公分	V		V
50 公分	V		V
100 公分	V		V

水稻於生長發育過程中，每日環境平均溫須超過其基礎溫度，才可達到另一發育階段，因此本研究有計算水稻之生長積溫 Growing degree days，後簡稱 GDDs) ，其計算公式如下述：

$$GDDs = \Sigma(T_{ave} - T_{base})$$

其中，T_{ave} 為每日平均氣溫，而 T_{base} 是以 10˚C 代表水稻基礎溫度 (Sarma, *et al*., 2008)。

2. 2012 年全台 15 處試驗點水稻生長期氣溫與其產量之迴歸分析

為評估台灣南北溫差對水稻產量之影響，本研究採用全台 15 個試驗點 2012 年一期與二期作水稻產量，以及離試驗田 20 公里以內之紀錄最完整之氣象站水稻生長期間平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫與生長積溫進行相關與迴歸分析，若氣象資料於部分日期有缺值，則改以 2001 年至 2010 年該日之氣溫資料平均值(normal year) 取代。本研究使用各試驗田與氣象站位置參見圖 5。

3.利用 DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響

為評估台灣南北溫差對水稻產量之影響，使用 DNDC 中之 site 模式，將氣象檔與作物基本資料輸入，包括每日相對濕度、輻射、風速、最大溫度、最小溫度、植物體的種類、地貌、土壤性質 (質地、pH、比例) 以及農作時程等；模擬完畢後 site 模式會將作物的收穫的基質，以及隨著植物成長增加的葉、莖、根的基質以每日為單位之模擬結果輸出。此外，模式中之分解作用計算基礎在於土壤中所存在的土壤有機質 (SOM) 的含量、土壤氣候和土壤的可用性氮。而硝化與反硝化作用的預測機制則藉由變化中的還原電位和其他相關物質(例如：溶解性有機碳 (DOC), NH_4^+, NO_3^-, NO, N_2O)。當浸水事件發生時，DNDC 模式會藉由連續減少的硝酸鹽、錳離子 (Mn_4^+)、鐵離子 (Fe_3^+)和硫酸鹽追蹤土壤的還原電位的減少機制。當低於一定的還原電位時，發酵作用模式將被啟動進而計算甲烷的產生量。

三、不同耕作制度下重要作物病害調查

配合其他子計畫之試驗設計，不同耕作制度及處理下，每一區分別調查關鍵病蟲害及天敵發生動態。

1. 水稻

主要調查稻熱病、白葉枯病與紋枯病等三種主要病害。分於溪口農場和雲林分場其中一種病害初發生後，即開始定期調查各病害之罹病率 (Disease incidence) 與罹病等級 (Disease index)。稻熱病與白葉枯病的調查於每區塊田隨機調查 5 點，每點記錄 25 叢 (panicle) 稻株，稻熱病與白葉枯病之罹病等級採 IRTP (International Rice Testing Program, 1976) 之計算方式，以病斑佔葉面積之百分率為判定依據。稻熱病共分成 0–9 級，未有病斑者為 0 級，發病面積 1% 以下為 1 級、2% 以下為 3 級、

2–10% 為 5 級、11–25% 為 6 級、26–50% 為 7 級、51–75% 為 8 級、超過 75% 為 9 級；白葉枯病則以發病面積 1% 以下為 1 級、1–5% 為 3 級、6–25% 為 5 級、26–50% 為 7 級、51–100% 為 9 級。紋枯病之調查亦於每區田任取 5 點，每點調查 25 叢稻株之罹病等級，此病害之罹病等級採 IRTP (1976) 之計算方式，以病斑佔葉鞘株高比率為依據，1–25% 為 1 級、26–50% 為 3 級、51–75% 為 5 級、75% 以上為 7 級、所有葉鞘與葉片均遭受嚴重感染為 9 級。最後再依下列公式換算成罹病度 (Disease severity)。罹病度=Σ (指數 × 該指數罹病株數)／(9 × 總調查叢數) × 100%。



圖 5. 2012 年全台 15 處試驗點位置圖。

Fig. 5. Fifteen study station around Taiwan in 2012.

2.落花生

隨機調查 5 點，每點調查 25 株落花生之銹病罹病度。調查方式如下：每株按發病佔全株比例而分級，0：未發病；1：代表發病面積佔全株 1–5%；2：代表發病面積佔 11–25%；3：代表發病面積佔全株 25–50%；4：代表發病面積佔全株面積 50% 以上,並依下列公式算出罹病度。罹病度=Σ(指數×該指數罹病株數)／(4×總調查葉數)×100%。

3.荔枝

定期調查果實露疫病及酸腐病之罹病率，每區逢機取 5 株，每株調查 100 顆果實，換算成罹病率。

四、農業長期生態試驗園區指標昆蟲–瓢蟲之調查

於溪口農場及雲林分場試驗田區之每一試驗小區各設立二支 T 型支架 (長 120 cm、高 150 cm)，每個支架設立於試驗田中央長軸前、後兩邊距離田埂 20 m 處，支架上懸掛一塊黃色黏板 (33 x 28 cm) (如圖 6 所示)。每二星期將黃色黏板收回並掛上新黏板，並於實驗室內參考 Yao & Tao (1972)及 Yu & Wang (1999) 之檢索與圖鑑檢視並記錄黏板上所捕獲瓢蟲的種類與數量。

五、氣候變遷對不同耕作制度下雜草相之變化

雜草試驗於行政院農業委員會農業試驗所嘉義分所溪口農場之農業長期生態系試驗區進行 (圖 3)，試區雜草種類與數量的調查，係自每一農耕生態系的重複小區中逢機取樣 4 點，每點面積 1 m^2，先計算各重複小區 4 點的平均值，再計算各農耕生態系



圖 6. 黃色黏板懸掛情形。

Fig. 6. The situation of yellow sticky traps around the field

全部小區的均值作為代表值。各農耕生態系的試區，皆於收獲前數日進行取樣調查，先將 1 m^2 面積內的所有雜草樣本拔取攜回研究室，經過清洗、分類後記錄雜草的科屬別、物種別，量測植株數量後得到密度 (pl m^{-2})。續稱取其等鮮重，又經 80℃烘乾 72−96 h 後稱取乾重。試驗資料之統計分析採用 SAS 軟體 (version 9.1, SAS Institute)，繪圖軟體則採用 Sigmaplot (version 8.0, SPSS ASC BV, The Netherlands)。除了各農耕生態系的均值，亦計算其機差 (或稱標準誤，standard error; SE)及雜草出現百分比(%)，後者係指每一農耕生態系中該雜草科別或種別出現之百分比，公式如下列：

$$\text{雜草出現百分比(\%)} = \frac{\text{該雜草科別或種類之株數}}{\text{該農耕生態系中所有雜草科別或種類之株數總和}} \times 100\%$$

結果與討論

一、氣象資料之收集

1.長期生態研究站歷年之氣溫變化趨勢

在三個研究站中，以雲林分場之氣象觀測時間最長，自 1988 年起即有氣溫之觀測資料 (如圖 7 所示)，雖期間氣象資料監測有部份中斷 (1993 年至 1996 年)，但仍能從 25 年長期觀測資料看出氣溫呈現增溫之現象，但若僅分析 2000 年至 2013 年各研究站之氣溫迴歸分析，則未呈現增溫之現象 (圖 8)。依據中研院氣候變遷研究 (圖 9；汪，2011) 指出，從台灣長期觀測資料顯示氣溫有逐漸增加之現象，雨量變化亦逐漸加劇，但在 2000 年至 2013 年間正好是氣溫變化不大之區段，與近年生態研究站之觀測結果相近。

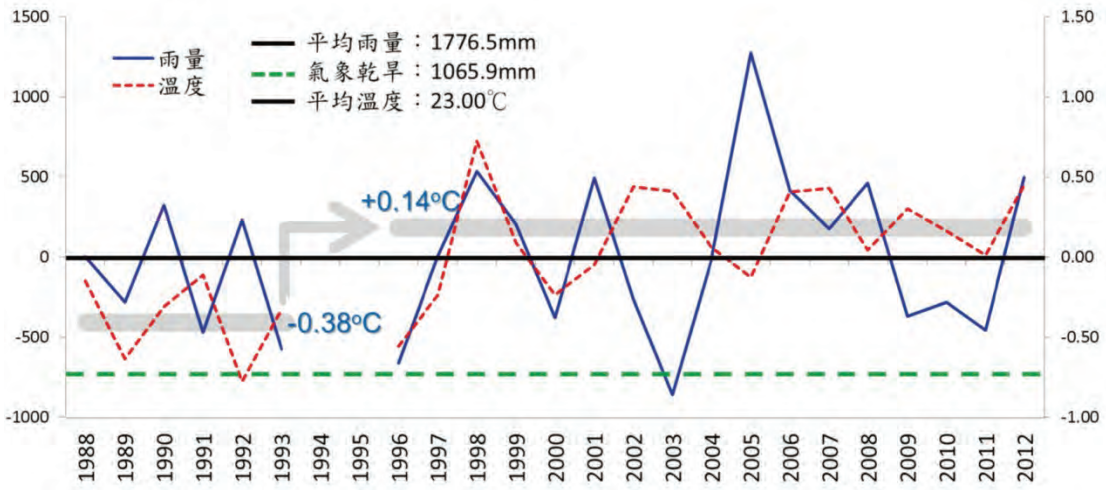


圖 7. 雲林分場歷年平均溫度及雨量變化圖。

Fig. 7. Average temperature and rainfall on Yuin-Lin branch station over the years

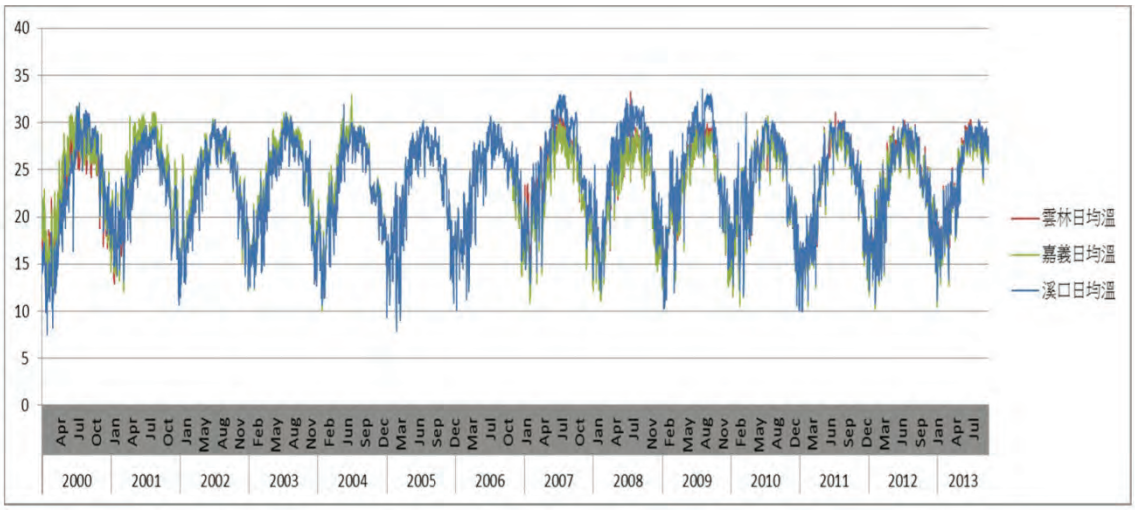


圖 8. 雲林分場、嘉義分所及溪口農場歷年(2000−2013 年)之月平均溫度變化圖。

Fig. 8. Average temperature on Yuin-Lin branch station, Chi-Ko branch farm, and Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute from 2000 to 2013.

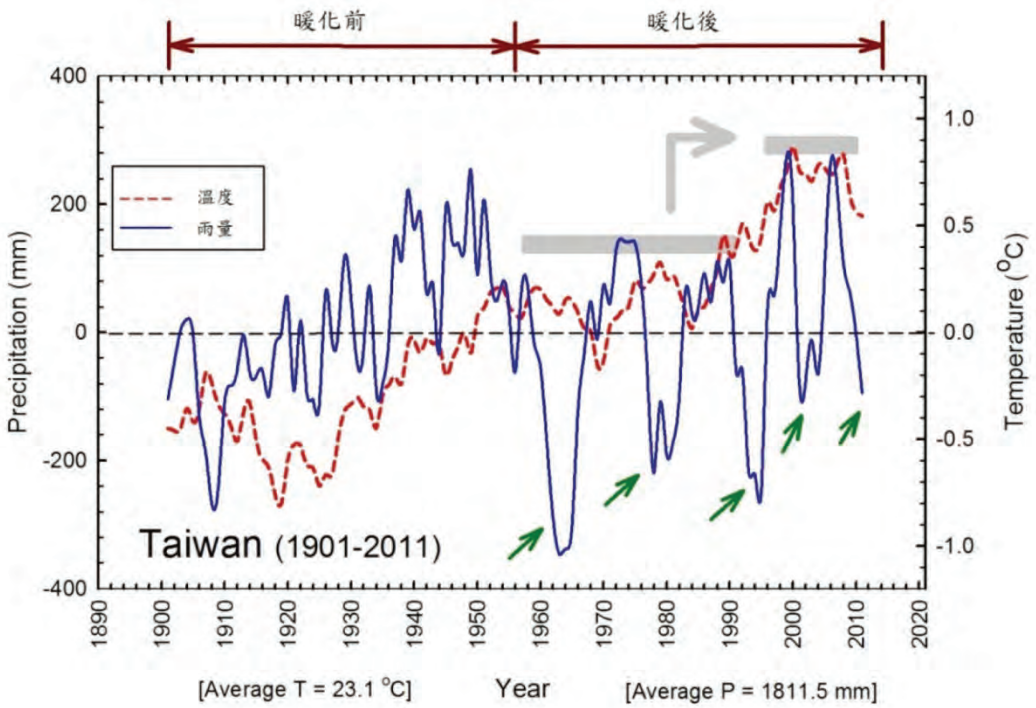


圖 9. 台灣地區歷年(1901−2011 年)平均溫度及雨量變化圖。(汪，2011)

Fig. 9. Average temperature and rainfall in Taiwan from 1901 to 2011 (Wang, 2011).

2. 長期生態研究站歷年之雨量變化趨勢

從三個研究站的月累積雨量分佈圖顯示，台灣中部地區仍是夏季多雨冬季乾旱的乾濕分明形態 (如圖 10 至圖 12 所示)，但 2011 年與 2012 年四月份較往年雨量多，而影響荔枝之授粉及產量；11 月的降雨使得土壤黏性較高之溪口農場花生採收困難度增加，然這些變化應仍屬正常降雨變異範圍內。2012 年八月下旬仍有降雨，也使得溪口農場田區濕濘無法耕犁，而錯過了落花生適栽時間，許多農民因此放棄旱作，而改種二期稻作。未來若經常性發生前述情形，則需考慮一些因應策略，如考慮不整地之耕作方式等，使農耕時序不致因降雨而延誤。

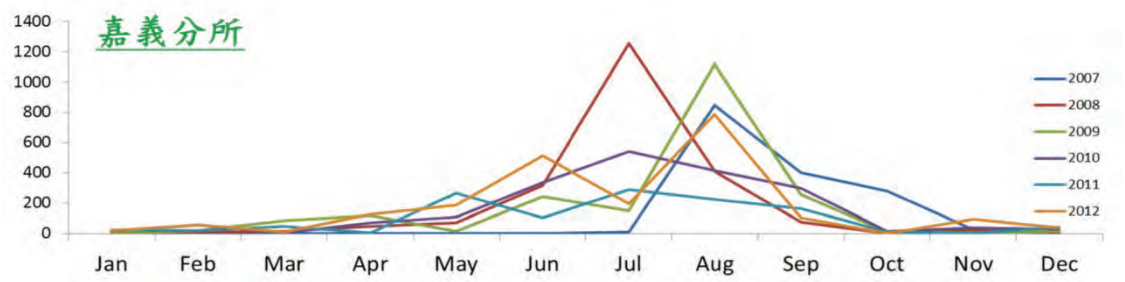


圖 10. 2007–2012 年嘉義分所之月雨量圖。

Fig. 10. Monthly accumulated rainfall on Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute from 2007 to 2012.

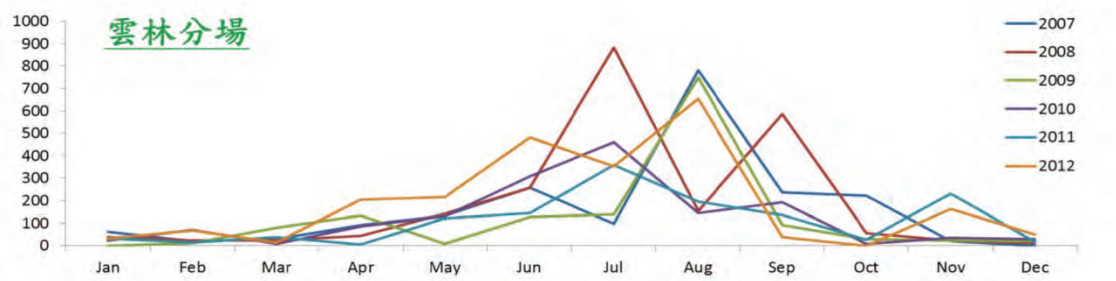


圖 11. 2007–2012 年雲林分場之月雨量圖。

Fig. 11. Monthly accumulated rainfall on Yuin-Lin branch station from 2007 to 2012.

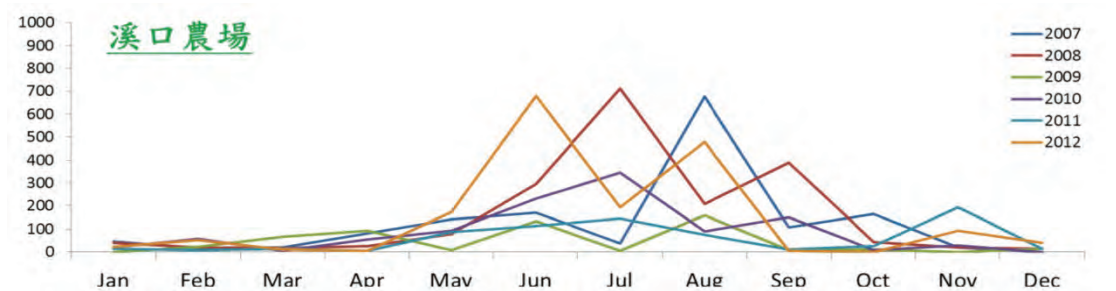


圖 12. 2007–2012 年溪口農場之月雨量圖。

Fig. 12. Monthly accumulated rainfall on Chi-Ko branch farm from 2007 to 2012.

二、氣溫對水稻台南 11 號產量之影響

1.長期生態研究站 2007−2013 年氣溫變化趨勢

以雲林分場與溪口農場 2007−2013 年平均氣溫資料進行分析，求得長期氣溫變化折線圖 (圖 13)，並加繪製了趨勢線於折線圖上，便於瞭解整體趨勢。趨勢線的結果顯示在這幾年間，並未顯示氣溫有逐年遞增之現象。然而，IPCC 報告所指出的增溫趨勢乃百年以上之大尺度觀測結果，全球平均地表溫度於百年間仍有波動變化。IPCC 第四次評估報告亦指出，1995 年至 2006 年這 11 年間在地表有紀錄溫度史(從 1850 年以來)中名列最暖的前 12 名，本研究所觀測到的趨勢乃從 2006 年至 2013 年，推測此時台灣平均氣溫屬下降之常態波動。

2.長期生態研究站 2007−2013 年水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析

以雲林分場與溪口農場場內農業氣象站於水稻台南 11 號生長期間每日平均氣溫為基礎，求得整個生長期間之平均氣溫與生長積溫兩參數，再以此兩參數與水稻產量進行相關與迴歸分析，所投入分析的參數值與樣區資料列於表 5。根據雲林分場歷年氣溫與產量數據進行分析，結果顯示其平均氣溫、生長積溫與產量之間無顯著相關，p 值分別為 0.62 與 0.41，然而就趨勢而言，雲林分場的產量有隨平均氣溫與生長積溫上升而上升的趨勢 (圖 14(a)、圖 4(a))，決定係數 r^2 分別為 0.17 與 0.28。根據溪口農場歷年氣溫與產量數據進行分析，結果顯示平均氣溫與產量呈顯著負相關 ($p = 0.04$)，即表示產量隨著平均氣溫上升而下降 (圖 14(b)，決定係數 r^2 為 0.301。然而，溪口農場其生長積溫與產量並無顯著相關 ($p = 0.51$)，然而就趨勢而言，溪口農場之生長積溫與平均氣溫有相同的趨勢，即產量隨生長積溫上升而下降 (圖 15(b)，r2 = 0.0376)。雲林分場之平均氣溫範圍為 22.5~26.6˚C，溪口農場之平均氣溫範圍為 22.0~27.8 ˚C，而根據前述結果顯示，雲林分場與溪口農場平均氣溫與生長積溫與產量分析所呈現相反的趨勢，因此推測台南 11 號生長期間平均氣溫在 27 ˚C 左右會有最高生產量，低於 27 ˚C 或高於 27 ˚C 則產量遞減。

由於上述各樣區歷年資料僅有十筆 (一年各有兩期稻作，共計五年)，能進行分析樣本數偏少，因此本研究試將雲林分場與溪口農場資料合併進行分析，其結果顯示平均氣溫與生長積溫與產量之間無顯著相關，p 值分別為 0.06 與 0.29。就趨勢而言，水稻產量會隨平均氣溫與生長積溫上升而下降 (圖 16)，決定係數 r^2 分別為 0.15 與 0.05。由於雲林分場與溪口農場的土質有所差異，合併兩場資料進行分析即意謂著多投入一個環境變數，可能是受此變數影響造成前述合併分析結果之解釋力(決定係數 r^2)降低。此外，所有上述的決定係數均偏低，係因影響水稻產量之因素繁雜，平均氣溫、生長積溫對水稻產量的解釋程度有限，這亦表示除了本研究中所考慮之溫度因素(平均氣溫與生長積溫)外尚有其他因素影響水稻產量。

表 5. 雲林分場與溪口農場 2007−2012 年環境與水稻生產資料

Table 5. Environmental data and yield of rice grown on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm from 2007 to 2012

地點	年度	種植系統	期作	施氮量 (kg/ha)	生育日數	產量 (kg/ha)	平均氣溫 (˚C)	生長積溫 (度日)
雲林分場	2007	水旱輪作	1	160	116	9170	26.4	1902.9
	2008	水旱輪作	1	160	127	7063	23.1	1668.5
	2009	水旱輪作	1	160	126	6736	23.7	1726.2
	2009	水田連作	1	160	126	6946	23.7	1726.2
	2009	水田連作	2	160	128	9222	25.0	1919.4
	2010	水旱輪作	1	160	134	7783	22.5	1673.4
	2010	水田連作	1	160	134	9334	22.5	1673.4
	2010	水田連作	2	160	119	8931	25.2	1808.2
	2011	水旱輪作	1	160	141	7314	22.8	1799.6
	2011	水田連作	1	160	141	9224	22.8	1799.6
	2011	水田連作	2	160	120	7403	26.6	1991.4
	2012	水旱輪作	1	160	141	9065	23.5	1904.6
	2012	水田連作	1	160	141	8721	23.5	1904.6
	2012	水田連作	2	160	124	8403	24.8	1829.5
溪口農場	2007	水旱輪作	1	180	115	6533	27.0	1956.7
	2007	水田連作	1	180	140	6832	25.1	2109.7
	2007	水田連作	2	120	107	4446	27.6	1879.6
	2008	水旱輪作	1	180	120	7106	25.0	1798.5
	2008	水田連作	1	180	120	6837	25.0	1798.5
	2008	水田連作	2	120	117	4913	27.8	2085.6
	2009	水旱輪作	1	140	122	7428	25.4	1874.4
	2009	水田連作	1	140	122	7429	25.4	1874.4
	2010	水旱輪作	1	140	141	8340	23.2	1863.4
	2010	水田連作	1	140	142	8776	23.2	1873.9
	2010	水田連作	2	120	120	6233	25.5	1860.6
	2011	水旱輪作	1	140	146	7823	22.0	1752.3
	2011	水田連作	1	140	146	5514	22.0	1752.3
	2011	水田連作	2	120	123	7370	26.5	2024.5
	2012	水旱輪作	1	140	140	9586	22.7	1780.2
	2012	水田連作	1	140	140	8505	22.7	1780.2
	2012	水田連作	2	120	134	7130	25.4	2063.3

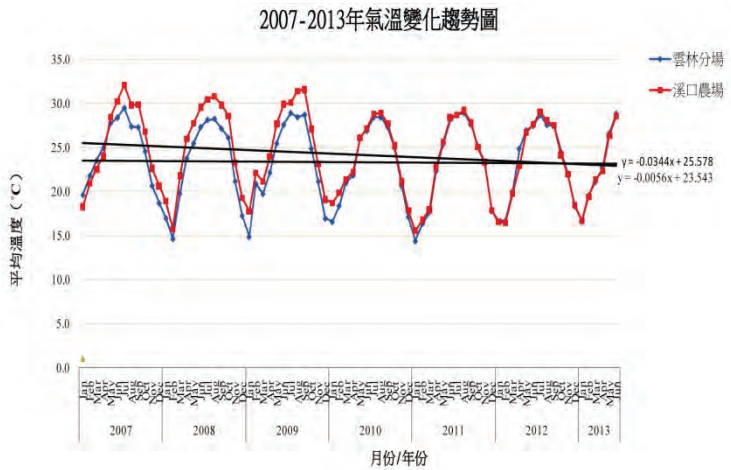


圖 13. 2007−2013 年雲林分場(藍色)與溪口農場(紅色)平均氣溫變化趨勢圖。

Fig. 13. Monthly average temperature between Yuin-Lin branch station (blue) and Chi-Ko branch farm (red) from 2007 to 2012.

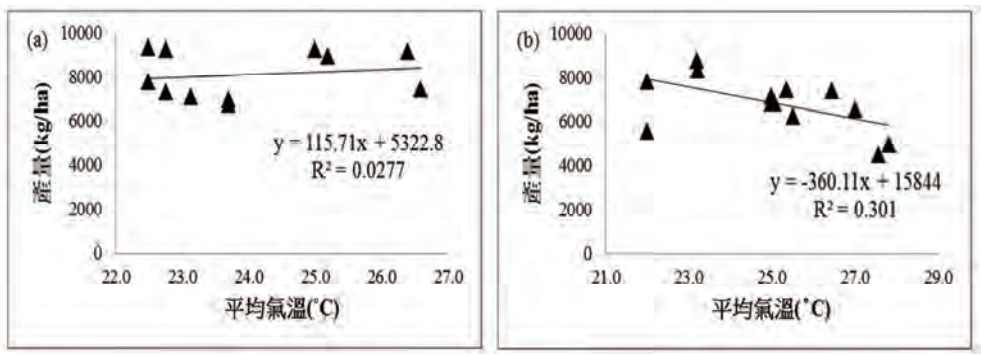


圖 14. 水稻生長期平均氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)雲林分場；(b)溪口農場。

Fig. 14. The regression relationship between yield of rice grown and average temperature: (a) Yuin-Lin branch station and (b) Chi-Ko branch farm.

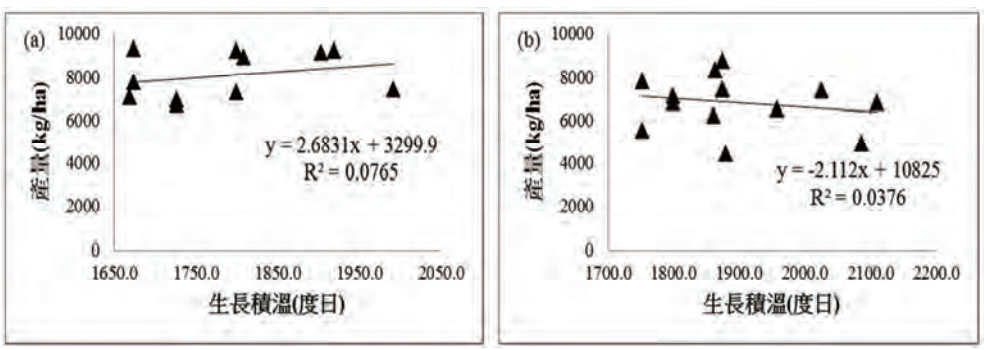


圖 15. 水稻生長積溫與產量之迴歸分析結果，(a)雲林分場；(b)溪口農場。

Fig. 15. The regression relationship between yield of rice grown and growing degree day (GDD): (a) Yuin-Lin branch station and (b) Chi-Ko branch farm.

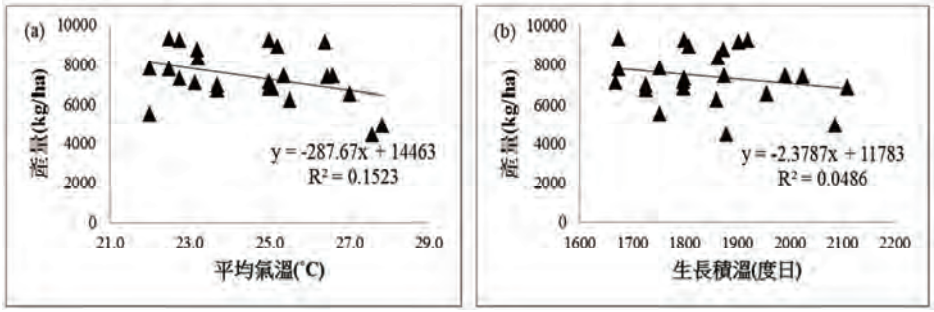


圖 16. 雲林分場與溪口農場水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)平均氣溫；(b)生長積溫。
Fig. 16. The regression relationship between yield of rice grown and (a) average temperature and (b)growing degree day (GDD) on Yuin-Lin branch station and Chi-Ko branch farm

3.2012 年全台 15 處試驗點一期與二期作水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析

根據 2012 年全台 15 處試驗點之產量與其鄰近氣象站測值進行分析，結果顯示無論是平均氣溫、最高氣溫、最低氣溫或生長積溫與產量均無顯著相關，p 值分別為 0.63、0.997、0.36 與 0.43。就趨勢而言，產量隨平均氣溫與最低氣溫上升而下降 (圖 17(a)、(d))，決定係數 r^2 分別為 0.02 與 0.05。反之，產量隨生長積溫與最高氣溫上升而上升(圖 17(b)、(c))，決定係數 r^2 分別為 8E-07 與 0.07。迴歸分析的結果，其決定係數較長期研究站資料所分析之結果低，推測係因跨台灣南北樣區本身環境變數較多，加上影響產量等繁雜因素交互作用，降低了本研究中所考慮之溫度因素對產量的解釋力。

4.DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響

除了少數地區外，台灣南部地區之水稻產量實測值高於北部地區，然而 DNDC 結果並非如此 (如圖 18 所示)，是否與氣象資料與土壤特性有關值得我們再深入探討。

三、不同耕作制度下重要作物病害調查

1.水稻

2013 年第一期作溪口農場與雲林分場有水稻稻熱病與紋枯病發生，稻熱病於 3 月初即開始零星發生，4 月因氣候因素開始蔓延，隨後兩場分別進行藥劑防治後，再加上水稻植株生長加速，病害危害程度有下降之趨勢 (表 6、8)；紋枯病於溪口農場最早 5 月中旬始零星發生 (表 7)，最高罹病率才 6.3% (5 月 15 日, LU-CA)，雲林分場則到 6/5 號最後一次調查時才有零星發生，罹病率分別為 LL-CA 0.0%，LL-SA 0.8%，LU-CA 0.2% 和 LU-SA 0.1%。第二期作兩試驗區均發生稻熱病，但發生輕微 (罹病等級均為 1.0)，罹病率最高分別為溪口農場 LL-SA 24.6% (10 月 23 日，表 9) 和雲林分場 LL-CA 24.0% (10 月 2 日，表 10)。另以最後調查日的罹病率和罹病度進行獨立樣本 T 檢定 (統計分析軟體 SAS-EG4)，結果顯示除第一期作溪口農場的水田連作 (LL) 和雲林分場的水旱輪作 (LU) 之 CA 與 SA 處理有顯著差異外，其餘皆對病害發生無顯著之影響 ($P > 0.05$)。

2.荔枝

嘉義分所荔枝病害發生調查結果顯示高投入區無露疫病發生，酸腐病發病率低於1.0%；低投入區則因大量落果無法進行病害調查。

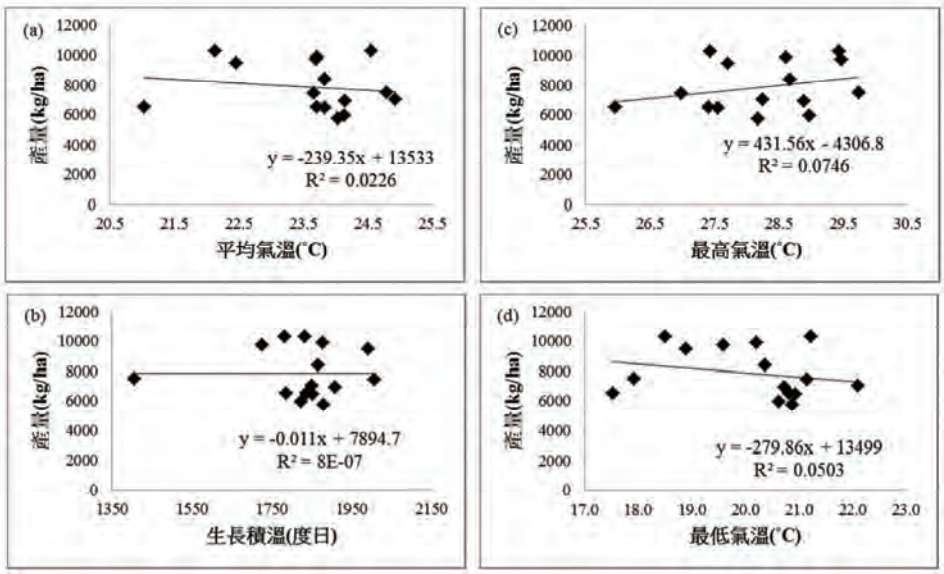


圖 17. 全台 15 處試驗點一期作水稻生長期氣溫與產量之迴歸分析結果，(a)平均氣溫；(b)生長積溫；(c)最高氣溫；(d)最低氣溫。

Fig. 17. The regression relationship between yield of rice grown and (a) average temperature ,(b) growing degree day (GDD), (c) maximum temperature, and (d) minimum temperature on 15 study stations around Taiwan.

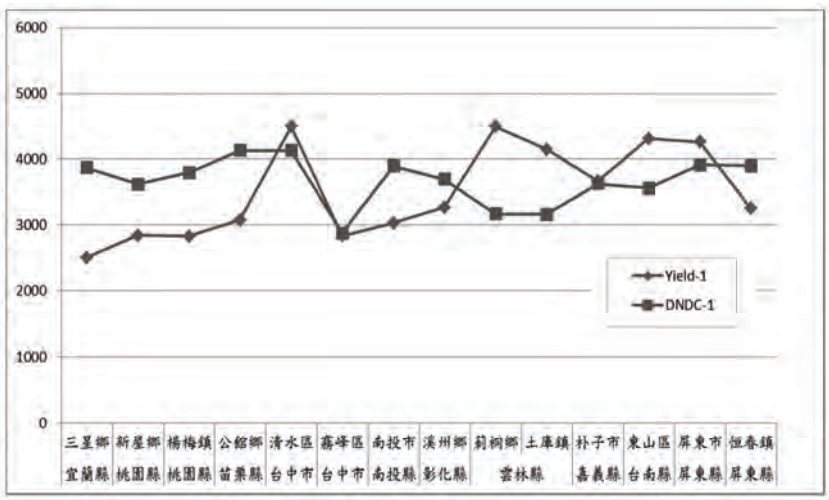


圖 18. DNDC 模式觀測台灣南北溫差對水稻產量之影響。

Fig. 18. The DNDC modeling applying to predict the effect of the yield of rice grown via temperature difference between north and south Taiwan.

表 6. 2013 年第一期作溪口農場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 6. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Chi-Ko Branch Farm in the first crop 2013

Treatment	Disease incidence, % (disease severity, %)						
	3/07	3/20	4/03	4/17	5/02	5/15	5/29
LL-CA[1]	0.8(0.1)	0.8(0.1)	76.2(17.9)	7.8(0.9)	8.4(1.4)	0.4(0.0)	0.0(0.0)
LL-SA	1.0(0.1)	1.8(0.2)	56.8(10.0)	2.9(0.3)	7.0(1.0)	1.0(0.1)	3.2(0.4)
LU- CA	0.9(0.1)	1.1(0.1)	89.2(20.5)	10.5(1.2)	8.2(1.5)	0.3(0.0)	1.8(0.2)
LU-SA	0.8(0.1)	2.3(0.3)	95.5(20.5)	9.4(1.0)	8.4(1.6)	0.5(0.1)	1.3(0.1)

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 7. 2013 年第一期作溪口農場水稻紋枯病之罹病率與罹病度。

Table 7. The disease incidence and disease severity of rice sheath blight in Chi-Ko Branch Farm in the first crop 2013

Treatment	Disease incidence, % (disease severity, %)						
	3/07	3/20	4/03	4/17	5/02	5/15	5/29
LL-CA[1]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6(0.2)	1.2(0.1)
LL-SA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2(0.1)	1.4(0.2)
LU-CA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3(1.3)	1.4(0.2)
LU-SA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0(0.5)	0.3(0.0)

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 8. 2013 年第一期作雲林分場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。

Table 8. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Yuin-Lin Branch Station in the first crop 2013

Treatment	Disease incidence, % (disease severity, %)						
	3/14	3/27	4/10	4/24	5/08	5/22	6/05
LL-CA [1]	1.2(0.1)	0.6(0.1)	90.0(21.2)	100.0(59.7)	7.6(2.1)	2.8(0.3)	0.6(0.1)
LL-SA	1.6(0.2)	1.0(0.1)	80.4(18.5)	100.0(37.5)	11.0(3.2)	0.2(0.0)	0.0(0.0)
LU-CA	1.8(0.2)	1.5(0.2)	95.1(26.1)	100.0(47.0)	9.8(2.7)	2.5(0.3)	0.0(0.0)
LU-SA	0.9(0.1)	1.2(0.1)	98.8(29.3)	100.0(42.5)	11.8(3.5)	1.4(0.2)	2.0(0.4)

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping; LU-CA: high input in rotation Lowland-Uping cropping; LU-SA: low input in rotation Lowland-Uping cropping.

表 9. 2013 年第二期作溪口農場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。
Table 9. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Chi-Ko Branch Farm in the second crop 2013

Treatment	Disease incidence, % (disease severity, %)				
	8/28	9/11	9/25	10/09	10/23
LL-CA [1]	1.2(0.1)	6.6(2.3)	7.1(2.3)	7.3(9.1)	12.4(1.4)
LL-SA	4.6(0.5)	2.6(0.3)	5.6(0.8)	11.7(4.2)	24.6(2.8)

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping.

表 10. 2013 年第二期作雲林分場水稻葉稻熱病之罹病率與罹病度。
Table 10. The disease incidence and disease severity of rice leaf blast in Yuin-Lin Branch Station in the second crop 2013

Treatment	Disease incidence, % (disease severity, %)			
	9/04	9/18	10/02	10/16
LL-CA [1]	5.0(0.6)	8.2(2.2)	24.0(13.3)	0.0(0.0)
LL-SA	5.4(0.7)	6.8(1.7)	21.4(11.2)	0.0(0.0)

[1] LL-CA: high input in succession Lowland cropping; LL-SA: low input in succession Lowland cropping.

四、農業長期生態試驗園區指標昆蟲–瓢蟲之調查

102 年一、二期作栽培期間，在溪口農場及雲林分場二試區每二週調查一次所得之瓢蟲種類與數量如下：

溪口農場 (詳如圖 19 至圖 23 所示)：

六條瓢蟲 *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)
素鞘瓢蟲 *Illeis koebelei* Timberlake (柯氏素菌瓢蟲)
稻紅瓢蟲 *Micraspis discolor* (Fabricius)
錨紋瓢蟲 *Lemnia biplagiata* (Swartz)
六星瓢蟲 *Oenopia formosana* (Miyatake)
龜紋瓢蟲 *Propylea japonica* (Thunberg)
七星瓢蟲 *Coccinella septempunctata* Linnaeus
赤星瓢蟲 *Lemnia saucia* Mulsant
八條瓢蟲 *Harmonia octomaculata* (Fabricius)
波紋瓢蟲 *Coccinella transversalis* Fabricius

102 年連作區總計調查 13 次，結果顯示連作慣行耕作區 (Lowland/CA)平均瓢蟲種類數為 0.60 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 0.88；連作永續耕作區(Lowland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.59 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢

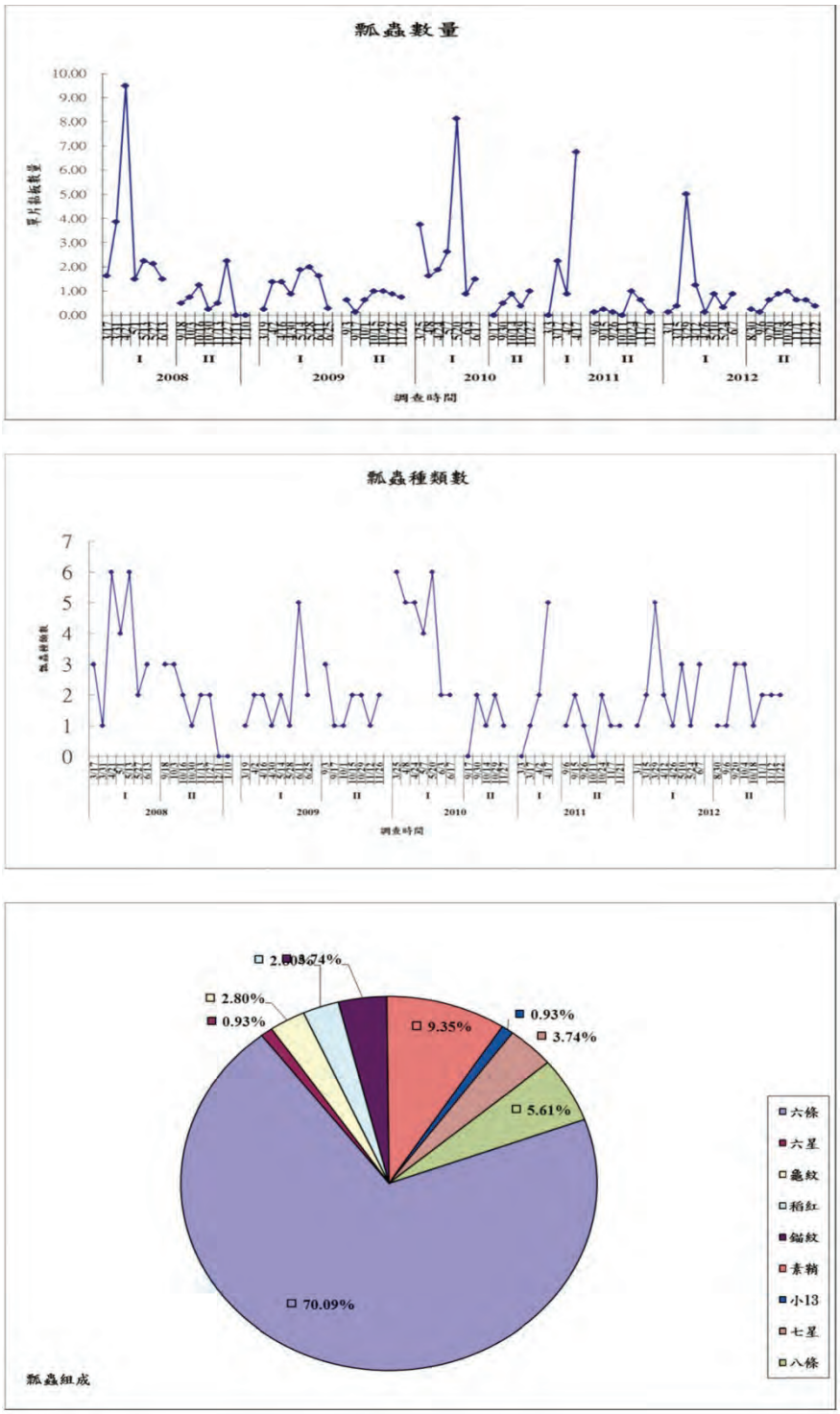


圖 19. 2008−2012 溪口農場連作 CA 區瓢蟲變化。

Fig.19. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland conventional agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012.

