

財團法人中正農業科技社會公益基金會
一〇七年農業科技研究計畫成果研討會專刊

中華民國一〇七年六月二十七日於國立中興大學

黃裕益 主編



財團法人
中正農業科技社會公益基金會
國立中興大學生物產業機電工程學系

編印

中華民國一〇七年六月

財團法人中正農業科技社會公益基金會
107 年農業科技研究計畫成果研討會議程

一、研討會時間：中華民國 107 年 6 月 27 日(星期三)

二、研討會地點：國立中興大學生物產業機電工程大樓 一樓演講廳

三、議程：

09:00~09:30 報 到

09:30~10:00 開幕典禮：陳烟松董事長、陳樹群院長

10:00~12:00 專題報告

13:00~17:30 成果報告

時 間	題 目	演 講 人
第一節	專題報告	主持人： 李健全顧問
10:00~11:00	食品安全檢驗中心規劃設計研究 過程中我們學到甚麼？	李健全顧問 食品安全檢驗中心規劃設計研究小組
11:00~12:00	電漿制動活化水於農業上之創新應用	劉豫川教授 臺北醫學大學醫學系生物化學暨細胞分子生物學科
12:00~13:00	午 餐	
第二節	成果報告	主持人： 盛中德教授
13:00~13:30	奈米蠶絲蛋白之備製與利用	吳登楨副場長 行政院農業委員會苗栗區農業改良場
13:30~14:00	奈米蠶絲蛋白自動化靜電紡絲技術開發及應用	張興政教授 逢甲大學自動控制工程學系
14:00~14:30	開發一種具有抑制醣類消化的發酵豆乳	汪嵩遠助理教授 實踐大學食品營養與保健生技系
14:30~15:00	台灣檳榔殘留農藥檢測分析	陳翠瑤副教授 國立宜蘭大學食品科學系
15:00~15:30	茶 會	
第三節	成果報告	主持人：吳靖宙主任
15:30~16:00	以固定型網室設施生產紅龍果正期果之可行性評估	張哲嘉副教授 國立中興大學園藝學系
16:00~16:30	林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱開發 2.0	周立強教授 國立宜蘭大學生物機電工程學系
16:30~17:00	田媽媽農村餐廳體驗經濟模式之研究	劉瓊如教授 國立嘉義大學行銷與觀光管理學系
綜合討論 17:00~17:30	主持人：劉易昇執行長、李健全顧問、盛中德教授、吳靖宙主任	

目 錄

專題報告

食品安全檢驗中心規劃設計研究 過程中我們學到甚麼？	李健全	1
電漿制動活化水於農業上之創新應用	劉豫川	4

成果報告

奈米蠶絲蛋白之備製與利用	吳登楨	14
奈米蠶絲蛋白自動化靜電紡絲技術開發及應用	張興政	28
開發一種具有抑制醣類消化的發酵豆乳	汪嵩遠	41
台灣檳榔殘留農藥檢測分析	陳翠瑤	63
以固定型網室設施生產紅龍果正期果之可行性評估	張哲嘉	77
林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱開發 2.0	周立強	94
田媽媽農村餐廳體驗經濟模式之研究	劉瓊如	109

食品安全檢驗中心規劃設計研究

過程中我們學到甚麼？

李健全

中正農業科技社會公益基金會

食品安全檢驗中心規劃設計研究計畫 主持人

一. 專家的腦力激盪 --群體智慧(Crowd wisdom)

本計畫包含兩年兩階段的研究，從食安問題情境分析到檢驗中心實質規劃設計，集合國內食安領域頂尖學者專家，透過每月定期開會，進行資訊交流與腦力激盪，每一位專家代表的是個別專業領域的知識彙集，整個研究成果呈現的是一個群體智慧。

二. 食品安全 vs. 消費者安心

食品安全與消費者安心是兩個關係密切、卻歧異甚大的議題。食品安全基本上是一項科學議題，只有透過理性的科學檢測與數據分析，才能呈現事實真相。消費者安心是感性而直覺的，必須基於同理心，透過耐心的說明與溝通，才能建立消費者信心與安心。

三. 從 ppm 到 ppb 到 ppt --科技的極限

食安問題的複雜性除了源於各種食品加工技術的推陳出新，以及食品添加物的多樣化之外，檢驗儀器精準度與靈敏度的提昇更是問題的肇因。從早期百萬分之一(ppm) 到現在的十億分之一(ppb)，以至於未來可能的一兆分之一(ppt) 儀器檢測靈敏度的精進，都將使過去沒有被檢出的微量食品添加物無所遁形。

然而，我們必須思考：檢出遠低於安全標準的超微量成分的意義何在？

四. 零檢出的迷思

社會大眾普遍存在的一種食安思維是：一種不允許添加使用於食品的成分，其安全基準要求應是「零檢出」。然而，隨著檢測儀器的精進，現實環境中的零檢出將是一種理想上的陳義，而非實務上的可能。

五. 生化法 vs. 化學法 --效率與精準的兩難

食品安全把關的關鍵在於檢測流程的精準與效率。「精準」與「效率」猶如蹺蹺板的兩端，追求提高精準相對會降低效率。當前國內農藥檢測使用的「化學法」與「生化法」代表的就是「效率」與「精準」的兩極。也因而引發在食安檢測領域中長期不斷的爭論。

六. 偽陽性與偽陰性議題

生化法利用生物酵素免疫反應，可以快速篩檢出農產品中的農藥殘留。其優點是可在農產品在進入消費之前，攔截不合格的產品。然而，生物酵素免疫反應基本上是定性而非定量。面對各種農藥有不同容許殘留標準，生化法檢測結果常面臨「偽陽性」與「偽陰性」議題的挑戰。檢驗結果偽陽性偏高，往往造成合法可用食品的不當燬棄，相對的，檢驗結果偽陰性偏高，則易導致不合格食品成為漏網之魚。

七. 從農產品到食品 --食安戰場的擴大

早期的食安問題聚焦在初級農漁畜產品的藥物殘留領域，隨著食品加工產業的發展，食安範圍已擴大各種農產加工品及人造食品。農產品檢驗之基本要求是必須配合其易腐性及快速的消費週期，因而，快速篩檢是最大的挑戰。加工產品檢驗雖較不受時效性之約束，但是，各種食品添加物的多樣化，平添檢驗的難度，食安檢驗的戰場也不斷擴大。

八. 釣魚與網魚 --已知物質 vs. 未知物質的檢驗

在食品安全檢驗的作業中，對於法定項目的檢驗是基本的要求。由於這些特定標的物的檢驗方法及樣品比對技術均已確立並經公告，檢驗作業較為單純容易。猶如在特定水域中使用特殊釣具及釣餌釣魚，釣上的基本上就是我們要的魚，也就是食品檢驗中所謂的檢出。相對的要在某一食品中檢查是否含非法添加物，因為沒有特定標的，也無已知檢驗結果可供比對則難度甚高。就像用漁網在海中網魚，結果是複雜而難以預料，往往需要再做進一步的分析確認。

九. 檢驗能力的驗證(Certification)與認證(Accreditation)

食品製造商與消費者是食品檢驗的主要利害關係人(Stakeholders)，兩者之間對於某一食品是否安全的爭議，必須藉由具公信力之檢驗結果加以釐清。一個檢驗機構是否具客觀公正的檢驗能量，則必須經由具權威的機關或機構加以查核認證。驗證(Certification)與認證(Accreditation)構成食品安全檢查的基本架構。

所有驗證與認證的流程與相關設備與人力配置，必須建立在符合 ISO 的規範上，以利於進一步與國際接軌。

十. 進口食品安全把關 --進口國與出口國的邊境策略

由於國際間貿易業務日趨繁雜，食品也成為跨越國境的重要商品，進口食品對國人健康安全日益受到關切。食品出口國與食品進口國為減少貿易爭端，都會各自採取相關的邊境策略。重要的是這些邊境檢驗流程在正常作業下不應妨礙商品的通關。進出口國雙方如果事先取得協議，由出口方在國內由進口方認證的檢驗方式自行檢驗把關，則可加速進口國通關流程。而進口國亦可因而減輕進口檢驗的負荷。

十一. 毒品 --另類的食安議題

食品與毒品之間並沒有明顯的分際，有些食品因不合法添加或殘留有害物質而成為毒物。唯法定毒品的定義是對人體有害且會成癮的物質。近年來台灣社會吸食或注射毒品的情況日益嚴重，已成為危害社會治安最大的隱憂。食品與毒品檢驗在方法上是類同的，但在法律架構上卻有基本上的差異。如何調和此一差異，使國內食品檢驗的能量可兼及毒品檢驗領域，是未來相關政府部門應深入探討的議題。

十二. 對食安問題應有的認識

食品安全問題是一個現代政府所面臨的國家治理重大議題。如何有效處理食安問題，各界對此應有一些基本的認識：

- (一) 政府部門應制定完整的法律架構並強化執法能力。
- (二) 學術研究機構應加強檢驗方法與技術的研發
- (三) 民間應可加強檢驗能量建構的投資
- (四) 食品製造廠商應建立自主檢驗的能力，加強原料與產品的把關。
- (五) 消費者應以科學為依據，以理性的態度面對、處理食安爭議。

電漿制動活化水於農業上之創新應用

劉豫川教授

臺北醫學大學 醫學系 生物化學暨細胞分子生物學科

02-27361661~3155 liuyc@tmu.edu.tw

摘要

科學化飼料配方與雞舍環境的調控，為目前養雞研究精進的方向，然而進步空間有限；台灣的養雞場普遍採用高密度豢養方式，抗生素的使用為防治雞隻生病必要的手段，然而雞隻出售時抗生素的殘留問題是必須考慮的。台灣的養雞畜牧業為一高度成熟的產業，為了提高養雞業的經濟利益與兼顧消費者的健康，與考慮環境的永續生存，有待開發創新的策略，達成肉雞飼養之有效快速成長與蛋雞產蛋品質之有效提升，達到更健康與減少抗生素、藥物殘留問題，另可將此成功發展策略應用於其他農產業。最近我們團隊，將水經奈米金處理，奈米金經共振光照射下行局部表面電漿共振並釋放熱電子破壞氫鍵，發展出具還原性、抗氧化性、抑制發炎反應及高擴散速率之 pH 中性的電漿制動活化水 (plasmon-induced activated water, PIAW) 小分子團水，因此本計畫發展穩定、量產電漿活化水，創新應用於「養雞業」等相關畜牧業之突破性發展。目前已開發性質穩定、可量產 PIAW 水設備(每天 5 公噸以上)；與 RO 水比較，用 PIAW 可萃取更多茶葉中的兒茶素與何首烏中的 THSG 抗氧化成份；另外在廣泛的 40 種中草藥萃取實驗中，有 10 種中草藥的產率可增加 10% 以上，尤以天麻可增加 73%；在 DPPH 自由基去除效率，有 21 種 PIAW 萃取的中草藥可增加 10% 以上，尤以檳榔可增加 90%。與國立關西高中畜產保健科合作養蛋雞(海蘭雞)，實驗結果發現用 PIAW 水當飲用水的蛋雞所下的蛋(與一般飲用 RO 水組比較)，蛋白較有彈性，蛋黃較濃郁且無腥味，蛋黃中的維生素 A 與 E 分別增加了 9% 與 8%，且蛋白與蛋黃中皆含有微量的黃金(約 0.5 ppb)；另外以 PIAW 水當飲用水的蛋雞體重較重，對肉雞飼養上是一優勢。與國立曾文農工食品加工科養黑木耳，PIAW 水養的黑木耳(與一般 RO 水)冷凍乾燥萃取的粉末，較能去除 DPPH 自由基，更具抗氧化能力，且乾燥後的黑木耳含有微量的黃金(約 0.1 ppb)。餵食高脂食物老鼠增胖試驗顯示，與喝一般水的老鼠比較，喝電漿活化水的老鼠可更增重 20%，且膽固醇與血糖值明顯較低，另外脂肪肝的生成亦明顯降低。在同樣養份、照光下，以電漿活化水在大華中學進行水耕蔬菜的養植實驗，結果顯示蔬菜生長速度明顯快於以一般水培養的蔬菜，且蔬菜內亞硝酸鹽含量較低。在實驗室環境下進行 2 個月的水質穩定性實驗，發現在電漿活化水中不長青苔，而一般水中長滿青苔。已製造產生小分子團水之容器，並申請中華民國專利(第 106207831 號)。

關鍵詞：奈米金、電漿制動活化水、蛋雞、農業、健康

一、前言

(1) 背景說明

隨著育種技術精進，雞隻每日增重的性狀，屬於高遺傳率，只要經由選拔、留種...等科學技術，就可以育出增重快速之雞種；快速成長之品種，肉質較軟，主要是供需要較嫩肉之烹調，如：炸雞、炒雞丁、滷味、沙拉....之用。在台灣飼養環境，白肉雞飼養 35 天時平均體重為 1.87 公斤，也就達可出售之體重；至於肉質較有彈性之黃肉土雞，雞隻每日增重較慢，一般需 12~13 週才可達可出售之體重。對於快速增重的肉雞，結果因為生長速度與腳骨骼發育不成正比，反而造成無市場價值的缺陷雞。科學化飼料配方與雞舍環境的調控，為目前養雞研究精進的方向，然而進步空間有限；台灣的養雞場普遍採用高密度豢養方式，抗生素的使用為防治雞隻生病必要的手段，然而雞隻出售時抗生素的殘留問題是必須考慮的。

現今在科技跨領域的整合下，物理、化學基礎研究與應用、生物醫學科技、奈米科技與其他科技領域間的界限已高度模糊化，在「奈米科技」、「生物技術開發」與「轉譯醫學」跨領域結合的研究下，往往可在生技產業與生物醫學工程科技上有重大的突破性發展。在奈米尺度的化合物中，水是大家所熟悉的簡單物質，但由於我們對分子等級的瞭解還不夠完整，使得研究水在結構上的動態行為具有挑戰性。水（化學式： H_2O ）是由氫、氧兩種元素組成的無機物，氫與氧行成較強的共價鍵，而水分子之間可行成較弱的氫鍵，在常溫常壓下為無色無味的透明液體，為自然界及生物體中含量最多之物質，許多化學反應均在水的媒介下進行。最近在臺北醫學大學劉豫川教授團隊的努力下，創新結合以電化學法製造貴金屬奈米粒，及利用表面增強拉曼散射中貴金屬奈米粒之表面電漿激發所產生之熱電子效應，將水分子團中之氫鍵打斷以製造功能性且穩定之創新小分子團電漿制動活化水(plasmon-induced activated water, PI AW)，其性質有別於一般認知以強氫鍵作用之團聚水(bulk water)，此電漿活化水代謝快、對實驗老鼠增重快，對氧氣以及氯化鈉的溶解度高，可抑制發炎反應、去除自由基、降低氧化壓力，具有還原能力，蒸氣壓高，具有較高之化學位能，比熱明顯小於團聚水的 1 值，利用此小分子團水可更有效率且安全地應用於血液透析、抑制相關發炎反應，提高藥劑萃取與藥物吸收能力，預期可廣泛應用於生物技術、醫學、醫藥、醫美、生物製藥、物理及化學領域。相關論文已發表於 ACS Nano (2014, 8, 2704), Scientific Reports (2014, 4, 4425) 與 Analytical Chemistry (2015, 87, 808) 等國際頂尖期刊。本技術之穩定電漿活化水將可創新應用於「養雞業」等相關畜牧業之突破性發展，達成雞飼養之有效快速成長與減少抗生素殘留問題。另外初步實驗證實菇類菌種在電漿活化水中繁殖速度快，且植物在此水中溶氧量高、不易腐爛，預期可創新應用於水耕蔬菜與菇類養植產業，快速培養出高經濟價值的產品。

(2)前人研究

科學化飼料配方：台灣肉雞飼養使用黃豆、玉米配方，利用「電腦檢的」原理，於飼料中加上維他命、礦物質、熱能、胺基酸...等平衡計算，配出營養均衡之完全飼料，並以分 2-3 期方式，分別供應不同週齡雞隻，使達育種預定之目標。

恆溫飼養環境：使用密閉負壓原理之雞舍，雞舍內控溫於攝氏 27 度並保持恆溫，促使雞隻安靜，並發揮穩定遺傳性狀，依預定之目標成長。

維持雞隻健康：台灣的養雞場普遍採用高密度豢養方式，抗生素的使用為防治雞隻生病必要的手段。另外少數雞場為了市場需求，會施打賀爾蒙（或稱“生長激素”），會使得雞隻快速成長

水的特性研究：許多在水溶液中進行的反應，均視溶劑水為不真正參與反應的旁觀者，事實上具有獨特分子間氫鍵的水是會參與及促進反應的進行。文獻報導 9 個與 10 個團聚水的協同作用與 3D 結構的相關研究，水分子藉由氫鍵形成分子團，在幾個分子團的幾何結構中，小的水分子團的鍵結能佔總體的 20%，另外水的氫鍵結構會受到鄰近水分子的影響，且會影響其他物質於其中的溶解速率。

台灣的養雞畜牧業為一高度成熟的產業，為了提高養雞業的經濟利益與兼顧消費者的健康，與考慮環境的永續生存，因此有待開發創新的策略，達成肉雞飼養之有效快速成長與蛋雞產蛋品質之有效提升，達到更健康與減少抗生素、藥物殘留問題，另可將此成功發展策略應用於其他農產業，如水耕蔬菜與菇類養植產業。

(3)擬解決問題：

地球資源有限，尤其臺灣地區的水資源缺乏日益嚴重，為全世界缺水嚴重的地區之一，而雞肉為國人飲食中重要的肉類來源，相對於其他肉類來源，養雞過程中使用到的飲用水相對較少，符合環保需求，是非常值得在缺水嚴重的臺灣發展的畜產業。根據 101 年農委會統計資料顯示，台灣生產雞有 1 億多隻，包括生長速度較為快速的白肉雞與生長較慢的黃肉土雞。成熟的科學化飼料配方與雞舍環境的調控，為目前養雞研究精進的方向，然而再進步空間有限；另外台灣的養雞場普遍採用高密度豢養方式，抗生素等藥物的使用為防治雞隻生病必要的手段，然而雞隻抗生素的殘留會影響消費者的健康。另一方面由於食安問題的日益嚴重與養生觀念的興起，使得衛生的水耕蔬菜與養生的菇類養殖產業正欣欣向榮，但目前水耕蔬菜成本過高、還不具市場經濟價值，而菇類養植產業卻供不應求、急需擴大產能。

最近臺北醫學大學劉豫川教授團隊，將水經奈米金處理，奈米金經共振光照射下行局部表面電漿共振並釋放熱電子破壞氫鍵，發展出具還原性、抗氧化性、

抑制發炎反應及高擴散速率之 pH 中性的 PIAW 小分子團水，於細胞及老鼠測試中證實無毒性，因此進一步的用於血液透析之透析液中，證實明顯提高尿素氮及肌酸酐移除率。另外初步實驗發現此 PIAW 水化學位能高，比熱約為團聚水的 95%，在綠色能源方面亦可大幅增進電解水的析氫(或氧)反應與製造雙氧水的效率，在醫學方面可保護大鼠在睡眠剝奪實驗中肝臟的損傷，在物理方面能以 PIAW 水中水的能量與氫鍵強弱衍生觀念提供彭巴效應的新認知。一般生物的光合成反應可利用幾個可見光提供的光子能量進行水的氧化反應(電荷移轉)，而化學光催化反應僅能利用 1 個光子的激發能量，而劉教授創新的 PIAW 水是將可見光提供的光子能量儲存於室溫下 PIAW 水，再提供後續各種反應與程序所需的能量與電子，具有極大的應用潛力。另外在小鼠增重實驗中證實，飲用 PIAW 水，能更有效率將體重更增加約 20%。水草在 PIAW 水中成長較為快速且水質較為澄清、不易酸化；在霧峰菇類栽植場進行實驗亦發現，相較於一般水中養菌，在 PIAW 水中養菌菌數可增加 1 倍多。因此本計畫將發展穩定、量產電漿活化水，創新應用於「養雞業」等相關畜牧業之突破性發展，達成雞飼養之有效快速成長與減少抗生素殘留問題，另外創新應用於水耕蔬菜與菇類養植產業，快速培養出高經濟價值、健康的產品。

二、實驗方法

(一). 電漿活化水的製造

以製備之奈米貴金屬、奈米貴金屬複合粒子為基礎，接著將多孔性陶瓷顆粒含浸於奈米貴金屬或金屬/氧化物奈米複合物溶液中，使奈米粒吸附於陶瓷顆粒孔隙內，最後將其洗淨、烘乾、燒結後待用。亦可將陶瓷顆粒含浸於含有貴金屬奈米粒之前驅物(金屬鹽類)溶液，另外添加適量生物相容性佳之甲殼素中一段時間後取出，以自然風乾或加熱烘乾之方式將金屬鹽類吸附於陶瓷顆粒表面，接著將陶瓷顆粒置於高溫爐中加熱，將金屬鹽類還原成貴金屬奈米粒。電漿活化水之製備為將去離子水在 LED 共振光源照光條件下，流經奈米貴金屬/陶瓷顆粒表面，過濾收集後以拉曼光譜儀與其他儀器檢測電漿活化水之氫鍵降低程度。亦可將去離子水置於已製備之具奈米貴金屬基材表面或流經其上，以 LED 共振光源照光條件下製備電漿活化水；研究中亦以 D_2O 取代 H_2O 進行實驗。由於奈米金經共振光照射後能產生熱電子，此熱電子能破壞水分子間的氫鍵，減小水分子團的尺寸。因此，奈米金產生熱電子能力於水分子團尺寸佔有重要地位，在此部分將合成出不同型態的奈米金，利用穿透式電子顯微鏡觀察奈米金的形狀與粒徑、X-光繞射定義結晶型態及吸收光譜測定共振光波長，在適當波長之 LED 照射下，由拉曼光譜分析水的氫鍵降低程度差異，探討最適條件。另外，為了增加奈米金與水的反應面積，以微米級材料為載體亦是改良重點。