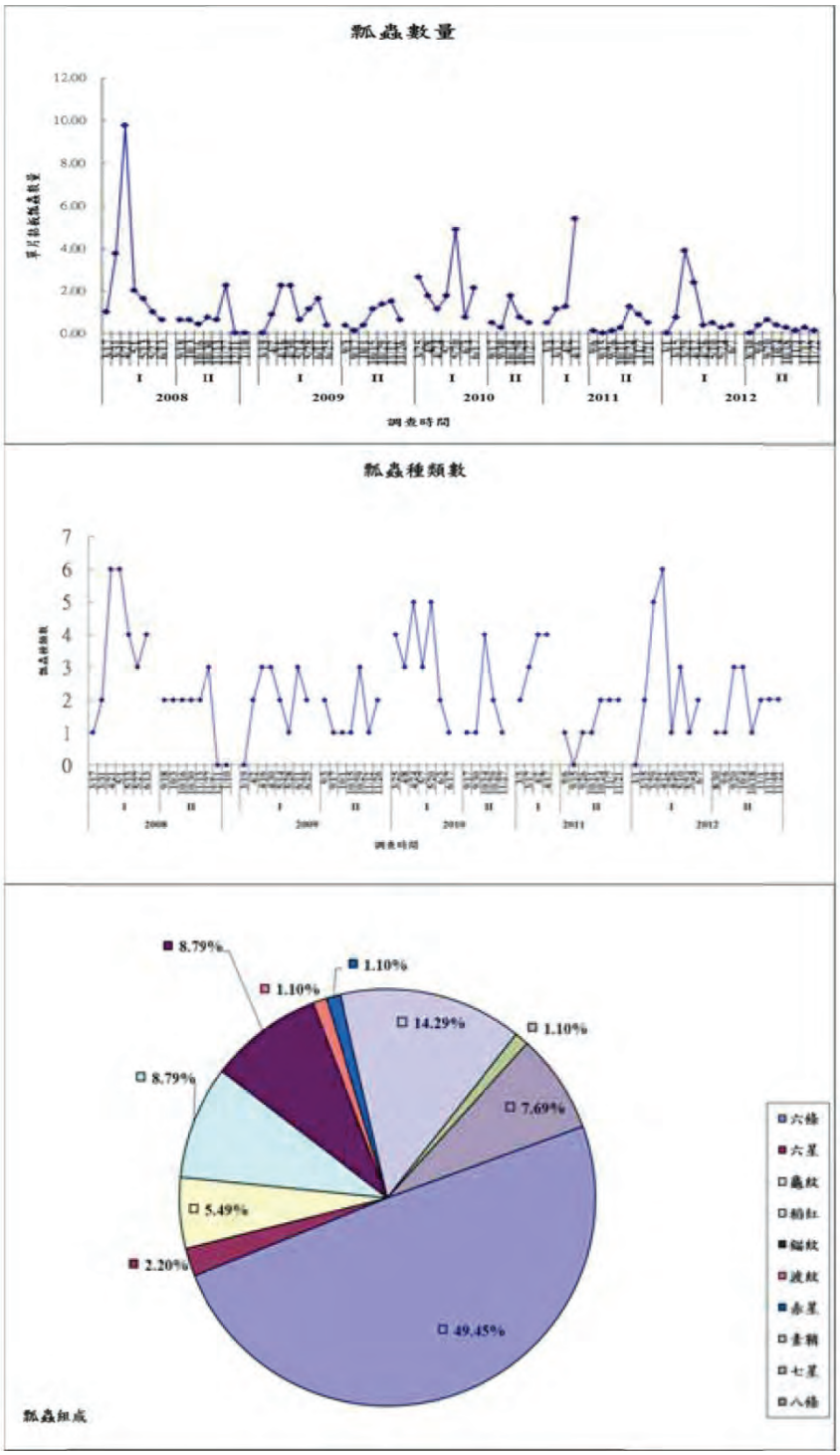


圖 20. 2008−2012 溪口農場連作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 20. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland sustainable agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

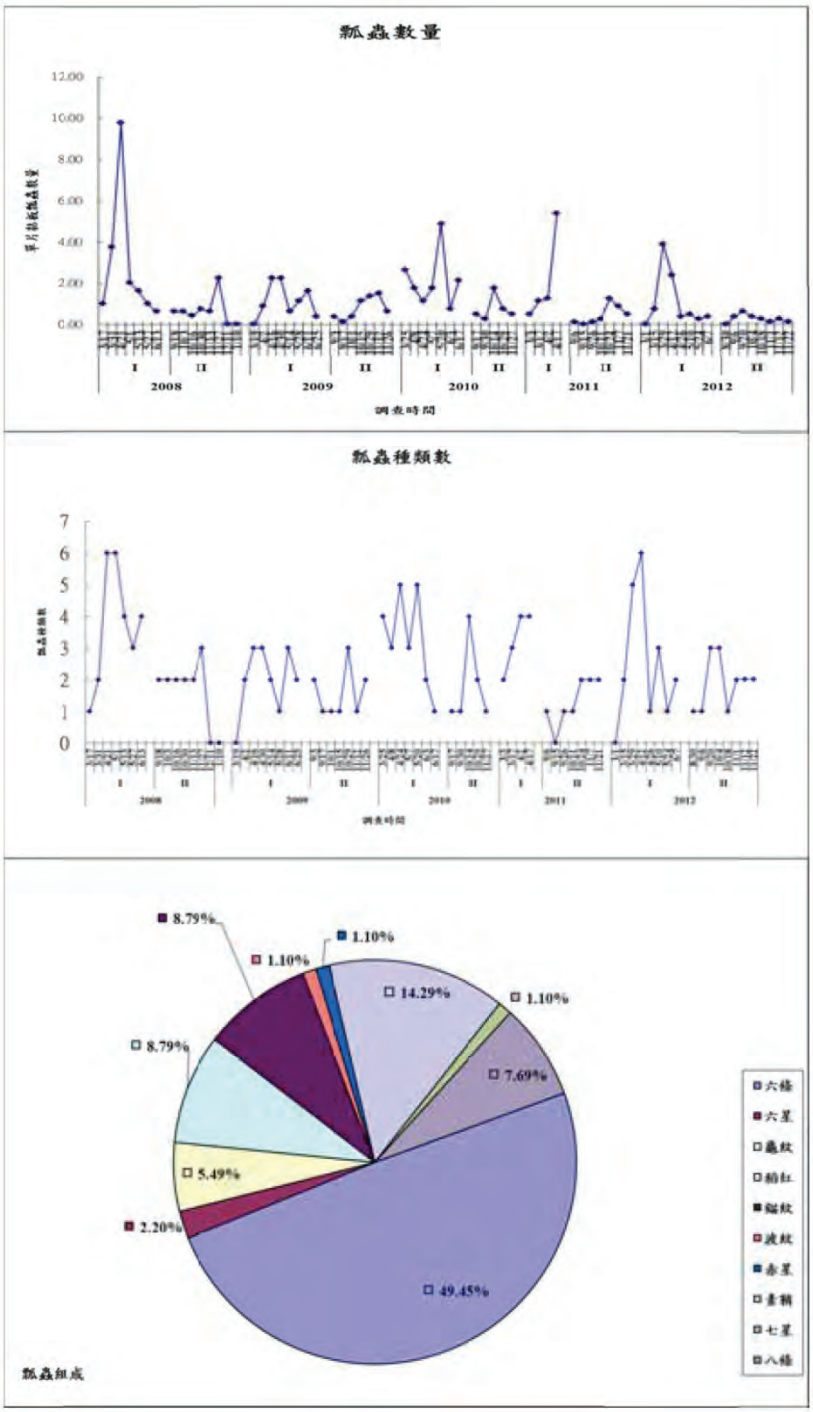


圖 21. 2008−2012 溪口農場輪作 CA 區瓢蟲變化。(2012 年二期作期間因連續陰雨，花生輪作被迫放棄，調查資料闕如)

Fig. 21. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland conventional agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

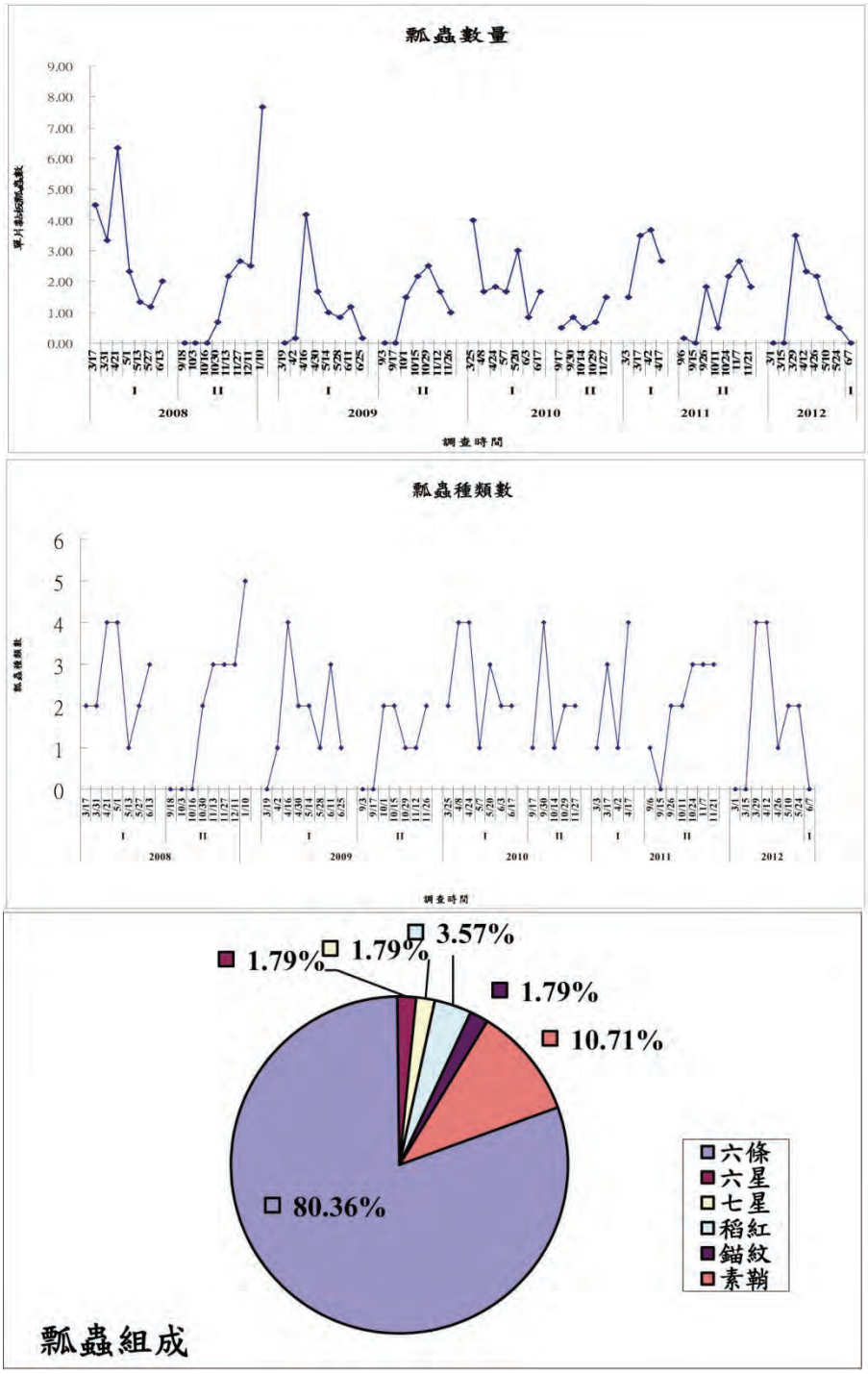


圖 22. 2008–2012 溪口農場輪作 SA 區瓢蟲變化。(2012 年二期作期間因連續陰雨，花生輪作被迫放棄，調查資料闕如)

Fig. 22. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland sustainable agroecosystem on Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

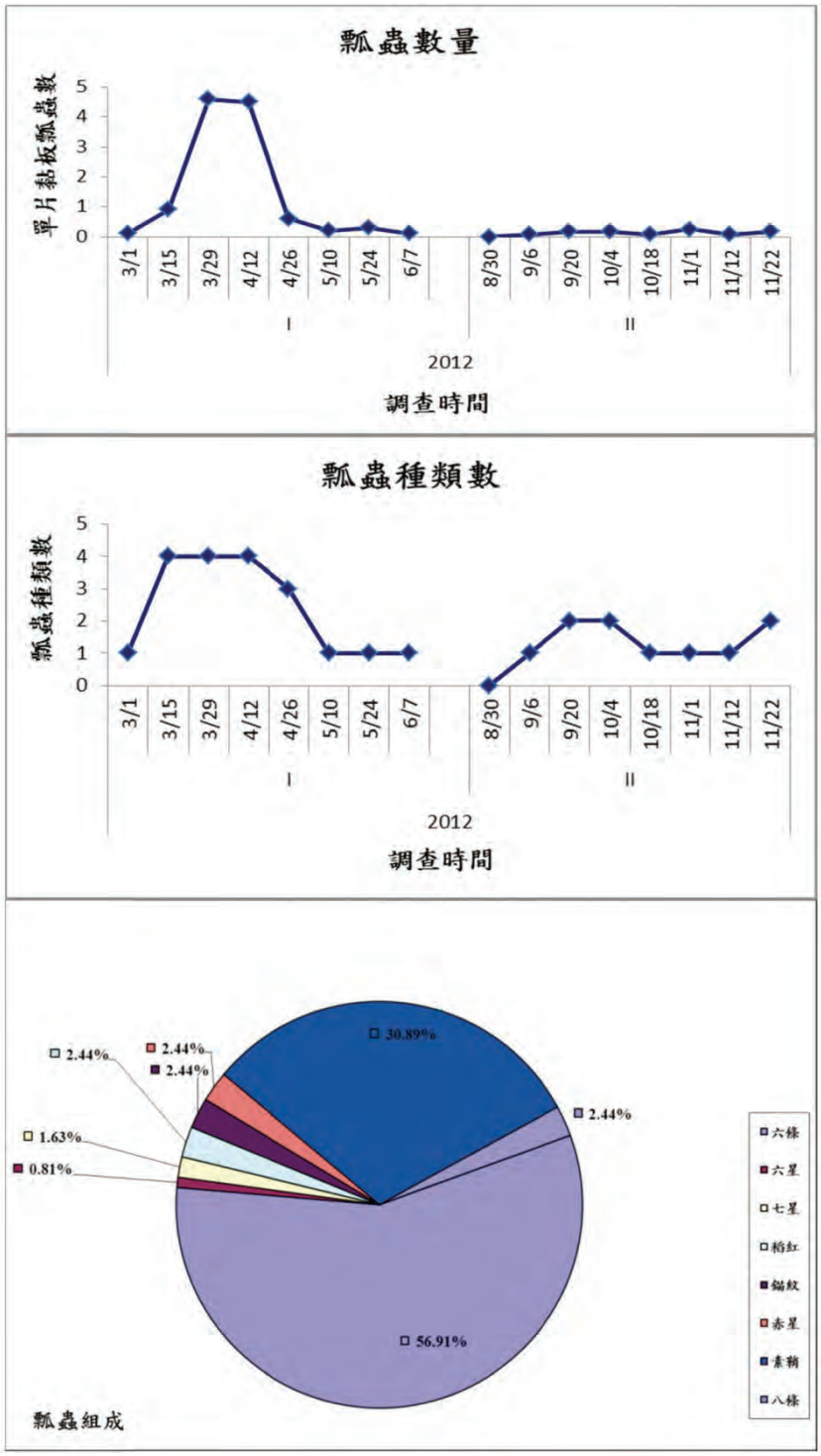


圖 23. 溪口農場外農民慣行耕作區瓢蟲變化。

Fig. 23. The change of the amounts of ladybugs in the conventional field out of Chi-Ko branch farm from 2008 to 2012

蟲數為 0.73。輪作區 102 年二期作期間因連續陰雨，未能耕作，僅於一期作期間調查 8 次，結果顯示輪作慣行耕作區 (Lowland-Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 1.02 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.36；輪作永續耕作區 (Lowland-Upland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.96 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.44。場外農民慣行耕作區於一、二期作總計調查 12 次，結果顯示平均瓢蟲種類數為 0.63 (最多 4 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 0.86。綜合各試區調查結果，六條、七星、八條、素鞘、龜紋、與赤星瓢蟲為各試區之共通種，並以六條瓢蟲數量最多，占各試區瓢蟲總數之 36.92–68.12%，其次為素鞘瓢蟲 17.24–38.46%。龜紋、稻紅、錨紋、赤星、素鞘、六星瓢蟲僅發生於一期作；各試區瓢蟲發生數量一期作顯著較二期作為多；場外農民慣行耕作試區於二期作期間僅發生六條與七星瓢蟲，且整體瓢蟲發生數量非常少，但於一期作期間之瓢蟲發生種類與園區內慣行耕作區相似，但發生數量則較多；上述情況可能與水稻栽作期間之天候型態以及各試區當期作期間附近之作物或植被種類有關。

雲林分場 (詳如圖 24 至圖 27 所示)：

六條瓢蟲 *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius)

素鞘瓢蟲 *Illeis koebelei* Timberlake (柯氏素菌瓢蟲)

錨紋瓢蟲 *Lemnia biplagiata* (Swartz)

七星瓢蟲 *Coccinella septempunctata* Linnaeus

龜紋瓢蟲 *Propylea japonica* (Thunberg)

赤星瓢蟲 *Lemnia saucia* Mulsant

稻紅瓢蟲 *Micraspis discolor* (Fabricius)

八條瓢蟲 *Harmonia octomaculata* (Fabricius)

六星瓢蟲 *Oenopia formosana* (Miyatake)

大十三星瓢蟲 *Synonycha grandis* (Thunberg)

連作區總計調查 12 次，結果顯示連作慣行耕作區 (Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 0.99 (最多 4 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.69；連作永續耕作區 (Upland/SA)平均瓢蟲種類數為 0.81 (最多 3 種，最少 0 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.68。輪作區二期作期間亦因連續陰雨，未能耕作，僅於一期作期間調查 7 次，結果顯示輪作慣行耕作區 (Lowland-Upland/CA) 平均瓢蟲種類數為 1.09 (最多 3 種，最少 1 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.58；輪作永續耕作區 (Lowland-Upland/SA) 平均瓢蟲種類數為 0.88 (最多 3 種，最少 1 種)，平均每片黏板捕獲瓢蟲數為 1.43。雲林分場調查得之瓢蟲種類數與溪口農場相同，但波紋瓢蟲僅在溪口農場零星發生，大十三瓢蟲於雲林分場零星發生。六條、素鞘、七星、六星瓢蟲為雲林分場各試區之共通

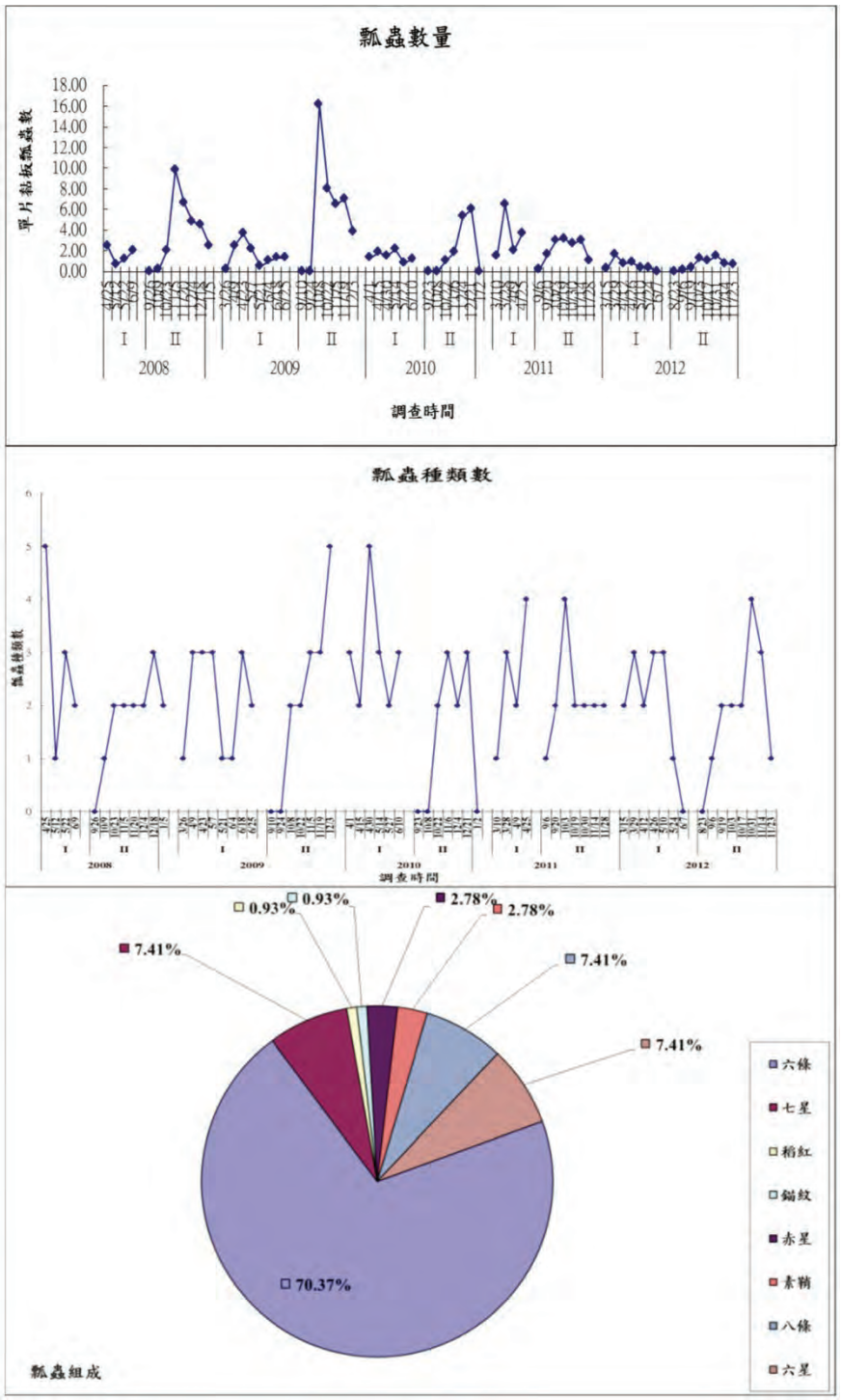


圖 24. 2008−2012 雲林分場連作 CA 區瓢蟲變化。

Fig. 24. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland conventional agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

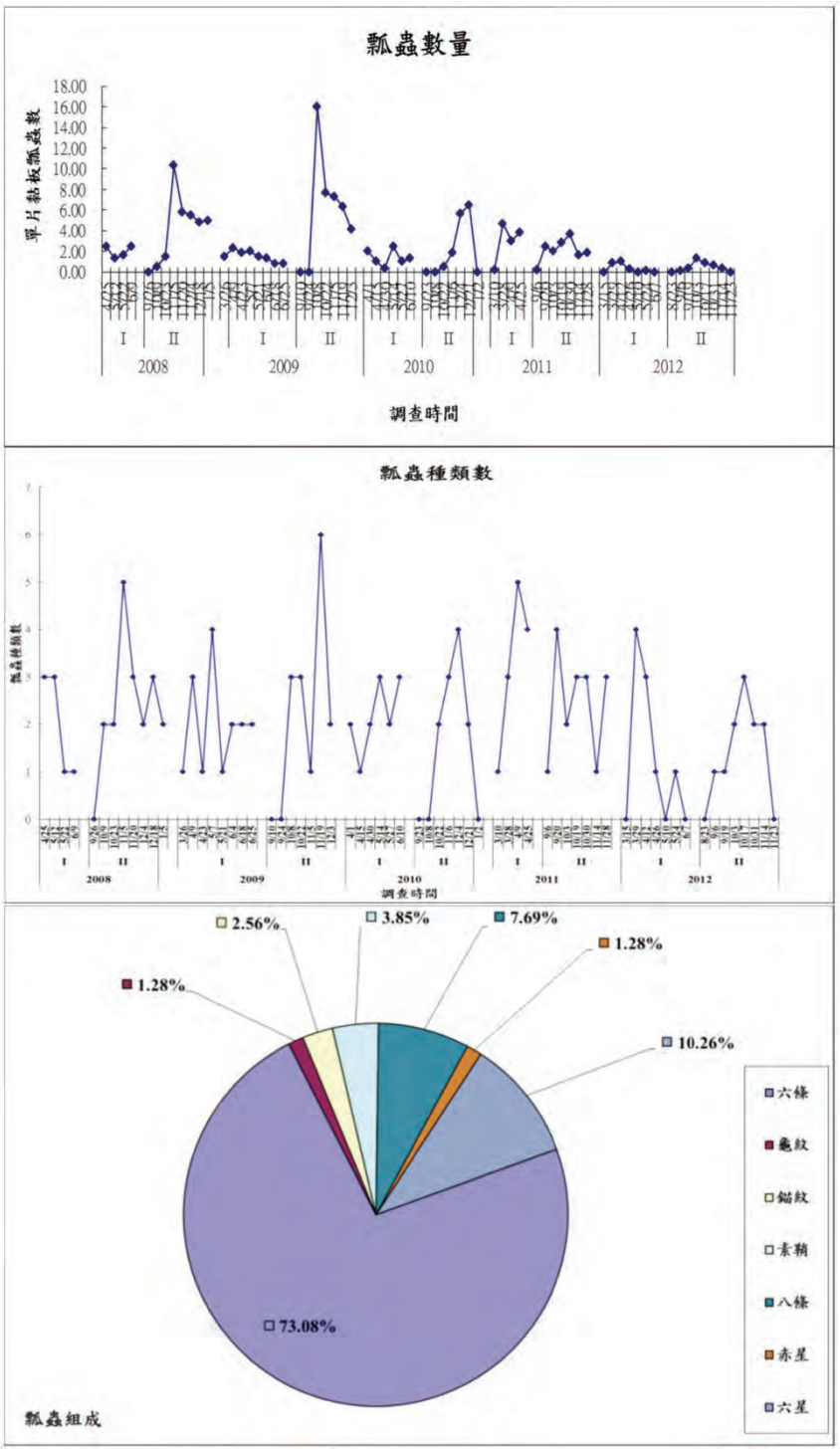


圖 25. 2008–2012 雲林分場連作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 25. The change of the amounts of ladybugs in lowland-lowland sustainable agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

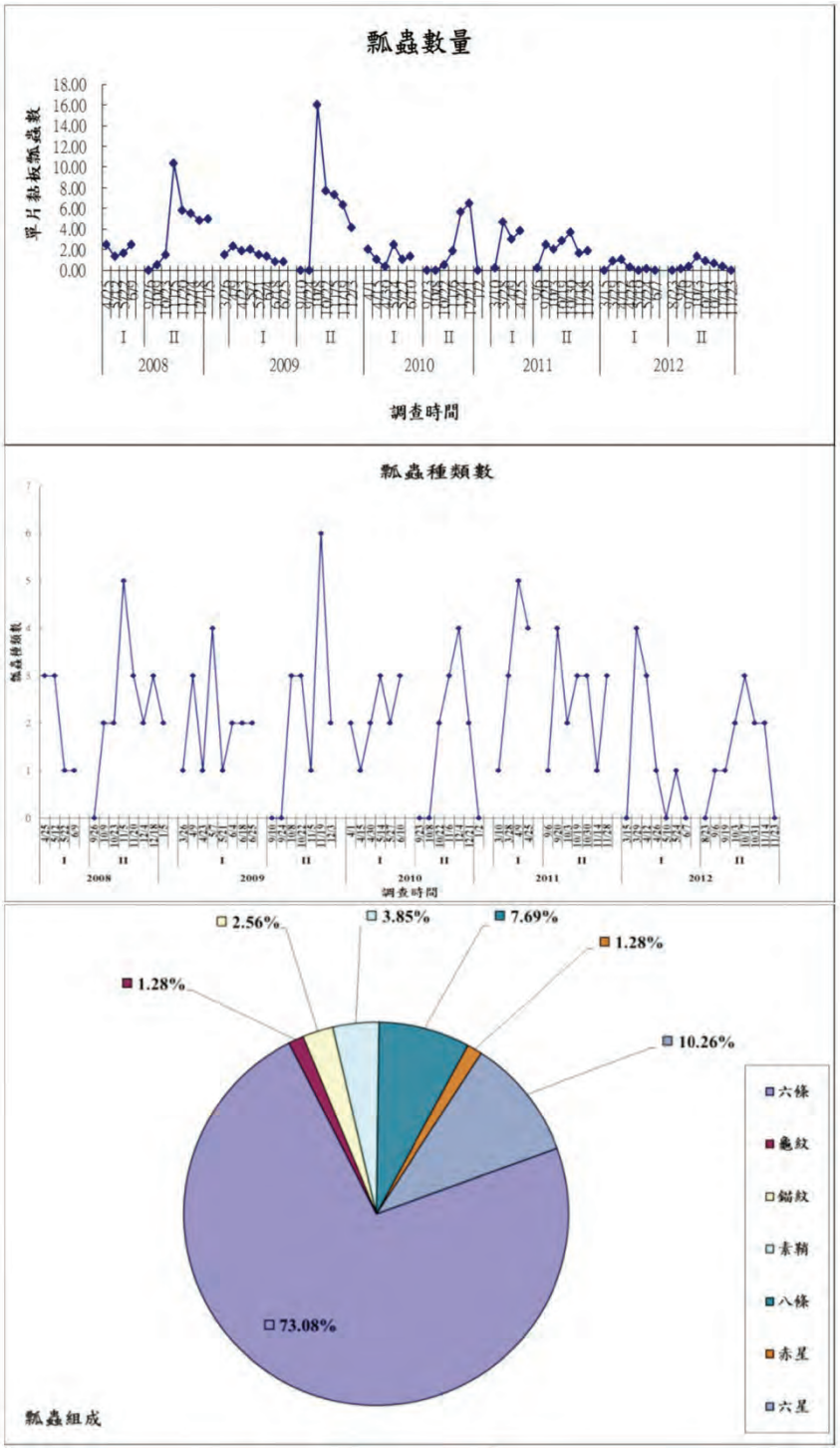


圖 26. 2008–2012 雲林分場輪作 CA 區瓢蟲變化。

Fig. 26. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland conventional agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

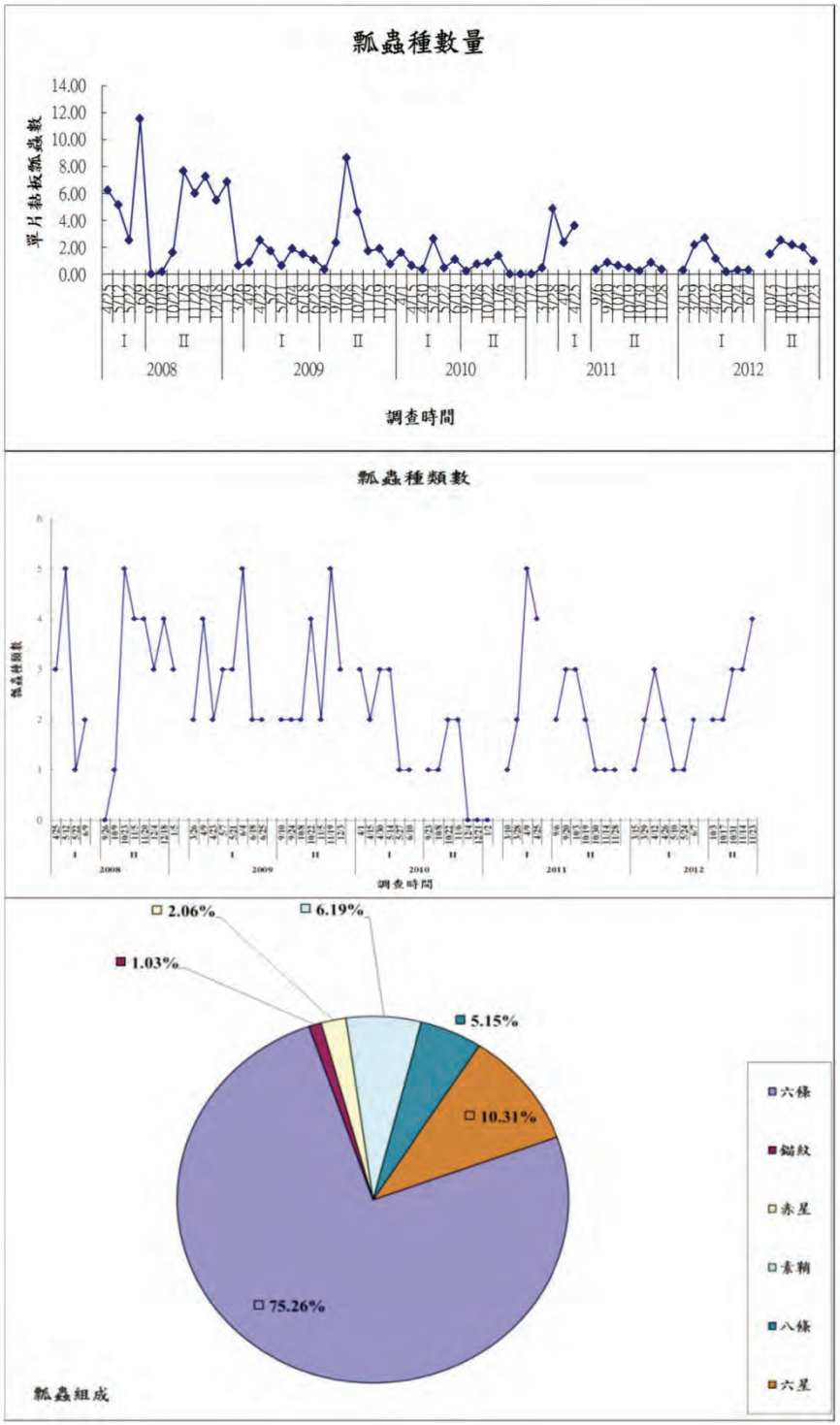


圖 27. 2008−2012 雲林分場輪作 SA 區瓢蟲變化。

Fig. 27. The change of the amounts of ladybugs in lowland-upland sustainable agroecosystem on Yuin-Lin branch station from 2008 to 2012

種，並以六條數量最多，占各試區瓢蟲總數之 50.68–75.84%，但發生數量不同於溪口農場乃以二期作較一期作為多，其次為素鞘 9.40–28.77%，但僅發生於一期作；雲林分場一、二期作瓢蟲發生數量較為相近；上述各項差異可能與水稻期作間當地的作物相有關。除此之外，雲林、溪口二農場內不論是連作、輪作區，或是採用傳統或永續農耕方式，截至目前之調查資料並未顯示特定之發生規律與差異性。

五、氣候變遷對不同耕作制度下雜草相之變化

本研究於本所嘉義分所溪口農場之長期農業生態系研究站進行，針對 2010 年至 2013 年 (僅一期作) 雜草調查資料，探討不同農耕生態系對雜草相變動之影響。整理 4 種農耕生態系發生之雜草科別數及種別數 (圖 28)，一期作可發現較高肥料的慣行 CA 區所出現的雜草科別數多於較低肥料的 SA 區，二期作 (2010 年至 2012 年) 亦有相同趨勢，然二期作者較高於一期作者的，可能由於二期作生育前期的環境溫度相對較高，而發生出較多的雜草科別數與種別數 (Hsiao *et al.* 2011)。其次，PU 生態系所分布的雜草科別及種別多於 PP 生態系 (圖 28)，由於旱田與水田環境差異甚大，原先水田狀態休眠之旱作雜草將在旱田中陸續萌芽，可能使得 PU 之雜草種類多於 PP 者 (Kuo 2004)。科別數及種別數在年際間的變化不一，顯示生態系的雜草相間互有競爭及消長，尚未至平衡狀態。又田區管理操作對雜草族群的影響似乎大過年度間的氣象差異 (資料未顯示)，大尺度的氣候變動對雜草相的消長仍須長時間累積予以觀察。

進一步整理參試 4 種農耕生態系排名前 5 種雜草分佈次序，對一期作 (2010–2013 年)的 PP 生態系而言，發生類型以水生雜草居多 (表 11)，無論 CA 與 SA 處理區，皆以母草 (*Lindernia procumbens*) 出現密度最高，其次為水莧菜 (*Ammannia baccifera*)，二期作 (2010–2012 年) 同樣可見這 2 種優勢雜草的存在於水田環境中。一期作亦為水田狀態的 PU 生態系所出現的雜草種類近似於 PP 生態系 (表 12)，惟因為二期作種植旱作，加上一期作草相調查為作季收穫前，田區維持濕潤狀態，讓旱田雜草有機會萌芽出土，所以在 PU 生態系中有水田及旱田雜草交錯發生，如霍香薊 (*Ageratum conyzoides*) 及香附子 (*Cyperus rotundus*) 在生育後期土壤微濕時會萌芽生長。PU 生態系的二期作田區主要由旱田雜草分佈，霍香薊、燈籠草 (*Physalis angulata*)、牽牛花 (*Ipomoea nil*) 、鱧腸 (*Eclipta prostrata*) 是最常出現的雜草種類，但牽牛花是田區中潛在危害力逐漸增加的族群，影響落花生生長甚鉅。最佳的雜草管理策略，仍是在雜草未明顯影響作物生長前進行抑制 (Chen & Chen 2005)，據此牽牛花的防治宜在雨後及萌芽初期控制族群擴張以降低危害。

由雜草相變化情形，可瞭解田區內雜草消長與農耕操作的密切關係，又由雜草族群改變原因，可提供作為田區雜草管理基礎 (Hsiao *et al.*, 2013)。經由本研究分析 2010 年至 2013 年試驗資料，顯示溪口農場雜草相受到期作氣象及年際變化所影響，但操作

管理仍是影響草相異動的主要因子。惟各生態係雜草相是否可以逐漸達到穩定平衡狀態，可能需要更多時間予以觀察。針對氣候變遷所產生的影響，同樣需要長時間尺度的累積，才能夠釐清其效應，並由雜草相的動態變化因應調整管理模式，以提供更符合生態保育的雜草管理方法。

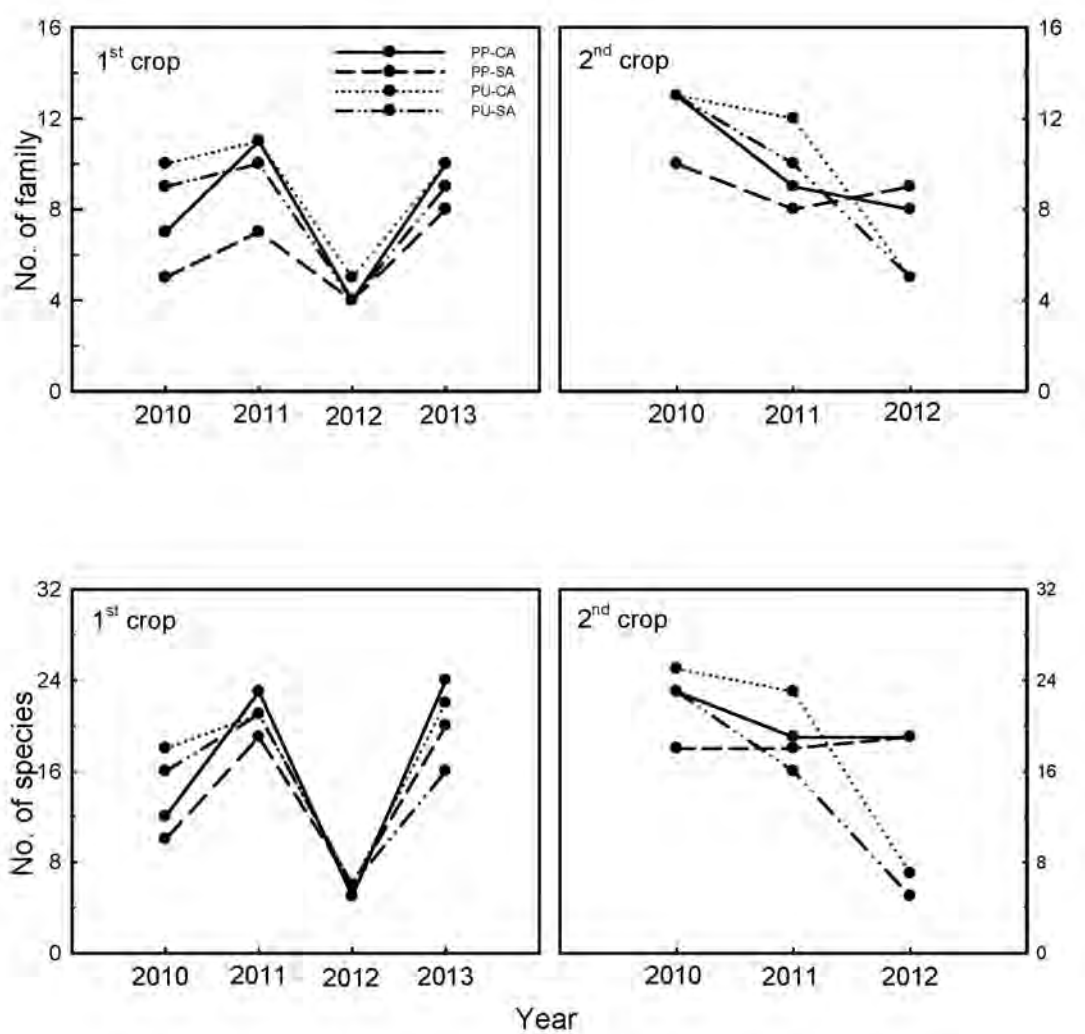


Fig. 28. Differences in numbers of weed family and weed species in vary cropping systems in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season). PP: paddy-paddy cropping system; PU: paddy-upland rotation cropping system; CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.

表 11. The population densities of weed species for the top five rankings collected in paddy-paddy agro-ecosystem in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season).

Species	First crop								Second crop								
	CA[z]				SA				CA			SA			LC		
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2010	2011	2012	2010	2011	2012
	plant m^{-2} (ranking)																
Alternanthera sessilis	1.0[y]±2.0(4)	-	-	-	0.4±0.9(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Alternanthera nodiflora	-	-	0.1±0.3(5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Ammannia baccifera	6.8±12.8(1)	10.6±8.5(4)	8.1±26.3(1)	11.4±10.1(2)	16.2±12.5(1)	21.3±20.1(3)	31.7±40.4 (1)	35.1±48.1(2)	46.4±24.6(5)	23.6± 6.7(2)	52.4±85.2(3)	79.2±89.5(2)	24.2±3.05(2)	97.8±22.0(2)			
Ammannia multiflora	1.5±3.0(3)	-	-	-	0.6±1.3(3)	-	0.8±3.0 (3)	-	-	-	-	-	-	13.5±20.1(4)	79.2±89.5(2)	24.2±3.05(2)	97.8±22.0(2)
Aster subulatus	-	-	-	-	-	-	0.2±0.5 (5)	-	-	14.1±28.1(4)	85.1±211.5(2)	-	2.8±5.5(4)	43.3±68.8(3)			13.5±20.1(4)
Brachiaria subquadripa ria	-	-	7.2±4.0(2)	-	-	-	6.4±3.0 (2)	-	-	-	-	-	-	-		2.8±5.5(4)	43.3±68.8(3)
Cardamine flexuosa	-	-	-	-	-	-	-	-	56.7± 97.1(2)	-	-	8.1±10.6(5)	-	-			
Cyperus difformis	-	22.9±16.9(2)	-	9.9±11.2(3)	-	41.1±58.1(2)	-	10.2±13.1(3)	-	-	-	-	2.8±2.1(4)	-	8.1±10.6(5)		
Cyperus iria	-	-	-	4.5±13.4(4)	-	5.5±4.0(5)	-	-	54.3±37.1(3)	-	-	38.3±30.8(3)	-	-		2.8±2.1(4)	
Echinochloa colona	1.6±1.8(2)	-	1.4±1.6(3)	-	0.4±0.5(5)	-	0.5±0.5(4)	-	-	-	-	-	-	-	38.3±30.8(3)		
Fimbristylis littoralis	-	8.4±8.3(5)	-	-	-	15.7±10.4(4)	-	-	-	4.7±8.9(5)	-	8.4±11.8(4)	6.1±5.7(3)	-			
Fimbristylis miliacea	-	-	-	3.8±3.7(5)	-	-	-	5.8±8.4(5)	-	-	-	-	-	-			
Lindernia antipoda	-	22.0±36.2(3)	-	-	-	-	-	-	51.2±53.6(4)	18.2±26.9(3)	51.7±54.6 (4)	-	-	9.3±3.3(5)			
Lindernia procumbens	0.9±1.8(5)	225.1±194.9(1)	-	203.4±86.0(1)	1.6±3.3(2)	157.1±110.5(1)	-	58.1±34.6(1)	125.6±106.6(1)	49.4±77.3(1)	215.4±103.9(1)	88.2±87.7(1)	71.4±68.3(1)	116.6±73.6(1)	8.4±11.8(4)	6.1±5.7(3)	
Schoenoplectus juncoides	-	-	0.2±0.8(4)	-	-	-	-	6.1±11.7(4)	-	-	-	-	-	-			
Soliva anthemifolia	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7±16.1(5)	-	-	-			9.3±3.3(5)
Others	0.9	21.6	0.0	17.7	0.9	9.3	0.1	9.9	43.4	13.6	15.5	23.7	11.1	18.7	88.2±87.7(1)	71.4±68.3(1)	116.6±73.6(1)
Total	12.6	310.6	17.0	250.6	20.2	250	39.6	125.2	377.6	123.6	425.9	245.9	118.3	299.1			

[z] CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.
[y] indicate total of weeds count.
[x] Not recorded

表 12. The population densities of weed species for the top five rankings collected in paddy-upland rotation agro-ecosystem in the first and second cropping seasons of 2010 to 2013(only first cropping season).

Species	First crop -CA[z]				First crop -SA				Second crop -CA			Second crop -SA		
	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2013	2010	2011	2012	2010	2011	2012
	plant m^{-2} (ranking)													
Ageratum conyzoides	17.8[y]±25.6 (1)	-	-	-	-	-	-	-	34.0±11.8(1)	19.8±6.3(2)	-	31.0±19.1(2)	12.3(3)	-
Alternanthera sessilis	-[x]	-	-	-	-	3.2± 3.5(4)	-	13.5±20.0(4)	-	-	-	-	-	15.0±51.1(3)
Alternanthera philoxeroides	-	-	1.0±3.5(2)	-	-	-	5.1±4.7(1)	-	-	-	-	-	-	-
Ammannia baccifera	17.2±22.4(2)	11.1±6.6(1)	-	11.5±14.5(3)	3.9±3.0(4)	11.8±18.4(2)	-	19.9±17.8(2)	-	-	-	-	-	-
Ammannia multiflora	-	-	-	-	5.8±6.8(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Brachiaria subquadripara	-	-	3.7±1.4(1)	-	-	-	0.8±1.1(5)	-	-	-	-	-	-	-
Cyperus difformis	-	4.3±3.5(5)	-	52.3±68.2(1)	-	-	-	24.5±3.5(1)	-	-	0.1±0.5(5)	-	-	-
Cyperus rotundus	-	7.1±6.8(3)	0.7±1.1(3)	-	6.7±6.3(1)	5.5 ±5.5 (3)	1.6±4.3(4)	-	5.3± 5.8(4)	29.0±22.7(1)	4.0±2.4(3)	6.5±0.4(4)	-	2.8±2.0(4)
Echinochloa crus-galli	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2±0.6(4)	-	-	-
Echinochloa colona	-	-	0.5±0.6(4)	-	-	-	1.9±2.1(3)	-	-	-	-	-	-	-
Eclipta prostrata	17.0±7.7(3)	9.8±1.1(2)	0.3±0.5(5)	6.6±2.8(4)	5.1±8.4(3)	14.0±14.3 (1)	-	-	22.8±20.4(2)	11.0±3.3(4)	-	36.4±22.5(1)	2.7±1.5(5)	-
Eleusine indica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9±5.1(4)	0.1±0.3(5)
Fimbristylis littoralis	-	-	-	-	-	3.2±3.0 (4)	-	9.6±13.5(5)	-	-	-	-	-	-
Ipomoea nil	-	-	-	-	-	-	2.3±5.1(2)	-	-	-	10.9±6.4(2)	-	16.3±14.9(2)	58.8±32.9(1)
Fimbristylis miliacea	-	-	-	4.8±10.0(5)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lindernia antipoda	13.0±11.6(4)	-	-	-	-	-	-	-	4.4 ±2.9(5)	-	-	23.8±13.1(3)	-	-
Lindernia procumbens	9.5±11.5(5)	-	-	37.0±18.5(2)	2.3 ±3.1(5)	-	-	17.0±11.7(3)	-	-	-	-	-	-
Paspalum conjugatum	-	-	-	-	-	3.2±5.5(4)	-	-	-	-	-	-	-	-
Physalis angulata	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9± 1.3(3)	16.7 ±12.1(3)	14.3±13.7(1)	6.1±6.5(5)	60.5±44.2(1)	30.3±27.6(2)
Rorippa indica	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8 ±3.2(5)	-	-	-	-
Solanum americanum	-	4.3±1.2(4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Others	24.3	13.5	0.1	21.5	6.1	14.8	0.1	6.3	9.7	9.2	0.2	28.1	5.7	0.0
Total	98.8	50.1	6.2	133.8	29.8	55.5	11.8	90.8	87	87.4	29.7	131.9	100.3	106.6

[z] CA: conventional agro-ecosystem; SA: sustainable agro-ecosystem.

[y] indicate total of weeds count.

[x] Not recorded.

引用文獻

Altieri, M. A. 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. Agric. Ecosyst. Environ. 74:19−31.

Chen, F. Y. and K. H. Chen. 2005. Evaluation of graminicides for weed control in peanut field. Weed Sci. Bull. 26(1):43−52. (in Chinese with English abstract)

Ho, N. K. and K. Itoh. 1991. Change in weed flora and their distribution in the Muda area. Paper presented at the 8th MADA/TRAC Quarterly Meeting on 3rd Nov. 1991. Alor Setar, Malaysia.

Hsiao, C. L., C. M. Yang, and Y.J. Lee. 2011. Effect of planting date on population and weeds in the paddy field. J. Taiwan Agric. Res. 60(2):139−148. (in Chinese with English abstract)

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report.Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Iperti, G. and M. G. Paoletti. 1999. Biodiversity of predaceous coccinellidae in relation to bioindication and economic importance. Special issue: Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscapes. Agric. Ecosyst. Environ. 74:323−342.

Kent, R., D. E. Johnson, and M. Becker. 2001. The influences of cropping system on weed communities of rice in Cote d'Ivoire, West Africa. Agric. Ecosystem Environ. 87(3):299−307.

Kuo, W. H. 2004. Seed ecology and weed management. Weed Sci. Bull. 25:53−68. (in Chinese with English abstract)

Naeem, S. and S. Li. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. Nature 390:507−509.

Obrist, M. and P. Duelli. 2010. Rapid biodiversity assessment of arthropods for monitoring average local species richness and related ecosystem services. Biodivers. Conserv. 19:2201−2220.

Sarma, A.A.L.N., T.L. Kumar and K. Koteswararao. 2008. Development of an agroclimatic model for the estimation of rice yield. J. Ind. Geophys. Union. 12: 89−96.

Schmitz, O. J. 2007. Predator diversity and trophic interactions. Ecology 88:2415−2426.

Yao, S. C. and C. C. Tao. 1972. Natural enemies of aphids. J. Nat. Taiwan Mus. 15:25−77。

Yu, G. Y. and H. Y. Wang. 1999. Guidebook to Lady Beetles of Taiwan. Published by Pei-Ni Shih, Taipei. 231 pp.

Zahoor, M. K., A. Suhail, J. Iqbal, Z. Zulfaqar, and M. Anwar. 2003. Biodiversity of predaceous coccinellids and their role as bioindicators in an agro-ecosystem. Int. J. Agri. Biol. 5:555−559.

Long Term Monitoring on the Effect of Climate Change on Agricultural Ecosystem

Chi-Ling Chen[1,4], Jenn-Kuo Tsai[1], Ming-Huang Wu[1], Chih-Feng Chiang[1], Jyh-Nong Tsai[1], Chun-Wei Chen[1], Chien-Chung Chen[1], Jih-Zu Yu[1], Hsien-Tzung Shih[1], Shu-Pei Chen[1], Chiao-Ling Hsiao[1], Chewn-Ming Yang[1], Chia-Hsun Ho[1], Ming-Hwi Yao[1], Jer-Way Chang[1], Hong-Shu Wu[1], Win-Chang Sun[2], Rei-Chang Wang[2], and Wen-Jer Wu[3]

Abstract

The major aims of this study are to investigate the effect of climate change on agriculture system. For these aims, firstly, meteorological data are analyzed from three study stations of long term ecological research (LTER); include Yuin-Lin branch station, Chi-Ko branch farm, and Chia-Yi branch of Agricultural Research Institute. Air temperature keeps increasing from 1988 to 2013 in Yuin-Lin branch station; however, there are no significant differences from 2000 to 2013 in three LTER stations. Besides, rainfall in April 2010, April 2011, and November 2012 is higher than previous years. Secondly, there are no significant linear relationships between yields of rice grown and not only average air temperature, but also growing degree day (GDD) in Yuin-Lin and Chi-Ko, but the yield show a reducing trend if the average air temperature and GGD increase. Also, there are no significant linear relations between yields and not only average air temperature, but also GDD in 15 study stations around Taiwan, The yield in 15 study stations show a reducing trend if the average and minimum air temperature increase, but increasing if the maximum air temperature increases. Moreover, DNDC simulated model shows an inconsistent result with realistic situation which the yield in south area is higher than in north in Taiwan. Thirdly, the major rice diseases are rice blast and sheath blight, and the disease incidences have no significant differences between conventional (CA) and sustainable agroecosystem (SA). The major sweet potato disease is southern blight, and the disease incidence shows a slight serious condition in CA area. The major peanut diseases are leaf spot and rust. There are no significant differences in disease incidences of leaf spot between CA and SA, but the disease incidences of rust disease are lower in CA. Fourthly, the dominant indicator insect, ladybug, is *Cheilomenes sexmaculata* (Fabricius). But the biodiversity of ladybug has no differences in different years. Finally, average weed density, average weed fresh mass and

single weed fresh mass are higher in SA than CA. Average weed fresh mass and single weed fresh mass are higher in paddy-upland cropping (PP) than paddy-paddy cropping (PP), but average weed density is just the reverse.

Keywords: Long term ecological research (LTER), Conventional agroecosystem, Sustainable.