(二). 開發穩定電漿活化水之量產設備：

以現有實驗室功能性電漿活化水小型原型設備為基礎，開發穩定電漿活化水之量產設備，設計原水前處理系統，打造一台 3 公噸/天、連續式活化水製造系統，可用用於「養雞業」等相關畜牧業，雞隻的飲用水。

(三). 穩定電漿活化水之特性測試：

(1). 以拉曼光譜(Renishaw, Model RAMaker)評估電漿活化水的無氫鍵程度。

拉曼光譜實驗，光源採用 50 mW 之氰離子雷射，在 532 nm 的激發線，以垂直方式照射試樣品(置於密封樣品 cell)表面，每單位 1 mm 直徑的表面積約承受光強度 1 mW 的照射(亦可調整雷射光之強度，並以功率計紀錄強度)；掃描範圍由 2700 到 3900 cm^{-1} ，每次曝光累積時間為 1 s，掃描 30 次；訊號以電荷耦合元件(charge-coupled device, CCD)偵測，解析度為 1 cm^{-1} 。分峰是以高斯函數處理，先決定各 O-H stretching 成份峰的位置(3018, 3223, 3393, 3506 and 3624 cm^{-1})，不同樣品中各成份峰的 FWHM 均一樣為原則(234, 201, 176, 145 and 112 cm^{-1})。無氫鍵程度的定義為 3506 and 3624 cm^{-1} 兩成份峰的面積與全部成份峰面積的比值。

(2). 以核磁共振光譜儀(NMR, Bruker Fourier 300, 300 MHz ^1H resonance frequency)評估電漿活化水(H_2O 與 D_2O)的無氫鍵程度。實驗中比較小分子團水與去離子水(或未處理之 D_2O)在鬆弛時間(relaxation time, T_1)上的差異，測量時使用 10 秒 repetition time，並作 8 次的訊號平均。

(3). 測量電漿活化水(與去離子水比較)的各種性質與特性：密度、介電常數、比熱、表面張力、黏度、蒸汽壓、沸點與凝固點等等性質。接觸角小、滲透能力強(人工皮膚測試)、帶負電性、具還原能力、去除自由基、降低細胞氧化壓力(抑制 NO release)、溶質擴散系數大、極低電解質濃度時導電度高、電解質與氧氣溶解度大、與乙醇產生更之氫鍵鍵結、萃取能力強(茶葉中 EGCG 與何首烏中 THSG 等有效成份)等等特性；並以 ICP-mass 測量其中微量溶解離子。

三、結果與討論

(一). 電漿活化水的製造與特性

計畫期間經由奈米黃金/陶瓷材料的改質，已開發性質穩定、可量產電漿活化水(PAW)設備(每天 6 公噸，如圖 1)；與一般 RO 水比較，PAW 水的活性在製造 1 天後僅衰退 2 成、2 天後衰退 3 成，在應用上並無大問題；經由臨場(*in situ*) PAW 水製造技術的開發，大幅提高 PAW 水在應用時的活性。。與 RO 水比較，用 PAW 可萃取更多茶葉中的兒茶素與何首烏中的 THSG 抗氧化成份(如圖 2)；另外在廣泛的 40 種中草藥萃取實驗中，有 10 種中草藥的產率可增加 10%以上，尤以天麻可增加 73%；在 DPPH 自由基去除效率，有 21 種 PAW 萃取的中草藥可增加 10%以上，尤以檳榔可增加 90%。

(二). 電漿活化水於農業上之應用

與國立關西高中畜產保健科合作養蛋雞(海蘭雞，如圖 3)，實驗結果發現用 PAW 水當飲用水的蛋雞所下的蛋(與一般飲用 RO 水組比較)，蛋白較有彈性，蛋黃較濃郁且無腥味，蛋黃中的維生素 A 與 E 分別增加了 9% 與 8% (如圖 4)，且蛋白與蛋黃中皆含有微量的黃金(約 0.5 ppb)；另外以 PAW 水當飲用水的蛋雞體重較重，對肉雞飼養上是一優勢。與國立曾文農工食品加工科養黑木耳，PAW 水養的黑木耳(與一般 RO 水)冷凍乾燥萃取的粉末，較能去除 DPPH 自由基，更具抗氧化能力，且乾燥後的黑木耳含有微量的黃金(約 0.1 ppb，如圖 5)。另外飲用 PAW 水萃取綠茶的肥胖老鼠，能有效降低膽固醇與血糖。另外電漿活化水促進吃高脂食物動物的增長且更健康的實驗中發現，老鼠可更增重 20%，膽固醇、血糖與脂肪肝明顯較低 (如圖 6)。另外電漿活化水(PAW)的相關應用亦已申請中華民國的專利：產生小分子團水之容器，申請第 106207831 號，如此可擴大其應用性 (如圖 7)。

另外 PAW 水用於綠豆芽生長，在無養分情況下，以 PAW 培養的綠豆其綠豆芽生長速度明顯快於以 DI water 培養的綠豆 (如圖 8)。與新竹某中學合作進行水耕蔬菜的養植實驗，在同樣養份、照光下，以電漿活化水進行水耕蔬菜的養植實驗，結果顯示蔬菜生長速度明顯快於以一般水培養的蔬菜，且蔬菜內亞硝酸鹽含量較低 (如圖 9)。也與基隆某大學合作進行以電漿活化水創新月牙藻等藻類養植實驗 (如圖 10)。此外進一步實驗發現，與 DI water 比較，電漿活化水中不易長青苔 (如圖 11)。

四、結論

現今在科技跨領域的整合下，物理、化學基礎研究與應用、生物醫學科技、奈米科技與其他科技領域間的界限已高度模糊化，在「奈米科技」、「生物技術開發」與「轉譯醫學」跨領域結合的研究下，往往可在生技、農業產業科技上有重大的突破性發展。在奈米尺度的化合物中，水是大家所熟悉的簡單物質，但由於我們對分子等級的瞭解還不夠完整，使得研究水在結構上的動態行為具有挑戰性。水 (化學式： H_2O) 是由氫、氧兩種元素組成的無機物，氫與氧形成較強的共價鍵，而水分子之間可行成較弱的氫鍵，在常溫常壓下為無色無味的透明液體，為自然界及生物體中含量最多之物質，許多反應均在水的媒介下進行。計畫期間已開發性質穩定、可量產 PAW 水設備；與 RO 水比較，用 PAW 可萃取更多茶葉中的兒茶素與何首烏中的 THSG 抗氧化成份；另外在廣泛的 40 種中草藥萃取實驗中，有 10 種中草藥的產率可增加 10% 以上，尤以天麻可增加 73%。與學校合作養蛋雞(海蘭雞)，實驗結果發現用 PAW 水當飲用水的蛋雞所下的蛋(與一般飲用 RO 水組比較)，蛋白較有彈性，蛋黃較濃郁且無腥味，蛋黃中的維生素 A 與 E

分別增加了 9%與 8%，且蛋白與蛋黃中皆含有微量的黃金(約 0.5 ppb)；另外以 PAW 水當飲用水的蛋雞體重較重，對肉雞飼養上是一優勢。與學校合作養黑木耳，PIAW 水養的黑木耳(與一般 RO 水)冷凍乾燥萃取的粉末，較能去除 DPPH 自由基，更具抗氧化能力，且乾燥後的黑木耳含有微量的黃金(約 0.1 ppb)。另外電漿活化水的相關應用亦已申請中華民國的專利：產生小分子團水之容器，如此可擴大其應用性。與學校合作進行水耕蔬菜的養植實驗，在同樣養份、照光下，以電漿活化水進行水耕蔬菜的養植實驗，結果顯示蔬菜生長速度明顯快於以一般水培養的蔬菜，且蔬菜內亞硝酸鹽含量較低。另外 PAW 水用於綠豆芽生長，在無養分情況下，以 PAW 培養的綠豆其綠豆芽生長速度明顯快於以 DI water 培養的綠豆。此外進一步實驗發現，與 DI water 比較，電漿活化水中不易長青苔。也與學校合作進行以電漿活化水創新月牙藻等藻類養植實驗。另外電漿活化水促進吃高脂食物動物的增長且更健康的實驗中發現，老鼠可更增重 20%，膽固醇、血糖與脂肪肝明顯較低。計畫實驗成果可創新應用於「養雞業」等相關畜牧業之突破性發展，亦可創新應用於水耕蔬菜與菇類養植產業。

五、謝誌

感謝財團法人中正農業科技社會公益基金會實驗經費的贊助
(中基—農—A—105—016、中基—農—A—106—011)，感謝臺北醫學大學實驗場地與儀器使用的贊助。

六、參考文獻

- 中華民國養雞協會，<http://www.poultry.org.tw>
陳錦桐、石信德、陳繹年、安寶貞。(2011)。”菇類產業發展”研討會專刊。行政院農業委員會農業試驗所發行。
- H. C. Chen, B. J. Hwang, F. D. Mai, Yu-Chuan Liu^{*}, C. M. Lin, H. S. Kuo, D. S. Chou, M. J. Lee, K. H. Yang, C. C. Yu, J. R. Chen, T. Y. Lo, H. Y. Tsai, C. P. Yang, C. Wang, H. T. Hsieh, J. Rick, Active and stable liquid water innovatively prepared using resonantly illuminated gold nanoparticles, *ACS Nano*, 8, 2704-2713 (2014).
- H. C. Chen, H. C. Lin, H. H. Chen, F. D. Mai, Yu-Chuan Liu^{*}, C. M. Lin, C. C. Chang, H. Y. Tsai, C. P. Yang, Innovative strategy with potential to increase hemodialysis efficiency and safety, *Scientific Reports*, 4, 4425 (2014).
- H. C. Chen, F. D. Mai, K. H. Yang, L. Y. Chen, C. P. Yang, Yu-Chuan Liu^{*}, Quantitative evaluation on activated property-tunable bulk liquid water with reduced Hydrogen bonds using deconvoluted Raman spectroscopy”, *Analytical*

- Chemistry*, 87, 808-815 (2015).
- M. Ma, L. Guo, D. G. Anderson, R. Langer, Bio-inspired polymer composite actuator and generator driven by water gradients. *Science* 339, 186-189 (2013).
- K. Murata *et al.*, Structural determinants of water permeation through aquaporin-1. *Nature* 407, 599-605 (2000).
- E. Vohringer-Martinez *et al.*, Water catalysis of a radical-molecule gas-phase reaction. *Science* 315, 497-501 (2007).
- M. J. Shultz, T. H. Vu, B. Meyer, P. Bisson, Water: A responsive small molecule. *Accounts Chem. Res.* 45, 15-22 (2012).
- J. G. David, K. P. Gierszal, P. Wang, D. Ben-Amotz, Water structural transformation at molecular hydrophobic interfaces. *Nature* 491, 582-585 (2012).
- L. F. Scatena, M. G. Brown, G. L. Richmond, Water at hydrophobic surfaces: weak hydrogen bonding and strong orientation effects. *Science* 292, 908-912 (2001).
- I. Ohsawa *et al.*, Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. *Nat. Med.* 13, 688-694 (2007).



圖 1. 成功開發性質穩定，可做實驗、可量產電漿活化水設備(每天 6 公噸)

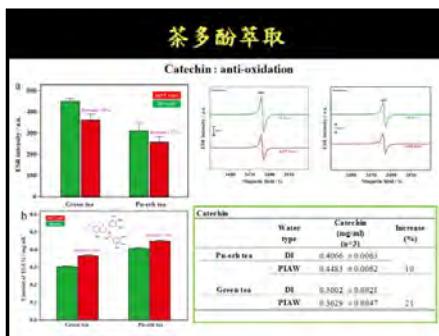


圖 2. 電漿活化水可萃取更多茶葉中的兒茶素抗氧化成份、去除自由基更有效率



圖 3. 用電漿活化水與國立關西高中畜產保健科合作養蛋雞(海蘭雞各 30 隻)

測(衛署食DOW水)數量			測(衛署GAW水)數量			
(1)	(2)	平均值	(1)	(2)	平均值	
壓縮氮 $\mu\text{g}/100\text{g}$	716.18	196.26	717.2	775.13	799.6	788.9
總重氮 $\text{mg}/100\text{g}$	6.7	6.69	6.70	7.27	7.16	7.22
水溶性蛋白質 $\text{mg}/100\text{g}$	6.51	6.51	6.51	7.09	6.97	7.03
蛋白質 $\text{mg}/100\text{g}$	10.04	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06
粗蛋白質 $\text{mg}/100\text{g}$	1.49	1.48	1.49	1.6	1.62	1.61
水不溶性蛋白質 $\text{mg}/100\text{g}$	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
總磷脂 $\text{mg}/100\text{g}$	38.64	38.38	38.41	32.17	32.33	32.25
總元多酚物質 $\text{mg}/100\text{g}$	45.44	45.42	45.43	47.80	47.69	47.74
蛋白質合物質 $\text{mg}/100\text{g}$	16.13	16.21	16.17	15.04	14.99	15.01

圖 4. 飲用電漿活化水的蛋雞下的蛋，維生素 A 與 E 分別增加了 9% 與 8%



圖 5. 電漿活化水與國立曾文農工食品加工科養黑木耳，較能去除自由基，更能抗氧化

Long-term feeding high fat diet, drinking DI water or PAW (GAW).



圖 6. 電漿活化水促進吃高脂食物動物的增長且更健康



圖 7. 電漿活化水申請中的專利：產生小分子團水之容器



圖 10. 以電漿活化水進行創新月牙藻養植實驗

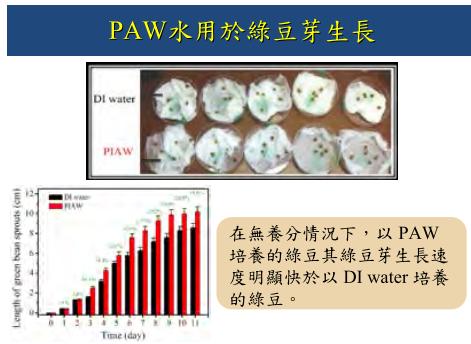


圖 8. 以 電漿活化水 培養的綠豆其綠豆芽生長速度明顯快於以 DI water 培養的綠豆



圖 11. 電漿活化水中不易長青苔



在同樣養份、照光下，以電漿活化水進行水耕蔬菜的養植實驗，結果顯示蔬菜生長速度明顯快於以一般水培養的蔬菜，且蔬菜內亞硝酸鹽含量較低。

圖 9. 在同樣養份、照光下，電漿活化水培養蔬菜生長速度明顯快於以一般水培養的蔬菜，且蔬菜內亞硝酸鹽含量較低

奈米蠶絲蛋白之製備與利用

吳登楨^{1*} 張興政² 許煜亮² 陳雅惠³ 陳威儒²

¹ 行政院農業委員會 苗栗區農業改良場

² 逢甲大學 自動控制工程學系

³ 逢甲大學 共同貴重儀器中心

*通訊作者：wudj@mdais.gov.tw

摘要

本計畫研究蠶絲蛋白奈微米化生產技術及產品應用分析，提升靜電奈米纖維紡絲薄膜製作效率和開發絲素蛋白應用薄膜，完成具高比表面積與奈米特性之多樣化薄膜結構。設計新型靜電紡絲硬體裝置，發展具可控中間電位之新式靜電紡絲製程裝置，奈米薄膜沉積區域之可控制性實驗分析，完成紡絲沉積圖案多樣化之控制技術。絲素蛋白具備優異的生物相容性，本研究藉由不同高分子混調參數之靜電紡絲測試，得可以取絲素蛋白薄膜較佳之多樣化特性，改善吸濕保濕性與抗菌性能。實驗以蠶絲蛋白混合高分子與綠色生化材料紡絲包括絲膠蛋白、聚乙二醇、聚乙二醇、蘆薈多醣、銀耳多醣、蜂王乳和真珠粉等。絲素蛋白混合薄膜經由電子顯微和微量元素分析儀器進行元素成分分析，特性數據顯示已成功紡製絲素蛋白混合生化材料之奈米薄膜結構，且可製作多樣化奈米結構，具備發展生物醫療和保養商品的潛能。

關鍵字：蠶絲蛋白、多電極裝置、陣列靜電紡絲、奈米纖維、絲素蛋白

Abstract

The project has developed the modified electrospinning technology to produce silk protein nano-micronization structures and their property analysis in medical and aesthetic application. The improved electrospinning technology, has shown the feasibility to fabricate a diversified film with a high surface area ratio and nanometer characteristics. By developing a new method electrospinning fabrication device with a controllable middle potential device based on traditional electrospinning technology, the controllability of the deposition patterns can be achieved. The characteristics of the electrostatic field in electrospinning by using a finite element simulation software have performed. Silk fibroin has excellent biocompatibility. By testing the mixed parameters of different types of polymers, the silk fibroin film obtains better diversified properties in moisture absorption, moisture retention, and antibacterial functions. The mixed polymer and biochemical materials include sericin, polyvinyl alcohol, polyethylene glycol, aloe polysaccharides, tremella polysaccharides, royal

jelly and pearl powder. The biochemical mixed silk fibroin films have been analyzed using a scanning electron microscope and an element analyzer. Whether the polymers and biochemicals mixed silk fibroin owns nano-and-membrane structures that shown, diversified patterning capability nano-structures. It may keep the potential for commercial development in biomedical and skin care products, with the established feasibility technology for nanofibrin protein application.

Keywords: Silk protein, Multi-electrode device, Array electrospinning, Nanofibers, Silk fibroin

前言

奈米科技快速發展，使科技工程材料得以進入奈米層級結構，其中學術與技術研究中，製作奈米纖維的靜電紡絲技術為熱門研究主題，其優勢原因為可紡絲材料種類多樣、實驗製造裝置簡單、紡絲工藝可控性與紡絲製作成本低廉等。傳統靜電紡絲技術劣勢為產量較低，以及紡絲沉積區域為不可控制性，為提升靜電紡絲實際應用潛能，許多學者探討增加靜電紡絲產量研究，和控制製程沉積區域測試。2015 年，Campatelli 等學者提出對於靜電紡絲多股射流實驗過程的模擬，精準預測靜電紡絲多股射流路徑，使生產效率或沉積均勻性提高[2]。2013 年，Jentzsch 等學者經由有線元素分析法對多功能靜電紡絲平台進行綜合電場分析，觀察針頭與收集板之間電場電力線分布[3]。2012 年，Fashandi 等學者研究靜電紡絲製程於不同環境條件下，對於收集之紗絲的結構型態改變影響，其中主要影響包含了紗絲粗細、成絲成膜和紗絲上形成多孔洞結構等[4]。2012 年，Wang 等學者以旋轉螺旋線圈做為靜電紡絲製程的噴絲頭，並以聚乙烯醇做為奈米纖維主體材料，進行無針式靜電紡絲技術測試，討論奈米纖維直徑與生產速率的影響；利用有限元素分析法對線圈表面與靜電紡絲區域的電場進行分析，結果顯示電場強度集中於線圈表面區域[6]。2015 年，Yukseloglu 等學者探討蠶絲蛋白所被應用於各種生物醫學材料，並列出多種不同品種蠶絲蛋白溶解於甲酸、六氟異丙醇或純水等溶劑，應用於細胞培養、骨組織支架、藥物載體與抗菌敷料等領域[7]。2013 年，Zhou 等學者以靜電紡絲技術，將殼聚醣、聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol, PVA)與絲素蛋白製成複合奈米纖維薄膜，擁有優異的體外生物相容特性，具有作為皮膚再生材料或傷口敷料之潛能[8]。2015 年，Chen 等學者提出以絲素蛋白和聚乙二醇製作出奈米纖維薄膜，並在內部纖維部分包含甲基脫氫皮質固醇之抗炎藥物，作為裝載藥物之靜電紡絲纖維結構，長期持續釋放藥物，此纖維薄膜可用於皮膚組織工程應用[9]。2012 年，Chen 等學者開發組織工程新支架，加入聚天冬氨酸(Polyaspartic acid, PASP)至絲素蛋白奈米纖維結構，經 FTIR 分析元素鍵結，絲素蛋白之紅外線吸收波峰無影響，製備多孔支架有良好的效果[10]。2016 年，Lin 等學者提出使用具有抗氧化功能的葡萄籽提取物(Grape seed extract, GSE)，加入裝載於絲素蛋白與聚乙二醇所製備成複合奈米纖維薄膜，以作為肌膚護理、組織再生之目的，提升細胞生長率[11]。本計畫中陣列型多針靜電紡絲平台架構

研發和製作，研究陣列型多針頭載具結構設計，進行平台量產化配置和製程測試，分析多種參數調變並進行優化。發展絲素蛋白微奈米化，將絲素蛋白作為主體，並以混合天然高分子與生化材料來實現蠶絲蛋白多樣化薄膜之目的，製作出可應用於生物醫療、肌膚保養領域之蠶絲蛋白奈米纖維薄膜。