1 Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

2 Tainan District Agricultural Research and Extention Station, Council of Agriculture, Executive Yuan.

3 Department and Graduate Institute of Entomology, National Taiwan University.

4 Corresponding Author, Email: Chiling@tari.gov.tw; Tel: 04-23317407.

高產飼料稻米專用品種之選育

賴明信 [1] 吳東鴻 [1,2] 李長沛 [1] 卓偉玄 [1] 顏信沐 [1]

摘要

近年全球氣候異常，重大災變以不尋常頻率接連發生，致使地區性的糧食生產呈現不穩，對於糧食自給率偏低的我國，必須要有戰備存糧的戰略思考；在因應加入世界貿易組織（WTO）開放稻米市場下，國內休耕大量的稻田，這些長期沒有耕作的土地，地力不但沒有獲得養息，反而是病蟲及媒介越冬的溫床，對整個農業生態平衡及生產造成影響；日韓及中國等國為因應自身的飼料原料需求，都研發飼料用稻的品種。臺灣有栽種水稻的得天獨厚地理環境，悠久且有系統的稻作研究基礎，開發適合國情的飼料用稻米品種，讓飼料原料來源多元化，除了可以作為活化休耕田的策略選擇，亦可增加水田面積，降低熱島效應及防止洪害、減少徑流，發揮水田涵養地下水的重要生態意義，對於提高糧食自給率亦能發揮正面效益。

關鍵詞：水稻、糧食自給率、聚合育種、飼料稻米。

前言

近年全球氣候異常，重大災變以不尋常頻率接連發生，致使地區性的糧食生產呈現不穩，對於糧食自給率偏低的我國，必須要有戰備存糧的戰略思考；由於國內社會經濟的發展，外來飲食文化的融入，國民的飲食習慣多元化，營養攝取比例的不均衡，再加上加入世界貿易組織（WTO）後開放稻米市場；國民的稻米需求量逐年減少，日趨嚴重的生產過剩問題，啟動了政策性的補貼政策，農政單位大力推動稻田休耕及轉作計畫。多年來，雖然成功的減少水稻的耕作面積，降低供糧的倉儲壓力，但也衍伸了不少新興農業問題。以民國 98 年為例，全年種植水稻面積約 26 萬公頃，有約 22 萬公頃的農地休耕，連續休耕的土地面積達 6.3 萬公頃之譜；農地因長期沒有耕作，地力不但沒有獲得涵養利用，更成為病蟲越冬及蛇鼠繁殖的溫床，嚴重衝擊農業生產及生態平衡；休耕地不需水源灌溉，水利系統缺乏維護及整修而毀壞，重啟復耕必須投入大量人、物力整理，大幅降低農民復耕意願，使休耕政策備受抨擊；更因每年補助休耕的經費高達 110 億元，從民國 89 年至今，政府的財政負擔越來越沉重。

台灣位於熱帶與亞熱帶的氣候上，物產豐富，人稱寶島。但，以熱量為權數的綜合糧食自給率只有 32.0%，穀類自给率更只有 25.8% (民國 98 年)，除了稻米實際自給

1 行政院農委會農業試驗所作物組。

2 通訊作者 電子信箱：dhwu@tari.gov.tw；電話：04-23317106。

率達到 100%外，小麥消費量約 126 萬公噸（折算麵粉約 93 萬公噸)，黃豆進口 236.5 萬公噸，幾乎全賴進口；玉米進口約 462.5-500 萬噸，98%仰賴國外進口，國內僅生產 9.0 萬噸。整體而論，國內的穀類作物年需量約 1,000 萬公噸，其中國內生產約 145.3 萬公噸 (稻米 131 萬公噸及玉米 14.3 萬公噸)，佔總量的 14.5%，85.5%都仰賴進口，嚴重偏低。台灣具有栽種水稻的得天獨厚地理環境，悠久且有系統的稻作研究基礎，品種與栽培技術成績斐然，長期以往都是鎖定研發食味佳的優良水稻品種，鮮少擴及其他用途 (賴 2013)；利用已經存在的研發能量，開發適合國情需求的飼料用稻米之專用品種，提供予國內蓬勃發展的畜產業，讓飼料原料來源多元化，降低受進口飼料價格波動衝擊及依賴，提高糧食自給率；並可以作為活化休耕田的策略選擇，增加水田面積，降低熱島效應及防止洪害、減少徑流，發揮水田涵養地下水的重要生態意義。

稻穀產量是作為飼料稻米品種的基本需求。因為稻穀產量是一個複合性狀，調控因子多而複雜，要大幅改良很不容易，因此高產種原的取得是飼料稻米專用品種選育的首要步驟。從國外引入高產品種 (系) 表面上是最為方便有效率的方式，從國際水稻研究所（IRRI）引入新株型超級稻材料，或中國大陸之常規超級稻或超級雜交稻材料，或日本的飼料稻品種，都是具有高產紀錄的素材；然而，高產的表現常必須在特定栽培環境與條件下才能獲得，例如生育期長達 150-160 天、高施肥量及高病蟲害防治資材投入，或是具有強感光及感溫性，引入後種植的表現往往不如預期，或與國內重生態的栽種形式不符。唯有在地培育符合在地需求的專用品種，才能建構在地產業，解決在地的問題。

利用國內以前選育或曾推廣的非食用品種，找尋具有穀粒產能高、穀粒蛋白質含量高、碾糙率高、低脫粒性、高抗倒伏性、高水分及養分利用能力及耐病蟲害等特性；或採用聚合育種策略，利用傳統與分子輔助技術結合，快速而有效率的進行某些特定性狀的改良，而不會對高產品種 (系) 的高產特性產生影響，是較為可行的方式。本計畫利用國內改良場所推薦具高產的品種 (系)，進行各地產量穩定性評估，找尋產量表現穩定的新品系，作為育成飼料稻米專用品種的輪迴親；並以民國 67 年登記命名推廣的加工品種台中秈 17 號為輪迴親，強化抗白葉枯病及褐飛蝨抗性，作為短期擴大稻穀應用於飼料原料的推廣品種，支持畜產飼料多元化供應的專用品種。

材料與方法

非食用高產品系產量穩定性評估

由國內改良場所選育之 16 個秈、粳型固定品系，具有高產的特性，集中於台中市農業試驗所試驗田，以台中秈 17 號為對照，進行產量評估。機插、多本植、二重複，每重複約 2000 叢，栽培管理都一致，適收期進行稻穀產量及構成要素調查，評估選擇

產量表現最優者及穩定者，作為短期飼料稻米推廣的品系，或作為專用飼料稻米品種之特性改良親本。

飼料稻米專用品種 (台中秈 17 號) 特性改良

台中秈 17 號的稻穀產量高，適應性強，穀粒的直鏈性澱粉含量高，不適合鮮食，但其穀粒外表不易與一般食用品種區隔，耐寒性、白葉枯病及褐飛蝨的抗性能力不足等問題。選擇具有 xa5、xa13 與 Xa21 等三個抗白葉枯病基因的 IRBB59 (Chu *et al.* 2006,Iyer-Pascuzzi *et al.* 2008, Song *et al.* 1995)，及具有野生稻褐飛蝨抗性的品系為導入親本，以台中秈 17 號當作輪迴親本；於適期欲與具目標性狀 (基因) 之品種 (系)，進行雜交，利用基因型資料庫所設計之功能性標誌 (function marker)，進行追蹤目標基因的基因型篩檢，確認 F_1 植株已經成功轉移目標基因。白葉枯病以分離的菌株在秧苗期或營養生長期進行人工接種及調查；褐飛蝨則於密閉網室中，以特定的生理小種進行強迫接種。利用設立的檢定圃與評估系統進行外表型調查，確認基因型與外表型的一致性，並與共同親本進行回交，取得 BC_1F_1 種子。將 BC_1F_1 的雜交種子種植田間，族群數目 100-200 株，以功能性標誌及外表型調查進行目標基因追蹤，並搭配背景選拔技術監控輪迴親回復率，同時選擇農藝外表型與輪迴親最相似的植株，進行與共同親本回交，取得 BC_2F_1 雜交種子。如此操作直到取得 BC_3F_1 種子，栽種於田間進行自交，獲得 BC_3F_2 的分離種子，栽種於田間並從中選擇農藝外表型與台中秈 17 號輪迴親最相似的植株，兩兩進行雜交，取得性狀聚合的雜交種子。

結果

非食用高產品系產量穩定性評估

表 1-8 是 2012 及 2013 年之兩年第一期作的產量、產量構成要素及重要農藝性狀之變方分析。表 1 顯示稻穀產量在品種間存在差異顯著，品種與年度間具有極極顯著交感存在；表 2 顯示稻穀容重在品種間及品種與年度間具有極顯著交感存在；表 3 顯示穗長在品種間存在極顯著差異，而穗重在品種間有極極顯著差異存在 (表 4)，上述二個性狀在品種與年度間之交感都沒有差異存在。產量構成要素性狀中，穗數、稔實率及千粒重在品種間都有極極顯著差異存在 (表 5、7、8)，品種與年度間之交感都沒有差異存在；一穗穎花數在品種間有顯著差異存在，品種與年度間具有極顯著交感存在 (表 6)。

表 9 為參試品系的調查性狀在第一期作的平均值，由表顯示以台中秈 17 號為對照品種，在稻穀產量的表現上，9 個參試粳稻品系都顯著低於對照品種，以台農育 951005 號平均產量 6,738kg/ha 最高；7 個參試秈稻品系，嘉農秈育 992106 號、992137 號、992142 號及台中秈玉 709 號的稻穀產量與對照品種沒有差異存在，其中以台中秈育 709 號表

現最佳。稻穀容重以嘉農秈育 992106 號之 590.7g/L 最高，雖高於台中秈 17 號之 569g/L，但沒有顯著差異存在；參試秈稻品系的穗長都長於對照品種，嘉農秈育 992106 號及台中秈育 955 號顯著長於對照品種；參試品系之穗重高於對照品種的品系只有嘉農秈育 992106 及 992142 號，但沒有顯著差異存在；產量構成性狀中，所有參試品系的穗數表現都不如對照品種，一穗粒數表現與對照品種有顯著差異存在的品系為 CW986-122-1-1、南粳育 1001038 號及台中秈育 709 號，稔實率高於對照品種的參試品系有 8 個，但沒有顯著差異存在，千粒重表現優於對照品種的品系有兩個，分別為 TR962124 號及嘉農秈育 992142 號。

表 1. 第一期作稻穀產量之變方分析

Table 1. Analysis of variance for grain yield in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	1266507.35	0.54
Black(Crop)	2	2338289.09	9.38***
Variety	16	3225328.19	2.24*
Crop*Variety	16	1442956.83	5.79***
Error	31	249287.35	

表 2. 第一期作稻穀容重之變方分析

Table 2. Analysis of variance for volume weight in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	206.51	1.05
Black(Crop)	2	195.76	0.88
Variety	16	2591.35	3.79**
Crop*Variety	16	682.84	3.06**
Error	31	223.37	

表 3. 第一期作穗長之變方分析

Table 3. Analysis of variance for panicle length in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	29.64	13.86
Black(Crop)	2	2.14	0.89
Variety	16	17.86	4.58**
Crop*Variety	16	3.90	1.62
Error	31	2.40	

表 4. 第一期作穗重之變方分析

Table 4. Analysis of variance for panicle weight in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	0.02	0.10
Black(Crop)	2	0.21	3.22
Variety	16	0.75	6.17***
Crop*Variety	16	0.12	1.86
Error	31	0.07	

表 5. 第一期作穗數之變方分析

Table 5. Analysis of variance for panicle number in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	28.76	1.70
Black(Crop)	2	16.96	2.38
Variety	16	24.05	5.08***
Crop*Variety	16	4.73	0.66
Error	31	7.12	

表 6. 第一期作一穗粒數之變方分析

Table 6. Analysis of variance for spikelets per panicle in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	448.28	6.91
Black(Crop)	2	64.84	0.87
Variety	16	660.74	2.89*
Crop*Variety	16	228.94	3.07**
Error	31	74.69	

表 7. 第一期作稔實率之變方分析

Table 7. Analysis of variance for seed-set in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	454.03	6.45
Black(Crop)	2	70.38	3.35*
Variety	16	104.72	5.68***
Crop*Variety	16	18.43	0.88
Error	31	21.00	

表 8. 第一期作千粒重之變方分析

Table 8. Analysis of variance for 1000-grain weight in first crop season.

Source	DF	MS	F value
Crop season	1	0.34	0.03
Black(Crop)	2	12.52	7.48**
Variety	16	46.50	17.62***
Crop*Variety	16	2.64	1.58
Error	31	1.67	

表 9. 第一期作產量及農藝性狀之平均值

Table 9. Mean of yield component and agronomic characters in first crop season.

Name	Yield (kg/ha)	Volume weight (g)	Panicle length (cm)	Panicle weight (g)	Panicle number	Spikelets /panicle	Seed-set (%)	1000-grain weight (g)
Tainung Yu 941007	6220.9	558.7	20.7	2.0	16.4	102.9	77.1	23.4
Tainung Yu 941009	5819.0	536.6	19.0	1.9	20.5	79.7	83.5	27.8
Tainung Yu 951005	6738.2	540.7	20.4	2.3	20.6	93.7	85.8	27.3
TR962124	6173.3	535.8	20.3	2.7	14.4	88.8	90.8	32.8
CW986-122-1-1	6141.4	511.9	23.4	2.9	16.8	123.2	88.5	25.3
Kaohsung Yu 4953	5530.0	538.4	20.2	1.7	21.3	83.8	80.0	23.8
Kaohsung Yu 4962	5504.7	495.7	20.4	1.9	20.8	99.5	78.7	22.0
Nankeng Yu 991008	6307.6	558.3	19.8	2.1	22.3	96.6	82.9	24.5
Nankeng Yu 1001038	6350.2	525.3	22.4	2.4	21.1	125.0	69.0	24.8
Chynung Sen Yu 992106	7641.9	590.7	28.8	3.0	17.4	106.6	85.4	31.2
Chynung Sen Yu 992137	7953.0	565.4	23.0	2.9	19.9	111.2	82.9	29.4
Chynung Sen Yu 992142	7922.6	578.6	20.4	3.1	18.9	107.0	88.6	32.1
Taichung Sen Yu 112	7064.3	561.0	22.9	2.0	20.5	100.7	73.0	25.3
Taichung Sen Yu 709	8193.0	564.9	23.5	2.9	20.1	125.9	87.3	25.0
Taichung Sen Yu 901	6465.2	527.3	23.5	2.4	20.5	112.0	81.9	24.7
Taichung Sen Yu 955	6403.0	518.7	25.3	1.9	24.3	96.6	73.8	24.1
Taichung Sen No.17(CK)	8243.3	569.3	20.4	2.9	24.5	103.8	82.2	31.6
LSD(0.05)	1018.3	30.5	3.2	0.5	5.4	17.6	9.3	2.6

飼料稻米專用品種 (台中秈 17 號) 特性改良

在聚合白葉枯病與褐飛蝨抗病基因上，採取同步轉移與逐步轉移的兼具策略，期望能同時聚合 3 個白葉枯病抗病基因與 1 個褐飛蝨抗蟲基因至台中 17 號中。其中在耐性品系選育上，因 IRBB59 與台中秈 17 號同屬秈稻品種不易獲得均勻散佈全基因組的多型性標誌，無法以分子標誌進行全面性背景篩選，仰賴田間型態評估進行背景篩選，但建立的抗病基因功能性標誌可進行前景選拔與重組體選拔；而台中秈 17 號與 O. nivara 的導入系 (852T034) 分別為秈、粳稻兩亞種，在該雜交組合中已建立 109 個全基因組的 InDel 多型性標誌與抗蟲基因緊密連鎖標誌，供分子輔助篩選回交後裔時，進行前景選拔、重組體與背景選拔等篩選。

在 2011 年第二期作以 852T034 為父本與秈稻台中秈 17 號為母本進行雜交，隔年第一期作繁殖種植 15 株 F_1 後裔用以生產回交族群，第二期作該雜交組合培育 48 株 BC_1F_1 回交後裔，先經過前景選拔篩選出攜有目標基因者共有 12 個植株後，依據適當抽穗期挑選出目標植株生產 BC_2F_1 回交種子，並分析 109 個全基因組的多型性，顯示這 12 株的背景回復率為 25-54%；2013 年第一期作培育 48 株 BC_2F_1 回交後裔，亦先經過前景選拔後挑選出 10 株攜有目標基因，再經 54 個分子標誌進行背景回復率分析，回復率可達 76-85%，挑選出目標植株生產 BC_3F_1 回交種子，是年第二期作培育 24 株 BC_3F_1 回交後裔，亦先經過前景選拔後已得 10 株目標品系，已挑選出背景回復率達 85-92%以上之近同源系，待自交固定品系遺傳背景，並進行聚合育種使用。

在 2011 年第二期作以 IRBB59 為父本與秈稻台中秈 17 號為母本進行雜交，隔年第一期作繁殖種植 30 株 F_1 後裔用以生產回交族群；2012 年第二期作該雜交組合培育 124 株 BC_1F_1 回交後裔，藉由上述 3 個抗病基因座功能性標誌檢測，獲得 11 株後裔同時攜有 3 個抗病基因，實際獲得率約為 8.8%略比期望值 12.5%稍低，依據適當抽穗期挑選出目標植株生產 BC_2F_1 回交種子；2013 年第一期作培育 96 株 BC_2F_1 回交後裔，亦先經過前景選拔後挑選出 10 株攜有目標基因，挑選出目標植株生產 BC_3F_1 回交種子，2013 年第二期作培育 138 株 BC_3F_1 回交後裔，亦先經過前景選拔後已得 18 株目標品系，已挑選出與台中秈 17 號的抽穗期與外觀型態之高世代回交品系，將自交固定品系遺傳背景，進行白葉枯病抗性接種評估，並進行聚合育種使用。

討論

台中秈 17 號是由行政院農業委員會台中區農業改良場，在 1978 年登記命名推廣的加工品種 (林 1984)，賴氏 (2013) 指出台中秈 17 號具有稻穀產量高，區域試驗的乾稻穀產量超過 7 公噸，糙米率 82%，稻穀布留高，白米之粗蛋白質含量 10%營養價值高等特色，在原料的生產上具有競爭力；資料顯示雖然對國內的主要病害，葉、穗稻熱病及白葉枯病都呈中抗反應，對主要蟲害褐飛蝨亦具有抗性反應 (台灣稻作品種

圖誌 1987)，但若能強化其白葉枯病及褐飛蝨的抗性，對於因應暖化影響能力將會更高，更具有省工栽種生產的條件。

以糙米取代部分玉米在飼料配方中的成分，國內的報告曾有資料可參考。以政府釋出的倉儲糙米取代飼料配方中半量或全量的玉米，可提高 2 及 4 週齡肉雞增重，不會影響 8 週齡增重及屠體組成 (李及楊 1971a,b)；取代種蛋雞飼糧中之玉米半量或全量，對雞隻生長、飼料利用效率、產蛋率及種蛋孵化率等，均無不良影響 (李及楊 1973)；半量或全量取代玉米飼養生長肥育豬時，不會影響豬隻增重與飼料利用效率；以 20、40、60、80 和 100％糙米取代玉米，飼料的效率稍低，對豬生長沒有影響；但高量取代玉米飼養 50 天後，豬屠體背脂色澤有偏白的趨勢；對豬肉硬度的影響，日本研究認為會提高豬肉硬度，澳洲與國內偏向於肉質較軟。綜論顯示，以糙米替代玉米澱粉並不會對牲畜飼養造成任何困難。再則，日本是全世界最早進行飼料稻研發的國家，自 1981 年進行「高產水稻品種選育」 開始，便投入飼料稻專用品種選育，及栽培管理等相關研究。在日本，飼料稻之糙米產量亦較普通食用米高出 10-30%，每公頃可生產出 7.13-8.23 公噸糙米。飼料稻品種須高產型外，基本上亦應具低落粒性、耐病蟲害等農藝特性，易直播、生質量高、後期生育時期老化慢、易再生等強勢特性。

分子輔助回交育種能有效導入目標基因至栽培品種，且精準堆疊多種性狀的抗病基因，但依照目標基因轉移個數、轉移順序、各世代下可獲得目標植株的最低機率等種種考量，分子聚合育種策略可列為三種 (Huang *et al.*1996,Thomson *et al.* 2010)：其一是逐步轉移 (stepwise transfer)目標基因進行堆疊多種抗病基因，先於前 4 個世代導入第一種抗性基因，連續回交兩個世代直至 BC2F2 世代，選育出攜有第 1 種抗性基因的改良品系後 (improved recurrent parent 1,IRP1)，再與第 2 個提供親進行雜交，導入第 2 種抗性基因後，改以 IRP1 改良品系作為輪迴親，連續回交 2 個世代直至 BC_2F_2 世代，便可完成導入兩種抗性基因並堆疊於同一遺傳背景下；逐步回交轉移過程中，每世代的族群數較小且方便掌握，但需耗費的世代數繁多。其二為同步轉移策略 (simultaneous transfer)，則是針對各別目標基因同時建立雜交組合，再以具有不同基因的雜交 F_1 後裔相互雜交，作為聚合多種基因的分離後裔，因為此時分離後裔同時攜有多種基因的機率較低需大量生產雜交後裔，挑選出攜有多種目標基因的植株再與輪迴親回交，連續回交 3 次將遺傳背景均替換為輪迴親，完成將多種基因導入輪迴親中；該策略同步啟動轉移多種基因，但在聚合各雜交組合之 F_1 後裔時，獲得多重基因目標植株的機率低，往往需要生產大量雜交種子與篩選規模，需考量作業時間與經濟篩選規模之可行性。兼具同步轉移與逐步轉移策略 (simultaneous and stepwise transfer) 則屬第三種策略，針對各別基因分別建立各獨立回交組合與篩選流程，各目標基因均在前 3 世代進行前景選拔、重組選拔與背景選拔等，將目標基因導入輪迴親中，在 BC_2F_1 世代時進行聚合

雜交，將多種基因堆疊在同一遺傳背景下，隨後自交固定目標抗病基因；在早期世代各組合導入基因數目少所需族群數不會過度膨脹，並容易大幅提升背景回復率，在高世代進行多種基因聚合雜交，雖攜有多基因組合的機率低需族群數較大，但挑選後不需面臨連續回交的急迫性，在稻作育種的實務操作上的可行性高。

隨著台灣栽培品種在時間性與地區性上的變遷，病蟲害之生理小種 (race, pathotypes)與生物型亦隨之消長，因此提高栽培品種的生物性逆境抗性，以降低生產風險、資材成本與農藥殘留等，利用分子輔助回交育種精確堆疊多項抗性基因已成為作物育種重要目標之一。本計畫將白葉枯病 *xa*5、*xa*13 及 *Xa*21 抗病基因 (Cao *et al.* 2007, Chen *et al.* 2011,Chu *et al.* 2006, Iyer-Pascuzzi *et al.* 2008, Song *et al.* 1995)與褐飛蝨 Bph22(t)抗蟲基因 (Du *et al.* 2009)，藉由連續回交育種導入台中秈 17 號高產親本中，作為因應未來發展專用飼料稻米品種的準備。

引用文獻

李邦淦、楊榮芳，1971a。糙米餵飼肉雞營養價值測定試驗報告，畜產研究， 6(3):54－62。

李邦淦、楊榮芳，1971b。糙米代替玉米餵飼肉雞對發育、飼料利用率及屠體性狀影響之研究，台灣農業， 7(3): 59－67。

李邦淦、楊榮芳，1973。糙米代替玉米餵飼來亨航雞對發育、性成熟、產卵及孵化率影響之研究報告，台灣農業， 9(4): 121－132。

林再發，1984。水稻高產品種之選育特別論及台中秈 17 號，台中區農改場研究會，8: 29－40。

賴明信，2013。飼料稻米專案試辦計畫的推動與初步結果，畜產報導，151(1)：14-18。

台灣稻作品種圖誌，1987。P276。行政院農業委員會、台灣省政府農林廳、亞太糧食肥料技術中心編印。

Cao, Y., L. Duan, H. Li, X. Sun, Y. Zhao, C. Xu, X. Li and S. Wang.2007. Functional analysis of Xa3/Xa26 family members in rice resistance to Xanthomonas oryzae pv. Oryzae. Theor. Appl. Genet.115: 887-895.

Chen, S., X. Liu, L. Zeng, D. Ouyang, J. Yang and X. Zhu. 2011.Genetic analysis and molecular mapping of a novel recessive gene xa34(t) for resistance against Xanthomonas oryzae pv. oryzae.Theor. Appl. Genet. 122:1331-1338.

Chu, Z., B. Fu, H. Yang, C. Xu, Z. Li, A. Sanchez, Y. J. Park, J.L. Bennetzen, Q. Zhang and S. Wang. 2006. Targeting xa13, a recessive gene for bacterial blight resistance in rice. Theor.Appl. Genet. 112: 455-461.

Du, B.;W. Zhang, B. Liu, J. Hu, Z. Wei, Z. Shi, R. He, L. Zhu, R.Chen, B. Han and G. He. 2009. Identification and characterization of Bph14, a gene conferring resistance to brown planthopper in rice. Proc. Nat. Acad. Sci. USA 106: 22163-22168.

Huang, N., E. R. Angeles, J. Domingo, G. Magpantay, S. Singh, G.Zhang, N. Kumaravadivel, J. Bennett and G. S. Khush. 1996.Pyramiding of bacterial blight resistance genes in rice: marker assisted selection using RFLP and PCR. Theor. Appl. Genet. 95:313-320.

Iyer-Pascuzzi, A. S., H. Jiang, L. Huang and S. R. McCouch. 2008.Genetic and functional characterization of the rice bacterial blight disease resistance gene xa5. Phytopathology 98: 289-295.

Song, W. Y., G. L. Wang, L. L. Chen, H. S. Kim, L. Y. Pi,T.Holsten, J. Gardner, B. Wang, W. X. Zhai, L. H. Zhu, C. Fauquet,P. Ronald. 1995. A Receptor Kinase-Like Protein Encoded by the Rice Disease Resistance Gene, Xa21 Science 270: 1804-1806.

Thomson, M. J., A. M. Ismail, S. R. McCouch, D. J. Mackill. 2010.Marker assisted breeding. p.451-469. In: Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation. Pareek A, SK Sopory, HJ Bohnert, Govindjee (eds.)Springer, Berlin.

Development of High Yield Forage Fice

Ming-Hsing Lai[1], Dong-Hong Wu[1,2], Charng-Pei Li[1],
Woei-Shyuan Jwo[1], and Ching-Shan Tseng[1]

Abstract

In recent years, global climate anomalies, an unusual frequency of major catastrophe occurred, resulting in regional food production showed instability, low rate of food self-sufficiency for our country, we must have food stocks readiness of strategic thinking; in response to the World Trade Organization (WTO) open the rice market, the domestic large number of fallow paddy fields, these long-term there is no farming land, fertility not only did not get raised interest rates, but is a hotbed of wintering pests and media, have an impact on the ecological balance and overall agricultural production; Japan and South Korea and China other countries in response to their demand for raw materials to feed, all varieties of rice developed feed. Taiwan has a unique geographical environment planted rice, long and systematic basis for rice research and development conditions for the feed rice varieties, so to diversify sources of feed ingredients, in addition to the activation of fallow fields as a strategic choice, but also increase the paddy field area, reduce the heat island effect and prevent flood damage, reduce runoff, groundwater conservation of paddy fields play an important ecological significance for improving food self-sufficiency can also play a positive benefit.

Keywords: Rice, Self-sufficiency rate of food, Convergent breeding, Forage rice.

1 Former Associate Research Fellow, Crop Science Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.

2 Corresponding Author, Email: dhwu@tari.gov.tw; Tel: 04-23317407.

飼料甘藷品種 (系) 產量比較及其胰蛋白酶活性分析

賴永昌 [1,3] 廖文昌 [2] 黃哲倫 [1]

摘要

甘藷可加入飼料中作為畜禽類的食物，但甘藷中所含的 trypsin inhibitor 會降低甘藷蛋白質的代謝利用率，進而限制甘藷作為飼料的應用性，過去的研究結果建議選擇 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷供人類及動物食用。本研究調查台灣常見的飼料用甘藷的 trypsin inhibitor 活性，結果顯示在飼料甘藷品種 (系) 中，台南 18 號、台農 17 與 31 號甘藷的 trypsin inhibitor 活性均高於 70%，台農 10 號是目前台灣飼料甘藷使用最普遍的品種，其 trypsin inhibitor 活性為 52.6%。本研究進一步探討 3 種加熱處理法 (包括水煮、微波及烘烤) ，對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響，結果顯示水煮處理可有效地降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，但有些甘藷品種仍會保有部份 trypsin inhibitor 活性。在飼料甘藷中，品系 CYY99-68 具備產量高 (66.12 ± 0.85 ton/ha)且 trypsin inhibitor 活性低 (32.4%) 的優點，可作為飼料用甘藷之用途。

關鍵詞：飼料用甘藷、胰蛋白酶、熱處理。

前言

甘藷 (*Ipomoea batatas* (L) Lam) 除了含有大量澱粉，也含有多種營養成份例如 vitamins 和 carotenes 等，所以甘藷是一種很好的輔助食物 (Rumbaoa, et al., 2009)，在亞洲地區甘藷有很大的種植面積，台灣的氣候環境也非常適合甘藷生長，在台灣甘藷也是一種重要的雜糧作物，甘藷可以作為主要的澱粉來源，不但可以做為輔助糧食也可以成為飼料作物，用途甚為廣泛，近年來透過加工製造出多樣化的甘藷相關食品。雖然甘藷原是台灣僅次於水稻的作物，後來受到廉價大宗穀物進口的影響，養豬飼料業者逐漸捨棄甘藷改採用進口廉價穀物，因此台灣甘藷的產量逐年下降；另一方面，由於國人所得增加生活水準提高之後，小麥製成的食品越來越受歡迎，因此對甘藷的依賴性也逐年減低，但在面對全球糧食危機時，甘藷可以彌補台灣不足的澱粉量並作為一種穩定的糧食來源。

最近幾年因為氣候變遷，國際玉米及大豆等飼料價格飆漲，導致養豬飼料業者成

1 農業試驗所嘉義分所。
2 長庚科技大學護理系。
3 通訊作者 電子信箱：davidlai@dns.caes.gov.tw；電話：05-2771341。

本大幅上升；另一方面考慮台灣氣候及土質因素，可以利用休耕地種植甘藷，因此又重新討論將甘藷作為飼料作物的可能性。因甘藷中含有澱粉及蛋白質，可提供畜禽類生長所需要的養分，若能將甘藷加入飼料中作為畜禽類的食物，將有助於改善飼料效率、生產效益以及降低生產成本。但甘藷中所含的 trypsin inhibitor 會降低甘藷蛋白質的代謝利用率，進而限制甘藷作為飼料的應用性。根據國外很多研究報告，trypsin inhibitor 會阻斷 proteinases 的作用導致蛋白質無法作為營養來源，Sohonnie and Bhandarker (1954) 最早提出甘藷中 trypsin inhibitor 的研究報告，接下來也有相關的研究報告持續被提出 (Bradbury, et. al., 1984; Bradbury, et. al., 1985; Ravindran, et. al., 1995; Zhang, et. al., 1998)，Zhang and Corke (2001)曾對 7 種國外甘藷品種進行 trypsin inhibitor activity 和粗蛋白質含量分析，結果建議選擇 trypsin inhibitor 活性較低和粗蛋白質含量較高的甘藷供人類及動物食用。國內過去也有針對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的相關研究報告 (Hou, et. al., 2001; Lin, et. al., 1987; Lin, et. al., 1980)，甚至更一步將甘藷的 trypsin inhibitor，應用於抑制細胞生長 (Huang, et. al., 2007)，但研究材料偏向食用甘藷，例如台農 57 號與台農 66 號等，目前尚未有針對台灣常見的飼料用甘藷品種，包括台南 18 號、台農 10 號、台農 17 號和台農 31 號，做出完整的 trypsin inhibitor 活性相關研究報告。

Zhang et al. (2002) 發現甘藷在儲藏過程中，trypsin inhibitor 活性幾乎沒有太大的改變，甘藷的 trypsin inhibitor 活性大約為 3.90–21.83 U/mg，因此本研究建議使用加熱處理以降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性。不論食用或飼料用甘藷在食用之前都會先經加熱處理，加熱方式包括水煮、微波及烘烤等，各種加熱法使用不同的溫度，因此對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的影響也會不同。一般而言水煮溫度在 100 °C 以下，而烘烤的溫度則在 190 到 200 °C 左右(Chan, et. al., 2012; Lai, et. al., 2011)，至於加熱的時間也會因加熱方式而有所不同，原則上要提高蛋白質的利用率，需要保持 trypsin 的活性，所以希望能經由加熱處理，降低甘藷中 trypsin inhibitor 的活性。

本研究的目的在選出 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷品種，因為台灣甘藷在選、育種時均未將 trypsin inhibitor 活性納入選、育種的指標，因此目前僅能就現有的甘藷品種依 trypsin inhibitor 活性的高低，選出適合作為飼料用的甘藷品種。另一方面使用不同的加熱處理法，探討各種加熱處理法對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響。

材料與方法

一、試驗材料

甘藷於 101 年 10 月種植，隔年 3 月採收，採收後的甘藷於 15 °C 冷藏備用。所種植的甘藷品種包括已往農民種植之飼料用甘藷品種台南 18 號、台農 10、17 和 31 號，另外再加上 CYY99-08 及 CYY99-68 兩個育成新品系。

Trypsin 及 benzoyl-DL-arginine-*p*-nitroanalide hydrochloride (BAPA) 購自 Sigma-Aldrich® (St. Louis, MO, USA)，Tris-HCl 購自 J. T. Baker® (Avantor Performance Materials Inc., Center Valley, PA, USA)，dimethyl sulfoxide (DMSO)購自 Acros Organics® (Fair Lawn, NJ, USA)。

二、試驗方法

製作新鮮甘藷樣品時，隨機取樣 5 根特定品種甘藷，分別切成 0.5×0.5×0.5 cm^3 的甘藷小丁，將甘藷小丁充分混合後備用。製作甘藷萃取液時隨機取樣 25 g 甘藷丁，加入 500 ml 去離子水中 (固液比為 1 g/20 ml)，以均質機攪拌 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液備用。製作受質溶液時取 4 mg $BAPA_{(s)}$ 溶於 100 µl DMSO，溶液置於 10 ml 定量瓶，加入 0.05 M Tris-HCl 緩衝溶液 (pH 8.2) 稀釋至刻度後備用。

加熱處理法包括水煮、微波及烘烤。水煮處理時先將 500 ml 去離子水加熱至沸騰 (100°C)，加入 25 g 甘藷丁加熱 10 min，待加熱完成後以去離子水補充因加熱而喪失的水分，然後將甘藷液以水浴法冷卻至 25°C，以均質機攪拌 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。微波處理時取 25 g 甘藷丁置於磁盤上，放入微波爐中加熱 2 min，然後加入 500 ml 去離子水 (25°C)，以均質機攪拌萃取 45 sec 後以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。烘烤處理時將 25 g 甘藷丁以鋁箔紙包覆後放入烤箱，烘烤溫度為 190°C，烘烤時間為 10 min，待烘烤完成後將甘藷丁取出置入燒杯中，然後以 500 ml 去離子水 (25°C) 以均質機攪拌萃取 45 sec，再以抽氣過濾法收集濾液進行 trypsin inhibitor 活性分析。

Trypsin inhibitor 活性分析根據 Hamerstrand et al. (1981) 的方法加以修改，取 3 支試管各別編號，第 1 支試管含 0.4 ml 去離子水及 0.4 ml 的 200 µg/ml trypsin 溶液，此為不含抑制劑之標準比對溶液，第 2 支試管含 0.1 ml 的甘藷萃取液及 0.3 ml 去離子水，此為空白溶液，第 3 支試管先混合 0.1 ml 的甘藷萃取液及 0.3 ml 去離子水，再加 0.4 ml 的 200 µg/ml trypsin 溶液，此為樣品溶液，各試管溶液混合後於 37°C 加熱 10 min，然後加入於 37°C 預熱的 1 ml 的 0.4 mg/ml BAPA 溶液，混合均勻後於 37°C 加熱 10 min，再於各試管中加入 0.2 ml 的 30% acetic acid 溶液均勻混合，其中第 2 支試管再加入 0.4 ml 的 200 µg/ml trypsin 溶液，以 UV (V-630 UV/VIS, Jasco International Co. Ltd., Tokyo, Japan) 測量各試管溶液在波長 410 nm 的吸光值，再依下列公式計算甘藷溶液中 trypsin inhibitor 活性的抑制率(%):

$$TIA(\%) = \frac{A_{\text{standard}} - \left(A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}\right)}{A_{\text{standard}}} \times 100\% \qquad \text{(式一)}$$

其中 TIA (%)為 trypsin inhibitor 活性的百分比抑制率；$A_{standard}$ = 標準比對溶液在波長

410 nm 的吸光值；A_{sample} = 甘藷萃取液在波長 410 nm 的吸光值；A_{blank} = 空白溶液在波長 410 nm 的吸光值。

本研究中每個實驗樣品都進行 3 重覆，實驗數據分析使用統計軟體 STATISTICA^{R} (version 7.0, StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA)，整體分析具 0.05 的信心水準，當 $p < 0.05$ 時代表達顯著的統計差異。

結果與討論

所有甘藷品種 (系) 的產量、乾物重及外觀顏色等資料顯示於表 1，在地上部莖葉產量方面，以台農 31 號之地上部莖葉產量最高，每公頃產量為 24.02 公噸，而 CYY98-08 及 CYY99-68 二品系之莖葉產量較低，分別為每公頃 12.91 及 14.36 公噸；在地下部塊根產量方面，6 個飼料甘藷品種 (系) 每公頃塊根產量皆 35 公噸以上，其中以 CYY99-68 及台農 10 號最高，每公頃塊根產量分別為 66.12 及 61.29 公噸。

6 種飼料用甘藷的 trypsin inhibitor 活性分析顯示於圖 1，6 種飼料甘藷的 trypsin inhibitor 活性中，以台南 18 號、台農 17 與 31 號甘藷的 trypsin inhibitor 活性均高於 70%，最低的是新品系 CYY99-68 其 trypsin inhibitor 活性為 32.4%；其中台農 10 號是目前台灣飼料甘藷使用最普遍的品種，其 trypsin inhibitor 活性也高於 50%，根據圖 1 的結果，台灣飼料用甘藷其 trypsin inhibitor 活性仍偏高，因此不宜直接添加於飼料中供畜禽類食用，否則會影響到畜禽類對蛋白質的利用率，建議先經加熱處理以降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性。

Kiran and Padmaja (2003) 曾對 4 種印度甘藷品種做過 trypsin inhibitor 活性分析，同時探討 oven drying、cooking、和 microwave baking 等加熱處理法，對甘藷中 trypsin inhibitor 活性的影響，結果顯示經過 70°C、2 hr 的加熱處理之後，甘藷中大約 80~90%

表 1. 飼料甘藷品種 (系) 的產量、乾物重及外觀顏色
Table 1. The color, dry matter and yield of seven animal feed sweet potato varieties (lines).

品種(系)	莖葉產量 (ton/ha.)	塊根產量 (ton/ha.)	乾物重(%)	表皮顏色	肉色
台南 18 號	20.12±0.14	46.51±2.39	35.33 ± 1.49	紅	白
CYY98-08	12.91±0.14	37.22±2.92	29.09 ± 0.89	白	白
CYY99-68	14.36±1.52	66.12±0.85	21.68 ± 0.52	白	白
台農 17 號	20.83±2.50	42.05±1.80	36.60 ± 1.59	紅	黃
台農 31 號	24.02±0.14	51.39±5.91	32.22 ± 0.33	紅	白
台農 10 號	19.58±2.91	61.29±0.31	28.15 ± 0.14	黃	淺黃

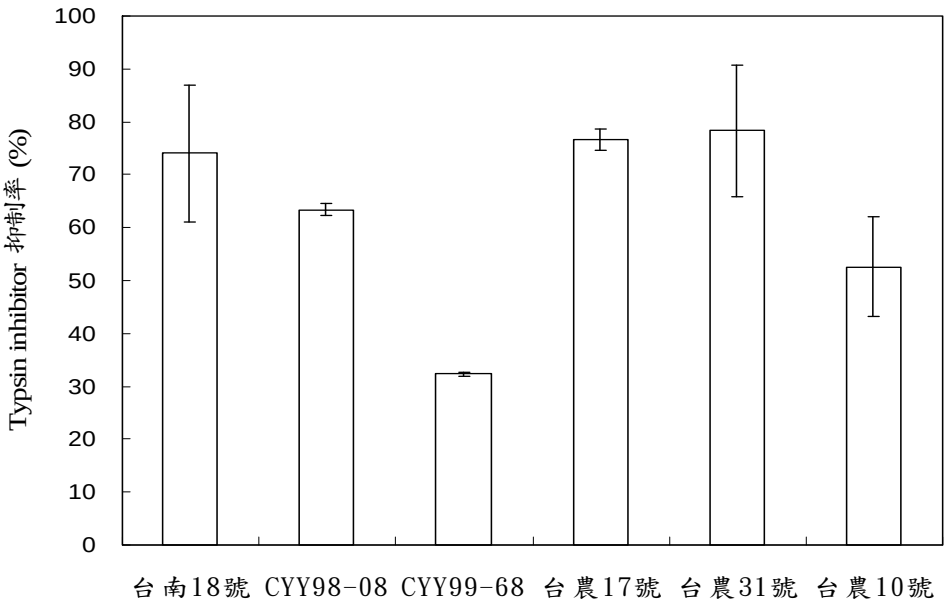


圖 1. 飼料用甘藷鮮藷中 trypsin inhibitor 活性分析

Fig.1.The analysis of trypsin inhibitor activity for seven animal feed sweet potato varieties(lines).

的 trypsin inhibitor 活性會被保留，但如果加熱至 100°C，trypsin inhibitor 會快速地失去活性，若經過 24 hr、100°C 乾燥處理，甘藷中的 trypsin inhibitor 會完全失去活性，然而加熱處理對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響，會因品種不同而存有很大的差異。早期台灣也曾對部份甘藷品種的 trypsin inhibitor 活性做過分析，Lin and Tsu (1987)以幾種當時台灣常見的甘藷品種，分析其 trypsin inhibitor 活性，同時也探討加熱處理對甘藷中 trypsin inhibitor 的保留率，結果和國外的結果相似，當加熱至 100°C、15 min 時，有 3 種甘藷品種的 trypsin inhibitor 會完全失去活性，但台農 65 號會保有大約 51%的活性。本研究先比較 3 種加熱處理法 (包括水煮、微波及烘烤)，對飼料用甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響顯示於圖 2，水煮處理可以有效地降低甘藷 trypsin inhibitor 活性，以台農 10 號為例，經過水煮處理後，雖然甘藷 trypsin inhibitor 的活性由 52.6%降到 6.1%，但仍會保有部份活性而影響蛋白質的利用率，因此水煮處理法仍需進一步改良，目標是完全去除飼料甘藷中 trypsin inhibitor 的活性。至於微波處理對飼料甘藷的影響會因品種不同而有較大的差異，可能是因為飼料甘藷中的水分含量差異較大，雖然微波處理也可降低飼料甘藷 trypsin inhibitor 活性，但相較於其他加熱處理法，微波處理的效果較差，另一方面微波處理的設備成本太高，處理量也較小，因此無法使用於飼料甘藷大規模的製作，僅能用於比較加熱處理對甘藷 trypsin inhibitor 活性的影響。烘烤處理顯示，飼料甘藷 trypsin inhibitor 活性會因高溫處理而大幅降低，雖然烘烤使用

高溫處理 (> 190 °C) 會破壞甘藷中的 trypsin inhibitor，但要達到如此高的溫度需要消耗較多的能量，會提高飼料的製作成本，因此烘烤處理不適合使用於製作甘藷飼料。

根據圖 2 的結果顯示，品系 CYY99-68 的 trypsin inhibitor 活性較其它飼料甘藷低，經過加熱處理後 trypsin inhibitor 活性皆降至很低的水準 (<1.5%)，CYY99-68 的單位產量表現優異(66.12 ± 0.85 ton/ha)，但乾物重比率較低是其缺點 (21.68%)，若能以 CYY99-68 作為育種的材料，希望能培育出產量高、乾物重高以及 trypsin inhibitor 活性低的飼料甘藷品種。

結論

因為甘藷中 trypsin inhibitor 會影響蛋白質的利用率，所以作為飼料用甘藷需選用 trypsin inhibitor 活性較低的甘藷品種，但過去在甘藷選、育種時未考慮 trypsin inhibitor 活性，而作為甘藷飼料常用的台農 10 號其 trypsin inhibitor 活性仍相當高。目前希望使用加熱處理來降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，結果顯示水煮處理可有效地降低甘藷的 trypsin inhibitor 活性，以台農 10 號為例，trypsin inhibitor 的活性可降至 6.1%，但經水煮處理之後甘藷仍會保有部份的 trypsin inhibitor 的活性，因此水煮處理法仍需進一步改良。活性調查的結果，顯示品系 CYY99-68 具備產量高且 trypsin inhibitor 活性低的優點，可作為未來飼料用甘藷品種使用。

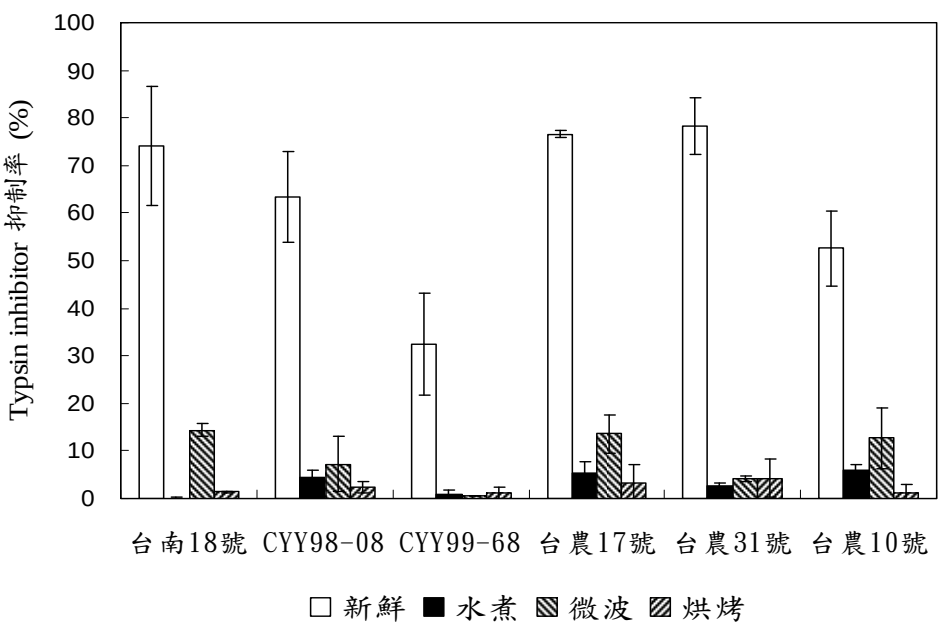


圖 2.加熱處理對飼料用甘藷 trypsin inhibitor 活性影響

Fig.2. Effects of heat treatments on trypsin inhibitor activity of seven animal feed sweet potato varieties (lines).

引用文獻

Bradbury, J. H., J. Baines, B. Hammer, M. Anders, and J.S. Millar. 1984. Analysis of sweet potato (*Ipomoea batatas*) from the highlands of Papua New Guinea: relevance to the incidence of *Enteritis necroticans*. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 32(3): 469-473.

Bradbury, J. H., B.Hammer, M.Anders, and J.S. Millar. 1985. Protein quantity and quality and trypsin inhibitor content of sweet potato cultivars from the highlands of Papua New Guinea. Journal of Agricultural and Food Chemistry. *33*(2): 281-285.

Chan, C. F., C.M.Chiang , Y.C.Lai, C.L.Huang, S.C.Kao, and W.C.Liao. 2012. Changes in sugar composition during baking and their effects on sensory attributes of baked sweet potatoes. Journal of Food Science and Technology. DOI: 10.1007/s13197-012-0900-z.

Hamerstrand, G. E., L.T.Black, and J.D.Glover. 1981. Trypsin inhibitors in soy products: Modification of the standard analytical procedure. Cereal Chemistry. *58*(1): 42-45.

Hou, W. C., Y.C. Chen, H.I. Chen, Y.H. Lin, L.L. Yang and M.H.Lee.2001. Antioxidant Activities of Trypsin Inhibitor, a 33 KDa Root Storage Protein of Sweet Potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam cv. Tainong 57). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 49(6): 2978-2981.

Huang, G. J., M.J.Sheu, H.J.Chen, Y.S.Chang, and Y.H. Lin. 2007. Growth Inhibition and Induction of Apoptosis in NB4 Promyelocytic Leukemia Cells by Trypsin Inhibitor from Sweet Potato Storage Roots. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 55(7): 2548-2553.

Kiran, K. S. And G. Padmaja. 2003. Inactivation of trypsin inhibitors in sweet potato and taro tubers during processing. Plant Foods for Human Nutrition. 58(2): 153-163.

Lai, Y. C., C.L. Huang, C.F. Chan, C.Y. Lien and W.C. Liao. 2011. Studies of sugar composition and starch morphology of baked sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam). Journal of Food Science and Technology. DOI: 10.1007/s13197-011-0453-6.

Lin, Y. H., and B.S. Tsu. 1987. Some factors affecting levels of trypsin inhibitor activity of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) roots. Botanical Bulletin Academia Sinica. 28: 139-149.

Lin, Y. H., and H.L. Chen. 1980. Level and heat stability of trypsin inhibitor activity among sweet potato (Ipomoea batatas L.) varieties. Botanical Bulletin Academia Sinica. 21(1): 1-13.

Ravindran, V., G. Ravindran, R.Sivakanesan and S.B. Rajaguru.1995. Biochemical and nutritional assessment of tubers from 16 cultivars of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.). Journal of Agricultural and Food Chemistry. 43(10): 2646-2651.

Rumbaoa, R. G. O.,D.F. Cornago and I.M.Geronimo. 2009. Phenolic content and antioxidant capacity of Philippine sweet potato (*Ipomoea batatas*) varieties. Food Chemistry. 113(4): 1133-1138.

Sohonnie, K., and A.P. Bhandarker. 1954. Trypsin inhibitors in Indian foodstuff: I. Inhibitors in vegetables. Journal of Science and Industrial Research B. 13: 500-503.

Zhang, D., W.W.Collins, and M.Andrade. 1998. Genotype and fertilization effects on trypsin inhibitor activity in sweet potato. HortScience. 33(2): 225-228.

Zhang, Z. and H. Corke. 2001. Trypsin inhibitor activity in vegetative tissue of sweet potato plants and its response to heat treatment. Journal of the Science of Food and Agriculture. 81(14): 1358-1362.

Zhang, Z., C.C.Wheatley and H.Corke. 2002. Biochemical changes during storage of sweet potato roots differing in dry matter content. Postharvest Biology and Technology. 24(3), 317-325.

A Compared of the Root Yield and Trypsin Inhibitor Activity of Sweet Potato Lines for Animal Feeds

Yung-Chang Lai[1,3], Wayne C. Liao[2] and Che-Lun Huang [1]

Abstract

Sweet potatoes have been used to feed animals. However, the trypsin inhibitor of sweet potatoes prevents animals from metabolizing proteins, and that reduces the practical application of using sweet potatoes as animals' food. Thus, previous studies recommended selecting sweet potatoes with lower trypsin inhibitor activity for food applications. The trypsin inhibitor activity of Taiwanese sweet potato varieties (lines) was analyzed in this study. For animal feed sweet potatoes, the trypsin inhibitor activity of TN18, TNG17, and TNG31 was higher than 70%. On the other hand, the trypsin inhibitor activity of TNG10, the most popular animal feed sweet potato variety in Taiwan, was approximately 52.6%. The influence of thermal processing including boiling, microwaving, and baking on the trypsin inhibitor activity of sweet potatoes was also analyzed in this study. The boiling treatment successfully reduced the trypsin inhibitor activity of sweet potatoes. However, some sweet potatoes retained partial trypsin inhibitor activity after boiling treatment. An experimental line named CYY99-68 had high yield (66.12 ± 0.85 ton/ha) and low trypsin inhibitor activity (approximately 32.4%). Therefore, CYY99-68 was a good sweet potato variety for the purpose of animal feed.

Keywords: Animal feed sweet potatoes, Trypsin inhibitor activity, Thermal processing.

1 Agricultural Research Institute, Chia-Yi Agricultural Experiment Station, 2, Min-Cheng Rd., Chia-Yi, Taiwan.

2 Department of Nursing, Chang Gung University of Science and Technology, Chia-Yi, Taiwan.

3 Corresponding Author, Email: davidlai@dns.caes.gov.tw; Tel: 05-2771341.

臺中秈 17 號糙米在畜禽飼糧中之應用 (I)

李春芳[1,4] 施柏齡[1] 廖宗文[1] 李秀蘭[2] 范耕榛[1] 陳文賢[1] 賴明信[3]

摘要

本研究在評估糙米做為畜禽飼料能量原料之可行性，以增加國內糧食安全。試驗探討以不同比例臺中秈 17 號糙米取代玉米對白肉雞、LD 雜交肉豬及 DK 雜交黑豬生長性能及屠體性狀之影響。0 – 5 週齡白肉雞飼養結果顯示，飼糧中以臺中秈 17 號糙米完全取代玉米，並不會影響肉雞採食量與生長性狀，但飼料糙米取代 75%及 100%玉米時會致雞肉色澤的降低 ($P < 0.05$)；以臺中秈 17 號糙米取代飼料中玉米用量的 50%餵飼 LD 雜交肉豬，在生長期飼料轉換率較高，背脂厚度較薄，而肌間脂肪含量百分比高；在 DK 雜交黑豬方面，臺中秈 17 號糙米取代玉米對生長性能（平均日增重、飼料採食及飼料轉換效率）均無顯著影響，但會顯著影響屠肉顏色，因此建議以臺中秈 17 號糙米取代 50%的玉米量，以維持相同的肉品色澤。

關鍵詞：白肉雞、玉米、DK雜交黑豬、LD肉豬、臺中秈17號糙米。

前言

氣候變遷使穀物生產不穩定，因此除造成糧食供應安全疑慮外，也促使飼料價格的高漲，使畜牧業永續經營面臨嚴峻挑戰。本計畫以開發自產飼料資源提高國內自產飼料自給率及飼養效率為目標，期以節碳的在地生產在地利用之模式，增加飼料自給率，降低飼料原料可能短缺或高價之風險，本試驗目的在探討飼糧中以臺中秈 17 號糙米取代玉米餵飼白肉雞、肉豬及黑豬之適當應用方法。

材料與方法

(一) 白肉雞飼養試驗：將 390 隻 1 日齡雛白肉雞逢機分至 5 處理組，每處理 3 重複，每重複 26 隻。飼養期間 5 週包括育雛期 (0–3 週齡）及生長期 (4–5 週齡）。飼糧對照組以玉米–大豆粕基礎飼糧為之，處理組 2 到 4，分別以飼料糙米取代對照組玉米含量的 50%、75%或 100%；處理組 5 為第 4 組試驗飼糧再每公斤添加 β-胡蘿蔔素 (β-carotene) 50 mg。試驗期間飼料與飲水均採任食。試驗評估指標包括雞隻採食量、增重與飼料轉換率的生長性狀及育成率；試驗結束時，每處理組取

1 行政院農業委員會畜產試驗所。
2 行政院農業委員會畜產試驗所高雄種畜繁殖場。
3 行政院農業委員會農業試驗所。
4 通訊作者 電子信箱：cflee@mail.tlri.gov.tw；電話：06-5911211#321。

8 隻人道犧牲，公母各半，測定雞隻腹脂率及屠宰率，並以色差儀測定胸肉及皮膚的亮度與色度。試驗飼糧一般營養成分依 AOAC (1990) 方法分析。

(二) 肉豬飼養試驗：以平均體重約 30 kg 二品種 LD 雜交肉豬 50 頭，依體重分成四組，兩頭一欄，飼糧分為生長期及肥育期，對照組為玉米-大豆粕基礎飼糧，生長期飼糧配方每公斤含粗蛋白質 16.9%及代謝能 3,488 kcal，並以飼料糙米分別取代玉米 50%、75%或 100%為處理組，100%取代組於肥育後期再分為添加 0.2 %胺基酸鐵或不添加兩組，檢視胺基酸鐵對改善肉色評分之效果。

(三) 黑豬飼養試驗：選取 90 日齡體重約 25 kg 之生長期雜交高畜黑豬 (含 75%杜洛克及 25%高畜黑豬血統) 60 頭，公母各半，依性別逢機分配至五個飼糧處理組。對照組為玉米–大豆粕基礎飼糧，試驗組以臺中秈 17 號糙米分別取代對照組飼糧中玉米之 50%、75%或 100%，其中取代 100%組的，於肥育後期分為添加 0.2 %螯合鐵或不添加兩組。試驗期間飼料與飲水採任食，每三週磅秤體重一次。豬隻飼養至體重 110 kg 結束，測定生長性能及採食量。各處理組選取 6 頭犧牲進行屠體分切，測定屠體性狀及屠肉性狀。

(四) 試驗所得雞隻各項性能資料，以 SAS 套裝軟體 (SAS, 2002) 一般線性模式 (General linear model procedure, GLM) 進行分析，有處理顯著效應時，再以最小平方均值 (least squares means, LSM) 進行組間差異比較，本試驗以 $P < 0.05$ 為差異顯著水準。

結果與討論

一、白肉雞飼養試驗

1. 生長性狀

以飼料糙米取代玉米 50%到 100%，都不會影響肉雞的生長性能，雞隻 0–3 週齡、4–5 週齡或全期的採食量、增重、飼料換肉率及育成率表現都相近 (表 1)，顯示飼料糙米可以完全取代玉米，此結果與李與楊 (1971) 所述以糙米取代玉米半量或全量不會影響 8 週齡雞隻增重之結論一致。

2. 屠體性狀

臺中秈 17 號糙米取代玉米對 5 週齡白肉雞屠體性狀及肉色之影響，如表 2 所示。試驗結果顯示，白肉雞飼糧中糙米取代 50%到 100%的玉米，都不會影響其屠宰率及腹脂率；但雖然也不影響雞胸肉的亮度，但隨著糙米取代玉米比例的增加，胸肉的紅色與黃色色澤隨之降低，尤其當取代量達 75%與 100%時 ($P < 0.05$)；而第 5 組結果顯示，添加 β-胡蘿蔔素有提升一些黃色紅色色澤的趨勢，但並無法明顯恢復胸肉色澤，是否為劑量不足或補充期間過短，尚待進一步探討。

二、肉豬飼養試驗

1. 生長性狀

飼糧中不同量臺中秈 17 號糙米取代玉米餵飼生長肥育豬之結果，列如表 3。於生長期，糙米取代 50%及 100%玉米組豬隻之飼料轉換率顯著地優於對照組（$P < 0.05$），而每日增重及隻日飼料採食量，各組間無顯著的差異；肥育期豬隻，其隻日增重及隻日飼料採食量以及飼料轉換率，各處理組間無顯著差異，Vicente *et al.* (2006) 比較離乳仔豬飼養玉米和米之效果差異，發現 22 日齡至 53 日齡仔豬，餵飼米者，其飼料攝

表 1. 飼糧中以臺中秈 17 號糙米取代玉米對 0 – 5 週齡白肉雞生長性能之影響

	臺中秈 17 號糙米取代玉米比例				
項　　目	0%	50%	75%	100%	100%＋β-carotene
0 – 3 週齡					
隻日採食量 (g)	53.3	53.0	53.3	50.4	50.0
隻日增重 (g)	41.0	42.0	42.3	40.7	40.3
飼料換肉率(飼料/增重)	1.30	1.26	1.26	1.24	1.22
育成率 (%)	98.7	98.7	98.3	98.0	98.3
4 – 5 週齡					
隻日採食量 (g)	128.2	123.3	126.9	128.5	124.9
隻日增重 (g)	79.6	77.6	79.8	79.0	79.1
飼料換肉率(飼料/增重)	1.61	1.59	1.59	1.61	1.58
育成率 (%)	96.7	96.7	97.0	97.0	95.3
0 – 5 週齡					
隻日採食量 (g)	89.5	87.7	90.1	89.4	87.5
隻日增重 (g)	60.3	59.8	61.0	59.8	59.6
飼料換肉率(飼料/增重)	1.48	1.43	1.43	1.43	1.41
育成率 (%)	97.7	97.7	97.7	97.5	96.8

表 2. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 5 週齡白肉雞屠體性狀及胸肉色澤之影響

	臺中秈 17 號糙米取代玉米比例					
項　　目	0%	50%	75%	100%	100%＋β-carotene	SEM
*L** (亮度)	45.8	46.6	45.1	44.9	45.4	0.88
*a** (紅色)	8.16^{a}	7.41^{a}	7.27^{ab}	6.28^{b}	6.41^{b}	0.83
*b** (黃色)	9.33^{a}	7.65^{ab}	5.73^{bc}	5.19^{c}	5.67^{bc}	0.37
屠宰率 (%)	81.9	82.7	81.5	82.0	82.4	0.63
腹脂率 (%)CW[1]	1.35	1.57	1.66	1.49	1.56	0.23

[a, b, c] Means in the same row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

[1] CW = carcass weight.

食量較多，飼料轉換率較佳，而對 25 日齡至 39 日齡之仔豬，則餵飼米者之飼料轉換率較佳。此外，Che *et al.* (2012) 亦指出，仔豬離乳後歷時六週之飼養試驗測定，餵飼米者及餵飼玉米者，兩者之飼料攝食量並無差異，上兩試驗和本試驗以較大體重之生長豬所做之糙米及玉米之比較，結果是一致的，顯示以糙米取代玉米無損豬隻之採食量及其生長性能，且於生長期可提升飼料轉換率。

2. 屠體品質

飼糧中不同量糙米取代玉米餵飼生長肥育豬，對屠肉成分之影響，列如表 4，顯示取代 100%玉米組另添加胺基酸鐵組豬隻，其屠肉粗蛋白質率比對照組及取代玉米 50%組，顯著地（P＜0.05）較高，而屠肉水分及粗脂肪含量，各組間無差異。

飼糧中不同量糙米取代玉米餵飼生長肥育豬，對屠體性狀之影響，列如表 5，以糙米取代玉米用量 50%組，其屠體背脂厚度最薄，瘦肉率比取代 75%玉米組豬隻，顯著較高，其餘各組則無差異。脂肪率則以取代 75%玉米組顯著地（P＜0.05）高於其於各組，各組間豬之腰眼面積，沒有顯著之差異。對背最長肌肌肉性狀之影響，列如表 6，豬隻背最長肌之肉色，緊實度，各組間沒有顯著的差異，而取代 50%組之背最長肌肌間脂肪比例，和對照組豬肉相比較，有較高之趨勢，但是顯著地（P＜0.05）高於其餘

表 3. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對白肉豬生長性能之影響

	Corn substitution, %					
	Control (0)	50	75	100	100 + Fe	SEM
Grower						
Average daily gain (kg/d)	0.79	0.87	0.88	0.89	0.83	0.02
Average feed intake (kg/d)	1.98	1.93	2.10	1.96	1.91	0.04
Feed conversion rate, Gain/Feed	0.40^{b}	0.45^{a}	0.42^{ab}	0.45^{a}	0.43^{ab}	0.02
Finisher						
Average daily gain (kg/d)	1.14	1.13	1.15	1.19	1.14	0.02
Average feed intake (kg/d)	3.59	3.76	3.90	3.86	4.69	0.19
Feed conversion rate, Gain/Feed	0.33	0.32	0.31	0.32	0.26	0.02

$^{a, b}$ Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

表 4. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 LD 肉豬屠肉成分之影響

	Corn substitution, %					SEM
	Control (0)	50	75	100	100 + Fe	
Moisture (%)	74.14	73.35	73.80	73.64	73.84	0.15
Crude protein (%)	21.66^{b}	21.62^{b}	22.09^{ab}	22.18^{ab}	22.83^{a}	0.16
Crude fat (%)	2.73	3.44	2.52	2.41	2.22	0.24

$^{a, b}$ Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

各組，本組之肌間脂肪比例較高，則和其屠肉中有較高的脂肪含量（見表 4）有關（蘇等，2004）。

表 7 顯示，背最長肌之 L 值及 b 值，於各組間未有顯著之差異，以糙米取代玉米 100%組之背最長肌以及另外添加胺基酸鐵組，其紅色值有較高之趨勢，而背脂之紅色值，則以取代 50%組，顯著地（P＜0.05）較對照組及取代 75%及 100%組為高，而和添加胺基酸鐵組，無顯著之差異，以糙米全量取代玉米組，其背脂之紅色值確有比取代 75%組為高，而全量取代玉米另添加胺基酸鐵組，其背脂之紅色值比取代 75%組或全量取代玉米組，顯著地（P＜0.05）較高。

三、黑豬飼養試驗

1. 生長性狀

餵飼不同臺中秈 17 號糙米含量飼糧對豬隻生長性能，如表 8 所示。豬隻在試驗開始、生長期和肥育期結束時的日齡、體重及試驗期間各組的隻日飼料採食量 (ADFI)、隻日增重 (ADG)、飼料轉換率 (G/F)，各處理組間，無顯著差異，顯示飼料稻米之適口性佳，無異於玉米。

表 5. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 LD 肉豬屠體性狀之影響

	Corn substitution (%)					SEM
	Control (0)	50	75	100	100 + Fe	
Carcass weight (kg)	88.73	90.45	91.13	93.12	93.53	1.07
Carcass length (cm)	88.37	90.52	88.7	89.48	89.13	0.41
Backfat thickness (cm)	2.41^{ab}	2.07^{b}	2.44^{a}	2.33^{ab}	2.42^{ab}	0.73
Loin eye area (cm^2)	58.36	53.10	51.05	55.89	52.28	2.29
Lean percentage (%)	61.94^{a}	63.07^{a}	59.35^{b}	62.19^{a}	61.61^{a}	0.35
Fat percentage (%)	14.34^{b}	13.72^{b}	17.24^{a}	14.82^{b}	14.91^{b}	0.38
Bone percentage (%)	17.27^{ab}	17.98^{a}	16.75^{b}	17.01^{ab}	17.84^{ab}	0.17

$^{a, b}$ Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

表 6. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 LD 肉豬背最長肌性狀之影響

	Corn substitution (%)					SEM
	Control (0)	50	75	100	100 + Fe	
Color score*	2.60	2.67	2.68	2.68	2.82	0.05
Firmness score	2.42	2.55	2.65	2.47	2.90	0.09
Marbling score	2.40^{ab}	2.78^{a}	2.27^{b}	2.17^{b}	2.27^{b}	0.08

$^{a, b}$ Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

* 依據 NPPC (1991) 之圖譜卡進行評分。

2. 屠體品質

飼糧中不同量之臺中秈 17 號糙米取代玉米餵飼生長肥育黑豬，對屠體性狀及里肌性狀之影響，列如表 9，結果顯示，以糙米取代玉米對屠體性狀 (屠體重、背脂厚度、瘦肉率、脂肪率及 L、a、b 值各處理組間均無顯著差異。

表 7. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 LD 肉豬背最長肌及背脂顏色之影響

	Control (0)	Corn substitution (%)				SEM
		50	75	100	100 + Fe	
Loin meat						
L value	49.64	49.36	49.61	48.32	48.72	0.28
a value	6.68^{ab}	6.74^{ab}	6.25^{b}	7.17^{a}	7.01^{ab}	0.13
b value	4.80	4.58	4.69	4.74	4.94	0.09
Backfat						
L value	74.76^{b}	72.88^{c}	75.86^{a}	74.82^{b}	73.71^{c}	0.15
a value	4.55^{bc}	5.68^{a}	3.00^{d}	4.30^{c}	5.22^{ab}	0.11
b value	4.89^{bc}	5.35^{b}	4.13^{c}	5.23^{b}	6.78^{a}	0.13

$^{a, b, c, d}$: Means in the same row with different superscripts differ (P < 0.05).

L value: Brightness; a value: redness; b value: yellowness.

表 8. 臺中秈 17 號糙米對高畜黑豬雜交黑豬生長性能之影響

		Corn substitution (%)				
	Control (0)	50	75	100	100+Fe	SEM
Grower						
Average daily gain (kg/d)	0.74	0.73	0.76	0.77	0.77	0.01
Average feed intake (kg/d)	2.00	1.95	2.03	2.00	1.98	0.04
Feed conversion rate (G/F)	2.70	2.67	2.71	2.59	2.57	0.04
Finisher						
Average daily gain (kg/d)	0.85	0.86	0.82	0.85	0.87	0.01
Average feed intake (kg/d)	3.06	3.10	2.94	2.66	3.02	0.07
Feed conversion rate (G/F)	3.58	3.61	3.68	3.20	3.48	0.09

表 9. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 DK 黑豬屠體性狀及里肌性狀之影響

		Corn substitution (%)				
	Control (0)	50	75	100	100+Fe	SEM
Carcass weight (kg)	87.5	87.1	87.2	87.8	87.4	0.20
Backfat thickness (cm)	2.53	2.28	2.55	2.58	2.70	0.07
Lean percentage (%)	46.0	45.0	45.1	45.2	44.7	0.50
Fat percentage (%)	15.9	15.7	16.0	16.7	17.1	0.50
Loin eye area (cm^2)	40.3	37.3	38.2	39.2	39.4	0.95
L* value	52.3	52.2	51.8	53.7	54.7	0.40
a* value	4.32^{ab}	3.86^{ab}	3.48^{b}	4.04^{ab}	4.54^{a}	0.14
b* value	6.76	6.63	6.37	6.83	7.06	0.15

飼糧中不同量之糙米取代玉米餵飼生長肥育黑豬，對其背最長肌肉之感官品評影響，列如表 10，結果顯示，各處理間之肌肉物理性狀 (肉色評分、肌肉色澤、緊實度) 均無顯著影響，但玉米-大豆粕飼糧組 (對照組) 肌肉感官品評中之風味及嫩度較佳。

以臺中秈 17 號糙米完全取代玉米不影響肉雞、LD 雜交肉豬或 DK 雜交黑豬的生長性能與屠體性狀，但以臺中秈 17 號糙米高量取代玉米，會淡化肌肉色澤。因此，建議飼糧中以臺中秈 17 號糙米取代 50%玉米，以維持相同之肉品色澤。

表 10. 臺中秈 17 號糙米取代玉米對 DK 黑豬之感官品評之影響

項　目	Control (0)	Corn substitution (%)				SEM
		50	75	100	100+Fe	
香氣	3.19	3.38	3.50	3.50	3.38	0.06
風味	3.69[a]	3.36[b]	3.30[b]	3.45[ab]	3.34[b]	0.04
多汁性	3.63	3.35	3.43	3.53	3.45	0.04
嫩度	3.75[a]	3.03[b]	3.29[b]	3.35[ab]	3.43[ab]	0.06
總接受性	3.81	3.26	3.56	3.50	3.63	0.08

引用文獻

李邦淦、楊榮芳，1971。糙米代替玉米餵飼肉雞對發育、飼料利用率及屠體性狀影響之研究，台灣農業，7(3): 59-67。

蘇天明、劉建甫、蔡金生、廖宗文，2004。畜試黑豬一號肉豬生長性能與不同屠宰體重之屠體性狀之探討，中畜會誌，33（3）：165-174。

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis (14th Ed.) Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C.

Che, T. M., V.G. Perez, M. Song, J. E. Pettigrew. 2012 Effect of rice and other cereal grains on growth performance, pig removal, and antibiotic treatment of weaned pigs under commercial conditions. J. Anim. Sci. 90: 4916-4924. SAS. 2002. SAS User's Guide. Statistical Institute, Inc., Cary. N.C.

Vicente, B, D. G, Valencia, M, Perez-Serrano, R. Lazaro, and G. C. Mateos. 2008. The effects of feeding rice in substitution of corn and the degree of starch gelatinization of rice on the digestibility of dietary components and productive performance of young pigs. J. Anim. Sci. 86: 119-126.

Application of Taichung Sen No. 17 Brown Rice in Livestock Diets (I)

C. F. Lee[1,4], B. L. shih[1], C. W. Liao[1], H. L. Lee[2], G. J. Fan[1], Y. C. Chen[1], and M. H. Lai[3]

Abstract

The purpose of these serial studies is to evaluate the feasibility of substitution the imported energy feed corn in livestock diets by locally-produced rice so as to promote our feed safety. Taichung Sen No. 17 brown rice was chosen to replace the dietary corn and feed to broilers, LD hybrid pigs and DK hybrid black pigs. In the 5-wk raising period of broilers, feed intake and growth performance of broilers was not influenced even the brown rice 100% replacing the dietary corn. But the higher replacing ratio, 75% and 100%, would decrease the breast color ($P < 0.05$). In LD pigs feeding trial, 50% replacing ratio group resulted in the better feed conversion efficiency and intramuscular fat percentage but lower backfat thickness during the growing period. In the DK pigs feeding trial, the averaged daily gain, feed intake and feed conversion rate also were not affected by the replacing treatments, but higher replacing ratio did lower their pork color. It is thus suggested, to maintain the same meat color for broilers and pigs 50% of the dietary corn could be substituted by Taichung Sen No. 17 brown rice.

Keywords: Broilers, Corn, DK hybrid pig, LD hybrid pig, Taichung Sen No. 17 brown rice.

1 Livestock Research Institute, Council of Agriculture, Executive Yuan.

2 Kaohsiung Animal Propagation Station, LRI, COA, Executive Yuan.

3 Agricultural Research Institute, COA, Executive Yuan.

4 Corresponding Author, Email: cflee@mail.tlri.gov.tw ; Tel: 06-5911211#321.

樹薯替代玉米為家禽能量飼料之研究

李昇儒[1] 廖震元[2] 王淑音[1,3]

摘要

本研究乃針對近年來全球氣候變遷造成之穀物減產與畜禽飼料成本增加的威脅，開發台灣自產之樹薯，並改善樹薯在家禽的利用效率，以達到增加飼料自給率的目的，穩定國內畜產業的發展。本研究蒐集桃園、台南及高雄三地生產之樹薯進行營養成分分析及比較，並以台南玉井種植之樹薯，進行肉雞之代謝試驗。於雞隻飼養至 3 週齡開始每日訓練其飼料於 1 小時內採食完畢，於 4、6 及 13 週齡各進行一次代謝試驗。分析結果三地區之營養成分差異不大，因台南玉井所種植之樹薯數量較大，可供未來飼料化之應用，選擇玉井地區之樹薯繼續種植。其營養成分以乾基表示，分別為：粗蛋白質：2.89%、粗脂肪：1.08%、粗纖維：1.24%、灰分： 4.7%、無氮抽出物： 90.1%。代謝試驗結果顯示樹薯於白色肉雞之真代謝能為 3628kcal/kg。綜言之，本研究初步確定台灣目前仍有種植樹薯，而其營養成分及家禽代謝能皆適合發展樹薯飼料化成為替代進口玉米之飼料原料。

關鍵詞：樹薯、營養組成、代謝能、家禽。

前言

畜禽的營養管理是維持畜禽健康與產能的基礎之一，近年全球氣候變遷造成穀物減產與各國食物安全上的考量，使畜禽飼料價格節節上升，國內畜禽飼養成本的增加已成為永續經營上的主要決定因素，因此，開發國內自產飼料以替代進口玉米乃當務之急。樹薯（Cassava）又名木薯，屬熱帶植物，原產南美，為一種能量飼料原料。台灣於日據時代即有種植，但於民國 70 年以後，因飼料多以玉米為能量飼料原料，山區農民又改種植經濟價值較高之香蕉、芒果等，以致於漸少種植樹薯。樹薯適於種植於炎熱氣候，生育期內，溫度不能低於 10℃，不耐霜害及暴風，能耐旱又能耐雨。樹薯可適於各類土壤，惟輕鬆肥沃，排水良好之壤土及砂壤土較為良好，在溫帶為一年生，熱帶為多年生。木薯塊根長大，消耗地力極多，輪栽作物以豆科為宜，如花生、大豆。塊根中因含氰酸 (HCN)，故食用之前均應加熱或浸水消毒。樹薯皮部含亞麻苦苷 (Linamarin)，為一配糖體，於切塊、搗碎之過程配合 Linamarinase 之作用造成 HCN 釋放。

---

1 中國文化大學生物科技研究所。
2 農業科技研究院動物科技研究所動物產業組。
3 通訊作者 電子信箱：sywang@faculty.pccu.edu.tw；電話：02-2861-0511#31801。

目前使用樹薯取代玉米為飼料的國家大多為東南亞國家，其氣候適合種植樹薯，而人類也不需全然依賴樹薯為糧食，因此可以發展樹薯為飼料原料。與東南亞國家相比照，我國氣候也適合種植，且目前我國有 1/5 農地為休耕或廢耕地，面臨世界有糧食欠收的危機，我國卻有 20 萬公頃農地閒置 (林，2011)。與其在復耕時花長時間於土壤改良，若能將休耕農地加以利用種植樹薯，不但能解決飼料原料不足之問題，尚可達到活化休耕地而提高農民收益。樹薯作為禽畜之飼料原料在東南亞國家已行之有年，Akinfala *et al.* (2002) 曾評估使用全株樹薯 (根：葉＝2.5：1) 取代等重之玉米作為肉雞生長飼料之能量料，發現肉雞的健康雖不受影響但生長速率及飼料效率卻較差，其主要原因為飼料配方為等重取代而非調整為等能量等蛋白質濃度之飼糧，所以添加樹薯的飼糧能量值及蛋白質皆較低。在越南，樹薯是僅次於稻米的第二大糧食作物，且主要用於動物飼料，經常都是製成青貯而餵食豬隻，使用量可高達生長豬日糧之 40％ (Le and Nguyen, 2002)。哥倫比亞研究顯示使用 20％樹薯粉取代家禽平衡飼糧中的玉米可以將玉米需求量自 60％降低到 35.8％，若使用打粒之樹薯粉，可全部取代能量原料，若以粉狀餵飼則因粉塵之顧慮，只能至多取代 50％ (Buitrago, *et al.*, 2002)。泰國早期為國際間出口樹薯之主要國家，後因市場衰退之故改為推廣為動物飼料用途。泰國使用樹薯簽餵食豬及家禽，或用樹薯葉餵食豬及牛隻，皆得到極佳之效果 (Kanto and Juttupornpong, 2002)。近年來尚有評估將製作樹薯粉之副產品-乾燥樹薯漿 (DCP) 用作肉雞飼料，發現使用超過 8％之 DCP 會降低肉雞之生長性能與消化率，且會使砂囊重量增加而腹脂減少；使用不超過 8％則無顯著影響 (Khempaka *et al.*,2009)。我國之樹薯栽種面積曾於 63 年達高峰，之後即快速衰退，至今種植面積不到 100 公頃，因此要開發樹薯飼料化，首要找尋僅存之種植戶，分析其營養價值，並決定其應用於家禽之代謝能值，以利後續飼料化之開發應用。

材料與方法

樹薯乃取樣於桃園、台南與高雄農戶採收之樹薯。其中台南與高雄為鮮採樹薯，桃園為採收後乾燥之樹薯片。鮮採樹薯於採收後立即分析水分成分後風乾貯藏供其他成分分析。

營養組成分析採 Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2006) 之近似值分析法。含水分 (water)、灰分 Ash)、粗脂肪 (Ether extract, EE)、粗蛋白質 (Crude Protein, CP)、粗纖維 (Crude Fider, CF)及無氮抽出物 (Nitrogen Free Extract, NFE) 之分析。

肉雞之代謝試驗乃參考 Sibbald (1978) 與 Wehner and Horald (1982) 方法並依 Farrell (0978) 之方法修改後進行。試驗肉雞於試驗開始前一週開始接受訓練，於給料後一小時內將飼料快速吃完 (Farrell, 1978)。一日齡之白色肉雞 (Arbor Acre) 購自宜蘭

縣竹林種雞場，皆以商業飼料 (統一) 以任食方式給水與給料，飼養至 2 及 5 週齡，選擇體重相同之已訓練 (可於給料後一小時進食完畢) 之雞隻 12 隻，先禁食 24 小時以後分為四組，每組 3 重複，其中一組為控制組，繼續禁食 24 小時。其餘 3 組餵以製備好之受測樹薯 (15g, 25g, 35g)，自給料開始分別以集糞袋 (Alcare, 140mm*200mm) 收集 24 小時之排遺 (糞尿)。

受測之樹薯與各組雞隻之糞尿皆以彈卡熱量計 (PARR 1261, 美國) 測得其熱能值，再依下列公式計算出該受測量之樹薯之代謝能 (Ukachukwu, 2005)。此方式測得之代謝能為真可代謝能 (True Metabolizable Energy, TME)。

$$\text{TME (Kcal/g)} = \frac{(GE_f * X) - (Y_{ef} - Y_{ec})}{X}$$

GE_f = Gross energy of the cassava (kcal/g)

Y_{ef} = Energy voided as excreta by fed birds

Y_{ec} = Energy voided as excreta by unfed birds

X = Weight of cassava fed (g)

統計分析

試驗之所得各項資料使用統計分析系統 (Statistical Analysis System; SAS, 1988) 的套裝軟體，依 GLM (General Linear Model) 程序進行變方分析，並以最小平方平均值 (Least Squares Means) 比較各處理組間平均值的差異顯著性。

結果與討論

本研究於高雄 (K)、桃園 (T) 及台南玉井 (Y) 地區尋得 3 戶農戶仍有種植樹薯，採樣後分析其組成成分。K 與 Y 地區的樹薯為鮮採，分析水分分別為 70.6%與 80.4%。因為 T 區收集之樹薯為已採收乾燥之樹薯片，無法測得新鮮之水分，因此所有成分比較均採乾基計算，成分如表 1 所示，表中並引用 Khajararern and Khajararern (1991) 所公布之成分以做比較。取自 3 個不同地區之樹薯之營養成分差異不大，其粗脂肪含量皆高於文獻值；除 T 以外，K 與 Y 之粗蛋白質及灰分皆高於文獻值；粗纖維則只有 K 高於文獻值，因此 K 之無氮抽出物相對便較文獻值小，此乃因 K 之樹薯採收時已超過種植 1 年以上，而塊根類之水溶性碳水化合物會隨年齡而減少，相對纖維增加 (Apea-Bah *et al.*, 2009)。本研究考量後續研究所需，選擇了種植面積較大之 Y 地區樹薯作為肉雞代謝能測定之材料。綜觀 Y 之營養成分與文獻值相近，脂肪與蛋白質成分稍高，纖維質較低而灰分較高，因此推測其總熱能值應該與文獻值相近而其礦物質含量應較高。

Y 之樹薯品種已無法考據，但依其性狀 (圖 1) 與陳等 (2007) 研究之 21 個樹薯種原品種比較，其葉脈及葉柄顏色組合皆為紅色，可能為 21 種原品種中之 9 種 (台南育 1、5、6、7 號、埔里選 1 號、甜木薯、Bitter, Chirgwi 及 Medan)，其確切品種尚須進一步以分子標誌進行種原分析。

Y 樹薯於鮮採分析水分後，立刻風乾貯存。後續包括營養組成分析、能量值及代謝能測定等皆以乾物基計算之。本研究以肉雞測定之代謝能為真代謝能 (TME, True Metabolizable Energy)。過去利用傳統的測定飼料表面代謝能 (AME) 的方法費工費時，而真代謝能方法較省時、省工和省錢 (沈，1981)。本試驗除參考 Sibbald (1978) 與

表 1. 不同地區採收之樹薯成分之比較，所有組成皆以乾物基表示。K：高雄；Y：台南玉井；T：桃園；REFERENCE: Khajararern and Khajararern (1991)

Table 1. Chemical compositions of cassava from different area in Taiwan. All compositions are shown as dry matter basis. K: Kaoshung; Y: Yuchin, Tainan; T: Taoyuan; REFERENCE: Khajararern and Khajararern (1991)

組成 (%)	K	Y	T	REFERENCE
粗脂肪	1.28	1.08	0.68	0.30
粗蛋白質	4.31	2.89	ND	2.50
灰分	4.65	4.70	3.77	3.80
粗纖維	5.29	1.24	1.84	3.50
無氮抽出物	84.46	90.10	94.63	89.90



圖 1. 台南玉井種植樹薯之葉脈與葉柄顏色。

Fig. 1. The leaf and vein color of cassava collected from Tainan.

Wehner and Horald (1982) 方法進行代謝試驗，又依 Farrell (0978) 方法修飾之。Farrell 的方法最主要的是於試驗進行前一週便開始訓練雞隻能在給料後 1 小時將飼料完全採食完畢。如此可以避免傳統的冗長代謝試驗，必須連續餵食及收集糞尿 5 天。代謝試驗共於雞隻 4、6 與 13 週齡分 3 次進行，結果如表 2 所示。其中 4 週齡時僅進行 15g 及 35g 兩組，6 及 13 週齡則進行 3 種不同濃度 (15g、25g、35g)。依據試驗結果可知樹薯之肉雞 TME 與 AME 於 4 週齡與 6 週齡差異皆不大，因此未來以樹薯進行肉雞生長試驗時，TME 與 AME 分別可採平均值 3628 kcal/kg 與 3394 kcal/kg 計算之。此代謝能值與 NRC (1994) 所列之玉米 TME: 3470 kcal/kg 及 AME:3350 kcal/kg 都很接近，表示本土樹薯取代玉米為能量飼料原料為可行，然胺基酸組成仍須確定。而 Khajararern and Khajararern (1991) 所分析及參考之樹薯與玉米之 AME 分別為 3145 kcal/kg 及 3524 kcal/kg，其樹薯 AME 較本試驗測得樹薯數值低。此外，Hoai *et al.*, (2011) 也分析樹薯於鴨 (Cherry Valley Duck) 之 TME 與 AME，分別為 3329 kcal/kg 與 3298 kcal/kg，較肉雞低，但受測樹薯來自不同區域，自然會有差異。綜言之，本研究初步尋得國內 3 處地區種植之樹薯並進行營養組成成分分析。代謝試驗測得台南玉井地區之樹薯真代謝能與表面代謝能，可以提供後續家禽生長試驗及樹薯飼料化之應用。

表 2. 樹薯(Y)之白色肉雞之真代謝能值與表面代謝能值，數值為平均值± 標準誤差值。
Table 2. True Metabolizable Energy (TME) and Apparent Metabolizable Energy (AME) of cassava from Yuchin, Tainan. Values are shown as mean ± standard error.

	樹薯濃度 TME (kcal/kg)			平均
週齡	15g	25g	35g	
4	3572 ± 89	-	3660 ± 105	3616 ± 44
6	3630 ± 286	3663 ± 110	3628 ± 56	3640 ± 11
13	3694 ± 3	3426 ± 41	3585 ± 93	3568 ± 78
AME (kcal/kg)				
4	2791 ± 89	-	3326 ± 105	3059 ± 267
6	2899 ± 286	3225 ± 110	3315 ± 56	3146 ± 126
13	3094 ± 3	3066 ± 41	3328 ± 93	3162 ± 83

誌謝

本研究感謝行政院農業委員會補助計畫 101 農科-14.1.3-牧-U1 及 102 農科-14.1.4-牧-U1。感謝台灣大學動物科學系林美峰老師提供分析熱值之熱量計。

引用文獻

林巍，2011。由糧食安全檢視台灣休耕政策 - 國家政策研究基金會。http://www.npf.org.tw/post/1/9953

沈添富，1981。測定家禽飼料代謝能的新技術，飼料製造技術研習會專輯之 2，現代畜殖，15(6)48-50。

陳述、范宗宸、林俊義，2007。以 RAPD 及 SSR 分子標誌進行樹薯種原遺傳歧異分析及種原鑑定，台灣農業研究，56(4):327-337。

Akinfala, E.O., A. O. Aderibigbe and O. Matanmi. 2002. Evaluation of the nutritive value of whole cassava plant as replacement for maize in the starter diets for broiler chicken. Livestock Research for Rural Development. 14(6).

AOAC. 2006. Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.

Apea-Bah, F. B., I. Oduro, W.O. Ellis and O. Safo-Kantanka. 2009 . Principal components analysis and age at harvest effect on quality of gari from four elite cassava varieties in Ghana. African Journal of Biotechnology 8(9): 1943-1949.

Buitrago, J., B. Ospina, J.L. Gil and H. Aparicio. 2002. Cassava root and leaf meals as the main ingredients in poultry feeding: some experiences in Colombia. Proceedings of the 7th regional cassava workshop. 28 October-1 November 2002, Bangkok, Thailand pp523-541.

Hoai, H. T., L.V. Kinha, T.Q. Vietb, P.V. Sya, N.V. Hopa, D.K. Oanha and N.T. Yena 2011. Determination of the metabolizable energy content of common feedstuffs in meat-type growing ducks. Animal Feed Science and Technology 170(1-2): 126-129.

Kanto, U. and S. Juttupornpong. 2002. Clean cassava chips for animal feeding in Thailand. Proceedings of the 7th regional cassava workshop. 28 October-1 November 2002, Bangkok, Thailand pp542-563.

Khajarern, S. and J.M. Khararern. 1991. Cassava products in poultry feeding. p. 141-156. In the FAO expert consultation on roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding. Janurary 21-25, Cali, Colombia.

Khempaka, S., W. Molee and M. Guillaume. 2009. Dried cassava pulp as an alternative feedstuff for broilers: Effect on growth performance, carcass traits, digestive organs, and nutrient digestibility. J. Appl. Poult.Res. 18:487-493.

Le Duc Ngoanand T..H.L. Nguyen. 2002 The use of cassava roots and leaves for feeding pigs in Vietnam. Proceedings of the 7th regional cassava workshop. 28 October-1 November 2002, Bangkok, Thailand pp518-522.

National Research Council, 1994. Nutrient Requirements of Poultry. 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

Sibbald, I. R. 1978. The effect of the duration of the time interval between assays on true metabolizable energy values of feeding stuffs. Poultry Science 57: 455-460.

Ukachukwu, S.N. 2005. Studies on the nutritive value of composite cassava pellets for poultry: chemical composition and metabolizable energy. Livestock Research for Rural Development. 17(11):article#15.

Wehner, G. R. and R. L. Harrold. 1982 The effect of feeding technique on the true matabolisable energy value of yellow corn. Poultry Science. 61: 595-597.

Hillocks, R.J., J.M. Thresh and A.C. Bellotti (eds). 2002. Cassava: Biology, Production and Utilization. CABI Publishing, CAB International, Wallingford, Oxon, UK.

Study of Cassava as Corn Replacement for Poultry Feed

Sheng Ru Lee[1], Chen Yuan Liao[2] and Shu Yin Wang[1,3]

Abstract

This study was designed to develop local grown cassava as replacement feedstuff for corn in poultry feed to reduce the impact of global climate change to the livestock industry and to increase the self-sufficiency of the feedstuff. Cassava from Kaohsiung (K), Yuchin (Y) and Taoyuan (T) were collected and analyzed for their chemical compositions. Cassava from Yuchin was selected for cultivation and for metabolic analysis for poultry. Day one chicks were fed ad libitum until 3 weeks of age then were trained to consume given feed in one hour after feed is given. The metabolic analysis were done at 3, 6 and 13 weeks of age. Results showed that the chemical compositions for K, Y, and T were not different significantly, then the Y cassava was chosen for the growth trial. The chemical compositions of crude protein, crude fat, crude fiber, ash and nitrogen free extract were 2.89%, 1.08%, 1.24%, 4.7% and 90.1%, respectively. True metabolizable energy for broiler chickens was 3628 kcal/kg. In summary, three locations in Taiwan have been found to cultivate cassava, and the analyzed chemical compositions provide some information for the use of cassava as a replacement for corn feedstuff.

Keywords: Cassava, Chemical composition, Metabolizable energy, Poultry.

1 Graduate Institute of Biotechnology, Chinese Culture University.

2 Animal Technology Laboratories, Agricultural Technology Research Institute.

3 Corresponding Author, Email: sywang@faculty.pccu.edu.tw; Tel: 02-2861-0511#31801.

鳳梨釋迦果園防風栽培及災後復育技術之研究

盧柏松 [1,2] 江淑雯 [1] 陳奕君 [1]

摘要

鳳梨釋迦果樹防風試驗中顯示，植株以水平棚架整枝方式之防風效果最佳，枝條折枝率最低；果園設置防風網可降低植株枝條折枝率，保護範圍可達防風網高度之 7 倍距離；果樹在風災中以果實擦傷受害率最高，在強 (颱) 風來臨前去除果實周邊枝葉及果實加套舒果網等處理均具有保護果實之效果，可顯著降低果實擦傷率。鳳梨釋迦災後復育試驗結果顯示，植株於 9 月下旬 10 月上旬修剪並進行夜間燈照處理，開花率可分別達 82.9%和 72.7% (對照組 42.8%和 24.0%)；處理組產期在 4 月間，平均單果重 717.2g (對照組產期在 3 月，果重 547.8 g)。以上結果顯示，在風災過後利用修剪配合夜間燈照處理，可促進鳳梨釋迦 11 月份再次開花結果，達到快速復育之目標。

關鍵詞：鳳梨釋迦、防風栽培、災後復育、颱風、垣籬式整枝。

前言

臺灣東部地區因地理位置，夏、秋季常有颱風來襲，近一、二十年來受溫室效應影響，造成氣候變遷，天氣變化急遽，颱風發生頻率更高，強度更強，農作物受災更加頻繁及嚴重。根據中央氣象局統計在 1991 年至 2011 年間共有 81 個颱風侵襲臺灣 (發佈海上颱風警報)，其中又有 30 個颱風在臺東地區引 33 次發焚風，誘發機率為 37% (盧和江, 2010)，顯見臺東地區在夏、秋季節極易受到颱風及焚風的侵襲。

而鳳梨釋迦 (*A. Cherimola* × *A. Squamosa* 或 *A. Squamosa*× *A. Cherimola*)目前臺灣估計總栽培面積為 1,420 公頃，主要產地在臺東縣，約 1,370 公頃，占全臺 95% (陳和吳, 2013)，為臺東地區最重要經濟果樹之一。但臺灣東部地區夏、秋季節是颱 (焚) 風頻繁，此時正逢鳳梨釋迦果樹之開花及幼果期，因此每次颱風或焚風來襲均會對鳳梨釋迦造成落花、落果、折枝及倒伏等嚴重傷害。番荔枝果樹之開花習性應屬長日植物 (盧和江, 2011)，在臺灣栽培 10 月以後開花率低 (楊, 1987；盧和江, 2010)，故受災後當年即難以恢復生產，常造成農民極大損失。

前人研究指出颱風來襲時果樹植株以鋼管固定及搭設防風網等設施處理者，其植株折枝率顯著低於無預防設施之果園，顯示簡易設施能大幅降低颱風災害損害程度 (唐等, 2008；盧和江, 2012)；經由風洞試驗顯示孔隙度為 0.35 者形成氣流擾動情形最佳 (Santiago *et al*., 2007)；孔隙度為 0.2-0.35 之防風籬，其後 3-8 倍防風籬高度之距離

1 臺東區農業改良場。

2 通訊作者 電子信箱：pslu@mail.ttdares.gov.tw；電話：089-570699。

範圍內減風效果可達 50%以上 (Cornelis and Gabriels, 2005)。而番荔枝利用夜間燈照處理可以促進植株在秋季開花 (盧和江, 2010)。故本研究探討鳳梨釋迦防風栽培模式和災後復育技術，以降低災害損失及建立快速恢復生產之栽培技術，減少農民損失。

試驗材料及方法

試驗一、災前防風處理試驗

一、試驗材料：以 8 年生以上之鳳梨釋迦植株為材料。

二、處理方法：

(一) 樹型處理：試驗園位於臺東區農業改良場斑鳩分場，地屬臺東縣卑南鄉美農村，鳳梨釋迦砧木為鳳梨釋迦實生苗。處理方法為將鳳梨釋迦植株分別修剪及整枝為水平棚架式、開心型及垣籬式 (單主幹 3 層 6 臂式) 等 3 種樹型，以一般農民採用之開心樹型為對照組。試驗設計採完全逢機 (CRD) 設計，5 重複，每重複 1 株，每處理 5 株。

(二) 防風設施處理：試區位於臺東縣太麻里鄉蔡仁格先生之鳳梨釋迦果園，果園面積約 3.5 分，為臺東 1 號番荔枝更新高接鳳梨釋迦之果園，高接第 4 年；行株距為 4 公尺×2.5 公尺。處理方法為在試區果園周遭之二個迎風面 (東北及東南) 架設 L 型尼龍防風網，防風網高度為 4 公尺，防風網係依當地現售且成本低廉之農業資材，採用線徑 2.5 公釐及網目 20 公釐之尼龍網作為防風網材料。另以不做防風設施處理者為對照組。

(三) 果實防護處理：試驗園位於臺東區農業改良場斑鳩分場，地屬臺東縣卑南鄉美農村，鳳梨釋迦砧木為鳳梨釋迦實生苗。處理方法為颱風來臨前進行 1.果實套舒果網，材質為保利龍網套。2.剪除果實周邊枝葉，以去除鄰近果實之上、下方兩片葉片及枝條；另以不做防護措施為對照組；每株每處理 20 棵果實。試驗設計採完全逢機 (CRD) 設計，5 重複，每重複 1 株，每處理 5 株。

三、調查項目：開花期、開花率、果實品質、颱風或焚風後植株之落花、落果、果實擦傷、折枝及倒伏等比率及試驗園之氣候 (溫度、風速、雨量等)。

試驗二、災後復育技術之研究

一、試驗材料：試區位於臺東縣太麻里鄉蔡仁格先生之鳳梨釋迦果園，為臺東 1 號番荔枝更新高接鳳梨釋迦之果園，高接第 3 年；行株距為 4 公尺×2.5 公尺。

二、處理方法：

(一) 燈照方式：燈光以 400W 複金屬鈉燈進行植株夜間燈照處理，另以不燈照處理為對照組。燈照時間每日 3 小時，燈照期間自 2012 年 9 月中旬開始至 12 月底結束。

(二) 修剪時間：2012 年 9 月 22 日及 10 月 11 日。

三、試驗設計：採完全逢機 (CRD) 設計，6 重覆，每重覆 1 株，每處理 6 株。

四、調查項目：開花期、開花率、果實品質及試驗園之氣候等。

結果與討論

一、鳳梨釋迦樹型及果實保護試驗

試區在 2012 年 8 月 1 日至 8 月 3 日受蘇拉颱風引發之強烈焚風危害，最強風速達 28.6 m/s；另在 8 月 27 日至 8 月 30 日間遭遇天秤颱風危害，最強風速達 23.0 m/s。因鳳梨釋迦僅生產冬期果，產期於 11 月下旬至翌年 4 月間，因此 8 月颱 (焚) 風發生時正值修剪後萌芽開花期及幼果期，植株受害以幼果之果實擦傷最多，其次為枝條折損及開花枝梢損害。在蘇拉颱風期間，各處理中以水平棚架式栽培之枝條折損率最低，僅 0.9%，垣籬式整枝栽培之枝條折損率最高達 15.7%，自然開心型整枝 (對照組) 為 3.2%；各處理之果實擦傷率相似，在 61-64%左右；開花枝梢損害率亦以垣籬式整枝栽培之受害率最高，達 10.6%，其餘處理則無顯著差異，受害率約 4.3-4.9% (表 1)。在天秤颱風期間，各處理之枝條折損率、果實擦傷率及開花枝梢損害率均相似，並無顯著差異 (表 2)；其原因可能為天秤颱風之風速較小，且植株較脆弱之枝條已在蘇拉颱風中折損，因此此次受害較輕。在 2013 年試區遭遇天兔颱風 (9/20-21)，樹型試驗園中測得最強陣風風速為 17.1 m/s，各樹型處理之植株枝條折枝率均很低，以單主幹 3 層垣籬式整枝之植株折枝率 0.7%受害最嚴重，水平棚架式 0%受害程度最低；果實擦傷率則以單主幹 3 層垣籬式植株之 29.2%最高，水平棚架式最低水平棚架式 14.0%最低，擦傷以幼果(果徑 3cm 以下) 為主 (表 3)。經以上 2 年之試驗結果顯示，在強風危害時鳳

表 1. 2012 年蘇拉颱風對不同樹型之鳳梨釋迦果樹傷害。

Table 1. The injured on atemoya different tree system trail after Saola typhoon in 2012.

Treatments	Injury types[z]					
	Plant lodging rate (%)	The sub shoot broken rate (%)	Branch broken rate (%)	Flower bud injured rate (%)	Leaf broken rate (%)	Fruit bruising rate (%)
Vertical trellis training system	0.0	0.2	15.7a[y]	10.6b	18.4a	64.0a
Horizontal trellis training system	0.0	0.0	0.9c	4.6b	17.5a	62.3a
Open-center training system (CK)	0.0	0.0	3.2b	4.3b	9.4a	62.4a

[z] Investigation date in August 3, 2012.

[y] Means the same letter of a column are not significantly at 5% level by LSD test.

梨釋迦以果實擦傷受害最嚴重，其次為開花枝梢及葉片受損；各種樹型中以水平棚架整枝植株之枝條折損率最低，防風效果最佳，但樹型處理對保護果實並無顯著差異。

防風網試區在 2013 年天兔颱風中測得最強陣風之風速為 16.3 m/s，在防風網高度 4 倍距範圍內植株之折枝率為 0.25%，7 倍距範圍內為 0.91%，均低於對照組 (未搭設防風網) 3.1%；因試區 9 月上旬才進行修剪，颱風來臨時修剪之枝條剛萌芽尚無花朵及

表 2. 2012 年天秤颱風對不同樹型處理之鳳梨釋迦果樹傷害。

Table 2. The injured on atemoya different tree system after Tembim typhoon in 2012.