原理與實驗

傳統靜電紡絲為單針式，架構含靜電產生器、注射泵、金屬注射針筒和收集板，如圖一所示。本研究開發可調第二電位之新式靜電紡絲架構，為達到靜電紡絲製程技術之沉積薄膜區域可控性。新式靜電紡絲架構設計部分，主要機構項目：針頭、圖案化紗絲收集板、夾層絕緣體和第二高電位金屬板所組成，原理為具備兩個高電位靜電場，一高電位施加針頭，使得紗絲射流得以拉伸成奈米纖維，另一高電位為施加金屬板，使得在紗絲收集板周圍產生高電位靜電場，進而讓奈米纖維沉積時，會受到靜電場影響，產生往特定方向沉積趨勢，最後實現沉積奈米纖維薄膜之區域可控性。以模擬軟體 COMSOL 進行模擬具可控第二高電位之新式靜電紗絲架構的穩態靜電場特性；針頭結構為直徑 1 mm、針頭長度 25 mm、不鏽鋼 405 材質、數量 8 根；圓盤狀收集板直徑和厚度分別為 60 和 10 mm、數量 8 個，中心位置與針頭重合，設為鋁材質；夾層絕緣層尺寸和數量，皆與收集板相同，配置位置為收集板下方，設為聚酸甲酯(壓克力)材料；第二高電位金屬板尺寸為 $300 \times 150 \times 10\text{ mm}^3$ ，設為鋁材質；環境腔體尺寸為 $350 \times 350 \times 250\text{ mm}^3$ ，環境內部設為空氣材質，針頭針尖至收集板之間距設為 90 mm，針頭與針頭間距設為 60 mm，排針與排針間距設為 60 mm；靜電電位配置部分：針頭結構與第二電位金屬板皆給予 20 kV 高電位、收集板設為接地電位、腔體內空氣設為浮動電位；幾何建模結果，如圖二所示，上方八個圓柱體皆為針頭，下方八個圓盤狀體為收集板，最下方長方形體為第二電位金屬板。有限元素分析模擬先設計參數。觀察靜電場的分布，可以發現因設置第二電位金屬板，體積較大且帶有高靜電場，整體模擬腔體內部電位明顯提升。另一方面，電力線分布因第二電位金屬板產生的靜電場影響，產生由第二電位金屬板出發至收集板之電力線，各個針頭的電力線皆受到壓縮而明顯集中，如圖三 (a)所示。由頂視角度分析結果，可以觀察到因第二電位金屬板的靜電場分布影響，各針頭電力線偏移方向皆趨向陣列式多排針架構中心位置，如圖三 (b)所示。有限元素模擬分析結果，顯示新式靜電紗絲架構對於針頭之電力線偏移方向具備一定的影響，經由圖案化紗絲收集板與第二電位金屬板結構兩者的相互配合，對於靜電紗絲製程技術的薄膜沉積區域可控性。實際測試靜電紗絲製程，呈現出圖案化奈米纖維薄膜，具有未來多樣商品化潛能。本研究以靜電紗絲技術製作絲素蛋白奈米纖維，因絲素蛋白的生物相容性與奈米層級纖維具有高比表面積特性之表面形貌，使奈米纖維薄膜可應用於更多生物醫療應用方面。奈米紗絲纖維過程是將高分子前軀體溶液填入注射針筒，並利用針頭將高分子溶液帶出鐵氟龍管，經由高電場將高分子溶液拉伸製成奈米纖維於收集基材上方。主要影響奈米紗絲纖維表面結構之條件為：溶液濃度、高電壓、

針尖至收集板間的距離和溶液供給速率，最後經冷場發射掃描式電子顯微鏡(FE-SEM)觀察，分析不同參數條件下，纖維直徑尺寸與均勻分布狀況，進行研究奈米紡絲纖維形貌變化，如圖四所示。奈米纖維薄膜以靜電紡絲技術製作，其紡絲前軀體溶液需加入揮發性溶液，將高分子材料溶解，在實驗紡絲過程協助溶劑的揮發，經過拉伸成絲在收集板上方。所有混合奈米紡絲製作條件為靜電紡絲參數固定針頭(內徑 0.77 mm、外徑 1.07 mm)、工作電壓(20 kV)、工作距離(90 mm)、供給流速(0.3 ml/hr)、環境溫度(30 °C)和環境濕度(40 %RH)。本研究以甲酸為溶劑，將絲素蛋白作為溶質，調配過程環境溫度 25 °C，使用磁石放入密閉容器中進行攪拌，隔離外在因素干擾，避免甲酸溶劑空氣中揮發，影響溶液比例造成誤差。將高分子材料絲素蛋白與甲酸以 15 %wt/v 比例在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，絲素蛋白粉末完全溶解，溶液呈現淡黃褐色溶液，完成絲素蛋白溶液。

調配絲素蛋白混合絲膠蛋白溶液，將高分子材料絲素蛋白與絲膠蛋白，以重量比 4：1wt/v，再加入甲酸溶液以 15 %wt/v 比例在 25 °C 均勻攪拌 12 小時；待兩種高分子粉末完全溶解，溶液呈現黃褐色溶液，完成絲素蛋白混合絲膠蛋白溶液。

調配絲素蛋白混合 PEO 溶液，將高分子材料絲素蛋白加入甲酸溶液中，以 10 %wt/v 比例在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，高分子材料 PEO 加入 DI water 溶液以 1 %wt/v 比例調配，均勻攪拌 12 小時，兩種溶液皆完全溶解後，再將兩者以 1：1 v/v 比例均勻混合於 25 °C 攪拌 12 小時，完成絲素蛋白混合 PEO 溶液，如圖五所示。

調配 SF/PEO/蘆薈多醣溶液，將 10 %wt/v 比例之絲素蛋白加入甲酸溶液中，在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，將 1 %wt/v 比例之 PEO 和 1 %wt/v 比例之蘆薈多醣共同加入 DI water 溶液進行均勻攪拌 12 小時，兩種溶液皆完全溶解後，再將兩者溶液以 1：1 v/v 比例均勻混合於 25 °C 攪拌 12 小時，完成 SF/PEO/蘆薈多醣溶液，如圖六所示。

調配 SF/PEO/銀耳多醣溶液，將 10 %wt/v 比例之絲素蛋白加入甲酸溶液中，在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，將 1 %wt/v 比例之 PEO 和 1 %wt/v 比例之銀耳多醣共同加入 DI water 溶液進行均勻攪拌 12 小時，兩種溶液皆完全溶解後，再將兩者溶液以 1：1 v/v 比例均勻混合於 25 °C 攪拌 12 小時，完成 SF/PEO/銀耳多醣溶液，如圖七所示。

調配 SF/PEO/蜂王乳溶液，將 10 %wt/v 比例之絲素蛋白加入甲酸溶液中，在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，將 1 %wt/v 比例之 PEO 和 1 %wt/v 比例之蜂王乳共同加入 DI water 溶液進行均勻攪拌 12 小時，兩種溶液皆完全溶解後，再將兩者溶液以 1：1 v/v 比例均勻混合於 25 °C 攪拌 12 小時，完成 SF/PEO/蜂王乳溶液，如圖八所示。

調配 SF/PEO/真珠粉溶液，將 10 %wt/v 比例之絲素蛋白加入甲酸溶液中，在 25 °C 均勻攪拌 12 小時，將 1 %wt/v 比例之 PEO 和 1 %wt/v 比例之真珠粉共同加入 DI water 溶液進行均勻攪拌 12 小時，兩種溶液皆完全溶解後，再將兩者

溶液以 1:1 v/v 比例均勻混合於 25 °C攪拌 12 小時，完成 SF/PEO/真珠粉溶液，如圖九所示。

結果與討論

新式靜電紡絲架構之紺絲收集板以鋁薄板製作，因方便裁切與良好導電性質，尺寸設為 $120 \times 120 \times 1\text{ mm}^3$ ，上方圖案設為直徑 50 mm 之圓孔；夾層絕緣板以壓克力材料製作，其擁有導電絕緣性質，尺寸設為 $150 \times 150 \times 3\text{ mm}^3$ ，上方圖案設為直徑 20 mm 之圓孔；紺絲收集基材採用黑色 PP 不織布，利於觀察紺絲薄膜沉積狀況，以及後續實際附著應用測試，尺寸設為 $150 \times 150\text{ mm}^2$ ；第二高電位板採用鋁板製作，尺寸設為 $200 \times 200 \times 10\text{ mm}^3$ 。因在新式紺絲製程測試中，第二高電位板與紺絲收集板兩者距離較近，需要增加兩者絕緣距離，避免產生放電現象，故設計收集板尺寸小於絕緣板尺寸，單邊皆縮減 15 mm，以利於新式紺絲架構順利測試，如圖十所示。

具備可控第二高電位之新式靜電紺絲架構截面示意圖。頂部紅色第一層為不織布收集基材，藍色第二層為圖案化收集板，白色第三層為夾層絕緣層，灰色第四層為第二高電位金屬板，黑色第五層為橡膠絕緣基底。

經過第二電位之新式紺絲架構配合陣列式多針結構，黑色不織布收集基材表面，呈現明顯沉積奈米纖維薄膜，可以經由紺絲薄膜沉積結果分析，藉由新式靜電紺絲架構進行圖形奈米纖維沉積區域控制，其紺絲薄膜圖案輪廓與收集板圖案相同，中間為一圓形空白區域，沉積圓孔圖案直徑為 36 mm，相較收集板圓孔直徑減少 14 mm，收集板圓孔圖案與沉積圓孔圖案面積比例為 100:52，沉積圖案相比收集板圖案面積縮小 48%，如圖十所示。

四圓孔圖案化收集板製備與測試，黑色不織布收集基材表面呈現明顯奈米纖維沉積，生成四個圓孔圖案，其圓孔尺寸小於圖案化收集板圓孔尺寸，沉積圓孔圖案之平均直徑為 23 mm，相較收集板圓孔直徑減少 17 mm，收集板圓孔圖案與沉積圓孔圖案面積比例為 100:33，沉積圖案相比收集板圖案面積縮小 67%，如圖十一所示。

未補償之雙方孔之圖案化收集板製備測試，黑色不織布收集基材表面呈現明顯奈米纖維沉積，產生 2 個近似橢圓形結構，並非方形圖案，2 個沉積橢圓孔圖案之平均尺寸為 $47.4 \times 27.6\text{ mm}^2$ ，相對收集板方孔長度減少 12.6 mm 和寬度減少 12.4 mm，以及四角之內縮距離為 5 mm，收集板方孔圖案與沉積橢圓孔圖案面積比例為 100:55，沉積圖案相比收集板圖案面積縮小 45%，如圖十二所示。設計直角補償電極，降低尖端電場效應。傳統靜電紺絲之針頭和接地收集板有高電壓差，將產生電場干擾效應，影響紺絲效果，導致電壓無法順利提升到最佳參數。本研究將夾層絕緣板厚度增加，提升第一和第二電極之距離，使邊界電場干擾效應降低，可達到最佳電壓設定。圓孔圖案、方孔圖案和多孔圖案皆可製備，但直角結構會產生電力線聚集之現象發生，使靜電訪絲產生圓角現象，可藉由增加夾層絕緣板厚度解決問題，將產生紺絲沉積面積縮小問題。若不想沉積面積縮小，

可以設計電場角度補償結構，在直角部分做延伸，補償圖形內縮問題，將可產生完整圖形化紡絲，且降低有效設計面積縮小之情形；實驗設計實現沉積奈米纖維薄膜之區域圖形可控性，如圖十二所示。

絲素蛋白混合多種天然高分子材料測試，本研究混合 SS、PVA、PEO、蘆薈多醣、銀耳多醣、蜂王乳和真珠粉等材料，製作多樣化奈米纖維薄膜。首先進行 SF 粉末、PEO 粉末和 SF/PEO 奈米纖維薄膜三種參數之 FTIR 分析，將紅外線吸收光譜圖 X 軸向之波數數值範圍設定於 $2000 \sim 700\text{ cm}^{-1}$ 之間，可以分析 SF 材料之主要紅外線吸收光譜波峰之波數為 1643 、 1517 和 1241 cm^{-1} ，PEO 材料之主要紅外線吸收光譜波峰波數為 1102 和 962 cm^{-1} ，可觀察 SF/PEO 奈米纖維薄膜之紅外線吸收光譜波峰具有相同的波峰存在，成功混合 SF 與 PEO 製作成奈米纖維結構，如圖十三所示。