Treatments	Injury types [z]					
	Plant lodging rate (%)	The sub shoot broken rate (%)	Branch broken rate (%)	Flower bud injured rate (%)	Leaf broken rate (%)	Fruit bruising rate (%)
Vertical trellis training system	0.0	0.0	1.7a[y]	4.2a	6.2a	64.3a
Horizontal trellis training system	0.0	0.0	1.5a	3.3a	7.7a	62.3a
Open-center training system (CK)	0.0	0.0	2.3a	5.1a	4.7a	52.4a

[z] Investigation date in August 28, 2012.

[y] Means the same letter of a column are not significantly at 5% level by LSD test.

表 3. 2013 年天兔颱風對不同樹型處理之鳳梨釋迦果樹傷害調查。

Table 3. The injured on atemoya different tree system trail after Usagi typhoon in 2013.

Treatments	Injury types [z]				
	Plant lodging rate (%)	The sub shoot broken rate (%)	Branch broken rate (%)	Leaf broken rate (%)	Fruit bruising rate (%)
Vertical trellis training system	0.0	0.2	0.7	3.2a[y]	29.2a
Horizontal trellis training system	0.0	0.0	0.0	3.4a	14.0b
Open-center training system (CK)	0.0	0.0	0.3	4.1a	20.3ab

[z] Investigation date in September 26, 2013.

[y] Means the same letter of a column are not significantly at 5% level by LSD test.

果實，所以無花芽受損或果實擦傷情形 (表 4)。以上結果顯示，果園設置防風網可降低植株枝條折損率，其保護範圍可達防風網高度之 7 倍距離。此結果與唐等 (2008) 認為防風網之有效防風距離約為防風網高度之 7~8 倍研究結果相同。

2013 年在天兔颱風來臨前進行果實保護之試驗處理，包括果實周邊去葉處理及果實加套舒果網 (果長＞3 公分)等，颱風來臨時試驗園中測得最強陣風風速為 17.1 m/s，結果如表 5 所示。此次果實受害仍以果實擦傷為主，幾乎無落果情形；果實擦傷以果長 3 公分以下之幼果較多，高達 46.3%；去除果實周邊枝葉處理之幼果擦傷率最低，僅 5.5%，顯著低於對照組；果長 3 公分以上之果實以果實套疏果網處理者擦傷率最低，僅 1.1%，亦明顯較對照組 4.2%低。由以上結果可知，強風危害造成果實擦傷主要係果實與枝葉摩擦所造成的機械傷害，只要在強風來臨前進行去除果實周邊枝葉及果實加套舒果網等保護措施，即可在強風來臨時減少果實與枝葉之摩擦機會，顯著降低果實之擦傷率。

二、鳳梨釋迦災後復育試驗

鳳梨釋迦災後復育試驗，在 2012 年 8 月颱風過後，選擇受害嚴重之果園進行復育試驗，植株分別於 9 月 22 日及 10 月 11 日修剪，並配合進行夜間燈照處理，試驗結果如表 6 所示。處理後植株可於 11-12 月份再次萌芽開花，9 月 22 日修剪並進行夜間燈照處理植株之開花率達 82.9%，每枝條開花數為 6.8 朵，明顯高於對照組 42.8%及 1.1 朵/枝；10 月 11 日修剪並燈照處理植株之開花率 72.7%，每枝條開花數為 7.0 朵，亦顯著高於對照組 24.0%及 1.1 朵/枝。此試驗結果與邱和翁 (1996)、顏和張 (1997) 及盧和江 (2010)等人研究指出，夜間燈照處理可以分別促進印度棗、火龍果及番荔枝等果樹秋冬季節開花之結果相似。

9 月 22 日修剪之對照組植株因開花率及花朵數太少，每株僅留 10 顆果實；因 10 月 11 日修剪之對照組植株其開花率更低且花數太少，無法進行人工授粉，所以未留果，不進行果實品質調查；而各處理組 (燈照處理) 每株均留 30 顆果實，進行果實品質調查。處理後之產期及果實品質調查結果如表 7，處理組果實分別於 2013 年 4 月中旬及 5 月初採收（對照組 3 月中旬採收），9 月 22 日及 10 月 11 日修剪並燈照處理之果實平均果重分別為 717.2g 及 618.5g，高於對照組之 547.8g；各處理 (含對照組) 之果實均能正常軟熟；軟熟後果肉可溶性固形物含量分別為 28.1ºBrix 及 27.2ºBrix，與照組之 23.5ºBrix 無顯著差異。

由試驗結果可知，在風災過後利用修剪配合夜間燈照處理，可促進鳳梨釋迦再次開花結果，且果實品質與一般果實相同，達到災後快速復育之目標。**表 5**. 鳳梨釋迦果實防護處理經天兔颱風後之受害情形。

表 4. 2013 年天兔颱風對搭設防風網之鳳梨釋迦果樹傷害。

Table 4. The injured on atemoya orchard windproof net trail after Usagi typhoon in 2013.

Windproof net treatments	Branch broken rate[z] (%)
Network of 4 times the distance range	0.25
Network of 5 times the distance range	0.71
Network of 6 times the distance range	0.95
Network of 7 times the distance range	0.91
Uncover orchard (CK)	3.10

[z] The datas were investigation the shoots diameter more than 1 cm.

表 5. 鳳梨釋迦果實防護處理經天兔颱風後之果實受害情形。

Table 5. The injured on atemoya fruit protection trail after Usagi typhoon in 2013.

Treatments	Fruit bruising rate[Z] (%)		Fruit drop rate (%)
	Mini-fruit (Fruit length<3cm)	Medium fruit (Fruit length>3cm)	
Set polylong nets	—	1.1±0.5	0.0
Remove fruit surrounding leaves	5.5±3.2	3.5±1.2	0.0
對照	46.3±10.3	4.2±1.4	0.1

[z] Investigation date in September 24, 2013.

表 6. 鳳梨釋迦不同時期修剪及燈照處理後之萌芽、開花調查。

Table 6. Investigation of sprout and blossom on atemoya different pruning time and lighting treated.

Treatment date	Sprout rate (%)	Blossom rate (%)	Flower number./ shoot
September 22nd	100	82.9a[z]	6.8a
CK	100	42.8b	1.1b
October 11th	100	72.7a	7.0a
CK	88.7	24.0b	1.1b

[z] Means the same letter of a column are not significantly at 5% level by LSD test.

表 7. 鳳梨釋迦不同時期修剪及燈照處理之果實品質調查。

Table 7. Investigation of fruit quality on atemoya different pruning time and lighting treated.

Treatment date	Fruit weight (g)	Fruit color			Fruit length (mm)	Fruit width (mm)	Fruit height (mm)	Total soluble solids (%)	Ripe days after harvest
		L	a	b					
September 22nd	717.2a	81.7	-17.7	39.2	136.2	121.8	158.1	28.1a	7.8a
October. 11th	618.5ab	81.8	-17.1	39.8	105.9	105.1	124.1	27.2a	6.5a
CK	547.8b	82.3	-17.0	38.1	102.5	99.6	116.7	23.8a	6.8a

[z] Means the same letter of a column are not significantly at 5% level by LSD test.

引用文獻

李汴軍，1992。台灣地區溫度、雨量之氣候分布，台灣地區農業氣象災害預防及農業氣象資源應用講習會，53-69。

邱祝櫻、翁仁憲，1996。夜間暗期中斷對印度棗開花及產期之影響，中華農業氣象，3(2)：121-124。

徐森雄，1997。焚風，果樹天然災害預防及復育手冊，49-52。

唐琦、申雍、李炳和，2008。臺東濱海區域番荔枝果園尼龍防風網之防風距離探討，作物、環境與生物資訊，5(1):40-51。

陳勃聿、吳昌祐，2013。鳳梨釋迦產業之現況與展望，臺東區農業專訊，83：2-10。

黃武林、邱禮弘，1993。台東地區焚風現象之觀測及其對果樹生育影響之研究，臺灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯，18-92。

楊之遠，1997。颱風－台灣地區主要農作物之風害， 果樹天然災害預防及復育手冊，53-56。

楊正山，1987。番荔枝冬期果(倒頭果)產期之研究，園藝作物產期調節研討會專集，129-140。

盧柏松、江淑雯，2010。夜間燈照對番荔枝冬期果開花、結果之影響，臺灣園藝，56(4):255(摘要)。

盧柏松、江淑雯，2011。暗期中斷處理對番荔枝冬期果開花及果實品質之影響，臺東區農業改良場 100 年試驗研究推廣成果研討會專刊，45-50。

盧柏松、江淑雯，2012。番荔枝焚風災害及災後復育參考手冊，臺東區農業改良場特 50 輯。

顏昌瑞、張鳳如，1997。仙人掌紅龍果（*Hylocereus undatus* Britt. & Rose）之產期調節，提升果樹產業競爭力研討會專輯 III，163-170。

小澤行雄，1991。農業氣象災害與防治，台灣地區農業氣象災害調查與資源應用研究報告專輯，1(1):1-4。

Cornelis, W.M., and D. Gabriels. 2005. Optimal windbreak design for wind-erosion control. J. Arid Environ. 61:315-332.

Khaimov, A., and Y. Mizrahi. 2006. Effects of day-length, radiation, flower thinning and growth regulators on flowering of vine cacti *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus*. J. Hort. Sci. Biotch. 81:465-470.

Santiago, J. L., F. Martín, A. Cuerva, N. Bezdenejnykh, and A. Sanz-Andrés. 2007. Exprimental and numerical study of wind flow behind windbreaks. Atmospheric Environ.41:6406-6420.

Research of Aatemoya Orchard Windproof Cultivation and Post Disaster Restoration Technology

Po-Song Lu[1], Shu-Wen Chiang[2], and Yi-Chun Chen[2]

Abstract

Display atemoya fruit wind experiment, plants with windbreak effect horizontal trellis training mode is the best, had the lowest branches broken rate; orchard setting windbreak net can reduce the branches broken rate, the scope of protection of windproof net height of 7 times the distance. The injury of fruit bruises victimization rate was the highest in the storm, in the strong wind coming prior to removal of surrounding foliage and fruit jacketed set fruit net treatment had a protective effect of fruit, can significantly reduce the fruit injured rate. Atemoya post disaster restoration results show the treatments of pruned, night lighting in late September and early October, that blossom rate can reach 82.9% and 72.7% respectively (control group 42.8% and 24%); treatment group fruits were harvested in April, average fruit weight 717.2g (control group, produced in March, fruit weight 547.8 g). The above results indicate, by pruning and night light treatment after the wind disaster, can promote atemoya blossom and fruiting in November, to achieve rapid restoration goals.

Keywords: Atemoya, Windproof culture, Post-disaster repopulation, Typhoon, Vertical trellis training system.

1 Taitung District Agricultural Research Extension Station, Taitung, Taiwan.

2 Corresponding Author, Email: pslu@mail.ttdares.gov.tw ; Tel: 089-570699.

氣候變遷之農業生產調適決策支援系統之建置

劉滄棪[1,3] 黃毓斌[1] 許伯任[2]

摘要

由於近年來氣候變遷與氣候異常使得極端氣候發生頻率逐漸升高，進而造成農業生產損失，導致嚴重威脅國家糧食安全。為獲得更多相關資訊，建置『農業生產調適決策支援系統』，整合了土壤資料、氣候資料以及相關環境空間資訊等資料庫，結合氣候變遷下水稻及蟲害推估模式。

本系統研究方法係利用 ORYZA2000 (水稻) 及 CLIMEX (病蟲害) 作為推估模式，用模擬不同類型之極端氣候發生時，台灣地區的水稻生產產量變化以及病蟲害發生風險之空間分布，並透過決策支援系統之 GIS 空間資訊查詢展示功能，以視覺化圖像介面，呈現評估結果。

農業生產調適決策支援系統以網際網路地理資訊系統 (Web GIS) 為基礎，建置為空間資料查詢展示系統，並將土壤資料、氣候資料以及環境空間資訊等資料，建置成能運用在農業生產與糧食調適作業之空間資料庫，以透過地圖方式來呈現環境空間資料，並提供土壤資訊、氣候資訊及水利資訊等多樣化的空間資料查詢統計功能。

關鍵詞：氣候變遷、網際網路地理資訊系統、ORYZA2000、CLIMEX。

前言

氣候變遷與氣候異常所造成的全球年平均氣溫上升，極端氣候發生頻率增加，例如臺灣地區颱風強度與其降水量增大，經常造成農業生產損失並嚴重威脅國家糧食安全。為實現農業永續經營與長期糧食安全等戰略目標，在因應氣候變遷與糧食安全議題，需要一個可用於新興作物的自然條件適栽評估、農田基盤改良優先順序、水資源調配等完整提供決策支援資訊，使國家有系統且精密的建立因應氣候變遷調適農業生產配置之策略。

近年來，氣候變遷與氣候異常使得極端氣候發生頻率大幅增加，經常造成農業生產損失並嚴重威脅國家糧食安全，因此，為實現農業永續經營與長期糧食安全等戰略目標，希望整合土壤資料、氣候資料以及相關環境空間資訊等資料庫來發展『農業生產調適決策支援系統』，以掌握現今糧食、蔬菜作物主要生產區域，並利用氣象觀測與模擬資料，結合水稻生產及病蟲害推估模式，評估各作物種植區域在異常天候系統

1 行政院農業委員會農業試驗所。

2 宸訊科技股份有限公司-GIS 分析師。

3 通訊作者 電子信箱：tsliu@tari.gov.tw；電話：04-23317426。

下可能的損害風險，冀望預先研擬對策以降低產業損失。

系統規劃主軸以三大項目為主，分別是「資料彙整」、「推估模式發展」以及「生產調適決策支援系統擴充與應用」，農業生產調適決策支援系統之建置為四年期計畫，發展目標與全程規劃如下圖所示 (圖 1)。

一、資料彙整

在系統資料彙整方面，目前仍然有許多資訊尚未收集，包含如人口密度、病蟲害分布、氣候資料的介接等，都是能夠再擴增目前資料庫的內容，以提供未來推估模式在地化作準備。因此，在計畫的前三年，將透過和各領域研究人員的配合，持續的收集相關資料。

二、推估模式發展

至 103 年度預計將計畫所收集的資料，提供研究人員下載需要的數據資料。若採用 ORYZA2000 或是 CLIMEX 的方式進行作物或蟲害的生長模擬分析時，則可透過自動化方式，系統主動地將資料整理成符合這兩種程式的格式，減少整理資料的時間進而能夠花更多的時間在模式的建構上，此外也提供將分析的成果上傳至本系統中，以空間的方式呈現其研究成果並提供出圖與統計的應用。利用互相運用與資源共享的方式，使系統能夠更有效的收集各種作物模擬的參數作為決策參考的資料來源。

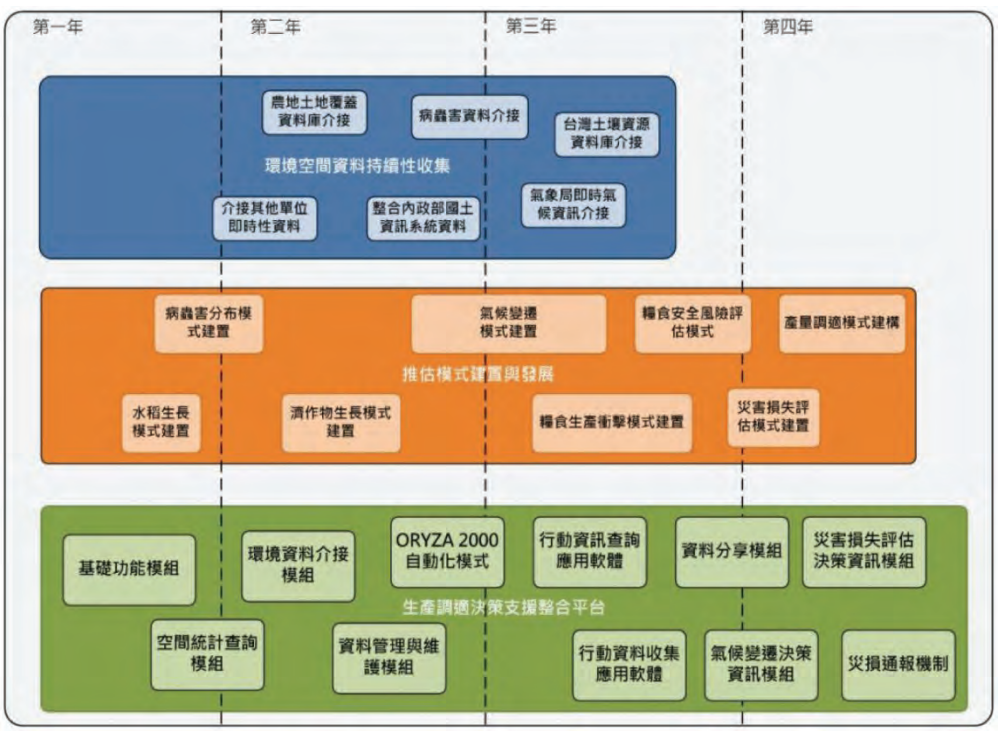


圖 1. 全程規劃示意圖

Fig. 1. Diagram of master plan.

三、生產調適決策支援系統擴充與應用

生產調適決策支援系統，其主要的目標在於資料的彙整、呈現與查詢的基礎驗證其可行性，未來則建議朝向決策支援整合平台的概念作為發展標的。以資料自動化的彙整、各式查詢與分析模式的建立、模式自動化模組功能以及行動查詢與調查工具做為發展的項目。

行動調查與查詢工具，則是能夠利用各種智慧型行動裝置，利用網際網路在災害安全風險值到相關警戒值時，變通知相關人員以達到預警的效果。隨著各式模式的建立與研究分析的彙整，生產調適決策支援平台，將會有許多豐富的資料，這些資料能夠透過建構標準化的資料介接與交換機制，讓其他單位或研究人員能夠更便利的取用，降低相關研究發展的門檻。

計畫資料與研究方法

一、計畫資料

本計畫資料整合了氣候變遷下於農業生產調適評估時所需使用的各種環境空間資料，如：地形圖、地段圖、衛星影像、長期氣候統計、農地土地覆蓋圖、土壤肥力及土壤物理特性等環境空間圖層資料，本計畫所彙整的空間圖層資料其資料來源、內容概述及資料格式分別如下表所示 (表 1)。

二、研究方法

本計畫研究方法主要利用 ORYZA2000(水稻)及 CLIMEX(病蟲害)推估模式，結合氣候資料庫模擬不同類型之極端氣候發生時，台灣地區的水稻生產產量變化以及病蟲害發生風險之空間分布，並透過決策支援系統之 GIS 空間資訊查詢展示功能，以視覺化圖像介面，呈現評估結果 (圖 2)。

1. ORYZA2000

ORYZA 2000 為目前國際上常用的水稻推估模型之一。其整合了潛在產量模型 ORYZA1(Kropff et al. 1994a)、水分限制模型 ORYZA W 和氮素限制模型 ORYZA N，可以用於模擬潛在生產、水分限制生產及氮素限制生產條件下的水稻生長發育與產量形成和水分平衡過程，目前已引入到中國、日本等地應用，能模擬不同灌溉方式、土壤滲透性與不同地下水位深對水稻產量、水分平衡、灌水量、水分生產率及優化灌溉決策等背景分析研究。包括在水分平衡和氮素平衡條件下，模擬水稻生物量、產量、氮素平衡以及田間水分平衡，以及利用 IPCC SRES(排放情境特別報告)的 A2（Regional Growth Scenario，區域經濟發展）和 B2（Increasing Population Scenario，區域環境保護）方案模擬 2011-2050 年間之水稻生預期、產量、需水量之階段變化，包括氣候趨暖以及 CO_2 濃度升高等影響。

表 1. 環境空間資料庫一覽表
Table 1. List of environmental spatial database.

環境資料名稱	權責單位	格式/精度/坐標	內容概述
交通路網數值地圖	交通部運輸研究所	向量 1/5000 TWD97	包括道路節點、行政區界、河流湖泊、鐵路捷運、地標地物另將改制前之臺北、臺中、高雄、基隆、新竹、嘉義及臺南等 7 大都市之重要幹道，由單線擴充為雙線或多線資料
地形圖	ASTER GDEM 中研院	GeoTiff 30 米 WGS84	中研院 GIS 中心將臺灣本島及澎湖的區域拼接成單一圖幅供使用者下載
台灣河流圖	水利署	向量 1/5000 TWD97	包含中央管河川、縣市管河川、野溪、湖泊水體等
農地地段分布圖	農糧署	向量 1/5000 TWD97	全台灣地段(大段、小段)之邊界圖，附帶段名與標準編碼屬性
衛星遙測影像		GeoTiff 次米級 WGS84	包括 SPOT 多光譜衛星影像 LandSAT 多光譜衛星影像
長期氣候統計圖	農試所	向量 1/5000 TWD97	溫度（最高溫、最低溫、均溫）、累積雨量、日照輻射量與相對濕度資訊。所有主題均需提供 12 個月份及全年度分布，共 78 張主題圖。
土壤肥力圖	農試所	向量 1/5000 TWD97	地面 250 公尺×250 公尺密度之全台土壤肥力採樣分析成果，至少 12 萬點以上之網格資料，包括：土壤 pH、土壤有機質、鹽酸抽出銅、鋅、錳、鐵、鎘、鉻、鎳、鉛，孟立克三號抽出磷、鉀、鈣、鎂、硼、銅、鐵、錳、鋅，醋酸銨抽出鈣、鎂、鈉、鉀、鐵、錳及鈣鎂比、陽離子交換率等。土壤調查則包括：母質種類、土壤特性、土壤型態、排水等級、坡度、石灰性、表土酸鹼性、第一至四層質地、土系中英文名、所屬管理組等。
土壤特性圖	農試所	向量 1/5000 TWD97	以面(polygon)向量式資料儲存全台土壤特性調查資料，每一面圖徵需附帶調查屬性包括：土層、母質、構造分級，大小與型態、體積密度與多孔性等。
農地土地覆蓋圖	農試所	向量 1/5000 TWD97	
颱風事件累積雨量圖	中央氣象局	GeoTiff 500 公尺 WGS84	由 2006-2011 年之氣象測站觀測資料，完成 1971-2011 年間颱風事件累積雨量面化圖(警報發布期間)，產出面化資料網格大小為 500 公尺。
各縣市淹水潛勢圖	水利署	向量 1/5000 TWD97	各縣市淹水潛勢(包括每日降雨強度 100-600mm 不同降雨強度等級之全台淹水潛勢分布圖，並且具備淹水高度資訊)地圖

本系統需先將 ORYZA 2000 模式所需要的氣候空間資訊，包含：每日溫度 (高、低及均溫)、雨量、相對濕度、日照輻射、風速、降雨量等資訊，建置一個空間精度為 500 公尺的網格空間資料，作為模式推估的基礎。此外配合專家進行生長模式研究推估作業，提供需要的資訊與資料格式，利用在地化水稻生長參數，結合長期統計氣候資料庫，粹取出 12 種台灣地區的極端氣候，作為模擬分析情境，並將結果以視覺化的方式彙整於生產決策支援系統 (圖 3)。

2. CLIMEX

DYMEX 為澳洲 CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) 組織所發展的生態變遷模型模擬軟體與生物體人口動態模型建構軟體 (Maywald et al.2007)，CSIRO 原先是由澳洲政府於 1926 年成立的 CSIR (Council for Scientific and Industrial Research) 機構演變而成，在許多領域上進行科學研究與發展。其中 CLIMEX 是一套以氣候條件為主要因子，能透過設定相關物種生長氣候影響因子包括合適生長的高低溫、降雨量、月份以及世代參數，結合地理空間資訊，來模擬生物的分布情況，並進行分布預測。

在計畫中需先將蟲害發生記錄資訊，以地理資訊軟體所提供的空間分布模式，繪製相關發生機率面化圖資，並結合長期氣候資料，粹取出 CLIMEX 所需要的空間資訊進行蟲害分布模式的建立。並依據此推估模式，模擬台灣地區 12 種極端氣候各蟲害分布的情況，並將結果以視覺化的方式彙整於生產決策支援系統，提供使用者查詢瀏覽之用 (圖 4)。

農業生產調適決策支援系統

本系統主要以網際網路地理資訊系統 (Web GIS) 為基礎，建置一個空間資料查詢展示系統，系統設計上以地圖為主要呈現資訊，在介面上則是將地圖控制工具、系統功能放置於地圖角落，目的在於取得最大的地圖呈現。在地圖介面上，也可以看到基本的地圖資訊，包含比例尺、指北針，提供使用者基本的地圖空間概念。主要的功能



圖 2. 研究方法流程圖

Fig. 2. Flowchart of research method

架構包含了地圖控制模組、圖層控制模組、地圖定位模組、資料統計模組及模式推估整合模組(圖 5)。

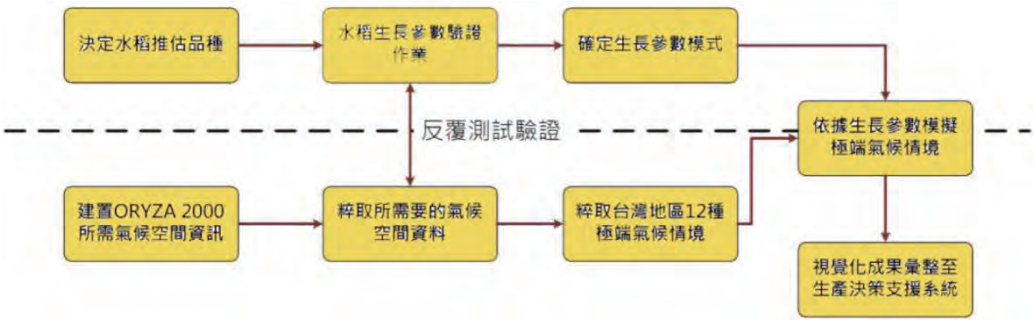


圖 3. ORYZA 2000 模式驗證流程

Fig. 3. Validation process for ORYZA 2000 model

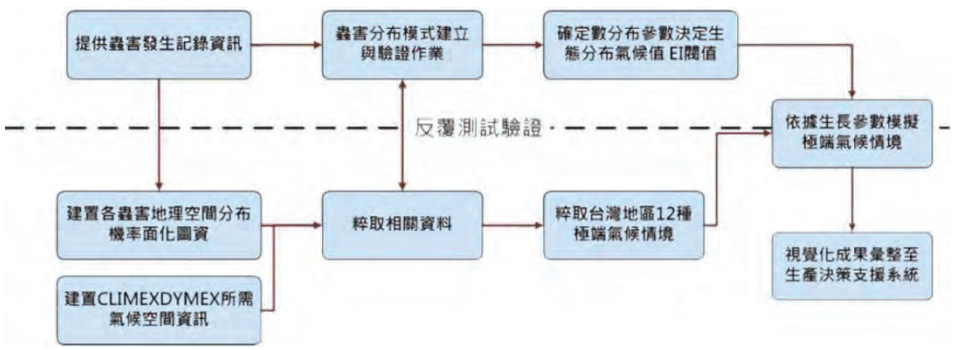


圖 4. CLIMEX 模式驗證流程

Fig. 4. Validation process for CLIMEX model.



圖 5. 系統介面

Fig. 5. System Interface

一、地圖控制模組

地圖控制模組，主要做用為提供使用者進行地圖操作使用，為 GIS 系統最基本的功能，地圖控制包含了地圖放大、縮小、平移、底圖切換及點空間查詢等功能。另外，也提供各比例尺快速縮放功能，讓使用者能夠很快速的切換地圖比例尺 (圖 6)。

二、圖層控制模組

生產調適決策系統的圖層控制模組是一個整合式的面板，使用者在點擊後，系統會在地圖頁面上開啟圖層控制面板，呈現樹狀的選單，以樹狀的分類方式呈現所有的圖層資料，此整合式的面板提供圖例查詢及圖層透明度的控制功能，使用者能快速套疊不同圖層資料，並透過透明度調整取得所需資訊(圖 7、8)。

三、地圖定位模組

地圖定位模組則是讓使用者能夠快速的找到想要瀏覽的位置，地位工具包含了座標、行政區地段、圖幅框以及道路定位 (圖 9)。

四、資料統計模組

資料統計模組，主要是提供使用者利用空間的方式，將生產調適決策資料庫，所蘊含的豐富資料，以統計的方式呈現資訊。系統在介面設計上，系統會依據不同的資料類別，提供不同資料顯示方式。以氣候資料為例，使用者選擇想要查詢的空間區域後，系統會列出氣候資訊能夠進行篩選的資料，包含最低溫、最高溫、均溫、降雨量等資訊 (圖 10、11)。

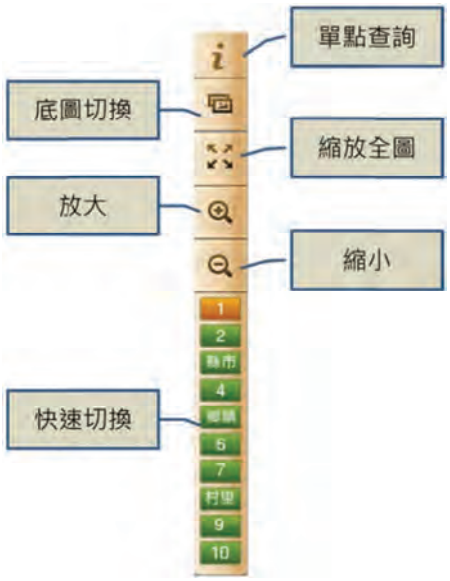


圖 6. 地圖控制列。
Fig. 6. Map control bar.



圖 7. 圖層快速套疊。
Fig. 7. Map overlay.

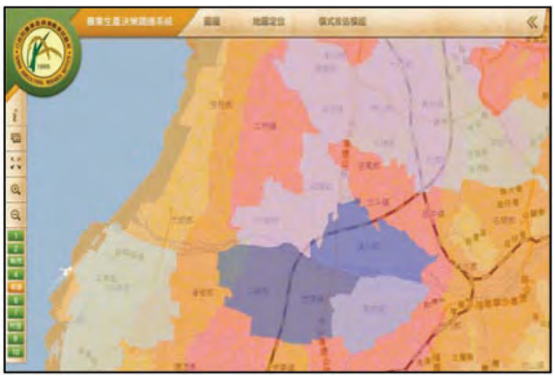


圖 8. 透明度調整。
Fig. 8. Transparency Adjustment.

五、模式推估整合模組

推估模式整合模組的部分則是將水稻生產模式(ORYZA2000)與蟲害分布模式(CLIMEX)的成果資料進行彙整，將推估模擬結果，利用 GIS 進行空間化展示，提供使用者透過動態的方式呈現變化情況瀏覽。

1. ORYZA2000

提供使用者可設定模擬的水稻類型及年份，系統將進行動態模擬各種氣候變化下的水稻產量結果 (圖 12、13)。

2. CLIMEX

提供使用者可設定模擬的蟲害類型及年份，系統將進行各種氣候變化下的蟲害分布空間變化 (圖 14、15)。



圖 9. 地圖定位模組。

Fig. 9. Map Positioning Modules.



圖 10. 土壤資訊統計。

Fig. 10. Soil statistics.

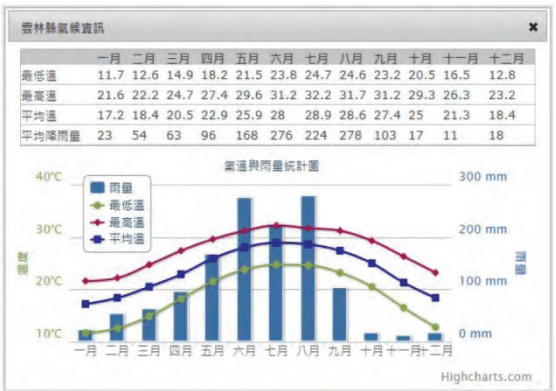


圖 11. 氣候統計。

Fig. 11. Climate statistics.



圖 12. 水稻生長模擬-設定。

Fig. 12. The growth simulation of Paddy- setting.



圖 13. 水稻生長模擬

Fig. 13. The growth simulation of Paddy.



圖 14. 蟲害分布模擬-設定

Fig. 14. Pest distributed simulation-setting.



圖 15. 蟲害分布模擬。

Fig. 15. Pest distributed simulation.

結論

隨著全球暖化所引起的氣候變遷，對農業生產和生態的衝擊越趨顯著，為了增加農業對於氣候變遷的應變能力，本系統彙整各式農業相關空間環境資料，並將其建置為多面向的農業環境空間資料庫，透過 GIS 的空間視覺化，使用者能快速有效的取得所需之決策資訊。此外，結合本系統已建置之氣候變遷下水稻及病蟲害推估模式及長期氣候資料庫，並與現有實證資料進行相互驗證，系統能模擬氣候變遷下糧食產量及蟲害分布之變化，藉以評估異常天候系統下可能的損害風險，提供決策者能預先研擬因應對策以降低產業損失。

引用文獻

Kropff, M. J., H. H. van Laar, R. B. Matthews 1994a. ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. SARP Research Proceedings. Wageningen (The Netherlands): DLO. p 110.

Maywald, G.F., W. Bottomley and R.W. Sutherst, 2007, *Dymex Model Simulator: User's Guide*, CSIRO: Australia.

Developing a Decision Supporting System on Agricultural Production for Coping with Climate Change

Tsang-Sen Liu [1,3] Yu-Bin Huang [1] Po-Jen Hsu [2]

Abstract

In recent years, due to climate change and climate anomalies gradually increased so that the frequency of occurrence of extreme weather, which causes the loss of agricultural production, leading to a serious threat to national food security. In order to get more information of this problem, build "adaptation decision support system for agricultural production", the integration of soil data, weather data, and other information related environmental spatial information database, combined with rice and pests under climate change estimation model.

This system use ORYZA2000 (rice) and CLIMEX (pest) as estimation model with the simulation of different types of extreme weather occurs , the yield of paddy production in Taiwan as well as the risk of pests and diseases spatial distribution and, through decision support system the GIS spatial query display function, interface to visualize the image, showing the evaluation results.

Internet Geographic Information Systems (Web GIS) is the engine of “Adaptation decision support system”, based build system for the display of spatial data query, data and soil , climate and environmental spatial information data and other information , can be used in agriculture to build a spatial database operations of production and food adapted. This system can inquired through the map to present environmental spatial data and information , such as climate, water information and other information on a variety of spatial data statistics.

Keywords: Climate Change, Internet Geographic Information Systems, ORYZA2000, CLIMEX.

---

1 Agricultural Chemistry Division, TARI, Taichung, Taiwan, ROC.

2 Environmental Management Consultants Technologies Inc.

3 Corresponding Author, Email: tsliu@tari.gov.tw; Tel: 04-23317426.

氣候變遷對臺灣西南海域主要經濟性魚種資源與漁場影響之研究

賴繼昌 [1,2] 黃建智 [1] 楊清閔 [1] 何珈欣 [1] 吳龍靜 [1] 黃星翰 [1] 洪銘昆 [1]

摘要

過去臺灣對於沿近海表中層洄游性魚類在氣候變遷的影響下，漁場遷移與資源量變動的研究已經有相當豐富的研究成果，但對於底棲性魚種受氣候變遷的影響則少有著墨。本研究以西南海域重要的底棲性魚種-狗母魚及大眼鯛為對象，探討 1997-2013 年共 17 年間魚種在棲地水文環境因子的變動下，其資源量變動情形。

根據結果顯示，臺灣西南海域漁場以花斑蛇鰻 (*Saurida undosquamis*) 為最主要的狗母魚漁獲種類，大棘大眼鯛 (*Priacanthus macracanthus*) 為最主要的大眼鯛科漁獲種類，狗母魚及大眼鯛漁場主要以深度 100 m – 200 m 處 CPUE 較高。而由氣候變遷指數與狗母魚及大眼鯛的資源量變動關係可知，在反聖嬰現象發生時，有助於狗母魚及大眼鯛 CPUE 的上升，100 m 水深的溫度變動與狗母魚 CPUE 呈現正相關，與鹽度變動則與兩魚種資源量呈現負相關。推測反聖嬰現象帶來強東北季風有利於垂直水層混合，且營養鹽相對高於黑潮水的南海海水經由澎湖水道湧入，促進狗母魚及大眼鯛資源量增加。

本研究結果有利於未來在水文環境因子變動的影響下對於此種底棲性水產糧食資源的掌握，預測其變動，並作為因應策略擬定之重要參考依據。

關鍵詞：候變遷、水文環境、底拖網 、狗母魚、大眼鯛。

前言

根據 FAO (2010) 報告指出，世界大約有 53%的海洋漁業資源被“充分捕撈”，或者已經達到最高捕撈限量。另外 32%的資源被“過度捕撈”、枯竭或正從枯竭狀態恢復。有關漁業資源的變動原因，除了海洋儀器性能的提升與人類漁捕技術的增進等因素外，氣候變遷對漁業的影響亦是海洋科學研究者所關心的新興議題之一。雖然海洋資源具有再生之特性，然而一旦遭受到氣候變遷長期的影響，可能會造成整個生物資源狀態的改變，甚至永遠無法恢復 (Cushing,1982; Glantz and Feingold,1992)。日本學者 Kawasaki（1995,1999, 2013）提出魚類社會的「政權交替」(Regime shift) 現象，便是

1 行政院農業委員會水產試驗所沿近海資源研究中心

2 通訊作者 電子信箱：cclai@mail.tfrin.gov.tw；電話：07-8218103#212。

以太平洋各海域產量豐富的沙丁魚（鯡）與秘魯鯷魚、南非的鯡魚資源為例，探討在不同年代間魚類資源有彼此消長的情形。而造成此現象的因素正是氣候變遷。

與其他中高緯度區域相較，臺灣對於氣候變遷於海洋所造成的現象，如漁業資源、生物多樣性與棲地的變動等等，較少參考資料。過去我國的研究在以單一漁業或魚種的漁獲資源 (如：各漁法間魚種、漁期、漁場及漁獲量) 的時空變動上，分析氣候變遷所造成包括資源量、洄游路徑及分布界線 (Tung et al.，2003；Lu, 2005) 之影響已有相當成果。

在沿近海漁業方面的研究包括有：烏魚、魩鱙、鯖鰆、鎖管、櫻花蝦、鰻線等的漁場遷移、魚種交替與來游量變動方面之研究報告 (Lee et al., 1999；Chen, 1980；Sun, 1988；Yeh, 2002；Chen, 1999；Lee, 2007；Lee et al. 2011)。但關於氣候變遷對沿近海漁業中產值最高的底拖網漁業，及重要經濟性底棲性魚種所造成的影響則鮮少有相關的研究報告，這並不表示在氣候變遷的影響下，底棲性漁業資源便能置身事外，根據過去研究指出，氣候變遷仍會造成底棲性魚種成長率、生殖行為及棲地的改變。Mendelssohn et al., 2003 觀察 1950-1993 洋流溫度變化指出，壽命長的底棲性魚種會受洋流溫度上升而使其成長率上升；而挪威鱈魚(Arcto-Norwegian cod)的產卵位置有隨氣候變遷影響而遷移的跡象，在暖期時，其產卵場會向北遷移，而在冷期時，其產卵場則向南遷移 (Sundby and Nakken, 2008)；Beamish et al., (1997)指出，全球暖化即使引起海水溫度 1-2 度的增加，將對太平洋鱈魚 (Pacific cod) 的產卵成功率造成不利的影響，甚至可能消滅這種具商業價值的魚種；而 Dulvy et al., (2008) 針對北海底棲性魚種由 1980 年至 2004 年，25 年間的觀察，在氣候變遷的影響下，其平均棲息深度仍向更深處遷移約 3.6 公尺。本研究希望以臺灣西南海域水文監測為基礎，逐步探討在長期氣候變遷下，對於貼近一般民眾，在沿岸魚市場、餐桌上常見，廣泛利用於魚鬆、魚丸等水產加工食品俗稱狗母魚的底棲性合齒魚科魚種，以及俗稱紅目鰱的大眼鯛科魚種所造成的衝擊，以利未來因應氣候變遷進行水產糧食安全評估與管理之參考。

材料與方法

我們首先蒐集底拖網漁獲資料、氣候變遷指數資料及魚類棲地、生理生態資料後，將相關資料進行彙整，了解目標魚種食性、生殖特性及單位努力漁獲量 (CPUE)，透過皮爾森相關性檢定了解各種氣候變遷指數與環境參數對狗母魚漁業資源的相關性，最後以統計分析方法解析狗母魚資源量變動之可參考因素，作為後續預測與管理之重要依據。

一、資料來源

1. 漁獲資料

漁獲資料包含自 1997 年起陸續於高雄茄萣、梓官及屏東東港地區所建立之底拖網標本船，分別為 4 艘、10 艘及 16 艘按月填報之漁獲報表，以及不定期利用漁船及本所海富號試驗船實際出海採集之樣本。因標本船的漁獲報表中並不會對各個魚種進行詳細分類，合齒魚科魚類僅以「狗母魚」作為代表，大眼鯛科魚類則以「紅目鰱」代表之。因此定期採樣後攜回實驗室後進行鑑種、體長、體重及生殖腺指數等基礎生物學資料量測。

此外，我們也選擇西南海域兩大底拖網漁船主要漁港-梓官與東港漁港中，漁獲公開拍賣機制最為完整的梓官漁港，透過漁業署漁產品全球資訊網 (http://efish.fa.gov.tw/efish/statistics/reportmap.htm)蒐集自 1998 年起至 2013 年目標魚種每日拍賣量，作為與標本船長期漁獲資料之參考比對。

2. 溫鹽資料

本研究西南海域設定地理範圍為 118.5°E~121°E、21°N~23°N，涵蓋整個臺灣西南海域底拖網漁船作業範圍，蒐集整理自 1997 年起每月西南海域每 10 m 深度之溫鹽資料，資料來源為行政院國家科學委員會及本中心長期探測資料。

3. 排水量資料

降雨量的多寡，造成河川流量的改變，進而引起乾旱或洪水，亦為氣候變遷現象之一。為了解乾旱或大量降雨，造成挾帶陸地大量營養物質進入沿近海之排水量多寡是否造成西南海域水文環境之改變，進而影響底棲性魚種之漁獲變動，本研究以臺灣西南地區流域面積最大之高屏溪為代表，探討其排水量與沿近海底棲魚種之漁獲關係。排水量資料來源為經濟部水利署於 1997 年至 2011 年高屏溪各測站所測得之每月總排水量 (立方公尺)。

4. 氣候變遷指數

本研究所採用之氣候變遷指數為可能對臺灣周邊海域水文環境造成影響之指數，計有南方震盪指數 (SOI)、多重 ENSO 指數 (MEI) 、太平洋十年振盪指數 (PDO) 指數及西太平洋震盪指數 (WPO)。相關資料分別由澳大利亞氣象局網站 (http://www.bom.gov.au/)、美國國家海洋和大氣管理局網站（National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA）取得。

二、資料分析

1. 單位努力漁獲量 (Catch Per Unit Effort, CPUE)

CPUE 通常作為反應漁業資源狀態指標之一，本研究以西南海域標本船按月填寫之漁獲報表估算各月別漁獲資源變動狀況，以每小時漁獲的公斤數為單位 (kg/h)，作為該資源受其他環境因子影響之變動參考基準。

2. 典型相關分析（Canonical correlation analysis, CCA）

參考 Hotelling (1935) 所提出的典型相關分析法（CCA），此法為一種結合複準則變數及複預測變數之技術，用於探討 2 組各 2 個以上變項 (準則變數及預測變數) 之變量間的關係，目的在找出 2 組權重使以上 2 組變數的線性組合間具有最大相關。

本研究利用典型相關分析法對於水文環境及重要經濟型魚種資源量進行分析，U 變項 (準則變數) 為水文環境因子，分別為各項氣候變遷指數、溫度、鹽度及排水量等;V 變項 (預測變數)為生物因子，利用本計畫迄今所蒐集西南海域之各種重要經濟性魚類 CPUE，包含狗母魚及大眼鯛，以推斷西南海域各月別重要經濟性魚類 CPUE 變動之主要可能影響因子。

結果

一、漁獲組成

根據 2012 年 1-10 月自西南海域魚市場及漁船試驗作業採集俗稱狗母魚樣本之結果，共計採得合齒魚科 (Synodontidae)下 3 屬 (genus) 共 7 種 (species) 樣本 2291 尾，以尾數百分比組成視之，狗母魚亞科 (Synodontinae)的花斑蛇鰻 (*Saurida undosquamis*) 比例最高 (47%)，其次為同一亞科的多齒蛇鰻 (*Saurida tumbil*)(33%)，而後是大頭花桿狗母 (*Trachinocephalus myops*)(18%)，另有少數肩蓋狗母魚 (*Synodus tectus*)、長條蛇鰻 (*Saurida filamentosa*)、褐狗母魚 (*Synodus fuscus*)及大目狗母魚 (*Synodus macrops*)，以上種類之俗名皆稱作 lizardfishes。重量百分比組成仍以花斑蛇鰻比例最高 (60%)，其次為多齒蛇鰻 (37%)，大頭花桿狗母因平均漁獲體型明顯小於上述兩種主要漁獲魚種，故漁獲總重僅佔 3%，其他俗稱狗母魚之魚種則幾乎看不到其在漁獲重量比例上的表現。由漁獲組成結果可知，目前西南海域俗稱狗母魚，作為魚鬆、魚丸等材料的魚種主要為英文俗名 lizardfishes 的花斑蛇鰻與多齒蛇鰻，且明顯以花斑蛇鰻為主。分布概況如圖 1 所示。

而根據臺灣魚類資料庫彙整臺灣周邊海域有出現紀錄的大眼鯛科魚類共計 3 屬 10 種，本研究自 2011 年 1 月至 2013 年 10 月由西南海域魚市場及漁船試驗作業採集大眼鯛樣本之結果，共計採得大眼鯛科 (Priacanthidae)下 1 屬 (genus) 共 4 種 (species) 樣本 3156 尾，以大眼鯛屬 (Priacanthus)，俗名 Red bigeye fish 的大棘大眼鯛 (*Priacanthus macracanthus*) 比例最高 (99.8%)，其餘少數為同一屬的日本大鱗大眼鯛 (*Pristigenys niphonia*)(4 尾)、高背大眼鯛(*Priacanthus sagittarius*)(1 尾)及寶石大眼鯛 (*Priacanthus hamrur*)(1 尾)，由漁獲組成結果可知，目前西南海域所存在的大眼鯛科魚種明顯以大棘大眼鯛為主。分布概況如圖 2 所示。

二、漁場與漁期

以西南海域標本船作業報表所填列之作業漁區、狗母魚及大眼鯛漁獲經緯度及 CPUE 匯入 GIS 地理資訊系統軟體分析，由 1997~2012 年間以年為單位表現各年度狗

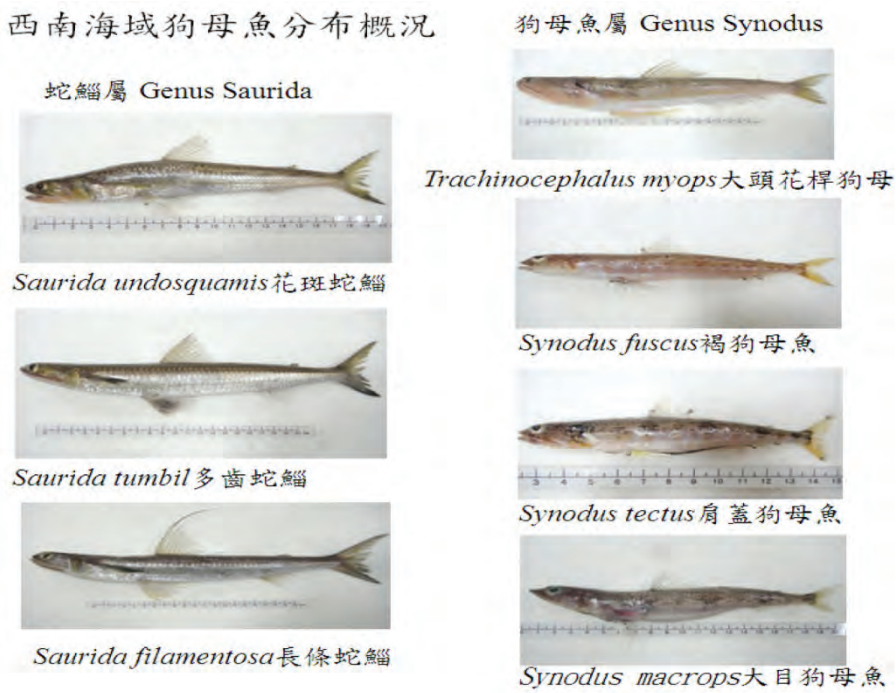


圖 1. 西南海域狗母魚分佈概況。

Fig. 1. Distribution overview of Lizardfishes off Southwestern Taiwan Waters.

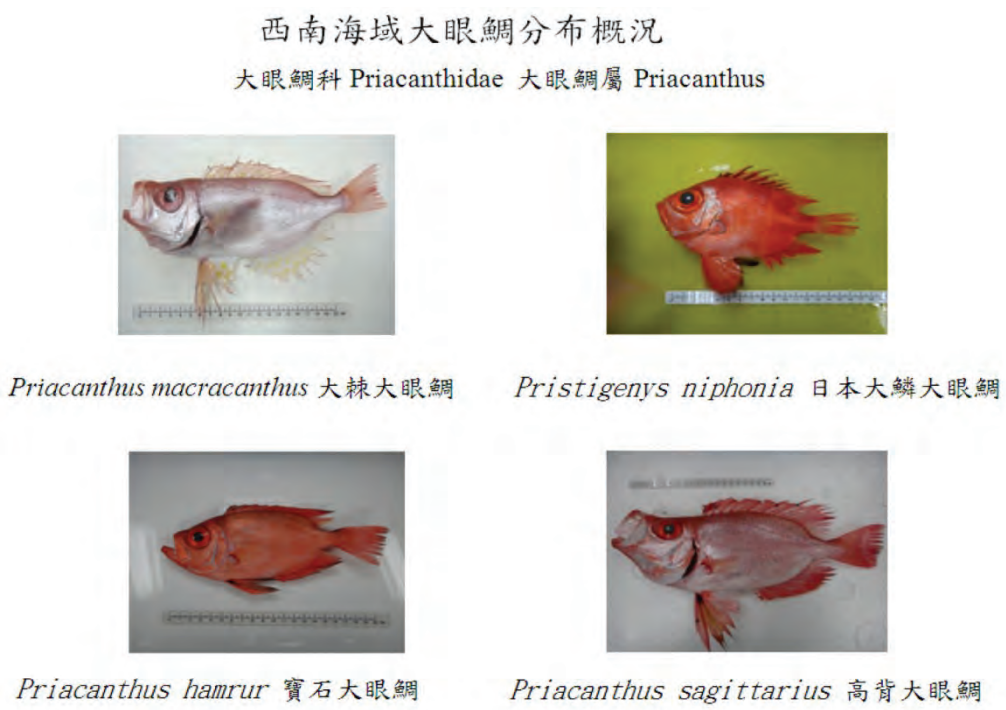


圖 2. 西南海域大眼鯛分佈概況。

Fig. 2. Distribution overview of Red bigeye fishes off Southwestern Taiwan Waters.