進行蘆薈多醣粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蘆薈多醣薄膜 FTIR 參數分析，蘆薈多醣材料之主要紅外線吸收光譜波峰波數為 1070 和 1034 cm^{-1} ，可觀察 SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蘆薈多醣薄膜之紅外線吸收光譜波峰，兩波數在 1070 和 1034 cm^{-1} 具有差異存在，表明蘆薈多醣成功混合入絲素蛋白奈米纖維，如圖十四所示。

進行銀耳多醣粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/銀耳多醣薄膜三種 FTIR 參數分析，銀耳多醣材料之主要紅外線吸收光譜波峰之波數為 1241 和 1023 cm^{-1} ，如圖十五所示。

蜂王乳粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蜂王乳薄膜三種 FTIR 參數分析，蜂王乳材料之主要紅外線吸收光譜波峰之波數為 1637 、 1537 和 1031 cm^{-1} ，顯示 SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蘆薈多醣薄膜之紅外線吸收光譜波峰，波數在 1031 cm^{-1} 具有明顯差異存在，證明蜂王乳成功混合入絲素蛋白奈米纖維，如圖十六所示。

分析真珠粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/真珠粉薄膜三種 FTIR 參數，顯示真珠粉材料之主要紅外線吸收光譜波數為 957 cm^{-1} ，SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/真珠粉薄膜之紅外線吸收光譜波數在 957 cm^{-1} ，混合材料具有明顯差異存在，證實真珠粉成功混合入絲素蛋白奈米纖維，如圖十七所示。

結論

本研究發展陣列型多排針新式靜電訪絲平台，設計第二高電位裝置之新式靜電紡絲製程結構，開發沉積薄膜圖形化可控制技術。並進行有限元素模擬軟體 COMSOL 模擬元件相關靜電場之靜電特性分析。以絲素蛋白混合多種高分子材料配合靜電紡絲技術，製作具高表面積比與奈米特性多樣化薄膜，成功混合調製高分子與生化材料，包含絲膠蛋白、PVA、PEO、蘆薈多醣、銀耳多醣、蜂王乳和真珠粉等高分子材料。

新式靜電紡絲製程結構，可以準確沉積薄膜圖型；圓孔、方孔和多孔圖案皆成功獲取相對應奈米纖維薄膜沉積。實際紡絲製程測試和改善其製程穩定度，圓孔圖案收集部分，面積比例從 52% 提升至 95% ，方形圖案收集部分，經過補償

圖形設計，面積比例從 55%提升至 91%。多樣圖形化奈米纖維薄膜改善，提升控制準確度和重複性。

開發平台生長之 SF 奈米纖維平均線徑為 54.2 ± 15.7 nm，表面形貌均勻；SF/SS 奈米纖維平均線徑為 48.8 ± 11.4 nm，纖維表面形貌與純 SF 相同；SF/PVA 奈米纖維平均線徑為 81.6 ± 23.7 nm，纖維表面形貌有相互黏合狀況，但保持完整奈米纖維結構；SF/PEO 奈米纖維平均線徑為 140.5 ± 31 nm，平均線徑為混合材料中最寬，並且大幅提升長時間紡絲製程之穩定性。生化混合蠶絲蛋白之奈米纖維為 SF/PEO/蘆薈多醣奈米纖維平均線徑為 142 ± 21.4 nm；SF/PEO/銀耳多醣奈米纖維平均線徑為 124 ± 16.6 nm；SF/PEO/蜂王乳奈米纖維平均線徑為 141 ± 20.7 nm；SF/PEO/真珠粉奈米纖維平均線徑為 129 ± 19.8 nm。FTIR 分析，驗證奈米纖維薄膜為 SF 成分組成，並且混合多種高分子材料之纖維薄膜，均正確顯示各生化材料之特徵波長。

誌謝

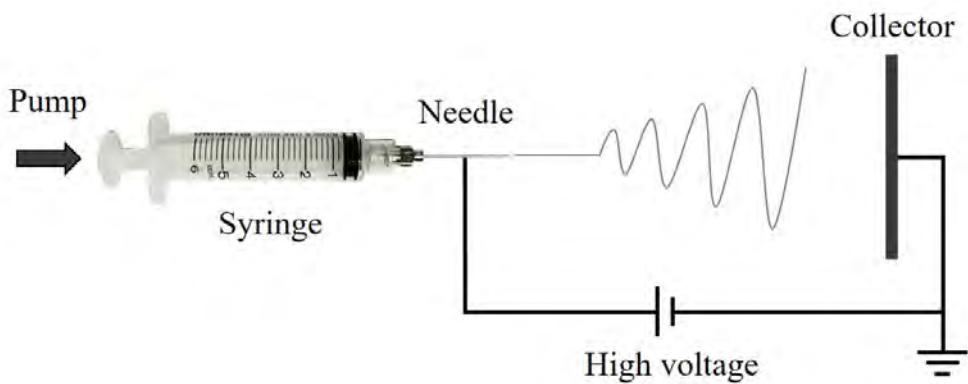
感謝台北市瑠公農田水利會、財團法人中正農業科技社會公益基金會，讓我們執行農業與工程的產學合作計畫。特別感謝苗栗農改場給予我們原料與研究方向的協助。同時也要感謝逢甲大學貴重儀器中心提供精密機台，使我們能分析瞭解實驗結果。

參考文獻

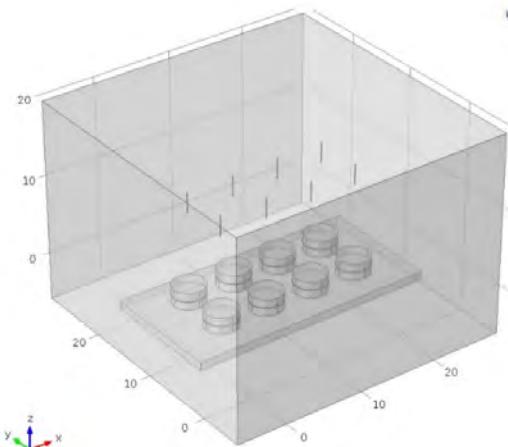
- [1] S. Kacmaz, K. Ertekin, A. Suslu, M. Ozdemir, Y. Ergun, E. Celik, and U. Cacen, “Emission based sub-nanomolar silver sensing with electrospun nanofibers,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 153, pp. 205-213, 2011.
- [2] G. Campatelli, L. Sapuppo, and A. Scippa, “Analytical – FE simulation of a multi-jet electrospinning process to predict material flow,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 52, pp. 135-148, 2015.
- [3] E. Jentzsch, Ö. Gül, and E. Öznergiz, “A comprehensive electric field analysis of a multifunctional electrospinning platform,” *Journal of Electrostatics*, Vol. 71, pp. 294-298, 2013.
- [4] H. Fashandi and M. Karimi, “Pore formation in polystyrene fiber by superimposing temperature and relative humidity of electrospinning atmosphere,” *Polymer*, Vol. 53, pp. 5832-5849, 2012.
- [5] B. N. Singh, N. N. Panda, and K. Pramanik “A novel electrospinning approach to fabricate high strength aqueousilk fibroin nanofibers,” *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 87, pp. 201-207, 2016.
- [6] X. Wang, H. Niu, X. Wang, and T. Lin, “Needleless electrospinning of uniform nanofibers using spiral coil spinnerets,” *Journal of Nanomaterials*, 2012.
- [7] S. M. Yukseloglu, N. Sokmen, and S. Canoglu, “Biomaterial applications of silk

- fibroin electrospun nanofibers," *Microelectronic Engineering*, Vol. 146, pp. 43-47, 2015.
- [8] Y. Zhou, H. Yang, X. Liu, J. Mao, S. Gu, and W. Xu, "Electrospinning of carboxyethyl chitosan/poly(vinyl alcohol)/silk fibroin nanoparticles for wound dressings," *International Journal of Biological Macromolecules*, Vol. 53, pp. 88-92, 2013.
- [9] W. Chen, D. Li, A. El-Shanshory, M. El-Newehy ,H. A. El-Hamshary, S. S. Al-Deyab, C. He, and X. Mo, "Dexamethasone loaded core-shell SF/PEO nanofibers via green electrospinning reduced endothelial cells inflammatory damage," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 126, pp. 561-568, 2015.
- [10] Q. Y. Chen, C. M. Chen, F. J. Zhang, R. Li, and Y. P. Huang, "FT-IR study of silk fibroin/polyaspartic acid scaffolds prepared by electrospinning," *Asian Journal of Chemistry*, Vol.25, pp. 2447-2450, 2012.
- [11] S. Lin, M. Chen, H. Jiang, L. Fan, B. Sun, F. Yu, X. Yang, X. Lou, C. He, and H. Wang, "Green electrospun grape seed extract-loaded silk fibroin nanofibrous mats with excellent cytocompatibility and antioxidant effect," *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, Vol. 139, pp. 156-163, 2016.