母魚在西南海域的分布狀況，可知兩魚種在西南海域漁場主要分布於深度深度 100 m – 200 m 處。由 1997~2011 年各月別平均狗母魚 CPUE 在經緯度上分布動態圖 (圖 3) 可知，狗母魚在漁場中 CPUE 之較大值有隨不同月別在西南海域發生偏移之現象，在東西向偏移上，於 2 - 3 月間在漁場中開始由西向東偏移，9 月再由東向西偏移;在南北向偏移上，於 3-4 月之後由北向南偏移，9 月再由南向北偏移。

由大眼鯛長期各月別平均 CPUE 分布圖 (圖 4) 可看出，4-5 月為長期西南海域大眼鯛的盛漁期，但若將 1997~2012 年各月別大眼鯛 CPUE 分年別檢視，可發現各年間大眼鯛漁期並不一致，2000 年以前，大眼鯛漁期為 4-6 月，2000-2003 年漁期則偏向於 10-12 月或無明顯界定，2004-2009 年逐漸恢復 4-5 月為漁期，但 2010 年起之 3 年間，漁期又再度變更為 10-12 月。

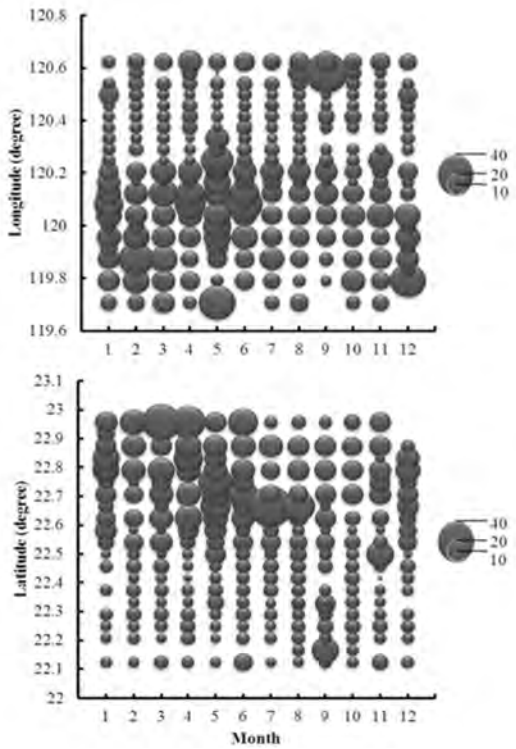


圖 3. 1997-2011 年臺灣西南海域狗母魚各經度、緯度-月別 CPUE 分布圖 (●大小代表 CPUE 多寡)。

Fig. 3. The longitude and latitude dynamic distribution diagram of the average lizardfish CPUE during the period of 1997~2011.〔● size represents CPUE(kg/h) amount〕

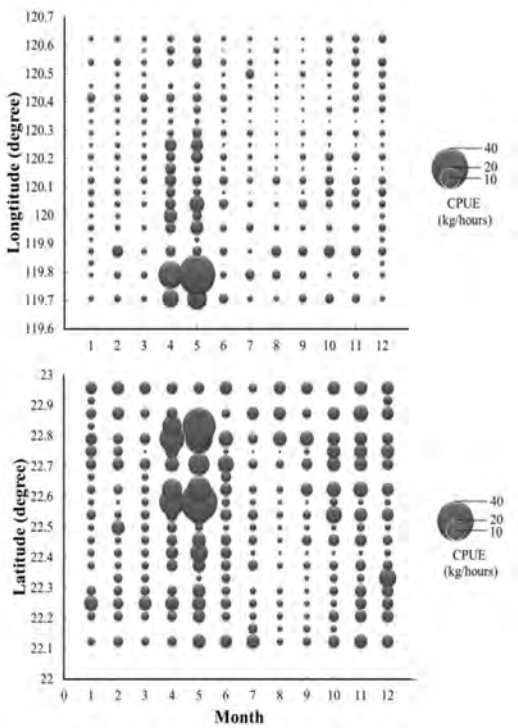


圖 4. 1997-2012 年臺灣西南海域大眼鯛各經度、緯度-月別CPUE分布圖(●大小代表CPUE多寡)。

Fig. 4. The longitude and latitude dynamic distribution diagram of the average Red bigeye fish CPUE during the period of 1997~2012.〔● size represents CPUE(kg/h) amount〕

漁獲量多寡為判斷是否為盛漁期的重要因素，根據漁獲統計資料較為完整的梓官地區長期月別-漁獲量資料分析，縱使各年度漁獲量多寡各有不同，但狗母魚每年之月別-漁獲量關係大致呈現一單峰現象，漁獲量最高值大致分布於每年 12 月至隔年 1 月間，因此可判斷西南海域狗母魚盛漁期為 12 月至 1 月，而大眼鯛盛漁期並非長期固定。

三、氣候變遷指數與 CPUE 變動關係

各項氣候變遷指數與狗母魚 CPUE 變動關係如圖 5 所示，觀察得知，狗母魚 CPUE 超過 4(kg/h)之高漁獲效率時，SOI 指數皆為正值，而 SOI 指數大於 17 時，CPUE 值有 85%的機率大於 2(kg/h) (圖 5A)；相反的，CPUE 超過 4(kg/h)之狀況只發生於 PDO 指數或 MEI 指數為負值時(圖 5 B、C)。而 PDO 指數大於 1 時，CPUE 值有 96%的機率小於 2(kg/h)，MEI 指數小於-1.3 時，CPUE 值有 85%的機率大於 2(kg/h)。由此可知，在冷事件發生時，即 SOI 指數長期處於正值，或 PDO 指數、MEI 指數長期為負值時，狗母魚 CPUE 有上升之趨勢。

各項氣候變遷指數與大眼鯛 CPUE 變動關係如圖 6 所示，嘗試以各項氣候變遷指數與大眼鯛 CPUE 變動關係作圖觀察發現，大眼鯛 CPUE 超過 2(kg/h)之較高漁獲效率時，PDO 指數有 85%的機率呈現負值 (圖 6 A)，NPGO 指數有 96%的機率呈現正值 (圖 6 B)。透過皮爾森相關性檢定了解各項氣候變遷指數與大眼鯛 CPUE 變動之相關性，得知 PDO 指數與大眼鯛 CPUE 變動呈現負相關 ($p<0.05$, $r=-020$)。由 1998 年起至 2012 年 CPUE 與各項氣候變遷指數之長期變動狀況圖 9 可發現，當 PDO 指數長期呈現負值時，大眼鯛 CPUE 有上升之趨勢。

四、典型相關分析 (Canonical correlation analysis, CCA)

將生物因子及環境因子分為 2 組，各 2 個以上變項之變量間關係以典型相關分析繪圖如圖 7 所示，由圖可知大眼鯛及狗母魚資源量受環境因子影響之趨勢大致接近，該兩項生物子因子與環境因子中的 SOI 指數、WPO 指數及水下 100m 溫度均呈現正面關係，而與 PDO 指數、MEI 指數及水下 100m 鹽度則呈現負面關係，其中狗母魚資源與 SOI 指數、水下 100m 溫度呈現正相關($p<0.05$)，與 PDO 及 MEI 指數呈現負相關。大眼鯛資源與 PDO 指數呈現明顯負相關，表示該水產資源有受反聖嬰現象影響而上升之趨勢。

討論

俗稱狗母魚的蛇鯔屬魚種並非西南海域之高單價魚種，其漁獲價格依體型大小約每公斤 20-120 元，由於體內刺多，直接料理食用的機率不高，但經加工後，便成為魚鬆、魚漿、魚丸及魚麵等受歡迎美食;而大眼鯛於西南海域一直屬於底拖網漁獲中主要且穩定之高經濟性魚種，其漁獲價格依體型大小、漁期狀況及新鮮程度約每公斤 250-500 元間，肉質細嫩，雖魚鱗小而密難以處理，但料理後可連皮一併剝離，該 2 項

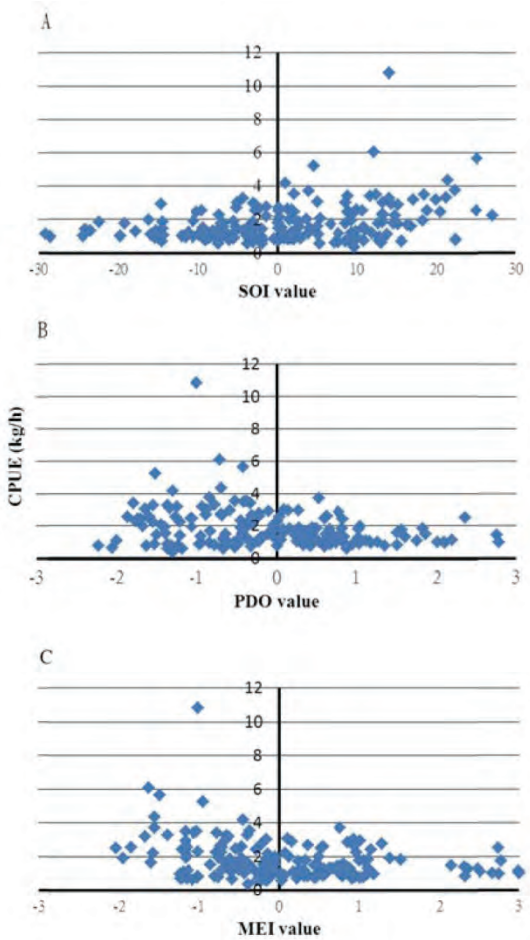


圖 5. 各項氣候變遷指數與狗母魚 CPUE 變動關係圖。

Fig. 5. Relationship between climate change indices and lizardfishes CPUE changes.

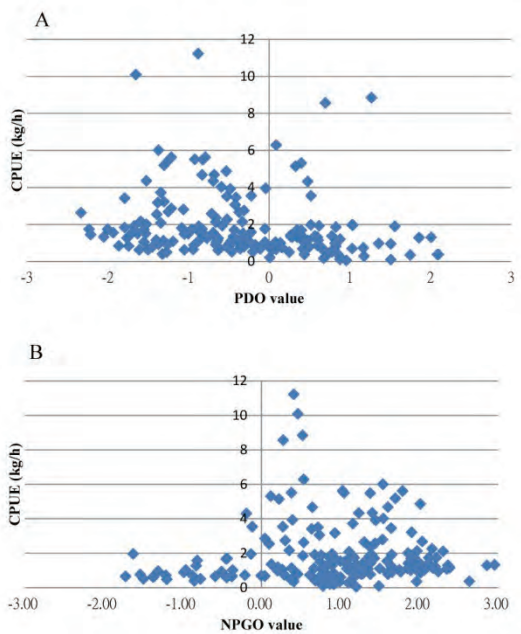


圖 6. 各項氣候變遷指數與大眼鯛 CPUE 變動關係圖。

Fig. 6. Relationship between climate change indices and Red bigeye fish CPUE changes.

餘種皆屬常見的平民化水產糧食，在目前陸地上所生產之糧食安全性屢受質疑，且民眾漸漸容易取得吃魚有益健康的訊息來源下，越貼近民眾可輕易取得的水產糧食便日形重要，且更具市場發展潛力。

經調查，西南海域俗稱狗母魚的魚種共有 7 種，因漁獲本身單價不高，故漁獲上岸漁民做完簡單的大小選別後，並不會特意將其依種類分裝，因此本研究所採用之狗母魚 CPUE 涵蓋以上 7 種狗母魚，以尾數比例視之，花斑蛇鰻、多齒蛇鰻及大頭花桿狗母占 98%，主要為花斑蛇鰻，在重量比例上花斑蛇鰻更達 60%。然而西南海域統底拖漁場所捕獲之狗母魚並非全數以花斑蛇鰻為主，不同深度及不同月別所捕獲魚種仍會有所差異。在深度差異上，根據 Yeh et al. (2011)調查結果，西南海域花斑蛇鰻及多

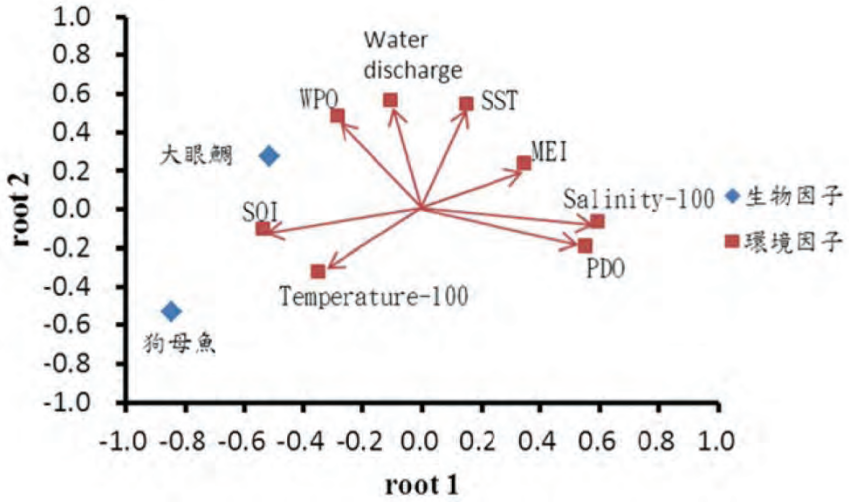


圖 7. 重要經濟魚種 CPUE 與環境因子以主成分 (CCA) 分析結果。

Fig. 7. CCA analysis by important economic species' CPUE and environmental factors.

齒蛇鰻主要漁場以 100 m 水深為分界，100 m 以深至 200m 為花斑蛇鰻漁場，100 m 以淺為多齒蛇鰻漁場，推測 100 m 以淺水域因包含 3 海浬禁漁區，在該區由於法規因素採樣不足之緣故，或許為目前西南海域狗母魚漁獲仍以花斑蛇鰻為主之原因。

根據臺灣西部海域海底地形圖分布，西南海域漁場分布在澎湖水道之右側外緣。澎湖水道位處台灣西南沿近海域，底質為細沙質，是臺灣西南部、澎湖群島及台灣灘之間的重要地形，其北端寬約 40 km，深約 100 m；南端寬約 80 km，深約 200 m，水道長約 70 km，為一由北往南成倒 V 字型的海底峽谷 (Huang, 2009)。由研究可知，大眼鯛漁期在各年間並非固定，然而比對臺灣周邊海域有關大眼鯛生殖期之相關研究指出，大眼鯛從過去至目前生殖期約固定在 3-8 月(Liu, 1985; Horng, 2000; Liu et al., 2001; Wang, 2008; Chiang, 2012)，在生殖期不變的情況下，推論近年來西南海域並非大眼鯛主要之產卵場。

氣候變遷造成陸地及海洋環境因子的改變，直接或間接影響魚類群聚組成、魚群資源量、漁場分布或漁獲努力量，由目前如烏魚、鮪魚及鯷魚等數種沿岸及遠洋浮魚資源變動研究已得到證明 (Dai, 2008; Senina et al., 2008; Kawasaki, 2013)。本研究聚焦在西南海域沿近海底棲性的狗母魚及大眼鯛，由長期資料觀之，兩魚種的單位努力漁獲量在近 15 年間並未隨著時間而逐年下降，近年來甚至有較為上升的趨勢，顯示該魚種的漁業資源在人為過度開發的負面影響外，仍有正面發展的因子存在，在各項變動因子分析中，以氣候變遷各項指數 SOI、PDO 及 MEI 及水下 100m 溫鹽可作為預測倆魚種資源量變動的有利參考因子。顯示在氣候變遷的衝擊下，沿近海底棲性魚種亦受其影響。

由於兩魚種屬於底棲性魚種，其於台灣西南海域之棲地位置正位於澎湖水道邊緣，根據 Jan and Chao (2003) 指出，澎湖水道內整年皆有北流的水進入臺灣海峽，主要由南海水與黑潮水(西菲律賓海水)混合而成，由此可知澎湖水道漁場之水文環境主要受南海水與黑潮水影響，故魚類資源受這些水團衝擊的可能性便不能被忽略。由本研究結果可知，兩魚種在 La Niña 年時容易出現高漁獲效率之情形，再依 Huang (2009) 之澎湖水道聖嬰、正常及反聖嬰現象夏季溫鹽圖分布研究，La Niña 年時澎湖水道之水文溫鹽特徵最接近南海海水，南海海水與黑潮水皆屬於高溫高鹽特性之水團，由於南海水有大陸珠江水注入，相較於黑潮水溫鹽較低，但相對具有較高之營養鹽濃度，如硝酸鹽及矽酸鹽，加上 La Niña 年強東北季風作用，加強各水層之垂直混合作用 (Wang, 2007)，更營造有利於狗母魚資源量增加之水文環境條件。

以上根據長期的水文環境與狗母魚資源量變動，推論在海流帶來高營養鹽及季風增強水層混合之條件下，有利於兩魚種資源量增加。

透過本研究結果，有利於未來在長期水文環境變動的影響下對於此種水產糧食資源的掌握，預測資源量變動，並作為因應策略擬定之重要參考依據。

致謝

本研究感謝農委會「因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究」項下計劃 (計畫編號：102 農科-14.1.5-水-A1) 支應相關研究經費，並感謝許明樹先生協助統計資料分析，得以始研究得到多面向的分析結果。

引用文獻

Beamish R. J., M. Henderson and H. A. Regier. 1997. Impacts of Climate Change on the Fishes of British Columbia. In: Responding to Global Climate Change in British Columbia and Yukon [Taylor, E. and B. Taylor, (eds.)]. Volume I of the Canada Country Study: Climate Impacts and Adaptation, Environment Canada and B.C. Ministry of Environment, Lands and Parks, Vancouver, British Columbia, pp. 12-1 to 12-16.

Chen, S. J. 1999. A Fundamental Study on the Management of Sakura Fishery Resources in Taiwan. Ph.D. Department of Fishery Science, National Taiwan Ocean University. 134 pp.

Chen, T. H. 1980. The Survey on Offshore Anchovies Resources in Taiwan. Test report of Fisheries Research Institute, COA, ROC, 32: 219-233. (in Chinese with English summary)

Chiang W. J. 2013. Reproductive biology of Big eye *Priacanthus macracanthus* in the coastal waters off southwestern Taiwan. MS Thesis, Department of Fisheries Production and Management, National Kaohsiung Marin University. 57 pp.

Cushing, D. H. 1982. Climate and fisheries.Academic Press, London, England.

Dai C. F. 2008. Climate change effects to marine organisms. Taiwan Forestry Research Institute Newsletter, 15(2): 16-19. (in Chinese)

Dulvy, K. N., S. I. Rogers, S. Jennings, V. Stelzenmüller, S. R. Dye and H. R. Skjoldal. 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage, a biotic indicator of warming seas. J. Appl. Ecol., 45: 1029-1039.

FAO (2010). The State of World Fisheries and Aquaculture. 2010.Part 1 (R. Grainger ed.), Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, pp. 3-87.

Glantz, M. H. and L. Feingold (eds). 1992. Climate variability, climate change, and fishery. Cambridge University Press, pp.450.

Horng G. Y. 2000. Reproductive biology and estimate of reproductive value for the big eye, Priacanthus macracanthus in the northeastern waters off Taiwan. MS Thesis, Department of Fishery Science, National Taiwan Ocean University. 78 pp.

Huang, T. H. 2009. Carbon Dioxide Variation in Taiwan Strait and the northern South China Sea.MS Thesis, Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-Sen University. 135 pp.

Jan, S. and S. Y. Chao. 2003. Seasonal variation of volume transport in the major inflow region of the Taiwan Strait: The Penghu Channel Deep Sea Research II, 50(6-7): 1117-1126.

Kawasaki, T. 1995. Global Scale Environmental Changes and Floating Fish Resources. Aquatic Food and Ocean Research, 55(4):403-405. (in Japanese)

Kawasaki, T. 1999. El Niño and Earth Environment. Society of Climatic Impact Application. Seizando, Tokyo, Japan. 213 pp. (in Japanese)

Kawasaki, T. 2013. Regime Shift - Fish and Climate Change. Tohoku University Press, Sendai, Japan. 162 pp.

Lee, K.T., Lee, M.A., Hsu, C.H. 1999. Application of Acousto-optic Telemetry Technology in Fishery - a Case Study of Mackerel Fishery. *J. Underw. Tech.*, 8(4):34-45. (in Chinese)

Lee, K.T. 2007. Fish Community Regime Change-Climate change and Offshore Fishery resources, Taiwan *Fish. Assoc.*, 645: 38-48. (in Chinese)

Lee, K. T., K. Y. Wang and H. Y. Chiu. 2011. Impacts of Climate Change on the fluctuation in catch of Japanese eel (Anguilla japonica) elvers immigrating into the waters off Taiwan. Taiwan *Fish. Assoc.*, 661:13-22. (in Chinese)

Liu K. M. 1985. Reproductive biology of Big eye *Priacanthus macracanthus* in the coastal waters off Dong Gang. MS Thesis, Department of Fishery Science, National Taiwan Ocean University. 71 pp.

Liu, K. M., K. Y. Hung, and C. T. Chen. 2001. Reproductive biology of the big eye *Priacanthus macracanthus* in the north-eastern waters off Taiwan. Fish. Sci. 67: 1008-1014.

Lu, H. J. 2005. Assessment of Climate Change Impacts and Adaptation Actions for Taiwan Area-Fisheries. National Science Council, Taipei, Taiwan. (in Chinese with English summary)

Mendelssohn R., F. B. Schwing and S. J. Bograd. 2003. Spatial structure of subsurface temperature variability in the California Current, 1950–1993.J.Geophys. Res., 108(3) : 1-15.

Senina, I., J. Sibert, P. Lehodey. 2008. Parameter estimation for basin-scale ecosystem-linked population models of large pelagic predators: application to skipjack tuna. Progress in Oceanography, 78: 319–335.

Sun, F. J. 1988. Basic studies on the standing crop of engraulid larval fish off the coastal water of

northeast Taiwan by acoustic assessment method. MS Thesis, College of Ocean Science and Resource, National Taiwan Ocean University. 57 pp.

Sundby S. and O. Nakken. 2008. Spatial shifts in spawning habitats of Arcto-Norwegian cod related to multidecadal climate oscillations and climate change. ICES J. Mar. Sci., 65: 953–962.

Tung, C. P., M. C. Wu, K. T. Lee, C. F. Dai, P. F. Lee, Y. H. Chien, C. R. Chiou, H. J. Lu and M. H. Li. 2003. Establishment of National Communications Shock Adaptation Data for Member States of the United Nations Framework Convention on Climate Change - Climate, Hydrology, and Ecology (2).Environmental Protection Administration, Taipei, Taiwan.(in Chinese)

Wang, L. W. 2007. Inter-annual variability of marine biogeochemistry at the SEATS site: application of a one-dimensional coupled physical-biogeochemical model. Ph.D. Dissertation, Institute of Marine Geology and Chemistry, National Sun Yat-Sen University. 126 pp.

Wang W. C. 2008. Fishing impact on reproduction and growth of the bigeye, *Priacanthus macracanthus*, in waters off northeastern Taiwan. MS Thesis, College of Ocean Science and Resource, National Taiwan Ocean University. 89 pp.

Yeh, H. M., C. C. Wu, Y. H. Chen, C. Y. Chen and L. J. Wu. 2011. The fishing grounds and reproductive migrations of *Saurida* spp. off southwestern Taiwan. Fisheries Society of Taiwan 2011 Annual Meeting on 3th Dec. 2011.

Yeh, T. H. 2002. Study on the Impact of Ocean-Atmospheric Fluctuation of Grey Mullet (Mugil cephalus L.) catches in waters off Taiwan MS Thesis, Department of Fishery Science, National Taiwan Ocean University.

Impact of Climate Change on the Economical Fish Resources and Fishing Ground off the Southwestern Taiwan Waters

Chi-Chang Lai[1,2], Jian-Zhi Huang[1], Ching-Min Yang[1], Jia-Sin He[1], Long-Jing Wu[1], Hsing-Han Hung[1] and Ming-Kune Huang[1]

Abstract

A lot of studies have been done on the fishing grounds shift and resources of surface and mid-layer migratory fishes near Taiwan, but less were done on the bottom dwelling fish species. In this research, the important bottom dwelling Red bigeye fish were studied to understand the shift of its resources during the 17 year period between 1997 and 2013, under the climate change index and environment factors of its habitat.

Results show *Saurida undosquamis* was the main species of the Lizardfishes, and *Priacanthus macracanthus* was the main species of the Red bigeye fishes caught in the south-western waters of Taiwan. The CPUE in fishing grounds was significantly higher at the depth of 100–200 m. Judging from the variation of these climate change factors, the occurrence of La Niña raises the CPUE of Lizardfishes and Red bigeye fishes, with a positive correlation with temperature change, and a negative correlation with salinity at the depth of 100 m. This suggests that the strong northeast monsoon that La Niña brings was conducive to the vertical mixing of different water layers. Further more, water from the south China sea, more nutrient than the Kuroshio, comes through the Penghu Channel influx also contributes to the increase in lizardfishes and Red bigeye fishes resources.

This research will help predict changes in the lizardfish resources under the influence of hydrological environment changes and will be critical information for making coping strategies.

Keywords: Climate Change, Hydrological Environment, Bottom Trawlnet , Lizardfishes , Red Bigeye Fish.

---

1 Coastal and Offshore Resources Research Center, Fisheries Research Institute, Council of Agriculture, Kaohsiung, Taiwan 80672, ROC.

2 Corresponding Author, Email: cclai@mail.tfrin.gov.tw; Tel: 07-8218103#212.

主要糧食與蔬果利用天然低溫之貯藏系統研發

王怡玎 [1,3] 劉富文 [2]

摘要

本計畫擬研發適合臺灣獨特氣候環境的窯洞貯藏系統，用於儲存主要糧食及蔬果，俾助民生糧食之穩定供需。2012−2013 年之重要工作項目包括 (1) 收集現有窯洞利用天然冷卻情形之下溫度、普通貯藏庫庫溫與戶外氣溫等資料， (2) 提高利用冬、春季之冷風、冷雨以維持窯洞低溫之效能， (3) 夏、秋高溫季節以遮陰及防雨設施降低高溫之入侵，並以簡單制冷系統輔助維持低溫， (4) 實物貯藏與效果評估。結果 2012 年之窯洞溫度資料顯示，1−3 月溫度頗為冷涼與平穩，旬均溫 ≦15℃，為單靠天然冷源而能貯藏農產品之最佳時期。4-5 月雖逐漸升溫，但仍比普通庫或氣溫冷涼許多。6−9 月為夏季高溫期，洞溫可升至 25℃以上，到 10 月之後才又緩慢降溫，12 月可低至 1℃。窯洞溫度波動幅度小，1−5 月各旬旬內高低溫差平均 < 4℃，遠低於普通庫之 10℃。2013 年 1−3 月窯洞仍可維持 15℃以下的旬平均溫度，具有無電之冷藏效果。4-5 月溫度緩升至 22℃，5 月 31 日起啟動小型制冷系統輔助降溫。6−10 月借助降溫系統以調節洞溫至 15−18℃。用電量每立方米貯藏容積每日 < 1 度電 (kw/h) 。窯洞之實物貯藏結果，柳橙貯藏 5 個月，稻穀、糙米、白米、薏苡貯藏 8 個月，效果與 15℃冷藏組相近似。

關鍵詞：窯洞貯藏、普通貯藏、冷藏。

前言

全球氣候日趨暖化，採收後的農產品易因高溫腐損，冷藏用電成本也會提高，有必要研發價廉且節能低排碳的貯藏方法。目前已有利用天然『冷』源貯藏農產品成功之實例，如日本以採石岩穴貯藏柑橘，中國以窯洞或地窖貯藏蘋果與柑橘。此二例皆是利用冷涼且穩定的深層土 (或岩石) 溫進行水果之保鮮貯藏。

臺灣北部或中高海拔地區每年冬、春季有相當長的 ≦15℃的低溫。此一天然的冷資源值得善加運用。本計畫擬研發適用於臺灣風土氣候的窯洞貯藏系統，建立相關硬體設備與操作管理方法，另亦評選可適用於窯洞貯藏之主要糧食與蔬果種類，期能透過此一獨特的窯洞系統節能儲存糧食蔬果，有助穩定民生糧食之供需。

---

1 行政院農業委員會農業試驗所。
2 國立臺灣大學園藝暨景觀學系。
3 通訊作者 電子信箱：etwang@tari.gov.tw；電話：04-23317131。

研究方法

本研究利用苗栗地區的冬、春季低溫，將天然冷源貯蓄於窯洞周邊的土壤，用以調控洞內溫度，甚至低溫期過後仍能慢慢吸收貯藏品所釋出之熱能，達到無電或省電的冷藏效果。窯洞是農友自建之簡易設施，採用預鑄圓筒形水泥涵洞連接起來，周圍堆砌土石而成。地點位於苗栗縣大湖鄉富興村水尾後龍溪上游溪旁。海拔約 250 m ，東、西面有山。窯洞採南北走向，有利冬季北風貫穿窯洞而降溫。窯身長約 15 m ，圓洞形，直 (內) 徑 210 cm ，覆土約 3 m 厚。

收集窯洞之天然溫度變化資料

收集現有窯洞外部氣溫、窯洞內部與隔鄰普通庫之溫度資料，比對三者之間的溫度消長，評估窯洞可利用的低溫貯藏期限。

提高窯洞貯藏冷源之效能利用

包括 (1) 儘量利用冬、春季之冷風或冷雨冷卻窯洞周圍之土層，將冬、春之『冷』大量貯存於深厚的土中，慢慢吸收洞內之『熱』，以維持洞內適宜之貯藏溫度。(2) 以遮陰及防雨設施降低夏季高溫之入侵，避免夏季洞內溫度上升過快或過大。普通庫則是有保麗龍隔熱的簡易貯藏庫，夜間通風，白天關閉。

改良現有的窯洞貯藏設施

設計及建構機械制冷輔助降溫系統。該系統供天然冷源不足時補充之用，特別是幫助夏、秋季之低溫維持。輔助降溫系統經運轉試用之後，再予修改及調整細部硬軟體，包括小型機械冷卻系統與通風循環系統。貯藏溫度以≦15°C 為目標。

實物貯藏與效果評估

包括可供長期 (6 個月以上) 貯藏的乾穀類，如稻穀、糙米、白米及薏苡；中期 (3–5 個月) 貯藏的柑橘類，如柳橙。定期調查出庫的外觀品質、良品率與食用品質等。以 15 °C 冷藏庫貯藏為對照組。

結果與討論

一、2012 年窯洞利用天然冷卻時洞溫、普通庫庫溫與氣溫之比較

1. 平均溫度方面，窯洞洞溫較為冷涼而平穩，普通庫庫溫與氣溫則相對偏高且震盪幅度較大；普通庫庫溫係隨氣溫之升降而波動，常比氣溫高出 0.7 至 2.5℃。窯洞 1 至 3 月的平均溫度（14.9±1.0℃）極為理想，4 月上旬之後洞溫緩慢上升，但皆低於普通庫或氣溫。7–9 月為夏季高溫期，洞溫升至 25℃以上，10 月之後才緩慢降溫，12 月又低到 15℃。
2. 最低與最高溫方面，窯洞與普通庫於 1 至 3 月期間平均最低溫皆≦12℃，最高溫分別為 17℃、24℃。4 月起二庫升溫明顯，但窯洞比普通庫冷涼且平穩；窯洞最高與

最低溫分別為 21℃、18℃，普通庫則為 27℃、19℃；普通庫的溫差約為窯洞的 3 倍。5 月中旬以後氣溫不斷攀升，普通庫最高與最低溫為 31℃與 23℃，窯洞為 24℃與 23℃；普通庫的溫差達 8℃，是窯洞的 8 倍。

3. 若以貯藏溫度≦15℃為條件，估算原有窯洞可利用的低溫貯藏期限，1–3 月完全符合要求。如要貯藏更久，則必須再改良。

二、2013 年窯洞經提高冷源利用與加裝輔助降溫系統之改良及貯藏實物結果

1. 2013 年著重提高窯洞之冷源利用效能，儘量利用冬、春季每日有低溫時段開門通風，氣溫升高時關門，將冬、春之『冷』大量貯存於深厚的土中。同時自 4 月裝設西面遮陽及上面防(熱)雨設施以減少熱能輸入。結果 1–3 月可維持 15℃以下的旬平均溫度；1–4 月期間窯洞之夜溫可低於 12℃，日均溫則為 15–17℃。
2. 利用輔助降溫系統協助夏季降溫方面，5 月 31 日起實際啟動窯洞機械冷卻輔助系統。此系統能在 5 小時內將窯洞洞溫由 22℃降至 15–16℃，並於夏季 6–9 月高溫期間一直維持 15–18℃之窯溫。此高溫期之用電量每 1 m^3 貯藏容積不及 1 度電。
3. 實物貯藏方面，窯洞之貯藏效果頗為良好。以窯洞貯藏稻穀、糙米、白米與薏苡 8 個月仍能維持很高的新鮮度 (表 1)，新鮮度與冷藏組差異不大。柳橙之窯洞貯藏與冷藏效果比較 (表 2)，窯洞貯藏之果實腐爛率較高，可售果率略低；但中果皮崩潰之障礙較輕，乾米率略低而榨汁率略高。因此，兩種貯藏之果實「可售果汁率」相仿，綜合效果相若。由於腐爛率與採收工仔細與否關係大；若是小心採收果實，窯洞貯藏之腐爛率可降到甚低，則窯洞貯藏的優點更能顯現。

窯洞的應用價值在於低溫貯藏農產品而仍可節能減碳。本試驗使用之窯洞是農友自建之簡易設施，構造簡單維護費低。冬季利用天然低溫維持洞溫低而穩定，並蓄冷於周邊深厚土層中；當春季洞外氣溫上升時慢慢吸收熱，仍能維持洞內低溫好一段時間。2012 年之資料顯示在不用電能情形下，窯洞 1–3 月洞溫冷涼與平穩，可維持 15℃以下的旬平均溫度。4–5 月雖然緩升至 22℃，但仍比普通庫或氣溫冷涼許多。窯洞還具有洞溫平穩而波動幅度小之優點；1–5 月各旬內窯洞的高低溫差幅 (平均值) 僅為 4

表 1. 窯洞與冷藏庫貯藏稻米 8 個月後之品質比較。

貯藏作物	貯藏種類	白米分數	白米蛋白質	白米水分	白米直鏈性澱粉	白米白度	白米透明度	白米碾白度	新鮮度 (1 劣-5 優)
稻穀	窯洞	75.5	6.0	15.1	17.9	47.7	3.45	134	4.82
	冷藏	75.5	6.0	15.1	18.0	48.6	3.52	139	4.94
糙米	窯洞	76.0	5.9	14.9	17.9	48.0	3.41	136	4.34
	冷藏	74.0	6.2	14.9	18.0	45.9	3.31	125	4.68
白米	窯洞	74.5	6.3	13.5	18.0	47.2	3.47	132	4.00
	冷藏	73.0	6.0	13.6	17.9	47.7	3.47	134	3.99

℃；普通庫則達 10℃。6–9 月為夏季高溫期，2012 年閒置不用的窯洞洞溫升高至 25℃以上，10 月之後才會緩慢降溫。2013 年窯洞經提高冷源利用與加裝輔助降溫系統改良之後，純天然冷源利用期為 1–5 月；而自 5 月 31 日起啟動輔助降溫系統，在 6–9 月夏季高溫期維持 15–18℃穩定的低溫。在貯藏柳橙 5 個月之後還繼續貯藏稻穀、糙米、白米、薏苡等，後者貯藏 8 個月後新鮮度仍極高。未來將增加測試可能適合窯洞貯藏的作物若干種，提高窯洞的應用潛力。

表 2. 窯洞與冷藏庫貯藏之柳橙腐損及品質比較[1]。

貯藏月數	貯藏種類	腐爛 (%)	綠蒂 (%)	中果皮崩潰 (%)	可售果 (%)	乾米 (%)	榨汁率 (%)	可售果汁率 (%)
3	窯洞	6.0	87.3	0.4	89.7	2.5	41.8	37.5
	冷藏	2.8	83.7	0.0	94.0	9.0	39.9	37.5
4	窯洞	12.4	78.5	4.1	81.2	20.7	36.6	29.7
	冷藏	6.4	86.8	3.4	88.4	21.2	37.6	33.2
5	窯洞	16.3	84.4	2.8	82.1	25.1	33.6	27.6
	冷藏	8.7	85.7	10.9	85.7	29.2	30.8	26.4

[1]表中每一數字為採自 10 株，每株 25 粒中果，共 250 果合計計算之結果。

誌謝

本研究承賴明信博士協助貯藏後的稻米品質分析，敬表謝忱。

引用文獻

陳如茵、錢明賽，1993。臺灣蔬菜的儲存，食品工業研究所編印，131。

Booth, R. H. and R. L. Shaw. 1981. Principles of potato storage. International Potato Center, Lima, Peru. 105 pp.

Hardenburg, R.E.,A.E.Watada and C.Y.Wang. 1986. The commercial storage of fruits, vegetables, and florist and nursery stocks. U.S.Dept. of Agric,. Agriculture Handbook No.66. P.59.

Hasegawa, Y., 1988. Energy-saving storage of citrus fruit in Japan. p.92－103. *in* : Postharvest Handling of Tropical and Subtropical Fruit Crops. (Bay-Petersen , J., eds.) FFTC Book Series No. 37. 135 pp.

Kader, A. A., 2002. Post harvest technology of horticultural crops. University of California Agricalture and Natural Resources Publication 3311.

Kobata T, N Uemuki, T Inamura, H Kagata., 2004. Shortage of assimilate supply to grain increases the proportion of milky white rice kernels under high temperatures. (in Japanese) Jpn. J. Crop Sci. 73: 315-322.

Liu, F.W., 2010. Development and Application of citrus storage technologies with concurrent consideration of fruit quality preservation, energy use, and costs. AARDO Workshop on Technology on Reducing Post-harvest Losses and Maintaining Quality of Fruits and Vegetables. p26-47.

Research and Development on Long-Term Storage of Staple Crops, Fruits and Vegetables in Naturally-Cooled Storage Systems

Yee-Ting Wang[1,3] and Fu-Wen Liu[2]

Abstract

This study is aimed at developing a cave storage method for storing Taiwan agricultural products with or without minimal consumption of electricity. Major work of this year includes (1) improvement in the utilization of cool ambient air in the winter months by proper manual control of cave ventilation, (2) maintaining desirable storage temperature in the summer months by using shading and rain shield to reduce heat input and employing a supplementary mechanical cooler, and (3) trial storage of several products in the cave. The results seemed promising. Mean cave temperature remained ＜15℃ during January through March without using electricity. Cave temperature increased slowly in April and reached 22℃ at the end of May. Daily temperature fluctuation in the cave was negligible. With the aid of supplementary cooler, the cave temperature was maintained at 15°~18℃ during the period of June to September. Average electricity use was less than 1 kw-h per day per 1 m^3 storage space. 'Liucheng' orange was stored for 5 months; and rice, with or without husks, polished or un-polished, and *Coix lacryma-jobi* L. were stored for 8 months. The storage losses and product quality after storage in the cave were comparable to those stored in a conventional cold storage at 15℃.

Keywords: Cave Storage, Common Storage, Cold Storage.

1 Assistant Researcher of Crop Science Division, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.

2 Department of Horticulture and Landscape Architecture, National Taiwan University, Taipei, Taiwan.

3 Corresponding Author, Email: etwang@tari.gov.tw ; Tel: 04-23317131.

雞糞生質能燃燒發電與雞糞堆肥溫室氣體產量之評估研究

蘇忠楨[1,5] 徐世勳[1] 王淑音[2] 黃大駿[3] 孫世勤[4] 廖明村[4] 蕭為澤[1] 許聖民[1] 蕭哲仁[1]

摘要

本計畫總目標擬對畜禽糞之再利用，規劃集中雞糞燃燒發電廠及沼氣工廠，將畜禽糞便轉變成再生電能、再生燃料 (沼氣或生質甲烷) 以及有機質肥料，並提出低碳排之區域性畜牧資源再利用方式與最佳策略。目前禽糞的處理方式多以土地利用為大宗，但因禽類的區域集中飼養特性，導致附近的土地施肥利用易達飽和狀態，因此亟思開發減碳效率更佳之再利用方式。本研究係彙整針對國內蛋雞飼養密度最高之彰化縣，及肉雞飼養密度最高之雲林縣，進行區域性畜禽糞燃燒發電之評估和經濟效益分析；研究發現，兩地區發電廠之營運設立欲具有投資可行性，都需要政府對於初始機械設備或電力收購價格，予以適當幅度之補貼。另外，在原料供給面上亦需相關法令的增訂或修改，使得雞糞原料之供給得以有條件取得或是無償取得，方具有成本降低以利投資之作用。同時，本研究亦比較國內不同蛋雞糞處理方式之溫室氣體產生量。選擇具代表性之簡易堆置法、堆置堆肥及機械翻堆之蛋雞糞處理方式進行比較，結果顯示機械翻堆的堆肥熟成度最高，所產生的溫室氣體也相對較少，但機械翻堆的過程中使用機械所產生的二氧化碳為三種堆肥方法中最多。若能降低機械的用電，必然可以減少溫室氣體產量。

關鍵詞：情境分析、投資可行性、補貼、溫室氣體。

前言

隨著科技的進步與人口的成長，人類對於能源的需求與日俱增，但有限的化石燃料存量，隨著大量開採及使用，供給與需求逐漸無法達到平衡，未來將面臨化石能源耗盡的危機。各國近來均有意識地重視能源安全問題，在能源多樣性及全球暖化等議

1 國立台灣大學 動物科學技術學系，農業經濟學系。
2 中國文化大學 生物科技研究所。
3 嘉南藥理科技大學 環境資源管理系。
4 中興工程顧問股份有限公司。
5 通訊作者 電子信箱：jjsu@ntu.edu.tw；電話：02-33664142。

題上進行評估，藉以了解各種再生能源對於自身國家的可行性。本研究主題擬對雞糞之再利用，規劃集中雞糞燃燒發電廠及沼氣工廠，將雞糞轉變成再生電能，並提出低碳排之區域性雞糞資源再利用方式與最佳策略。

目前台灣地區禽糞的處理方式多以土地利用為大宗，但因禽類的區域集中飼養特性，以致於附近的土地施肥利用易達飽和狀態，若施肥量超過土地所需則會造成土地汙染以及地下水的水源汙染等問題，是當前需重視及改善之議題。但區域集中性的特點反而在燃燒發電的原料收集上降低運輸所需成本。

全國雞隻飼養數量的前五名縣市分別為：彰化縣、屏東縣、台南市、雲林縣以及嘉義縣，其中彰化縣所佔的規模有全國的 26.14%、屏東縣佔有的規模為 16.47%、台南市佔有的規模為 12.82%、雲林縣佔有的規模為 11.01%而嘉義縣佔有規模則為 9.21% (表 1)。本研究分別針對彰化縣以及雲林縣兩個地區來作雞糞燃燒發電規劃，因彰化地區蛋雞、肉雞的分配比例約為 70.2%比 29.8%，可知彰化縣是以蛋雞為主要飼養大宗，而雲林地區蛋雞、肉雞分配比例則約為 4.2%比 95.8%，可知雲林縣是以肉雞為主要飼養大宗，選定此兩個類型差異較大的地區，分別作為燃燒發電廠之特性設定上可有顯著的不同，比較起來才能容易觀察彼此的差異性是否顯著 (表 2 與 3)。

商業模式的規劃需具備投資獲利性才有實行的可能，於此，商業效應分析將分成三大部分來做探討分析：原料供給、產品收益、投資營運。另外，本文也討論了雞糞堆肥的溫室氣體產量評估。

目前我國的養雞場主要分為肉雞場與蛋雞場，其對於雞糞的處理也有所不同。肉雞場採統進統出，通常以堆置堆肥及機械翻堆堆肥為最常見 (黃，1990)。蛋雞場之雞舍，無論是傳統式雞舍或是高床式雞舍，雞糞掉至地板一定量後，再用人工予以清除或鏟裝機清除雞糞。兩種飼養方式產生的雞糞多以簡易堆置法、堆置堆肥及機械翻堆堆肥。簡易堆置法採用平鋪曝曬 10–14 天進行乾燥處理後賣出，為一般蛋雞場最常見的雞糞處理方式。除簡易堆置法外，搜集蛋雞糞後再進行堆肥為另一種常見的處理方式。蛋雞糞進行堆肥又可分成堆置堆肥法及以機械翻堆堆肥 (後簡稱：機械翻堆法) 兩種。堆置堆肥法主要將搜集的蛋雞糞加入調整材後以 1.2 至 2.0m 高度堆置發酵，發酵期間以推土機進行翻堆，發酵時間約為 18 週；機械翻堆法採通常將蛋雞糞加入調整材後置入 1m 高的發酵溝渠進行發酵，發酵期間以自動化機械進行翻堆，發酵時間約為 12 週。

聯合國糧農組織於 2013 年發表的研究報告指出，全球家畜供應鏈 (livestock supply chains)所產生的溫室氣體排放約 7.1 億噸，占全球溫室氣體排放的 14.5%，其中飼料生產和加工占 45%、乳牛消化過程的排氣占 39%、糞便分解占 10%，其餘則占 6%。聯合國糧農組織更建議採用更佳的動物管理和糞便處理技術，並且充分利用沼氣發電機

表 1. 臺閩地區養雞飼養數量排名表

排名	縣市別	在養數	百分比(%)
	臺閩地區	91,597,585	100.00
1	彰化縣	23,947,241	26.14
2	屏東縣	15,083,391	16.47
3	臺南市	11,744,312	12.82
4	雲林縣	10,081,647	11.01
5	嘉義縣	8,438,218	9.21
6	高雄市	5,731,537	6.26
7	南投縣	4,543,160	4.96
8	臺中市	2,636,571	2.88
9	苗栗縣	2,270,470	2.48
10	桃園縣	2,267,503	2.48
11	宜蘭縣	1,762,186	1.92
12	新竹縣	1,591,610	1.74
13	臺東縣	705,632	0.77
14	花蓮縣	419,473	0.46
15	新北市	146,393	0.16
16	金門縣	116,327	0.13
17	嘉義市	40,974	0.04
18	新竹市	36,709	0.04
19	澎湖縣	27,457	0.03
20	連江縣	3,200	0.00
21	基隆市	1,951	0.00
22	臺北市	1,623	0.00

資料來源：農委會統計及出版品-畜禽統計調查結果

表 2. 民國 101 年蛋雞飼養場數及在養隻數

縣市別	飼養場數(所占全國百分比)	在養隻數(所占全國百分比)
彰化縣	802 (47.09%)	16,809,929 (45.47%)
雲林縣	36 (2.11%)	427,300 (1.16%)

資料來源：農委會統計及出版品暨本研究整理

表 3. 民國 101 年肉雞飼養場數及在養隻數

縣市別	飼養場數(所占全國百分比)	在養隻數(所占全國百分比)
彰化縣	444 (10.8%)	7,137,312 (13.06%)
雲林縣	667 (16.22%)	9,654,347 (17.67%)

資料來源：農委會統計及出版品暨本研究整理

和省電裝置，有助畜牧業增加效率、減少能源浪費，並減少碳排放達 30% (FAO, 2013)。聯合國糧農組織的建議可看出糞便利用於發電可做為減少碳排放以達到溫室氣體的減量。目前德國、美國、荷蘭、印度、日本及中國等都相繼投入以禽畜糞做為能源的技術 (蘇，2008ab)。我國對於以禽畜糞做為能源等相關技術則處於起步的階段，許多問題仍有待克服，如禽畜糞處理過程中衍生的環境衛生問題、發電量是否合乎效益等，仍有非常大的發展空間。本研究首先彙整雞糞生質能發電的規劃及投資效益，再比較三種常見的蛋雞糞便處理方式所產生的溫室氣體量的差異，以做為畜禽糞燃燒發電之基礎資料。

國內、外雞糞特性資料彙整 (孫等，2013)

一、國內雞糞特性彙整

依據 2009 年畜產研究文獻，雞隻 (畜試土雞、來亨蛋雞、紅羽土雞) 經飼餵適合不同雞種之飼糧後，排泄物磷含量約在 3.30–5.92%；鉀含量約在 2.24–3.3%；總氮含量以畜試土雞最高，平均為 7.62%，依序為紅羽土雞 4.77%，來亨蛋雞為 4.34%，研究指出雞糞總氮含量與飼糧總氮含量、蛋白質可利用率及排泄物含水率有關；含水率以來亨蛋雞排泄物含水量高 (74.29%)，依序為紅羽土雞及畜試土雞；排泄物中重金屬含量，鉛約在 0.12–3.25 ppm，鎘約在 0.11–1.13 ppm，鉻約在 0.49–9.91 ppm。

另由該研就可顯示，排泄物中銅、鋅、鐵及錳等礦物元素含量大約為飼糧礦物元素量之 2–5 倍之多，顯示二價陽離子礦物元素具有蓄積排泄之現象，其中紅羽土雞公雞飼料中鐵含量為 77.81 ppm，但排泄物中鐵含量達 2,420 ppm，研究推論可能係因老舊代謝架上鐵屑污染雞糞所造成。相關數據所示，亦可知不同雞隻種類之雞糞會因飼糧組成不同而有所差異 (表 4)。

由於商業場飼養白肉雞通常採取平飼，並鋪上適量的墊料(我國雞農大多使用粗糠作為墊料，粗糠具有保暖、吸取糞便中水分，保持乾燥維持羽毛美觀等功用)，故亦將墊料納入研究，結果顯示墊料含水率 45–61%；各組墊料中灰分含量介於 15–18%之間；總氮、總磷均相近。本計畫已將該研究所進行之 6 組不同飼糧樣品進行平均，結果彙整詳表 4 所示。