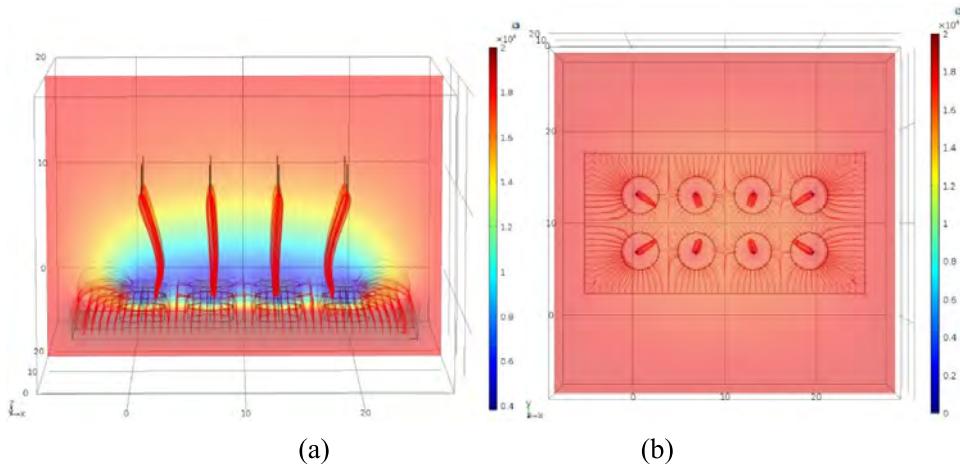
圖表



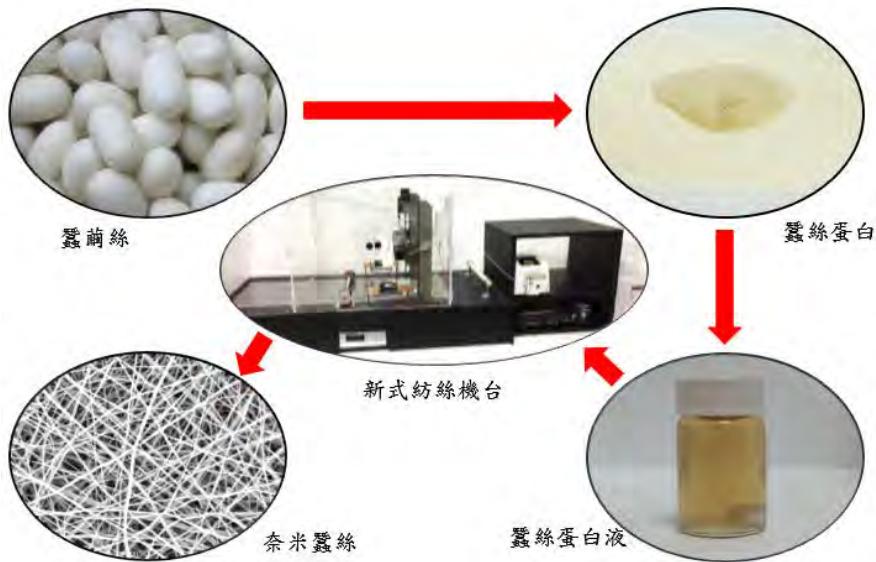
圖一 靜電紡絲基本架構圖



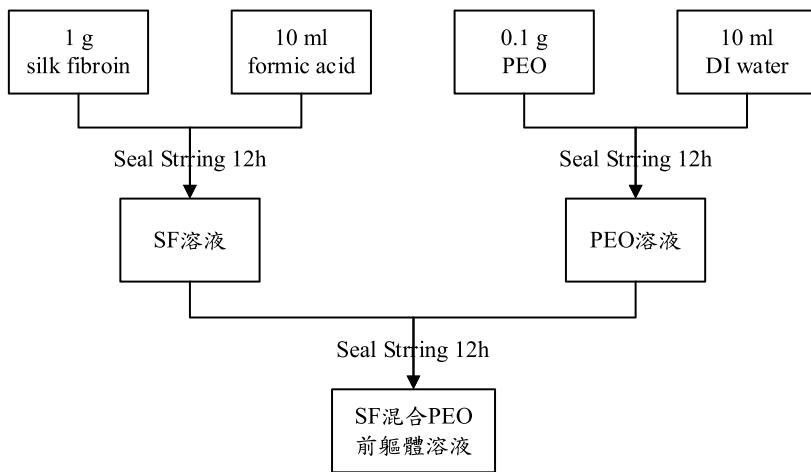
圖二 改良型靜電紺絲結構靜電場模擬之幾何建模圖型



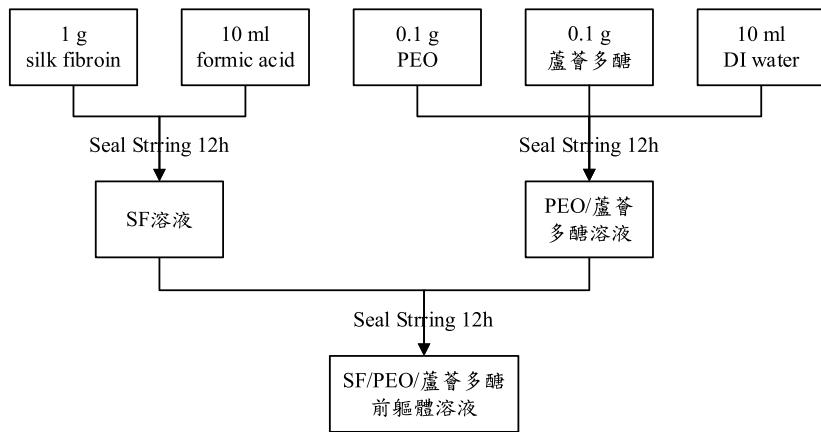
圖三 具第二高電位新式靜電紺絲架構之靜電場分布與電力線分布模擬圖：(a)側視圖；(b)頂視圖。