此外，針對國內養雞場抽樣進行蛋雞糞及肉雞糞之熱值採樣分析，其結果詳見表 4 所示。其中針對蛋雞糞方面，係選取中部之小型蛋雞場針對其產出之蛋雞糞，依其露天堆積腐熟以產製堆肥之曝曬日數不同分別採樣分析，由表 5 之比較結果可知，在曝曬期間均為晴天之天候，且堆積厚度小於 1 公尺，日照得充分穿透雞糞堆積層之前提下，蛋雞糞隨曝曬日數增加，其含水率明顯降低，熱值亦隨之增加。

二、國外雞糞特性彙整

表 4. 國內雞糞特性資料彙整

項目	來亨蛋雞	資料來源 1 (2009 年)				資料來源 2 (2011 年)	
		畜試土雞		紅羽土雞		白肉雞	墊料
		公	母	公	母	6 組樣品平均	6 組樣品平均
Moisture，%	74.29	43.80	51.68	57.85	46.62	58.34	53.96
Ash(註 1)，%	假設 10	假設 10	假設 10	假設 10	假設 10	8.72	7.71
Comb(註 1)，%	15.71	46.19	38.32	32.15	43.38	32.94	38.33
乾基 N%	4.34	8.17	7.07	4.99	4.54	3.72	1.77
換算 N % wet(註 1)	1.12	4.59	3.42	2.10	2.42	1.55	0.81
乾基 P%，as P_2O_5	4.41	3.3	4.42	5.61	5.92	1.61	0.76
乾基 K%，as K_2O	2.24	3.06	3.3	2.6	2.82	4.04	0.76
乾基 Cu ppm	51.02	57.35	91.06	66.94	69.58	59.17	36.00
乾基 Zn ppm	409	347	499	604	644	245	160.67
乾基 Fe ppm，as Fe_2O_3	201	205	204	2420(註 3)	329		
乾基 Mn ppm	310	338	464	374	400		
乾基 Pb ppm	0.45	0.12	0.17	0.92	3.25		
乾基 Cd ppm	0.22	0.11	1.13	0.16	0.23		
乾基 Cr ppm	2.01	0.49	0.49	2.15	9.91		

資料來源 1：雞排泄物量及其成分含量之研究，畜產研究 42(4)：291～298 , 2009。

資料來源 2：白肉雞銅鋅排泄量之研究，畜產研究 44(2)：163-174, 2011。

註 1：表格內灰色處為本計畫假設推估數值。

註 2：資料來源 2(2011 年)之詳細樣品數據。

註 3：鐵含量偏高，可能因老舊代謝架上鐵屑污染雞糞所造成。

表 5. 蛋雞場附設堆肥曝曬場之雞糞堆肥熱值分析

雞糞堆積日數	水分	濕基熱值 (cal/g)	乾基熱值 (cal/g)
1	67.2%	811	2,475
6	44.0%	1,412	2,522
10	26.7%	1,774	2,420

依據日本九州宮崎縣南國興產株式會社之實廠案例，該公司為一綜合經營之廢棄物資源回收公司，廠址集中設置包括：斃死禽畜化製廠、寵物飼料廠、食用油脂廠、豬牛皮醃製廠、雞糞焚化發電廠、豬糞廢水處理廠及肥料工廠，各工廠間資源充分循環再利用，以達最大經濟效益。

其中雞糞焚化發電廠係於 2002 年完成，進料之雞糞可以根據雞的類型分為肉雞雞糞、蛋雞雞糞兩種類型，有關雞糞特性資料請詳表 6 所示，顯示肉雞雞糞之低位發熱

量 (1,930kcal/kg) 高於蛋雞雞糞 (1,215kcal/kg)，肉雞雞糞之可燃分 (51.58%) 高於蛋雞雞糞(40.84%)，含水分皆約 39%、蛋雞雞糞灰分高 (19.93%)於肉雞雞糞 (8.61%)、雞糞之濕基 C 18–25%、H 2–4%、O 18–22%、N 約 2%。

此外，日本於 2003 年在日本西南部九州宮崎縣湯郡川南町設置日本最大的雞糞發電廠，2005 年 5 月開始營運。該雞糞發電廠之進料肉雞雞糞 LHV 1,900 kcal/kg，平均水分 43% (25–60%)、灰分約 10%，乾基 C 39–41%、H 5–6%、O 34–36%、N 3–4%、P 1%~2%、K 2%，彙整詳表 6 所示。

另依據美國雞糞焚化發電研究文獻，由表 2–3 可知進料之肉雞雞糞特性，元素分析 N 約 2–3%、S 約 0.3–0.4%、Cl 約 0.6–0.8%，研究指出雞糞燃燒時，雞糞中之 N 會轉換成氮氣(N_2)並從燃灰中逸散，幾乎不留存於燃灰中。工業分析(三成分分析)之水分約 27%、可燃分約 57–60%、灰分約 14–16%。肉雞雞糞之低位發熱量頗高，約 2,000 kcal/kg。

在中國大陸部分，依據能源與環境期刊某文獻針對南方某雞場所作之肉雞雞糞成分及燃燒特性測試，顯示肉雞雞糞之低位發熱量平均值為 2,498 kcal/kg 左右，有關元素分析及工業分析詳表 6。

綜合前述，可知雞糞性質與雞隻之種類及其飼養方式有甚大關係，以前表 4 及表 6 肉雞與蛋雞之比較為例，肉雞雞糞之可燃分及濕基低位發熱量(LHV, Lower Heating Value) 較蛋雞為高，主要原因為肉雞之養雞場其雞舍一般以粗糠 (稻殼) 作為墊料，當雞隻出售後，雞糞與粗糠一起清出，故相較於蛋雞之雞糞而言，肉雞雞糞組成中粗糠含量甚高，雞糞比例少，造成肉雞雞糞之可燃分及濕基低位發熱量(LHV)較蛋雞較高，低位發熱量約為 2,000 餘 kcal/kg，與臺灣國內生活垃圾燃燒熱值相當(2,000~2,400 kcal/kg)、且約為一般煤炭熱值 (6,000 kcal/kg) 之一半，可見肉雞可以提供較良好的焚燒熱值，極易燃燒。

三、國內養雞場之基本資料分析

基於雞糞能源化設施之設置地點，應儘可能靠近雞糞產源以降低清運費用之經濟效益考量，故需瞭解及掌握國內養雞場之分布及規模情形，以利評估潛在之設置廠址地點，供為相關評估分析之辦理依據。

1. 全國養雞場之分布及飼養數量

依據農委會統計彙整之「畜牧類農情調查統計結果(101 年)」，經統計彙整 101 年度台閩地區養雞場共計 5,777 處，雞隻飼養數量約 9,160 萬隻 (表 1)。如就雞之種類區分，可再區分為蛋雞 (包括蛋雞及蛋種雞) 及肉雞 (包括肉種雞、白肉雞、紅羽土雞、黑羽土雞、烏骨雞、珍珠雞、鬥雞、閹雞) 兩種，其中蛋雞之養雞場共計 1,703 處，蛋雞飼養數量約 3,700 萬隻，肉雞之養雞場共計 4,113 處，肉雞飼養數量約 5,460 萬隻。

表 6. 國外雞糞特性資料彙整

項目		單位	資料來源 1 (日) 南國興產		資料來源 2 (日) MBR 雞糞發電廠	資料來源 3 (中國大陸) 南方某雞場	資料來源 4 肉雞(broiler)		
			肉雞 (broiler)	蛋雞 (hen)	肉雞 (broiler)	肉雞 (broiler)	(美) Tyson Farm Ave. (8 組樣品)	(美) Perdue Farm Ave. (8 組樣品)	(美) Mountaire Farm Ave. (8 組樣品)
數量		t/d							
工業分析	Moisturer	%	39.81	39.23	43	26.90~35.00	26.2	27.3	27.4
	Ash	%	8.61	19.93	10.00	11.75~13.90	14.2	14.6	15.7
	Comb	%	51.58	40.84	47.00	49.21~77.62	59.6	58.2	57.1
	Volatile Matter	%				36.21~67.30	49.4	48.3	47.3
	Fixed Carbon	%				13.00~10.32	10.2	9.9	9.8
元素分析 (濕基)	C	%	24.51	17.87	24.31	26.59~30.40	27.93	28.16	27.22
	H	%	3.35	2.09	3.65	3.53~3.62	3.79	3.8	3.72
	$O_{(by\ diff.)}$	%	21.71	18.00	21.27	20.79~23.00	24.23	22.04	22.43
	N	%	1.59	2.36	1.82	1.81~1.85	2.65	3.03	2.69
	S	%	0.08	0.09		0.43~0.45	0.33	0.37	0.33
	Cl	%	0.34	0.43			0.67	0.8	0.71
發熱量	$HHV_{(dry)}$	kcal/kg					3,599	3,683	3,556
	$HHV_{(wet)}$	kcal/kg					2,653	2,664	2,576
	$LHV_{(wet)}$ by calc.	kcal/kg	1,930	1,215	1,900	2,498	2,291	2,295	2,211

資料來源 1：鶏糞燃料焚流動層ボイラ発電フ°ランみ，タクマ技報 Vol.10, No.2, 2002。

資料來源 2：鶏糞焼却による バイオマス発電と資源循環， みやざきバイオマスリサイクル㈱簡報。

資料來源 3：利用雞糞發電推進循環經濟建設，中國大陸能源與環境刊物。

資料來源 4：Economic and Technical Feasibility of Energy Production from Poultry Litter and Nutrient Filter Biomass on the Lower Delmarva Peninsula -Appendix B Fertilizer Nutrient Value of Broiler Litter Ash。

如以總雞隻飼養數量多寡排序，則各縣市中飼養數量比例超過全國總飼養數量之 10%者依序為：彰化縣(約 2,395 萬隻，26.14%)、屏東縣(約 1,508 萬隻，16.47%)、台南市(約 1,174 萬隻，12.82%)、雲林縣(約 1,008 萬隻，11.01%)，故如欲雞糞能源化設施，該四個縣市應為優先考量設置選擇。

2. 主要養雞縣市之養雞場分布及飼養數量

依據「建立區域性畜禽糞生質能發電模式之研究計畫」第一年期末報告收集彙整之國外實廠成功案例經驗，雞糞能源化設施 (焚化爐) 之設置規模至少在 300 噸/日以上，始符合經濟效益；如國內外雞糞特性資料，以雞糞產量 0.1 公斤/隻·日計算，則雞糞能源化設施 (焚化爐) 之服務範圍應至少飼養 300 萬隻雞。

彙整前述彰化縣、屏東縣、台南市、雲林縣等 4 個主要養雞縣市之養雞場分布及飼養數量可知，除彰化縣之芳苑鄉及二林鎮之飼養雞隻超過 300 萬隻，其餘屏東縣、台南市、雲林縣之轄區內，並無任一個鄉鎮市之飼養雞隻數量超過 300 萬隻。

3. 雞糞能源化設施 (焚化爐) 潛在設置地區及設置方式

故由農委會「農業統計資料查詢之國內養雞場現況」資料可知，如欲設置雞糞能源化設施(焚化爐)，則於彰化縣可考量於芳苑鄉或二林鎮擇 1 處鄉鎮設置；惟如於屏東縣、台南市、雲林縣之轄區內，則無論設置於何鄉鎮市，均須跨鄉鎮市收集雞糞，始得維持該雞糞能源化設施(焚化爐)運作所需雞糞量。

國內區域性雞糞能源化設施之詳細規劃與評估分析(孫等，2013)

一、雞糞能源化設施設置模式規劃評估及建議

因應本計畫規劃於國內設置區域性集中雞糞能源化設施構想，經評估可能採取全量焚化發電、熱電共生利用、委託垃圾焚化廠焚化發電等三種模式 (表 7) 辦理，並分別評析說明如下。

1. 模式一：全量焚化發電模式

按美國明尼蘇達州 Fibrominn 發電廠係採向養雞戶收購雞糞 (10 美元/噸)，並自行負擔集運卡車運費 (3.3 美元/噸-哩) 方式，每日焚化處理 2,100 噸雞糞(火雞糞約佔 50~75%，其餘多為蛋雞糞)及木材廢棄物，總發電量 62MW，扣除用於電廠運作所需，淨產電量為 55MW。該電廠年售電量約 450,000MWh，售電價格 89 美元/MWh，換算約新台幣 2.67 元/度，廠內設置有 SNCR+排煙脫硫+袋濾式集塵器等空氣污染防治設備，焚化廢氣須經處理至符合空氣污染物排放標準後始得排放，雞糞燃灰經篩選後可供為肥料出售 (70 美元/噸)。

本模式係參考前述美國實廠案例作法，在主要養雞縣市地區，興建營運區域性集中雞糞能源化設施。能源化設施包括焚化爐、廢熱回收發電設施及相關污染防治設施。焚化雞糞之廢熱蒸汽全數轉換為電力，經併聯系統出售予台電公司，焚化燃灰作為肥料出售再利用。

經評估如於鄰近雞糞產源地區設置區域性集中雞糞能源化設施，將得減少雞糞清運成本支出；同時焚化雞糞之廢熱蒸汽經氣電共生設備轉為電能，可申請就近經台電公司併聯系統回饋售予台電公司；雞糞之焚化燃灰經適當混合稀釋其他料源(農業廢棄物)，得作為肥料出售再利用，故本模式應具經濟效益及成案可行性，其詳細規劃內容詳見後分析說明。

2. 模式二：熱電共生利用模式

按依據日本九州宮崎縣南國興產株式會社之實廠案例，該公司為一綜合經營之廢棄物資源回收公司，廠址集中設置包括：斃死禽畜化製廠、寵物飼料廠、食用油脂廠、豬牛皮醃製廠、雞糞焚化發電廠、豬糞廢水處理廠及肥料工廠，各工廠間資源充分循環再利用，以達最大經濟效益。

表 7. 國內設置區域性集中雞糞能源化設施可行模式及評估分析

模式別	模式一 －全量焚化發電模式	模式二－ 熱電共生利用模式	模式三－ 委託垃圾焚化廠焚化發電模式
內容說明	參考美國實廠案例作法，在主要養雞縣市地區，興建營運區域性集中雞糞能源化設施。 能源化設施包括焚化爐、廢熱回收發電設施及相關污染防治設施。 焚化雞糞之廢熱蒸汽全數轉換為電力，經併聯系統出售予台電公司 焚化燃灰作為肥料出售再利用。	參考日本實廠案例作法，於化製廠興建營運區域性集中雞糞能源化設施。 能源化設施包括焚化爐、廢熱回收發電設施及相關污染防治設施。 焚化雞糞之廢熱蒸汽供為化製廠蒸煮滅菌及乾燥使用，剩餘轉換為電力，經併聯系統出售予台電公司。 焚化燃灰作為肥料出售再利用	將雞糞集中清運送交既有垃圾焚化廠焚化發電，不自行興建營運區域性集中雞糞能源化設施。
可行性評析	於鄰近雞糞產源地區設置區域性集中雞糞能源化設施，得減少清運成本支出。 焚化廢熱蒸汽經氣電共生設備轉為電能，可申請就近經台電公司併聯系統回饋售予台電公司。 焚化燃灰經適當混合稀釋其他料源(農業廢棄物)，得作為肥料出售再利用。 考量農業廢棄物收集與集運成本，故僅以雞糞為主要燃燒原料。	化製廠接收之斃死禽畜，與雞糞同為民眾嫌惡物質，故將雞糞能源化設施設置於化製廠，預期外界較無反對意見。 廢熱蒸汽欲提供化製廠使用，須將雞糞能源化設施設置於化製廠，否則熱量因運具過長散失，管線埋設及設施設置用地須承租或價購，不符經濟效益。 國內化製廠無多餘空地供設置設施，且蒸汽需求有限，多數廢熱蒸汽仍轉換為電力，與模式一無區別。 考量農業廢棄物收集與集運成本，故僅以雞糞為主要燃燒原料。	垃圾焚化廠屬於廢棄物處理行業，接收焚化處理雞糞係以「廢棄物」視之，除須付費委託處理外，其因焚化雞糞之廢熱蒸汽轉換為電力之售電收入，視為攤提操作營運廠商內部成本，不發生潛在收益。 雞糞併同廢棄物焚化處理，燃灰組成已受影響，重金屬含量偏高，恐難作為肥料再利用，且其後續之處置或再利用均含於操作營運廠商內部成本，亦不發生潛在收益。
建議	優先採行	暫緩採行	僅為雞糞無法再利用之應急備案

茲以熱電共生利用方面為例(圖 1)，雞糞焚化發電廠 (300 噸/日) 產生之廢熱蒸汽 (41 噸/小時)，約將近 70% (27.3 噸/小時) 用於其他周邊機械設備及廠區其他製造工廠 (如化製廠高溫蒸煮) 使用，剩餘蒸汽 (13.5 噸/小時) 始用於發電利用。

本模式係參考前述日本實廠案例作法，於化製廠興建營運區域性集中雞糞能源化設施。能源化設施包括焚化爐、廢熱回收發電設施及相關污染防治設施。焚化雞糞之廢熱蒸汽供為化製廠蒸煮滅菌及乾燥使用，剩餘轉換為電力，經併聯系統出售予台電公司，焚化燃灰作為肥料出售再利用。

因化製廠接收之斃死禽畜與雞糞同為民眾嫌惡物質，故將區域性集中雞糞能源化設施設置於化製廠，預期外界較無反對意見。惟如欲將焚化雞糞之廢熱蒸汽提供化製廠使用，須將區域性集中雞糞能源化設施就近設置於化製廠，否則若設置距離過遠，除因蒸汽輸送管線過長，熱量將因對流及輻射等途徑散失外，管線埋設及設施設置用地亦須承租或價購，並不符合經濟效益。

另由於國內化製廠廠區均無多餘空地可供設置雞糞能源化設施，且其設置規模過小蒸汽需求有限(1.5–6.5 噸/小時)，如以同樣設置 1 座 300 噸雞糞焚化廠等比例估算，其蒸汽需求與產出量比例尚不足 15%，以致絕大多數廢熱蒸汽仍轉換為電力，經併聯系統出售予台電公司，與模式一幾無區別。故經評估後本模式建議暫緩採行。

3. 模式三：委託垃圾焚化廠焚化發電模式

本模式係將雞糞集中清運送交既有垃圾焚化廠焚化發電，不自行興建營運區域性集中雞糞能源化設施。

因垃圾焚化廠屬於廢棄物處理行業，其接收焚化處理雞糞係以「廢棄物」視之，除須付費委託其處理外，其因焚化雞糞之廢熱蒸汽轉換為電力之售電收入，視為攤提操作營運廠商內部成本之一部分，故並不發生潛在收益。同時，因雞糞併同廢棄物焚化處理，焚化燃灰組成已受廢棄物組成影響，預期重金屬含量偏高，恐已難作為肥料再利用，且其後續之處置或再利用均含於操作營運廠商內部成本之一部分，亦並不發生潛在收益。

基於本模式並無經濟效益，故本模式建議不予採行，僅得視為雞糞若無法再利用時之應急處理備案。

二、雞糞能源化設施 (全量發電模式) 詳細規劃

由前述國內養雞場現況資料可知，如採模式一 (全量發電模式) 設置一座符合經濟效益規模 (300 噸/日) 雞糞能源化設施 (焚化爐) 於主要養雞地區，則則雞糞能源化設施(焚化爐)之服務範圍應至少飼養 300 萬隻雞。彰化縣可於芳苑鄉或二林鎮擇 1 處鄉鎮設置；惟如於屏東縣、台南市、雲林縣之轄區內，則無論設置於何鄉鎮市，均須跨鄉鎮市收集雞糞，始得維持設置雞糞能源化設施(焚化爐)運作所需雞糞量。

故本計畫爰假定如下兩種情境 (圖 2)，進行如下各小節之雞糞能源化設施 (全量發電模式) 之詳細規劃：

情境 1：於彰化縣芳苑鄉內，設置 1 座 300 噸/日之區域性集中雞糞焚化發電示範廠，供處理芳苑鄉內養雞場 (養雞數 876.7 萬隻)產出之雞糞。

情境 2：於雲林縣之崙背鄉、虎尾鎮、二崙鄉三個鄉鎮內，設置 1 座 300 噸/日之三鄉鎮聯合區域性集中雞糞焚化發電示範廠，供處理該三個鄉鎮內養雞場 (養雞數 342.3 萬隻)產出之雞糞。

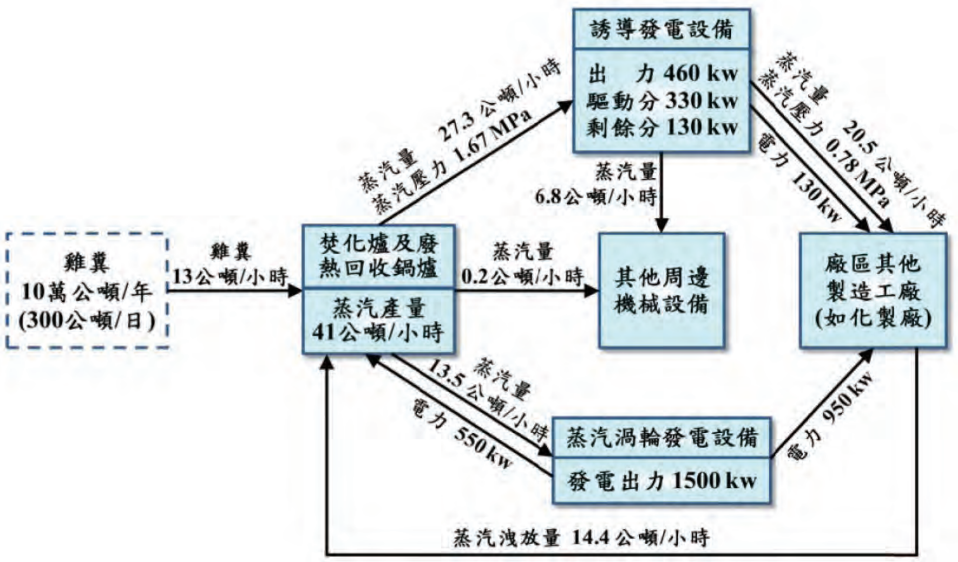


圖 1. 日本南國興產株式會社雞糞熱電共生利用示意圖



圖 2. 國內設置雞糞焚化發電示範廠之兩種設定情境

1. 雞糞設計性質及處理流程設定與調整

(1) 雞糞設計性質設定

按由前述內容可知雞糞性質與雞隻之種類及其飼養方式有甚大關係，茲以肉雞與蛋雞之比較為例，肉雞之養雞場其雞舍一般以粗糠(稻殼)作為墊料，當雞隻出售後，雞糞與粗糠一起清出，故相較於蛋雞之雞糞而言，肉雞雞糞組成中粗糠含量甚高，雞糞比例少，工業分析 (三成分) 之可燃分及濕基低位發熱量 (LHV) 亦較高。

故於配合前述情境 1 及情境 2 進行雞糞能源化設施 (全量發電模式)之詳細規劃起始，即應分別就該兩個不同服務範圍之雞糞設計性質 (輸入端) 先予以決定，供為後續處理流程設定、質量平衡試算及主要設備功能設定之辦理依據。

經前述整理彰化縣芳苑鄉及雲林縣崙背鄉、虎尾鎮、二崙鄉之蛋雞及肉雞飼養數量如表 8 所示。由表中可知情境 1－於彰化縣芳苑鄉內，設置區域性集中雞糞焚化示範廠時，其服務轄區範圍內之蛋雞與肉雞飼養數量比例約為 87%：13%；情境 2－於雲林縣之崙背鄉、虎尾鎮、二崙鄉三個鄉鎮內，設置三鄉鎮聯合區域性集中雞糞焚化示範廠時，其服務轄區範圍內之蛋雞與肉雞飼養數量比例約為 5%：95%。故依據各情境之蛋雞與肉雞飼養數量比例，爰設定本計畫情境 1 (蛋雞為主) 及情境 2 (肉雞為主) 之雞糞設計性質，詳如表 9。

(2) 雞糞之允收標準及進廠後之前處理

按本計畫規劃之雞糞焚化發電廠為雞糞專燒廠，其處理對象單純，僅為不同數量比例之肉雞糞與蛋雞糞，不似事業廢棄物焚化廠，因不確定進廠廢棄物是否有不適焚化處理對象(如有害廢棄物等)，故有訂定進廠「允收標準」之必要，以供研判於不造成設施傷害或排放超標前提下，決定是否接收處理之依據。考量本計畫性質及接收對象單純 (肉雞糞與蛋雞糞)，若於收集清運階段無不適焚化雜質 (如有害廢棄物等) 混入，亦未接收其他廢棄物進廠，暫不訂定「允收標準」。

表 8. 情境 1 及情境 2 之蛋雞與肉雞飼養數量比例

情境別	服務轄區範圍		總在養雞隻數	蛋雞在養雞隻數	肉雞在養雞隻數
情境 1	彰化縣芳苑鄉		8,767,000 (100%)	7,643,500 (87%)	1,123,500 (13%)
情境 2	雲林縣	崙背鄉	1,844,500	0	1,844,500
		虎尾鎮	912,700	106,000	806,700
		二崙鄉	666,400	56,600	609,800
		小計	3,423,600 (100%)	162,600 (5%)	3,261,000 (95%)

表 9. 情境 1 及情境 2 之雞糞設計性質列表

雞糞設計性質項目		單位	情境 1(蛋雞為主)			情境 2(肉雞為主)		
			蛋雞	肉雞	合計	蛋雞	肉雞	合計
		t/d	261	39	300	15	285	300
工業分析	水分(Moisture)	%	40	35	39.35	40	35	35.25
	灰分(Ash)	%	15	9	14.22	15	9	9.30
	可燃分(Combustibles)	%	45	56	46.43	45	56	55.45
元素分析	碳(C)	%	18	25	18.91	18	25	24.65
	氫(H)	%	3	4	3.13	3	4	3.95
	氧(O)	%	21.02	25.12	21.55	21.02	25.12	24.92
	氮(N)	%	2	1	1.87	2	1	1.05
	硫(S)	%	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	氯(Cl)	%	0.3	0.4	0.39	0.4	0.3	0.31
濕基低位發熱量($LHV_{(wet)}$)		kcal/kg	1,500	2,200	1,591	1,500	2,200	2,165

其次，因雞糞性質尚稱單純，於焚化處理時主要考慮因素為其含水率 (影響發熱量) 及氮含量，因蛋雞糞之含水率及氮含量均較肉雞糞為高，故本計畫已依據設廠地區及肉雞糞與蛋雞糞數量比例不同，分別研訂情境 1 (蛋雞糞為主)及情境 2 (肉雞糞為主) 之進廠雞糞設計性質，分別據以進行處理流程設定、質量平衡試算與主要設備功能設定，故暫不訂定進廠「允收標準」。

至於雞糞性質對於焚化發電廠操作之影響，當在日後建廠完成接收處理雞糞時，操作單位須視進廠雞糞之實際性質 (含水率及含氮量) 及焚化與污染防治設施、鍋爐與發電設施等操作狀況，適時調整肉雞糞與蛋雞糞接收進廠數量及比例，並於廠內貯坑進行以靜置瀝乾水分及抓斗抓取混拌方式，調整均勻化擬進料焚化之雞糞性質。

(3) 處理流程設定與調整

經參考日本雞糞焚化發電廠實廠案例處理流程，規劃前述兩種情境雞糞焚化後全量發電處理流程 (圖 3 與圖 4)。雞糞進廠後將先投入儲坑暫存，再由吊車抓取後，經進料器送入燃燒爐焚化處理，焚化後高溫廢氣先經廢熱回收鍋爐回收熱能，以及噴水冷卻塔降溫 (必要時於前端設置多管旋風集塵器，先行濾除較大顆粒之粒狀物)後，再經乾式洗煙塔 (噴注消石灰及活性碳)去除氯化氫、硫氧化物等酸性氣體並吸附去除重金屬及戴奧辛等微量有機物，再經過袋濾式集塵器過濾除塵後，符合排放標準之處理後排氣經煙囪排放。

另為去除因高溫燃燒產生之熱氮氧化物 (Thermal NOx)，故採用 SNCR 尿素脫硝技術，於燃燒爐高溫區噴注尿素水溶液，以進行排煙脫硝。至於高溫廢氣經鍋爐熱交換產出之過熱蒸汽，則透過蒸汽渦輪機及發電機將熱能轉換為電力，經併聯電力系統饋送予台電公司。

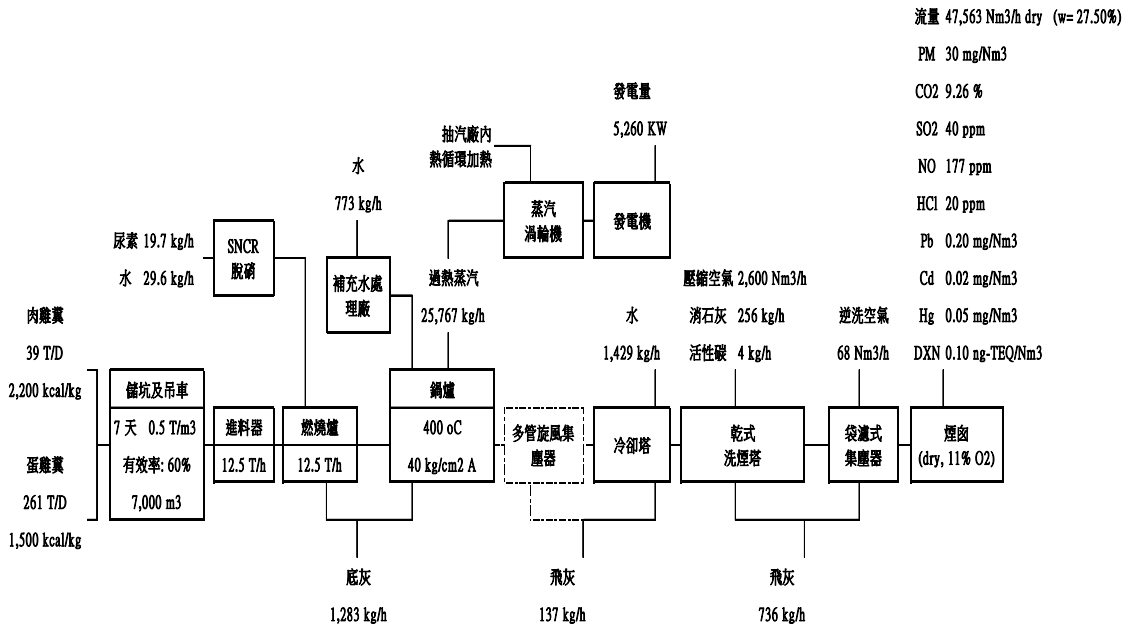


圖 3. 情境 1－彰化縣芳苑鄉雞糞焚化發電示範廠(300TPD)處理流程暨主要功能參數

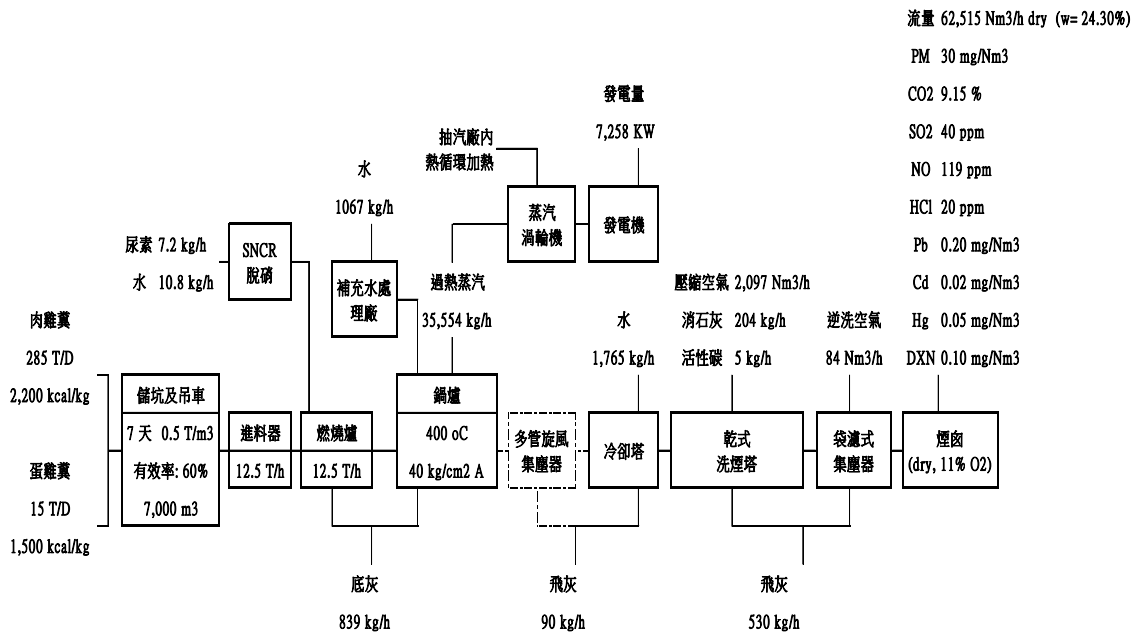


圖 4. 情境 2－雲林縣崙背鄉、虎尾鎮、二崙鄉三鄉鎮聯合雞糞焚化發電示範廠(300TPD)處理流程暨主要功能參數

2. 質能平衡試算及主要設備功能設定

就第 3.2 節設定之情境 1 及情境 2，以表 9 之雞糞設計性質作為設計輸入(design input)，配合圖 3 與 4 之設定處理流程進行雞糞焚化發電示範廠之質能平衡試算，經依試算結果設定主要設備功能，詳見表 10 與 11 之焚化發電設施基本資料所示。

試算過程之邏輯依序說明如下：

(1) 由雞糞設計性質，計算焚化所需之理論及實際助燃空氣量，以及於焚化爐燃燒室之原始廢氣組成及濃度。

(2) 由焚化爐燃燒室進出物質熱量平衡計算，求得理論燃燒廢氣溫度，供為研判是否尚須添加輔助燃料。

(3) 由燃燒室內一氧化氮(NO)濃度及法規排放限值標準(180 ppm)，計算於燃燒室採行尿素脫硝(SNCR)技術時之尿素溶液使用量。

(4) 配合設定之鍋爐(BL)入口及出口廢氣溫度、鍋爐進口補充水與鍋爐出口蒸汽之溫度與壓力，計算高溫廢氣經蒸汽渦輪發電機(TG)進行熱能回收轉換之發電量。

(5) 由設定之噴水冷卻塔(QC)入口及出口溫度，計算經廢熱回收後廢氣降溫時所需之噴霧冷卻水需求量，以及經噴水稀釋後之噴水冷卻塔出口廢氣組成及濃度。

(6) 由噴水冷卻塔出口硫氧化物(SO_2)及氯化氫(HCl)濃度及法規排放限值標準(40 ppm 及 20 ppm)，計算於乾式除酸設施(DS)採行排煙脫硫除氯技術時之消石灰($Ca(OH)_2$)使用量。

(7) 由噴水冷卻塔出口重金屬(Pb/Cd/Hg)及戴奧辛(PCDD/F)濃度及法規排放限值標準(0.20/0.02/0.05 mg/Nm^3 及 0.10 ng/Nm^3)，計算於乾式除酸設施(DS)噴注活性碳吸附去除重金屬及戴奧辛時之 PAC 活性碳使用量。

(8) 由乾式除酸設施(DS)出口廢氣組成及濃度，以及設定之氣布比(A/C)，計算袋濾式集塵器(BF)出口廢氣組成及濃度與所需濾布面積，以及由袋濾式集塵器收集得之總排灰量。

3. 建設費用及年操作維護費用概算與成本效益分析

經參依前述質能平衡試算結果，進行情境 1 及情境 2 設置區域性集中雞糞焚化發電示範廠之建設費用及年操作維護費用概算，並納入購料費及收入之估算及評析(表 10 與 11)，分別說明如下。

(1) 焚化發電設施基本資料

按情境 1 及情境 2 之建設費用及年操作維護費用概算，係基於如下之焚化發電設施基本資料進行估算：

a. 設計焚化處理量及設計熱值

參依表 9 雞糞設計性質列表，於設計焚化處理量 300 噸/日，分別計算於情境 1 及情境 2 之不同肉雞糞及蛋雞糞比例(情境 1－39 噸/日：261 噸/日，情境 2－285

表 10. 情境 1 之建設費用及年操作維護費用概算表

項目		肉雞糞	蛋雞糞	其他生質物	合計	說明		
焚化發電設施基本資料	數量(噸/日)	39	261		300			
	LHV 熱值(kcal/kg)	2,200	1,500		1,591			
	儲存與進料	儲坑及吊車抓斗						
	燃燒爐	氣泡式流動床		24 h/d	12,500 kg/h			
		SNCR 脫硝				尿素用量 19.73 kg/h		9 元/kg
						用水量 29.60 kg/h		11 元/m^3
	鍋爐	直立式						
	出口過熱蒸汽	溫度	400℃			蒸汽量之 3%=	補充水量 773kg/h	11 元/m^3
		壓力	40 kg/cm^2					
		產量	約 25,767 kg/h					
	蒸汽渦輪發電機出力	約 5,260 kwh/h				除廠內自用蒸汽外，全量發電(廠內用電量約 20%，101 年電力排放係數 0.532 kgCO_{2e}/KWH)		
	空氣污染防制設備	噴水冷卻塔/多管旋風集塵器				需水量約 1,429 kg/h		11 元/m^3
		乾式洗煙塔				$Ca(OH)_2$ 用量	約 256 kg/h	6.0 元/kg
						PAC 用量	約 4.1 kg/h	15 元/kg
		袋濾式集塵器				濾布面積	約 1,140 m^2	
		排放廢氣濃度(dry,11%O_2)				煙囪出口排放廢氣量(wet)		
		PM	30 mg/Nm^3	PCDD/F	0.1 ngTEQ/Nm^3	44,348 Nm^3/h	52,994 kg/h	4.5%O_2
		SOx	40 ppm	Pb	0.20 mg/Nm^3	CO_2 含量(wet)		
		NOx	177 ppm	Cd	0.02 mg/Nm^3	9.95%	0.6934 kg-CO_2/kg	
		HCl	20 ppm	Hg	0.05 mg/Nm^3			
	燃灰	自燃燒室及鍋爐之底灰量			1,283 kg/h	P_2O_5 約 20%	As 約 85 mg/kg	需符合適用之肥料標準
		自冷卻塔之飛灰量約			137 kg/h	K_2O 約 15%	Cu 約 255 mg/kg	
		自袋濾式集塵器之飛灰量(含反應物及未反應物)			736 kg/h	K_2O 約 24%	Mn 約 2,548 mg/kg	
		小計約 2,156kg/h					Zn 約 1,699 mg/kg	
	人事	管理人員			10 人	薪資 45,000 元/月/人		
		4 班次操作維護人員			40 人	薪資 35,000 元/月/人		
		小計			50 人			
初設投資	建設費	機電設備			540,000,000 元	占 80%	225 萬元/TPD	攤提壽命 20 年
		土建設施			135,000,000 元	占 20%		攤提壽命 40 年
		土地			15,000,000 元	約 1 公頃	約 1,500 元/m^2	不計折舊
		小計			690,000,000 元			
	攤提折舊費	機電折舊			37,994,981 元/年	攤提年金係數 0.07036		折現率 3.5%
		土建折舊			6,321,683 元/年	攤提年金係數 0.04683		折現率 3.5%
		小計			44,316,665 元/年			
					448 元/噸	營運日數 330 日/年		
操作維護費	維護費	機電維護			16,200,000 元/年	建設費之 3.00%		
		土建維護			675,000 元/年	建設費之 0.50%		
		小計			16,875,000 元/年			
	人事費	管理人員			6,525,000 元/年	14.5 個月/年		
		4 班次操作維護人員			18,200,000 元/年	13.0 個月/年		
		小計			24,725,000 元/年			
	化學藥劑費	$CO(NH_2)_2$			1,406,403 元/年			
		$Ca(OH)_2$			12,159,567 元/年			
		PAC			491,262 元/年			
		其他			3,000,000 元/年			
		小計			17,057,232 元/年			
	用水費	製程用水			194,415 元/年			
		清洗用水			181,500 元/年	50 m^3/d		
		生活用水			40,150 元/年	200 l/人/天		
		小計			416,065 元/年			
	用電費(停機維修期間外購電力)				300,000 元/年			
	以上合計				59,373,296 元/年			
					600 元/噸			
	保險費				29,687 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 0.05%		
	管理費				5,937,330 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 10%		
	利稅				2,968,665 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 5%		
	總計				68,308,978 元/年			
					690 元/噸			
購料費	購料費用(含收集)				59,400,000 元/年	600/噸	若僅處理本身或股東同業養雞場之雞糞(如同採共同聯合體系)，得暫不計購料費用	
	運輸費用				5,940,000 元/年	3.0 元/噸/km	單程 10 km	
	儲存費用				8,910,000 元/年	3 元/噸/日	平均儲存 30 日	
	合計				74,250,000 元/年			
					750 元/噸			
收入	售電收入				66,655,371 元/年	廠內自用電力 20%	售電費 2 元/度	
					673 元/噸			
	售灰(肥料)收入				42,694,140 元/年	2,500 元/噸	是否具肥料收入及單價高低，與適用肥料品目之法規及市場有關	
					431 元/噸			
	合計				109,349,511 元/年			
					1,105 元/噸			

表 11. 情境 2 之建設費用及年操作維護費用概算表

項目		肉雞糞	蛋雞糞	其他生質物	合計	說明		
焚化發電設施基本資料	數量(噸/日)	285	15		300			
	LHV 熱值(kcal/kg)	2,200	1,500		2,165			
	儲存與進料	儲坑及吊車抓斗						
	燃燒爐	氣泡式流動床		24 h/d	12,500 kg/h			
		SNCR 脫硝				尿素用量 7.23 kg/h		9 元/kg
						用水量 10.85 kg/h		11 元/m^3
	鍋爐	直立式						
	出口過熱蒸汽	溫度	400℃			蒸汽量之 3%=	補充水量 1,066kg/h	11 元/m^3
		壓力	40 kg/cm^2					
		產量	約 35,554 kg/h					
	蒸汽渦輪發電機出力	約 7,258 kwh/h				除廠內自用蒸汽外，全量發電 (廠內用電量約 20%，101 年電力排放係數 0.532 kgCO_2/KWH)		
	空氣污染防制設備	噴水冷卻塔/多管旋風集塵器				需水量約 1,765 kg/h		11 元/m^3
		乾式洗煙塔				$Ca(OH)_2$ 用量	約 204 kg/h	6.0 元/kg
						PAC 用量	約 5.2 kg/h	15 元/kg
		袋濾式集塵器				濾布面積	約 1,140 m^2	
		排放廢氣濃度(dry,11%O_2)				煙囪出口排放廢氣量(wet)		
		PM	30 mg/Nm^3	PCDD/F	0.1 ngTEQ/Nm^3	54,375 Nm^3/h	66,155 kg/h	4.4%O_2
		SOx	40 ppm	Pb	0.20 mg/Nm^3	CO_2 含量(wet)		
		NOx	119 ppm	Cd	0.02 mg/Nm^3	10.58%	0.9038 kg-CO_2/kg	
		HCl	20 ppm	Hg	0.05 mg/Nm^3			
	燃灰	自燃燒室及鍋爐之底灰量約			839 kg/h	P_2O_5 約 19%	As 約 82 mg/kg	需符合適用之肥料標準
		自冷卻塔之飛灰量約			90 kg/h	K_2O 約 15%	Cu 約 246 mg/kg	
		自袋濾式集塵器之飛灰量 (含反應物及未反應物)			530 kg/h	K_2O 約 25%	Mn 約 2,463 mg/kg	
		小計約 1,458kg/h					Zn 約 1,642 mg/kg	
	人事	管理人員			10 人	薪資 45,000 元/月/人		
		4 班次操作維護人員			40 人	薪資 35,000 元/月/人		
		小計			50 人			
初設投資	建設費	機電設備			600,000,000 元	占 80%	250 萬元/TPD	攤提壽命 20 年
		土建設施			150,000,000 元	占 20%		攤提壽命 40 年
		土地			15,000,000 元	約 1 公頃	約 1,500 元/m^2	不計折舊
		小計			765,000,000 元			
	攤提折舊費	機電折舊			42,216,646 元/年	攤提年金係數 0.07036		折現率 3.5%
		土建折舊			7,024,092 元/年	攤提年金係數 0.04683		折現率 3.5%
		小計			49,240,738 元/年			
					497 元/噸	營運日數 330 日/年		
操作維護費	維護費	機電維護			18,000,000 元/年	建設費之 3.00%		
		土建維護			750,000 元/年	建設費之 0.50%		
		小計			18,750,000 元/年			
	人事費	管理人員			6,525,000 元/年	14.5 個月/年		
		4 班次操作維護人員			18,200,000 元/年	13.0 個月/年		
		小計			24,725,000 元/年			
	化學藥劑費	$CO(NH_2)_2$			515,574 元/年			
		$Ca(OH)_2$			9,716,879 元/年			
		PAC			616,180 元/年			
		其他			3,000,000 元/年			
		小計			13,848,632 元/年			
	用水費	製程用水			247,650 元/年			
		清洗用水			181,500 元/年	50 m^3/d		
		生活用水			40,150 元/年	200 l/人/天		
		小計			469,300 元/年			
	用電費(停機維修期間外購電力)				300,000 元/年			
	以上合計				58,092,931 元/年			
					587 元/噸			
	保險費				29,046 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 0.05%		
	管理費				5,809,293 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 10%		
	利稅				2,904,647 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 5%		
	總計				66,835,918 元/年			
					675 元/噸			
購料費	購料費用(含收集)				59,400,000 元/年	600 元/噸	若僅處理本身或股東同業養雞場之雞糞(如同採共同聯合體系)，得暫不計購料費用	
	運輸費用				5,940,000 元/年	3.0 元/噸/km	單程 10 km	
	儲存費用				8,910,000 元/年	3 元/噸/日	平均儲存 30 日	
	合計				74,250,000 元/年			
					750 元/噸			
收入	售電收入				91,974,327 元/年	廠內自用電力 20%		售電費 2 元/度
					929 元/噸			
	售灰(肥料)收入				28,875,618 元/年	2,500 元/噸	是否具肥料收入及單價高低，與適用肥料品目之法規及市場有關	
					292 元/噸			
	合計				120,849,944 元/年			
					1,221 元/噸			

噸/日：15 噸/日)時，其設計 LHV 熱值(情境 1：1,591 仟卡/公斤，情境 2：2,165 仟卡/公斤)。

b. 燃燒爐、鍋爐及蒸汽渦輪發電機

燃燒爐將採適用如雞糞、污泥等均質(homogenious)廢棄物焚化處理之氣泡式流動床爐體，以 24 小時/日運轉換算，處理能力為 12,500 公斤//小時。因採用 SNCR 尿素脫硝技術，故由質能平衡試算可知於燃燒爐噴注之尿素用量(情境 1：19.73 公斤/小時，情境 2：7.23 公斤/小時)及用水量 (情境 1：29.60 公斤/小時，情境 2：10.85 公斤//小時)。

鍋爐將採用直立式鍋爐以節省用地面積，並設定鍋爐出口過熱蒸汽條件為 400℃及 40kg/cm^2，由質能平衡試算可知，於前述雞糞 LHV 設計熱值條件下，鍋爐出口過熱蒸汽量 (情境 1：25,767 公斤//小時，情境 2：35,554 公斤//小時)，鍋爐補充水用量 (以蒸汽量之 3%計算，情境 1：773 公斤//小時，情境 2：1,066 公斤/小時)。

鍋爐產出之過熱蒸汽經扣除廠內自用量(以 20%計算)，其餘均經蒸汽渦輪發電機發電，則蒸汽渦輪發電機出力分別為 5,260 kwh/h(情境 1)及 7,258 kwh/h (情境 2)。

c. 空氣污染防制設備

承前述說明，雞糞焚化發電示範廠之空氣污染防制設備流程組合為：SNCR 尿素脫硝(去除 NO)+多管旋風集塵器(分離大粒徑粒狀物)+噴水冷卻塔(高溫廢氣降溫)+乾式洗煙塔(去除 SO_2/HCl)+噴注活性碳吸附/袋濾式集塵器(去除粒狀物/重金屬/戴奧辛)，故質能平衡試算結果可知，於符合「廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準(95.12.25 修正公告)」之各項空氣污染物排放限值下，情境 1 及情境 2 之空氣污染防制設備操作所需之用水量、消石灰($Ca(OH)_2$)用量、PAC 活性碳用量及袋濾式集塵器所需濾布面積詳如表 10 與 11。

d. 燃灰

由圖 3 與 4 之設計處理流程可知，雞糞焚化後產生之燃灰，來自於燃燒爐及鍋爐處收集得之底灰，以及於多管旋風集塵器/噴水冷卻塔/乾式洗煙塔/袋濾式集塵器等處收集得之飛灰，由質能平衡試算可知燃灰產生量分別為 2,156 公斤//小時(情境 1)及 1,458 公斤//小時(情境 2)。

e. 人事

參考國內外雞糞等廢棄物焚化發電設施之營運管理組織，假定其運作需管理人員 10 人，操作維護人員 40 人(分 4 班次操作)。

(2) 初設投資

a. 建設費

按情境 1 及情境 2 雖均為設置 1 座 300 噸/日之雞糞焚化發電示範廠，但因兩者雞糞設計性質及 LHV 熱值不同，故燃燒後之總熱負荷量及廢氣產量亦不相同(情境 2＞情境 1)，兩者直接影響燃燒爐及空氣污染防制設備設置等級及規模，並將反映於建設費與爾後之操作維護費。

故參考國內外雞糞等廢棄物焚化發電設施之興建費用，如以設置規模每噸/日之單位造價分別為新台幣 225 萬元(情境 1)及 250 萬元(情境 2)計算，則設置 1 座 300 噸/日之雞糞焚化發電示範廠約需新台幣 6.75 億元(情境 1)及 7.5 億元(情境 2)。假定機電設備及土建設施分別佔 80%及 20%比例計算，則兩者約需新台幣 5.4 億元及 1.35 億元(情境 1)，以及新台幣 6.0 億元及 1.5 億元(情境 2)。

至於設廠用地方面，經參考相關實廠案例經驗，以 1 公頃計算；因可能設廠地點未知，故暫以新台幣 1,500 元/m^2 計算，則土地取得成本約新台幣 1,500 萬元。

b. 攤提折舊費

前述建設費如考量攤提折舊(土地屬於永久資財，不考慮折舊)，以機電設備及土建設施攤提壽命(n)分別為 20 年及 40 年，以及折現率(i)取 3.5%時，計算機電設備及土建設施攤提年金係數(p，$p=[i\times(1+i)^n]/[(1+i)^n-1]$)分別為 0.07036 及 0.04683，故可分別求得機電設備及土建設施之折舊費，兩者合計折舊費分別為 44,316,665 元/年(情境 1)及 49,240,738 元/年(情境 2)。如以有效營運日數 330 天/年，換算為單位處理量之折舊費用，則分別為 448 元/噸 (情境 1) 及 497 元/噸 (情境 2)。

(3) 操作維護費

a. 維護費

經參考焚化廠實廠經驗，機電機電設備及土建設施之維護費分別以建設費之 3.0%及 0.5%計算，則合計維護費分別為 16,875,000 元/年 (情境 1) 及 18,750,000 元/年 (情境 2)。

b. 人事費

如以前述管理人員 10 人及操作維護人員 40 人 (分 4 班次操作)，兩者薪資分別為 45,000 元/月/人及 35,000 元/月/人，以及 14.5 個月/年及 13 個月/年敘薪，則人事費分別為 24,725,000 元/年 (情境 1) 及 24,725,000 元/年 (情境 2)。

c. 化學藥劑費

空氣污染防制設備操作須使用尿素 ($CO(NH_2)_2$)、消石灰 ($Ca(OH)_2$) 及 PAC 活性碳，該等化學藥劑單價以 9 元/kg、6 元/kg 及 15 元/kg 計算，乘以質能平衡求得之使用量，可知化學藥劑費分別為 17,057,232 元/年 (情境 1) 及 13,848,632 元/年 (情境 2)。

d. 用水費及用電費

雞糞焚化發電示範廠之用水包括製程用水、清洗用水及生活用水三部分。製程用水指 SNCR 尿素脫硝技術調藥用水、鍋爐補充水及噴水冷卻塔用水等，其用水量詳見表 10 與 11；清洗用水以 50 m^3/天計算；生活用水則以 200 L/人/天乘以總人數 (50 人)計算。如單位水價以 11 元/m^3 計算，則用水費合計分別為 416,065 元/年(情境 1)及 469,300 元/年 (情境 2)。

另因雞糞焚化發電示範廠正常運轉時，其需用電力 (約僅佔總發電量之 20%)可由廠內發電量支應，多餘電力則透過輸配線路饋送予台電公司，故僅於每年停機維修期間須外購電力，其用電費概估約 30 萬元/年 (情境 1、2)。

e. 操作維護費總計

前述四項操作維護費合計分別為 59,373,296 元/年(情境 1)及 58,092,931 元/年(情境 2)，如再計入保險費 (以 0.05%計)、管理費 (以 10%計) 及利稅(以 5%計)，操作維護費總計分別為 68,308,978 元/年(情境 1)及 66,835,918 元/年(情境 2)，換算為單位處理量之操作維護費用，則分別為 690 元/噸(情境 1)及 675 元/噸(情境 2)。

(4) 購料費

購料費用初步評估應包括購料(含收集)、運輸及儲存三部分費用。其中購料單價暫以 600 元/噸估算，則計算購料費用為 59,400,000 元/年(情境 1、2)。惟倘若未來示範廠採共同處理體系方式操作營運，若僅處理本身或股東同業養雞場之雞糞，或得不計購料費用。

運輸費用部分，配合情境 1 及情境 2 之假設，暫以單程運距 10 公里及參考廢棄物之運輸單價 3 元/噸/公里，則計算運輸費用為 5,940,000 元/年(情境 1、2)。

至於儲存費用部分，因配合雞隻之飼養及收成模式，雞糞並非每日清理及運輸。以蛋雞為例，通常約累積 1~2 個月始清理雞舍刮除下方空間出糞；至於肉雞則係於該批仔雞飼養成長(洋雞約 6 週、土雞約 12 週)後，配合出售時一併清理雞舍，將雞糞(含墊料)刮除出糞。惟焚化爐為 24 小時連續操作運轉，故須有穩定儲存設(措)施以確保進料雞糞連續供應不致斷料，故除於焚化發電示範廠內設置必要之雞糞儲存空間(儲坑)外，亦慮及於養雞場為配合供料需要可能增加之場內儲存(抑或於場外另租儲倉暫存)支出，爰暫以 3 元/噸/日之儲存單價及平均 30 日之儲存時間，概估儲存費用為 8,910,000 元/年(情境 1、2)。

故三者合計 74,250,000 元/年，換算為單位處理量之購料費用，則為 750 元/噸(情境 1、2)。

(5) 收入

焚化發電示範廠之收入來自能資源之再利用，包括售電收入及售灰(肥料)收入。其中售電收入方面，由質能平衡試算之發電量，經扣除廠內自用電量(以 20%計)，並以售電價格 2 元/度計算，分別求得售電收入為 66,655,371 元/年(情境 1)及 91,974,327 元/年(情境 2)，換算為單位處理量之售電收入，則分別為 673 元/噸(情境 1)及 929 元/噸(情境 2)。

售灰(肥料)收入方面，因雞隻等家禽之消化效率甚差 (僅約 3~4 成)，故雞糞內殘留養份頗高，且其組成與雞隻原食入之飼料組成高度相關，而雞糞經焚化後之燃灰，除有機物組成破壞分解外，其餘無機物元素組成多仍殘留，故由國外相關文獻資料顯示(詳見之後分析說明)，應得以作為化學肥料之無機性摻配原料再利用。故由質能平衡試算之燃灰產生量，並以單位售價 2,500 元/噸計算，分別求得售灰 (肥料) 收入為 42,694,140 元/年 (情境 1) 及 28,875,618 元/年 (情境 2)，換算為單位處理量之售灰 (肥料) 收入，則分別為 431 元/噸 (情境 1) 及 292 元/噸 (情境 2)。

故兩者合計分別為 109,349,511 元/年 (情境 1) 及 120,849,944 元/年 (情境 2)，換算為單位處理量之收入，則分別為 1,105 元/噸 (情境 1) 及 1,221 元/噸 (情境 2)。

4. 蒸汽再利用與售電效益及減碳效益評估

(1) 蒸汽再利用與售電效益評估

a. 雞糞焚化後以發電再利用為主，蒸汽再利用僅限廠內少量使用

按由第 3.1 節之分析說明，可知採行模式二－熱電共生利用模式，將雞糞焚化廢氣經熱交換產生之高溫蒸汽先進行廠外再利用，剩餘蒸汽再用於發電之構想，因受限於廠外之蒸汽需求端(化製廠)用量有限，且蒸汽輸送管線不宜過長以免熱能喪失，以及蒸汽輸送管線埋設與焚化發電設施設置用地取得問題等諸多限制，無論經濟效益及可行性均不高，難有成案機會，故建議以方案一－全量焚化發電模式，雞糞焚化廢氣經熱交換產生之高溫蒸汽，除少部分廠內自用(例如助燃空氣預熱等，約佔 20%)外，其餘全數經蒸汽渦輪發電機轉換為電力再利用，較為可行。

b. 雞糞焚化發電之售電效益評估

雞糞焚化發電之售電效益依據表 10 與 11 試算結果分析如下：

情境 1：

5,260kw·h/h×24h/d×330d/y×(1-20%)=33,327,360 kw·h/y

情境 2：

7,258kw·h/h×24h/d×330d/y×(1-20%)=45,986,688 kw·h/y

亦即於情境 1 及情境 2 時，經扣除約 20%之廠內自用量外，雞糞焚化之發電量，每年分別有 33,327,360 度及 45,986,688 度電可出售予台電公司。

c. 雞糞焚化發電之售電適用之躉購費率及售電收入探討

至於售電價格方面，按依據「再生能源發展條例」相關規定，雞糞用於焚化發電，應可認定為「再生能源」之「生質能」，則其再生能源發電設備產出之電能，似應得以適用經濟部公告較優惠之再生能源發電設備之躉購費率 (詳見表 12) 2.8240 元/度 (再生能源類別為廢棄物)。

惟經查「再生能源發展條例」第三條第九項再生能源發電設備定義：「指除非川流式水力及直接燃燒廢棄物之發電設備外，申請中央主管機關認定，符合依第四條第三項所定辦法規定之發電設備。」雞糞若採直接焚化發電，其發電設備不屬於再生能源發電設備。

另由「再生能源發電設備設置管理辦法」第三條及第四條規定，再生能源發電設備中之「生質能發電設備」，係指「利用農林植物、沼氣或經處理之有機廢棄物作為料源，轉換為電能之發電設備。」其定義應係指如厭氧醱酵產生沼氣等之發電設備，顯然不包括焚化發電設備。至於「廢棄物發電設備」，則係指「利用一般廢棄物或一般事業廢棄物，經處理製成較直接燃燒可有效減少污染及提升熱值之燃料作為料源，轉換為電能且發電效率達百分之二十五以上之發電設備。」，雖然包括如雞糞等廢棄物之焚化發電設備，但卻規定於焚化前須先經處理 (例如製成 RDF 等) 以提升發電效率，則雞糞直接焚化發電設備亦不適用。

故由前述評析可知，雞糞雖可視為「生質物」，雞糞用於焚化發電亦可認定為「再生能源」中之「生質能」，然如欲適用經濟部公告較優惠之再生能源發電設備之躉購費率，雞糞須採厭氧醱酵產生沼氣等之發電方式，其發電設備始得視為再生能源發電設備中之「生質能發電設備」。如採焚化時則須於焚化前先經如製成 RDF(Refuse Derived Fuel，垃圾衍生燃料)等必要之前處理，其發電設備始得視為再生能源發電設備中之「廢棄物發電設備」，所發電力始得適用前開經濟部公告再生能源發電設備躉購費率 2.8240 元/度。

表 12. 經濟部公告 102 年再生能源(太陽光電除外)發電設備電能躉購費率

再生能源類別	分類	裝置容量級距	躉購費率(元/度)
風力	陸域	1 瓩以上不及 10 瓩	7.3562
		10 瓩以上*	2.6258
	離岸	無區分	5.5626
川流式水力	無區分	無區分	2.4652
地熱能	無區分	無區分	4.8039
生質能	無厭氧消化設備	無區分	2.4652
	有厭氧消化設備		2.8014
廢棄物	無區分	無區分	2.8240
其他	無區分	無區分	2.4652

* 未加裝低電壓持續運轉能力(LVRT)者，躉購費率為 2.5924 元/度。

惟因雞糞本身之性質即已呈粉體狀態，且 LHV 熱值甚高，於實務上適合採流動床式焚化爐直接焚化處理，並無須如其他能源密度較低之廢棄物 (例如生活垃圾等)，必須先製成 RDF 以提高焚化時能源密度之必要，故以此研判雞糞焚化發電示範廠所發電力，將無法適用前述再生能源發電設備之躉購費率。

故經參酌 101 年度全國 24 座運轉中垃圾焚化廠操作營運申報資料統計彙整結果，以其合計售電所得與售電量之比值 (4,550,039,017 元/2,346,993,385 度≒1.9387 元/度)，概取雞糞發電之售電費率為 2.0 元/度，分別求得情境 1 及情境 2 之售電收入為 66,655,371 元/年及 91,974,327 元/年，如換算為單位處理量之售電收入，則情境 1 及情境 2 分別為 673 元/噸及 929 元/噸。

(2) 減碳效益評估

承前所述，如雞糞可視為「生質物」，以及雞糞用於焚化發電可認定為「再生能源」之「生質能」前提下，則雞糞焚化之排碳應屬於「碳中性」，亦即其排碳量應為「零」。

至於因雞糞焚化發電產出之「淨輸出電力」(即扣除廠內自用量之售電量)，得折抵台電公司之發電排碳量，亦即為「負」碳排放。依據經濟部能源局公告之 101 年度我國電力排放係數 (1 kWh=0.532 kg CO_2e)，分別計算於情境 1 及情境 2 時，每年得折抵台電公司發電之排碳量如下：

情境 1：

33,327,360 kWh/yr × 0.532 kg CO_2e/kWh=17,730,155 kg CO_2e

情境 2：

45,986,688 kWh/yr × 0.532 kg CO_2e/kWh=24,464,918 kg CO_2e

亦即於情境 1 及情境 2 時，雞糞焚化發電產出之淨輸出電力，每年分別可折抵台電公司發電之排碳量為 17,730,155 及 24,464,918 kg CO_2e/yr。

三、雞糞能源化設施(熱電共生利用模式)規劃

承前述第 3.1 節說明，模式二 (熱電共生利用模式) 雖經評估後與模式一 (全量焚化發電模式)差異不大而建議暫緩採行，惟為完整瞭解計，本計畫仍針對本模式進行如下規劃，以瞭解其與前述模式一 (全量焚化發電模式) 間之差別。

經初擬 1 座設置容量 300 噸/日之雞糞焚化熱電共生廠處理流程暨主要功能參數如圖 5 所示，假定其設置於某具有蒸汽需求之工廠內，以便其雞糞焚化後經廢熱回收鍋爐產生之高溫蒸汽能就近供應該廠使用。至於進廠雞糞量假定肉雞糞與蛋雞糞為 2：1，其餘試算條件均假設與第 3.2 節模式一 (全量焚化發電模式)，則經質能平衡及成本效益分析試算後，彙整如表 13 所示。

由表中可知，模式二 (熱電共生利用模式) 因部分蒸汽直接抽取供蒸汽需求廠使用緣故，經與雞糞進料組成較類近之表 11 模式一 (全量焚化發電模式) 之情境 2 (肉雞糞

為主) 相比較，其供蒸汽渦輪發電機發電之出力相對較小，連帶其售電收入亦因應減少；惟因此減少蒸汽需求廠為產生高溫蒸汽之支出。

經綜合評析兩者之差異，模式二 (熱電共生利用模式) 之收入項 (1,182 元/噸) 略小於模式一 (全量焚化發電模式) 之情境 2 (1,221 元/噸)，支出項 (507 元/噸+694 元/噸+870 元/噸=2,071 元/噸) 則略大於模式一 (全量焚化發電模式) 之情境 2 (497 元/噸+675 元/噸+750 元/噸=1,922 元/噸)。顯示如就經濟效益而言，模式一 (全量焚化發電模式) 仍略優於模式二。

四、雞糞能源化設施(委託垃圾焚化廠焚化發電模式)規劃

1. 垃圾焚化廠餘裕處理量及雞糞產生量探討

針對雞糞採行模式三 (委託垃圾焚化廠焚化發電模式) 進行再利用之規劃，首要之務為瞭解目前全國垃圾焚化廠之餘裕量。彙整 101 年度全國垃圾焚化廠廢棄物處理情形統計，可知全國合計垃圾焚化廠餘裕處理量約 2,090 噸/日，如依據地區分布檢視之，則由表 14 可發現主要餘裕量集中於北部及南部地區，合計高達九成，中部及東部地區之餘裕量則甚有限。

至於全國雞糞產量及其分布情形，則可由表 1 各縣市飼養雞隻數量，乘以平均雞糞產生量 (以 0.1 公斤/隻·日計算) 求得，並彙整如表 14 所示。由表中可知全國雞糞量約 9,146 噸/日，主要集中於中部及南部地區，合計高達九成，北部及東部地區產量較有限。

由前述數據可知全國垃圾焚化廠之餘裕量 (2,090 噸/日) 實遠小於全國雞糞量 (9,146 噸/日)，故如欲採行模式三處理雞糞，亦僅限於焚化廠餘裕量大於雞糞量之地區或縣(市)，由表 14 知僅北部地區垃圾焚化廠餘裕量大於雞糞量。

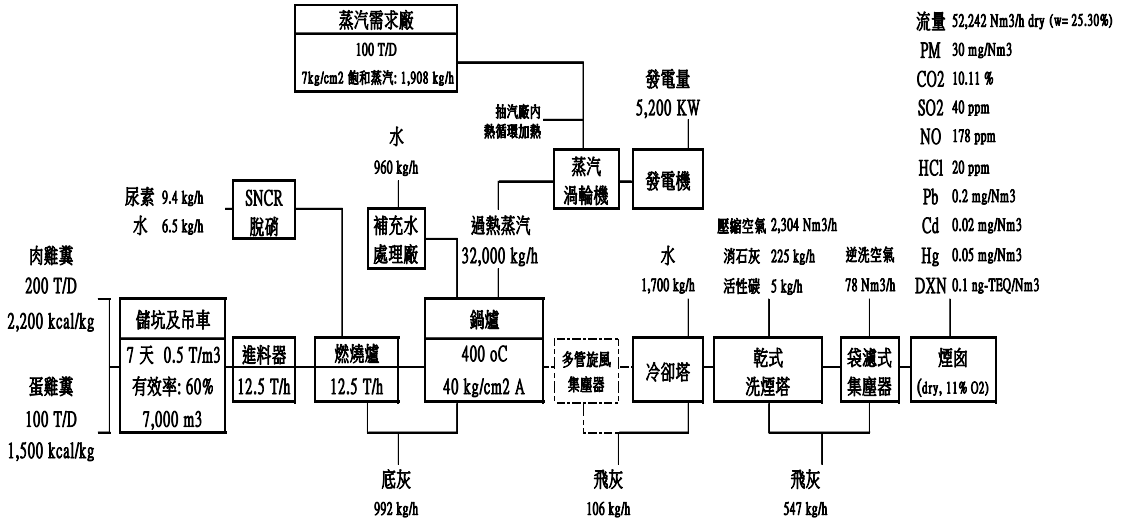


圖 5. 雞糞焚化熱電共生廠(300TPD)處理流程暨主要功能參數

表 13. 雞糞焚化熱電共生廠建設費用及年操作維護費用概算表

項目		肉雞糞	蛋雞糞	其他生質物	合計	說明		
焚化發電設施基本資料	數量(噸/日)	200	100		300			
	LHV 熱值(kcal/kg)	2,200	1,500		1,967			
	儲存與進料	儲坑及吊車抓斗						
	燃燒爐	氣泡式流動床, 12,500 kg/h, 24h/d						
		SNCR 脫硝				尿素用量 9.42 kg/h		9 元/kg
						用水量 6.46 kg/h		11 元/m^3
	鍋爐	直立式						
	出口過熱蒸汽	溫度	400℃			蒸汽量 3%補充水量 960 kg/h		11 元/m^3
		壓力	40 kg/cm^2			蒸汽需求廠消耗蒸汽量 1,900 kg/h		
		產量	約 32,000 kg/h			小計 2,860 kg/h		
	蒸汽渦輪發電機出力	約 5,200 kwh/h				蒸汽需求廠處理量(100 T/D)、燃油消耗(30 l/T)、燃油熱量(9,200 kcal/l)、飽和蒸汽條件(7 kg/cm^2)、管線損失 5%(廠內用電量約 20%，101 年電力排放係數 0.532 kg CO_{2e}/KWH)		
	空污防制設備	噴霧冷卻塔/多管旋風集塵器				需水量約 1,700 kg/h		11 元/m^3
		乾式洗煙塔				$Ca(OH)_2$ 用量	約 225 kg/h	6.0 元/kg
						PAC 用量	約 5 kg/h	15 元/kg
		袋濾式集塵器				濾布面積	約 1,300 m^2	
		排放廢氣濃度(dry, 11%O_2)				煙囪出口排放廢氣量 約 51,000 Nm3/h 或 62,000 kg/h, wet, 4.4%O2 CO2 含量 10.39%或 0.8311 kgCO2/kg		
		PM	30 mg/Nm^3	PCDD/F	0.1 ng TEQ/Nm^3			
		SOx	40 ppm	Pb	0.2 mg/Nm^3			
		NOx	180 ppm	Cd	0.02 mg/Nm^3			
		HCl	20 ppm	Hg	0.05 mg/Nm^3			
	燃灰	自燃燒室及鍋爐之底灰量約 992 kg/h				P_2O_5 約 15%	As 約 90 mg/kg	需符合適用之肥料標準
		自冷卻塔之飛灰量約 106 kg/h				K_2O 約 21%	Cu 約 260 mg/kg	
		自袋濾式集塵器之飛灰量(含反應物及未反應物)約 547 kg/h				CaO 約 26%	Mn 約 2,600 mg/kg	
		小計約 1,645 kg/h					Zn 約 1,700 mg/kg	
	人事	管理人員			10 人	薪資 45,000 元/月/人		
		4 班次操作維護人員			40 人	薪資 35,000 元/月/人		
		小計			50 人			
初設投資	建設費	機電設備			612,000,000 元	占 80%	255 萬元/TPD	攤提壽命 20 年
		土建設備			153,000,000 元	占 20%		攤提壽命 40 年
		土地			0 元	約 1 公頃	約 1,500 元/m^2	若設於蒸汽需求廠既有用地內，得暫不計購地費用
		小計			765,000,000 元			
	攤提折舊費	機電折舊			43,060,979 元/年	攤提年金係數 0.07036		折現率 3.5%
		土建折舊			7,164,574 元/年	攤提年金係數 0.04683		折現率 3.5%
		小計			50,225,553 元/年			
					507 元/噸	營運日數 330 日/年		
操作維護費	維護費	機電維護			18,360,000 元/年	建設費之 3.00%		
		土建維護			765,000 元/年	建設費之 0.50%		
		小計			19,125,000 元/年			
	人事費	管理人員			6,525,000 元/年	14.5 個月/年		
		4 班次操作維護人員			18,200,000 元/年	13.0 個月/年		
		小計			24,725,000 元/年			
	化學藥劑	$CO(NH_2)_2$			671,312 元/年			
		$Ca(OH)_2$			10,692,000 元/年			
		PAC			594,000 元/年			
		其他			3,000,000 元/年			
		小計			14,957,312 元/年			
	用水費	製程用水			397,830 元/年			
		清洗用水			181,500 元/年	50 m3/d		
		生活用水			40,150 元/年	200 l/人/天		
		小計			619,480 元/年			
	用電費(停機維修期間外購電力)				300,000 元/年			
	以上合計				59,726,792 元/年			
					603 元/噸			
	保險費				29,863 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 0.05%		
	管理費				5,972,679 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 10%		
	利稅				2,986,340 元/年	以上合計(不含保險、管理費)之 5%		
	總計				68,715,674 元/年			
					694 元/噸			
購料費	購料費用(含收集)				59,400,000 元/年	600 元/T	若僅處理本身或股東同業養雞場之雞糞(如同採共同聯合體系)，得暫不計購料費用	
	運輸費用				17,820,000 元/年	3.0 元/T/km	單程 30 km	
	儲存費用				8,910,000 元/年	3 元/T/日	平均儲存 30 日	
	合計				86,130,000 元/年			
					870 元/噸			
收入	售電收入				65,894,400 元/年	廠內自用電力 20%	售電費 2 元/度	
					666 元/噸			
	售灰(肥料)收入				32,571,000 元/年	2,500 元/噸	是否具肥料收入及單價高低，與適用肥料品目之法規及市場有關	
					329 元/噸			
	售蒸汽需求廠蒸汽收入				18,513,000 元/年	以蒸汽需求廠燃油量(100T/D x 330 D/年 x 30 l/T)支出(22 元/l)之 85 折計價		
					187 元/噸			
	合計				116,978,400 元/年			
					1,182 元/噸			

2. 雞糞委託垃圾焚化廠處理之成本效益評析

經比照前述模式一 (全量發電模式) 及模式二 (熱電共生利用模式) 之評估方式，進行模式三 (委託垃圾焚化廠焚化發電模式) 之成本效益評析 (表 15)。表 15 亦比照模式一及模式二之假設，以 300 噸/日雞糞量為例，且肉雞糞與蛋雞糞數量為 2：1。

表 14. 各地區焚化廠餘裕量與雞糞量之比較

地區別	焚化廠餘裕量(A) (噸/日)		雞糞量(B) (噸/日)(註 1)		差異量(A-B) (噸/日)
北部地區(苗栗以北)	1,116	53.4%	632	6.9%	484
中部地區(台中~嘉義)	205	9.8%	4,969	54.3%	-4,764
南部地區(台南以南)	765	36.6%	3,256	35.6%	-2,491
東部地區(宜蘭~台東)	4	0.2%	289	3.2%	-285
合計	2,090	100%	9,146	100%	-7,056

註 1：雞糞量假設雞糞產生率為 0.1 公斤/日·隻。

表 15. 雞糞委託焚化廠焚化發電模式之成本效益評析

項目		肉雞糞	蛋雞糞	合計	說明	
基本資料	數量(噸/日)	200	100	300		
	LHV 熱值(kcal/kg)	2,200	1,500	1,967		
支出 (元/日)	購料費用(含收集)	-	-	-	600 元/T	若以廢棄物型式交付處理，得不計購料費用；另若屬於具價值之資材，則應反應其另行販售之收入(機會成本)
	運輸費用	36,000	18,000	54,000	3.0 元/T/km	單程約 30km
	儲存費用	18,000	9,000	27,000	3 元/T/日	平均儲存 30 日
	焚化廠進廠接收處理費(tipping fee)	400,000	200,000	600,000	2,000 元/T	
	小計	454,000	227,000	681,000		
		2,270 元/T	2,270 元/T	2,270 元/T		
潛在收入 (元/日) (註 2)	售電(註 1)	142,350	71,175	213,525	365 度/T	2 元/度
	販售灰	-	-	-	因參雜屬有害之垃圾焚化飛灰，不具肥料價值，故無收入	
	小計	142,350	71,175	213,525		
		712 元/T	712 元/T	712 元/T		

註 1 由於雞糞之熱值與目前垃圾焚化廠之進廠垃圾類近(約 2000kcal/kg)，故單位售電量及單位電價直接參考 101 年度 24 座焚化廠之全年平均營運資料。

註 2 垃圾焚化廠屬於廢棄物處理行業，無論接收的廢棄物是否具熱值得進行能源回收，因焚化廠營運單位尚須支出分攤之維修、藥品、燃灰清理、人事、管理等費用，故並不會額外再考慮售電收益(或多少已經反映在 tipping fee 內)，一律以進廠接收處理費計價；因此，實務上「模式三」並不會發生潛在收入，表內數字僅供參考。

因垃圾焚化廠屬於廢棄物處理行業，無論接收的廢棄物是否具熱值得進行能源回收，因焚化廠營運單位尚須支出分攤之維修、藥品、燃灰清理、人事、管理等費用，故並不會額外再考慮售電收益 (或多少已經反映在其進廠接收處理費內)，故一律以進廠接收處理費計價，實務上並不會發生潛在收入，故表中售電收入之估算僅供參考。

此外，因雞糞與廢棄物混合焚化處理後產出之燃灰，亦因混雜垃圾焚化後濃縮產生之重金屬及戴奧辛等有害物質成份，必須依據相關環保法令規定處分，已無法再進行肥料化再利用。

故如將雞糞進廠接收處理費再加計運輸及儲存費用，雞糞委託焚化處理總支出相當於 2,270 元/噸，因毫無任何收益，故僅得視為當其他資源化再利用方式無法解決雞糞去化問題時，應急處理之備案。

五、雞糞能源化設施設置地點建議

針對雞糞能源化設施(焚化發電廠)設置地點之規劃，本計畫經透過農委會建置之「台灣農地資訊服務網」中之「台灣農地資訊系統」(http://talis.coa.gov.tw/talis/MainPageIMS.asp)，分別就彰化縣芳苑鄉 (情境 1) 以及雲林縣崙背鄉、二崙鄉及虎尾鎮 (情境 2)，進行線上養雞場地理位置分布情形查詢，並以各該轄區範圍內，各養雞場之飼養雞隻數為加權因子，經加權計算後，以大多數養雞場距離最短，日後清運費用最低之原則，規劃建議可供設置雞糞能源化設施 (焚化發電廠)之適當區位。

開設置地點建議區位，僅為就養雞場分布位置及其飼養雞隻數之加權計算後之規劃建議，日後若農委會確定設置雞糞能源化設施 (焚化發電廠) 時，仍應實地進行現地勘查，瞭解實際環境空間分布、地形地貌、交通狀況、及是否具有環境敏感區位等條件後，再進行較為詳盡之設廠地點選址規劃。

區域性雞糞燃燒發電之經濟效益情境分析

一個商業模式的規劃需具備投資獲利性才有實行的可能，於此，商業模式將分成三大部分來做探討區域性畜禽糞燃燒發電之獲利性：原料供給面、產品收益面、投資營運面。

一、情境設定

1. 原料供給面

首先在原料供給面假設出三種可能情境進行模擬：

a. 直接向雞農購買原料 (雞糞) 作為燃燒發電之用。

b. 因環境衛生意識日益高漲，養雞戶清理出之雞糞氣味問題常使附近居民不滿，所以部分雞農同意若是可以協助其清理雞舍雞糞工作，則無償提供雞糞作為發電廠

原料。

c. 若因相關法令之施行 (如：禁止直接使用乾雞糞於農地等)，則可無償取養雞戶之雞糞。

2. 產品收益面

產品的收益則有兩個來源，分別為售電收益以及售灰 (肥料) 收益，在此假設兩種情境進行模擬：

a. 此種燃燒發電方式為直接以雞糞當作原料來燃燒，故只能以躉購價格 2 元/度來計算。

b. 若相關法規能使此種燃燒發電方式，適用再生能源發電躉購費率之廢棄物類別，則可以躉購價格 2.8240 元/度來計算。

3. 投資營運面

先列出每年皆需花費的營運成本，而關於初始設備之投資成本，則進行三種情境的模擬：

f.全由潛在投資者支付

g.政府補助 50%，其餘由潛在投資者支付

h.政府補助 70%，其餘由潛在投資者支付。

二、年收益表分析

首先，以年收益表的方式來作呈現，初始之設備費用需以年金折舊攤提法 (amortization of depreciation) 估算：年金折舊攤提法是為了把資本設備等一開始便投入的固定成本，以適當之折現率 (此設定為 5%) 及使用壽命 (分別設 20 年及 40 年) 為依據，攤提分配出固定成本於每期產生的折舊金額，此方式是為了合理表達廠商對於廠內設備所負擔的每年實際資本成本，必須對所購置之設備總支出作攤提折現步驟，方便於會計面向上的紀錄。

$K*[i(1+i)^n]/[(1+i)^n-1]$

三、投資報酬分析

接著，本研究的分析欲以常用於財務領域方面相關(如:股票、債券、基金等等)的投資報酬分析法及表格來作為投資可行性的評判依據：

1. 現金流量表(statement of cash flows)為會計上常用之報表，即將每一期所可能發生的所有成本及收益列出，好觀察出現金在各期的流入、流出情形。
2. 淨現值法(net present value, NPV)為一種用來表達各方案的整體淨效益之方式，將每一期所發生之現金流動以適當之折現率 (此設為 5%) 折算回當期來看，然後以各期折現之收益和減掉各期折現之成本和，大於零則表此方案具有投資可行性。

$$\sum_{t=0}^{n} R_t/(1+i)^t - \sum_{t=0}^{n} C_t/(1+i)^t$$

3. 內部報酬率(internal rate of return，IRR)為令各期收益折現和等於各期成本折現和的潛在報酬利率，若此求出之潛在報酬率大於該方案預設之適當報酬門檻(此設定為5%)，則表示該方案具有投資的可行性。

$$\sum_{t=0}^{n} R_t/(1+i^*)^t - \sum_{t=0}^{n} C_t/(1+i^*)^t = 0 \rightarrow i^*$$

4. 折現還本期間(discount payback period)為將各期發生之收益與支出全部折回以現值表達，再計算收益可抵消成本時所需耗費之時間，從而得知該投資方案得花多少時間方得以還本，可作為投資決策的判斷依據。

四、彰化縣與雲林縣設置雞糞燃燒發電廠之經濟效益情境分析結果

1. 彰化縣情境分析結果

(1) 情境 b-d-h，即以清理雞舍作為交換原料之代價，電力收購價格以 2 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%；然此情境下，實則政府初始設備之費用補貼 57% (critical point)以上即開始具有投資可行性。

(2) 情境 c-d-h，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%；然此情境下，實則政府初始設備之費用補貼 52% (critical point)以上即開始具有投資可行性。

(3) 情境 b-e-g，即以清理雞舍作為交換原料之代價，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 50%；然此情境下，實則政府初始設備之費用補貼 6% (critical point)以上即開始具有投資可行性。

(4) 情境 b-e-h，即以清理雞舍作為交換原料之代價，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%。

(5) 情境 c-e-g，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 50%；然此情境下，實則政府初始設備之費用補貼 1% (critical point)以上即開始具有投資可行性。

(6) 情境 c-e-h，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%。

2.雲林縣情境分析結果

(1) 情境 C-D-G，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%；然此情境下，實則政府初始設備費用補貼 35% (critical point)以上即開始具有投資可行性。

(2) 情境 C-D-H，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%。
(3) 情境 B-E-G，即以清理雞舍作為交換原料之代價，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 50%；然此情境下，實則政府初始設備補貼 34% (critical point)以上即開始具有投資可行性。
(4) 情境 B-E-H，即以清理雞舍作為交換原料之代價，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%。
(5) 情境 C-E-F，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備費用由投資者支付。
(6) 情境 C-E-G，即因相關法令之之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 50%。
(7) 情境 C-E-H，即因相關法令之施行可免支付購料費，電力收購價格以 2.824 元/度計算，且初始設備之費用由政府補助 70%。

雞糞溫室氣體產量評估

一、材料與方法

為瞭解簡易堆置法、堆置堆肥法及機械翻堆法等三種常見的蛋雞糞便的處理方式，所產生的溫室氣體量的差異，進行三種蛋雞糞處理過程中溫室氣體的採集與分析。

1. 堆肥場基本資料

本次研究簡易堆置法採樣地點為臺中市烏日區的 A 蛋雞場，其雞糞採用平鋪曝曬 10~14 天，每週以堆土機翻堆 1 次，為一般蛋雞場最常見的雞糞處理方式。堆置法採樣地點為彰化縣的 B 蛋雞場之附設堆肥場，進料頻度為每 2 天一次，每次進料約為 150,000 隻一天之蛋雞糞便量。B 場在蛋雞糞加入調整材後開始進行堆置發酵，堆置後每週以推土機翻堆 2 次，發酵時間為 18 週。機械翻堆法採樣地點為彰化縣的 C 蛋雞場之附設堆肥場。C 場為溝渠式發酵，在蛋雞糞加入調整材後進入溝渠中堆置，堆置後每週以自動化機械進行 1 次，發酵時間為 12 週。本次氣體採樣乃配合三種蛋雞糞處理流程，進行不同發酵期程間溫室氣體的採樣。

2. 氣體樣本收集與分析

(1)氣體樣本收集

參考楊 (1998) 及孫與賴 (1998) 水稻田溫室氣體採氣罩及黃 (2000) 堆肥採氣罩設計，改良成家禽糞尿處理過程中之採氣罩。採氣罩分為兩部分，一部分為採氣罩下方長寬各 30 公分，高 10 公分之鋼架，另一為長寬各 30 公分，高 40 公分之壓克力盒，內容配有一風扇、溫度計與採氣口。

堆肥氣體採集時，將採氣罩鋼架插入堆肥中 10 公分後，將四周以水封的方式後，再將壓克力盒置於採氣罩鋼架上，將穩定壓力的塑膠袋接上後等待 3 分鐘，採集 0 小時樣品。並等待塑膠袋微漲後(約 30 分鐘)，採集樣品並計錄氣體累積之時間。在採集氣體同時採集堆肥之樣品，進行水分、灰分之測定，以做為後續數值堆估。

(2)溫室氣體產量估算

樣品經由氣相色層分析儀所量測到的氣體濃度單位為 ppm，再經由公式(1)進行單位換算，將 ppm 轉換為 mg/m^3。再將採樣罩內的 0 分鐘與累計所採集之氣體樣品相減後，除上採樣時間與採氣罩體積，即可換算成單位時間所採集到氣體的重量(mg/hour)，再將每小時所採集到氣體的重量 (mg/hour) 乘上 24 小時，即為一日之堆肥單一柱狀體(採氣罩下體積)每日溫室氣體釋放重量 (mg/day；公式 2)。將採氣罩下方堆肥單一柱狀體每日溫室氣體釋放重量 (mg/day) 除以採氣罩下方堆肥乾重 (kg)，即可得到每日每公斤乾雞糞發酵後，釋放溫室氣體的釋放重量(mg/day/kg DM compost)。

依據該堆肥之水分及灰分含量，可推估採氣罩下方堆肥之雞隻數。堆肥單一柱狀體每日溫室氣體釋放重量 (mg/day) 除以採氣罩下方堆肥之雞隻數，即可得到每隻雞一日糞便量於受測當日之溫室氣體釋放重量 (mg/day/bird)。將每隻雞每日糞便發酵後釋放溫室氣體釋放重量 (mg/day/bird)，利用 Origin 6.0 (MicroCal) 統計軟體，求出雞隻一日糞便量在整個發酵處理所排放所之氣體總量。

$C = C_{ppm} \times M/V$……公式(1)

C：溫室氣體濃度(mg/m^3)

C_{ppm}：GC 所定量出的氣體濃度(ppm)

M：氣體分子量

V：氣體莫耳體積

$D = [(C_x - C_0)/V_c/T] \times 24$……公式(2)

D：堆肥單一柱狀體每日溫室氣體釋放重量(mg/day)

C_0：GC 所定量出的氣體濃度(mg/m^3)

C_x：GC 所定量出的氣體濃度(mg/m^3)

V_c：採氣罩體積(m^3)

T：採氣時間(h)

二、不同堆肥方式產生溫室氣體產量評估

考量堆置堆肥法、機械翻堆法及簡易堆置法三種製作堆肥之方式製作堆肥時所利

用能源產生的溫室氣體。簡易堆置法—每週翻堆 1 次，每次消耗約 10 公升柴油，每次翻堆量約 500 噸，翻堆機燃燒柴油每公升產生 2.606 公斤 CO_2，若以平均日曬 4 週計算，簡易堆肥法製作堆肥，每噸堆肥製成需產生二氧化碳 (1 次/週×10 公升/次×2.606 kg-CO_2e/500 噸) × 4 週 = 0.209 kg-CO_2e/噸。堆置堆肥法—每週平均翻堆 2 次，每次消耗約 10 公升柴油，每次翻堆量約 500 噸，若以翻堆機燃燒柴油每公升產生 2.606 公斤 CO_2 平均製程 18 週計算，以堆置堆肥法製作堆肥，每噸堆肥製成需產生二氧化碳 2 次/週×10 公升/次×2.606 kg-CO_2e/500 噸) × 18 週 = 1.876 kg-CO_2e/噸。機械翻堆法—通常每週翻堆一次，每次翻堆量約 250 噸，每次用電約 424 度，每度電約產生 0.62 公斤 CO_2e，製成期間共 12 週，每噸堆肥製程會產生二氧化碳當量為 424 kWh×0.62 kg-CO_2e/kWh/250 噸×12 週= 12.618 kg-CO_2e/噸。三種製作堆肥方式，所利用能源產生的溫室氣體以機械翻堆法產生的溫室氣體最多 (12.618 kg-CO_2e/噸)，簡易堆置法最少 (0.209 kg-CO_2e/噸)，雞糞僅為風乾並無腐熟。

總結得出每噸雞糞堆肥之溫室氣體產量，簡易堆置法、堆置堆肥法及機械翻堆法製作之堆肥每噸雞糞 (生雞糞，含水) 產生溫室氣體分別為 1.519、12.375 與 16.193 kg-CO_2e/噸。三種方式中雖以機械翻堆法製作產生的溫室氣體最多，但其主要來自使用機械所產生的二氧化碳。因此，若能降低機械的用電，必然可以減少溫室氣體產量。

結論

一、雞糞能資源化設施之規劃

本計畫模擬於彰化縣芳苑鄉 (情境 1，蛋雞糞為主) 及於雲林縣崙背鄉、二崙鄉及虎尾鎮三鄉鎮間 (情境 2，肉雞糞為主)，設置 1 座 300 噸/日雞糞焚化發電廠，分別就前述模式一及模式二，進行雞糞設計性質及處理流程設定、質量平衡試算及主設備功能設定。

雞糞經焚化爐 (氣泡式流動床) 焚化後廢氣先經鍋爐回收廢熱轉為電能，並經噴水冷卻降溫後，再經乾式洗煙塔及袋濾式集塵器處理至符合排放標準後經煙囪排放，並採 SNCR 技術進行排煙脫硝。設廠所需用地面積約 1 公頃，以供為焚化廠、行政管理及維修保養等功能分區配置使用。至於設廠地點，於情境 1 建議位於芳苑鄉功湖路草湖段、東至芳草路文津段、西側及南側至舊趙甲排水之間；於情境 2 建議位於崙背鄉靠近二崙鄉交界、台糖鐵路以北之間。

依據文獻資料顯示，焚化後燃灰 C 及 N 已大幅降低，組成以 P_2O_5 及 K_2O 為主，具作為磷、鉀肥再利用潛力，惟因同時濃縮凝集重金屬，故宜作為化學肥料之無機成分摻配原料，藉與其他料源混合稀釋降低重金屬含量，以符合農委會相關肥料品目規格要求。

售電效益方面，經試算情境 1 及情境 2 之售電效益分別約 3,333 萬度/年及 4599 萬度/年，售電收入約 6,665 萬元/年及 9,197 萬元/年。減碳效益方面，因焚化雞糞淨輸出電力得折抵台電公司發電排碳量則分別約 1,773 萬噸/年及 2,446 萬噸/年二氧化碳當量。

二、區域性雞糞燃燒發電之經濟效益情境分析

免購料費情形亦可於養雞戶成為該燃燒發電計畫之投資者時達成，即發電廠於政府補助一定金額後，投資者可由養雞戶、雞肉商、能源公司、電力公司及廢棄物清理業等可能之關係事業中，挑選二或三者來共同投資剩餘之初始設備費用，以及日後的共同營運成本。

政府相關部門可參考上述所歸納出具有投資可行性之結論，選擇其中最可能以法令或預算加以實現的情境，並藉由上述所設算出之設備補助額臨界值(critical point)為參考依據，斟酌可負擔能力以調整相關細額。

三、雞糞堆肥溫室氣體產量研究

針對三種常見的堆肥處理方式，機械堆法的堆肥熟成度為三種堆肥方法最高的處理方式，因此該方法所產生的溫室氣體也相對較少，但是以機械翻堆的過程中，使用機械所產生的二氧化碳為三種堆肥方法最多的處理方式。因此，若能降低機械的用電，必然可以減少溫室氣體產量。因此未來若將蛋雞糞進行堆肥發酵，可以機械翻堆法優先使用。堆置堆肥法因堆置的方式不同，也會使得堆肥熟成度不穩定，而長期處於厭氧狀態下的堆肥，也會產生大量的溫室氣體，如甲烷。因此，除非能定期進行翻堆以降低其厭氧的程度，否則除非有其必要性，較不建議以堆置堆肥法進行處理。最後，簡易堆置法雖然在堆置的過程中所產生的溫室氣體為三種堆肥方法中最低的方法，但是其雞糞堆肥熟成度低，若使用於農地的施肥，可能會在土壤內進行厭氧發酵，對農作物產生不良的影響。此外，厭氧發酵也會釋放出大量的溫室氣體。

誌謝

本計畫之完成承蒙農委會「建立區域性畜禽糞生質能發電模式之研究計畫」(計畫編號：102 農科-14.1.6-牧-U1)之經費補助，特此致謝。

引用文獻

孫世勤、廖明村，2013。『雞糞資源化 (燃燒發電廠) 相關設備細部規劃及資料收集結案報告』，中興工程顧問公司。

黃大駿、蔡政達、李昇儒、史崴元、王淑音，2013。不同蛋雞糞處理方式溫室氣體產生量之比較，嘉南藥理科技大學環境資源管理系。

徐世勳、蘇忠楨、許聖民、蕭為澤，2013。區域性畜禽糞燃燒發電之經濟效益情境分析研究報告，國立台灣大學農業經濟學系。

蘇忠楨，2008a。畜牧業沼氣生物脫硫系統開發及世界沼氣工廠市場評估，農業生技產業季刊，16: 60-72。

蘇忠楨，2008b。養豬場生質能源產業化及關鍵技術新思維，創新深耕：生技成果產業化季刊(微生物生技)，37-45 (2008/9)。

黃大駿，2000。台灣地區肉雞產業溫室氣體排放，中國文化大學 碩士論文。

農委會(行政院農業委員會) ，2008。禽畜糞堆肥製作及施用手冊。

農委會(行政院農業委員會) ，2013。http://www.coa.gov.tw/。

環保署(行政院環境保護署) ，2011。國家通訊，臺北市。

環保署(行政院環境保護署) ，2013。http://www.epa.gov.tw/。行政院環境保護署。

孫志鴻、賴朝明編，1998。畜牧溫室氣體測定講習會 論文暨講義集(二)實習操作，國立臺灣大學全球變遷研究中心，台北市。

楊盛行，1998。溫室氣體與農業生產，畜牧溫室氣體測定講習會 論文暨講義集(一) ，國立臺灣大學全球變遷研究中心，台北市，78-101。

魏國彥、許晃雄，1997。全球環境變遷導論，國立臺灣大學全球變遷研究中心。

行政院農業委員會，2013。『農委會統計及出版品-畜禽統計調查結果』，台北：行政院農業委員會。

行政院農業委員會，2013。『農委會統計及出版品-雞隻飼養場數及在養隻數』，台北：行政院農業委員會。

行政院經濟部能源局，2008。『永續能源政策綱領』，台北：經濟部能源局。

行政院經濟部能源局，2012。『2011 年能源統計年報』，台北：經濟部能源局。

行政院經濟部台灣電力公司，2013。「統計資料-歷年平均電價」，台北：經濟部。(http://203.69.131.46/upfile/file/statistical_data/avg_price.pdf)。

呂涵靜，2008。「台灣疏伐木生產酒精和電力之成本效益分析」，碩士論文，台灣大學森林環境暨資源學系。

余政達、楊明浩、李英裕、蔡宏達，2006。「地方再生能源之潛力與經濟評估」，『中華民國環境保護學會學刊』，29(1): 11-28。

藤間雅幸，2010。「日本宮崎縣互利共生的肉雞產業與雞糞發電介紹」，『畜產專論』，8 期：13-19。

FAO. 2013, http://www.fao.org. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

J. Hough. 1997. Global Warming. Lion Publishing Inc., Oxford.

J. R.V. Flora and C. Riahi-Nezhad. 2006. Final Report of Availability of Poultry Manure as a Potential Bio-fuel Feedstock for Energy Production (URL: http://www.scbiomass.org/Resources/Documents/Poultry%20Litter%20Final%20Report.pdf)A. Whitting. 2007. Availability of Poultry Litter as an Alternative Energy Feedstock: The Case of Mississippi. (URL: http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/34840/1/sp07wh01.pdf).

Poultry Litter-to-Energy: an Analysis of Economic Benefit and Greenhouse Gas Production Scenario

Jung-Jeng Su[1,5], Shih-Hsun Hsu[1], Shu-Yin Wang[2], Da-Ji Huang[3], Shih-King Sun[4], Ming-Tsun Liao[4], Wei-Tse Hsiao[1], Sheng-Ming Hsu[1], and Che-Jen Hsiao[1]

Abstract

The objectives of this project are focused on re-utilization technology of livestock animal manure for planning centralized poultry manure power plants and biogas plants as well as proposes optimal strategies for low carbon emission localized livestock resource re-utilization. Both power plant and biogas plant can make animal manure to electricity, renewable energy (e.g. biogas or bio-methane), and organic fertilizers. Poultry litters are mostly used in farms which centralize at some regions nowadays, therefore, developing regional re-utilization models with low carbon emission is well needed. This research integrates the results of the economic benefit scenario analysis of power generation from poultry litters combust of laying hens or broilers in Taiwan. Investment is worth only if the government subsidizes related equipment or the purchased price for electricity. Moreover, government also needs to revise the regulations about raw material supplication, to make it possible to obtain poultry litters in lower price or for free. This study also compares the greenhouse gases (GHG) emission of different manure management methods: simple fermentation (A), compost turned with bucket loader (B), and compost with automatic turner (C). Results showed that the manure form method C was well-fermented with lowest GHG emission. Although method C produces some GHG from automatic turner, method C is the prior manure management method applied if the mechanical electricity cost could be reduced.

Keywords: Scenario analysis, Investment feasibility, Subsidy, Greenhouse gas (GHG).

1 Dept. of Animal Science and Technology, National Taiwan University.

2 Graduate Institute of Biotechnology, Chinese Culture University.

3 Dept. of Environmental Resources Management, Chia Nan University of Pharmacy and Science.

4 Sinotech Engineering Consultants Ltd.

5 Corresponding Author, Email: jjsu@ntu.edu.tw ; Tel: 02-33664142.

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究：成果發表暨研討會論文集. 102 年度 / 王毓華, 呂秀英主編. -- 初版. -- 臺中市： 農委會農試所, 2014.12

面； 19*26 公分. -- (農業試驗所特刊；第 183 號)

ISBN 978-986-04-3853-6 (平裝)

1.農作物 2.農業經營 3.文集

434.207 103026584

編　　號：農業試驗所出版品 2014 年 006 號
書　　名：因應氣候變遷及糧食安全之農業創新研究—102 年度成果發表暨研討會論文集
發 行 人：陳駿季
編　　輯：王毓華、呂秀英
出版機關：行政院農業委員會農業試驗所
地　　址：臺中市霧峰區萬豐里中正路 189 號
網　　址：http://www.tari.gov.tw
電　　話：(04) 23302301
出版年月：2014 年 12 月
版　　次：初版
展售門市：1. 行政院農業委員會農業試驗所圖書館 (04)23317035
2. 國家書店 / 104 臺北市松江路 209 號 1 樓 (02)25180207
國家網路書店 http://www.govbooks.com.tw
3. 五南文化廣場 / 400 臺中市中山路 6 號 (04)22260330
定　　價：新台幣 350 元(平裝)
承 印 者：學安文化事業有限公司
地　　址：臺中市南區仁和二街 78 號
電　　話：(04) 22861600
ISBN 9789860438536 (平裝)
GPN 1010303083
版權所有、轉載須經本所同意

9 789860 438536
定價：新台幣 350 元（平裝）
GPN 1010303083