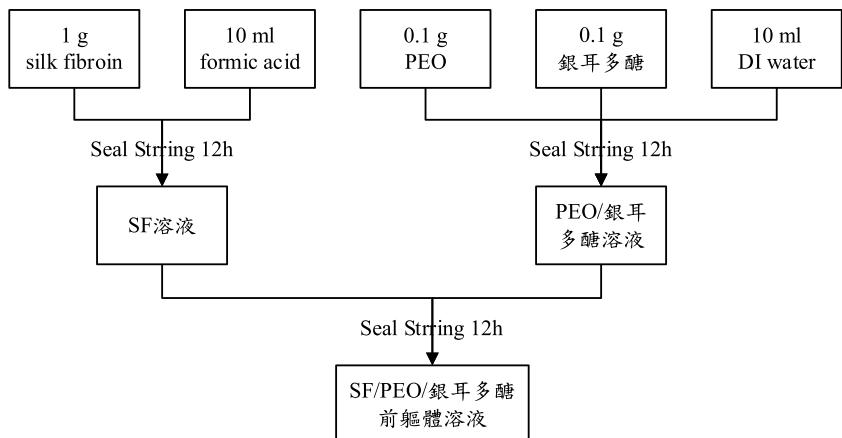
圖四 蠶繭至蠶絲蛋白奈米纖維生產流程



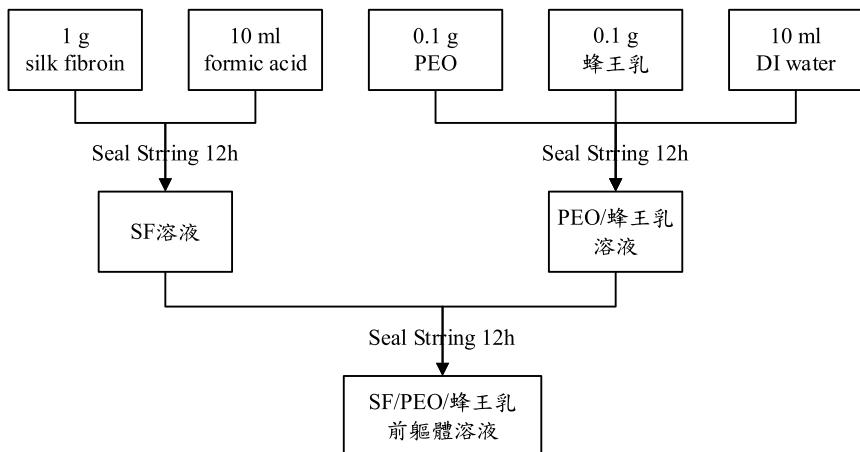
圖五 絲素蛋白混合 PEO 溶液製備方塊圖



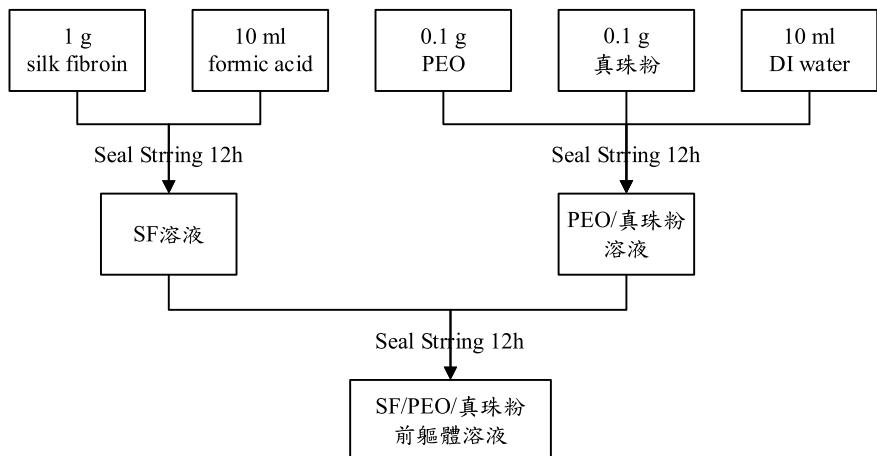
圖六 SF/PEO/蘆薈多醣溶液製備方塊圖



圖七 SF/PEO/銀耳多醣溶液製備方塊圖



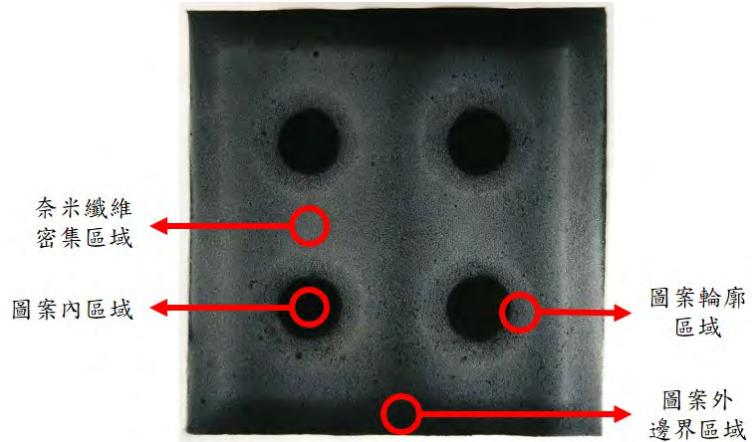
圖八 SF/PEO/蜂王乳溶液製備方塊圖



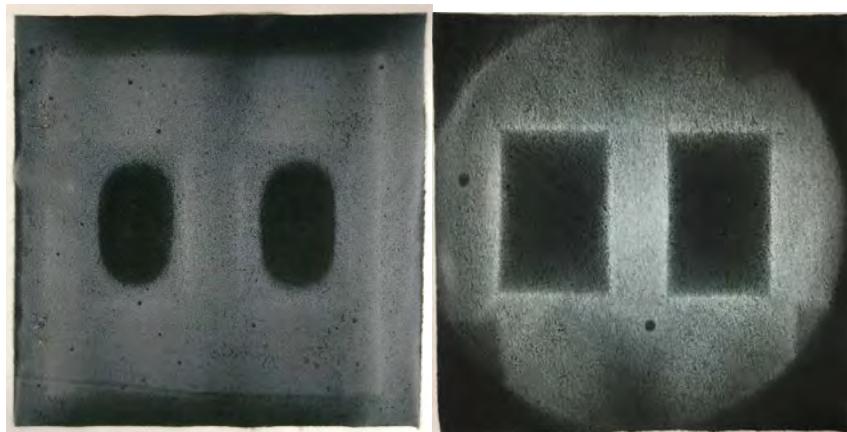
圖九 SF/PEO/真珠粉溶液製備方塊圖



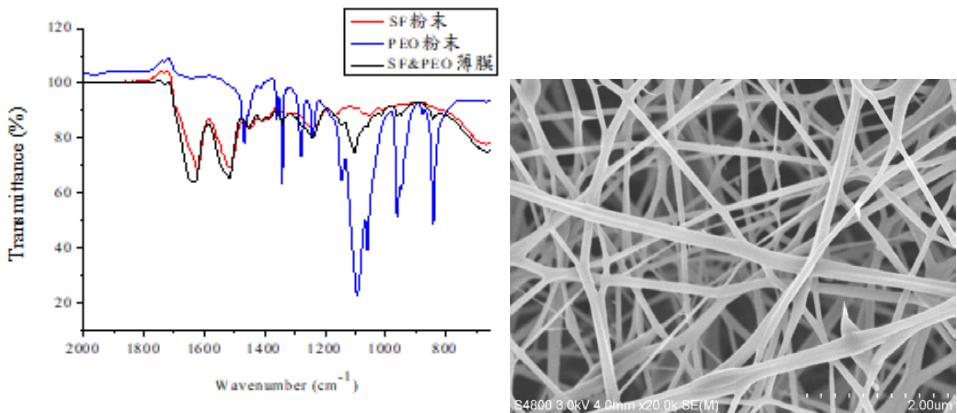
圖十 新式多電極紡絲架構圖，紡絲圖案化奈米纖維。



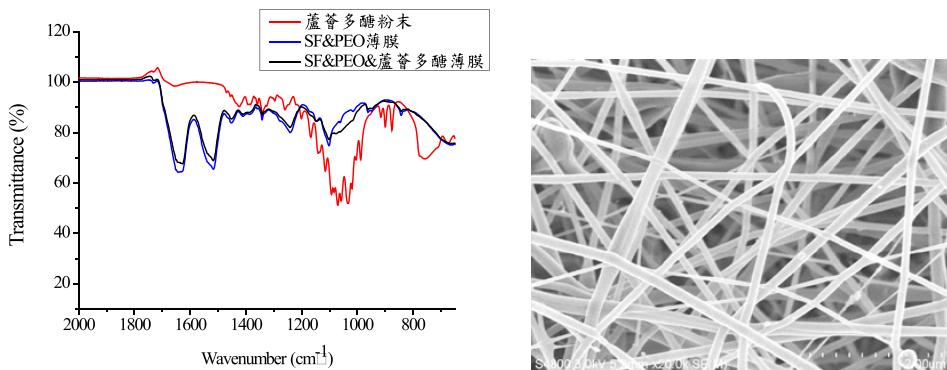
圖十一 四圓孔圖案化收集板之奈米纖維薄膜沉積圖



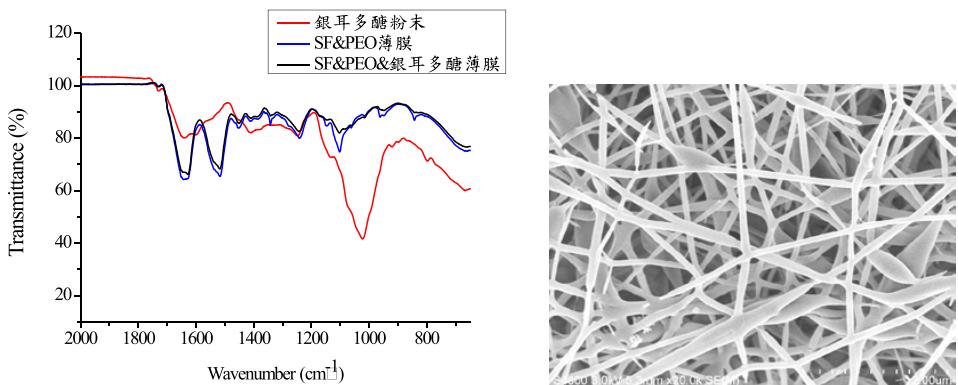
圖十二 左為傳統雙方孔圖案奈米纖維薄膜，右為新型電場角度補償雙方孔圖案奈米纖維薄膜圖



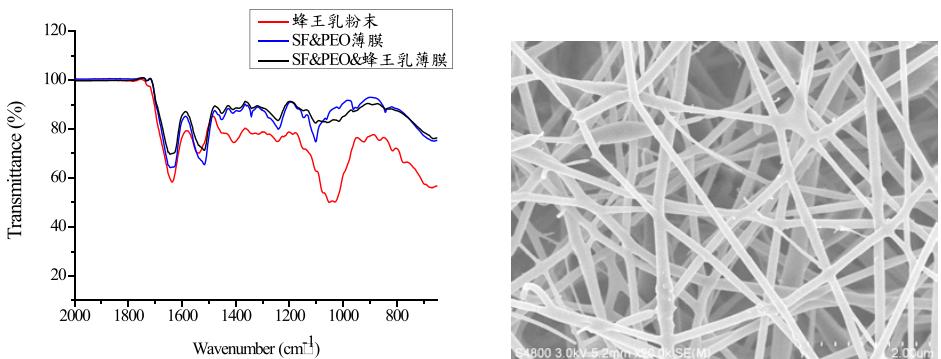
圖十三 SF 粉末、PEO 粉末和 SF/PEO 奈米纖維薄膜之 FTIR 紅外線吸收光譜分析及奈米靜電紡絲 SEM 圖。



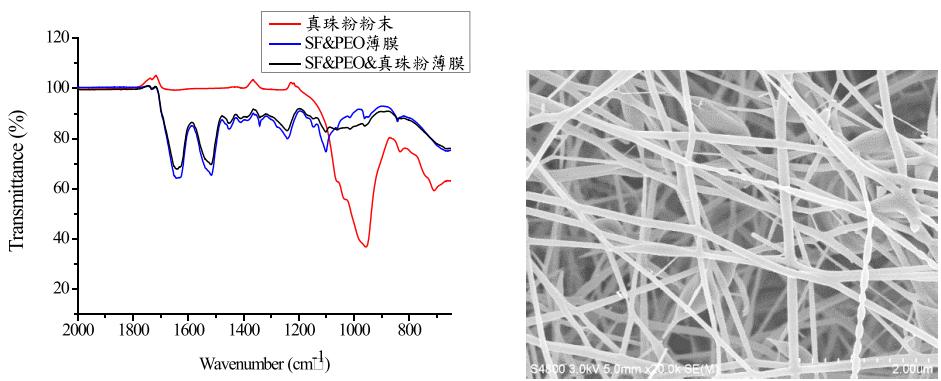
圖十四 蘆薈多醣粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蘆薈多醣奈米纖維薄膜之 FTIR 紅外線吸收光譜分析及奈米靜電紺絲 SEM 圖。



圖十五 銀耳多醣粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/銀耳多醣奈米纖維薄膜之 FTIR 紅外線吸收光譜分析及奈米靜電紺絲 SEM 圖。



圖十六 蜂王乳粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/蜂王乳奈米纖維薄膜之 FTIR 紅外線吸收光譜分析及奈米靜電紡絲 SEM 圖。



圖十七 真珠粉末、SF/PEO 薄膜和 SF/PEO/真珠粉奈米纖維薄膜之 FTIR 紅外線吸收光譜分析及奈米靜電紺絲 SEM 圖。

奈米蠶絲蛋白自動化靜電紡絲技術開發及應用

張興政¹ 吳登楨^{2*} 許煜亮¹ 陳雅惠³ 黃宗憲¹ 鄭帆為¹

¹ 逢甲大學 自動控制工程學系

² 行政院農業委員會 苗栗區農業改良場

³ 逢甲大學 共同貴重儀器中心

*通訊作者：wudj@mdais.gov.tw

摘要

本研究以靜電紡絲及自動化控制技術為基礎，設計研製新型自動化奈微米靜電紡絲量產機構，開發陣列式多針架構，提升奈米紺絲產量。本紺絲系統結合自動化控制技術，藉由人機介面設計，達成紺絲製程參數的控制，可降低環境參數及人為變動的影響，提升紺絲製程的穩定性及可靠度。本機構自動控制功能設計，使用龍門移動平台控制紺絲工作距離與沉積位置，提升紺絲厚度與分佈的均勻性，設計自動傳輸系統，輸送完成紺絲的物料到切割區，以氣壓動力刀具進行定位控制裁切，裁切之物料自動移動至收集區進行收集。系統經過反覆的測試可被推廣應用，獲得最佳化參數調變和動態穩定性。實際靜電紺絲製程測試結果分析顯示，奈米蠶絲纖維之自動化靜電紺絲裝置相關性技術已可提供相應奈米紺絲應用。

關鍵字：自動化控制、靜電紺絲、多針式模組、奈米蠶絲結構、人機介面。

Abstract

The project has developed an automatic electrospinning mechanism for improving mass-production technology in nano silk production. The multi-needle structure is developed to improve electro spinning yield. The visible control parameters of the spinning processes had been achieved by designing a man-machine interface that can reduce the influences of environmental and artificial variations. The experimental results show that the stability and reliability of the spinning processes can be improved significantly. A mobile gantry platform was used to control correct spinning working distance and fiber deposition position for guaranteeing nanofiber uniformity in thickness and distribution. An automatic transmission belt was applied to control the bass material movement. The air pressure controlled cutter was used to complete cutting and separation action and following the performed material will move to the collection area by a designed vacuum module. The test results show that the developed automatic electrospinning system can be applied in nanofiber production with diversity of application.

Keywords : automatic control, electrospinning, multi-needle module, nano silk structure, human-machine interface.

一、前言

隨著奈米科技的發展，靜電紡絲技術因具有製造裝置簡單、成本低、紡絲物種多及可控等優點，成為主要製作奈米纖維的方法。靜電紡絲基本原理與架構含：靜電產生器、單針頭針筒、注射幫浦與接地收集版，如圖一所示[1]。其操作原理是驅動紡絲溶液噴射於高壓電場中，溶液受到靜電力作用，克服表面張力，形成帶電射流，紡絲於收集板上，形成直徑為奈微米等級的纖維。傳統靜電紡絲裝置，針頭單一、缺乏對環境的控制與無法達到連續性生產，導致紡絲產量低與品質不穩定。

為了改善傳統單針靜電紡絲技術，發展了不同形式的靜電紡絲方式。2004年，B. Ding 學者以 4 針式架構進行靜電紡絲實驗，增加紡絲的產量[2]。2005 年，S. A. Theron 學者以模擬和實驗分析 9 針靜電紡絲電場對射流的影響[3]。2009 年，A. Varesano 等學者研究 2 至 16 股不同數目多針頭射流實驗，發現射流間會因電場而互相影響，在沉積位置形成死區[4]。2013 年，E. Jentzsch 等學者使用有限元素分析法進行電場分析，觀察針頭與收集板之間的電力線分布[5]。2015 年，G. Campatelli 等學者提出一種多射流的新型模擬，目的為精準預測靜電紡絲射流路徑，以提升紡絲沉積的均勻性[6]。有別於多針式靜電紡絲架構，有學者提出無針式紡絲製程架構，改善產量問題，2012 年，X. Wang 學者提出無針式錐形線圈紡絲架構，將紡絲液供給到線圈中，並施加 45 kV 至 70 kV 的電壓，於線圈中產生多股位置不固定的射流[7]。2014 年，G. Jiang 學者提出階梯金字塔型的無針頭紡絲架構，將紡絲液供給到噴頭中施加高電壓，以產生多股射流，可用於同軸靜電紡絲製作[8]。2014 年，H. Li 學者使用無針式傘型噴頭進行紡絲實驗，於紡絲噴嘴部分進行加熱製作熔體靜電紡絲[9]。2015 年，J. Holopainen 學者提出無針式絞線型紡絲架構，將紡絲液從絞線上方向下，並施加高電壓形成射流，並設計自動清洗架構 [10]。蠶絲蛋白靜電紡絲相關研究有，2009 年，孫芳等學者研究再生絲素蛋白靜電紡絲的影響因素[11]。2010 年，杭怡春等學者研究再生絲素與絲膠共混蛋白水溶液的靜電紡絲[12]。2011 年，黃建等學者研究再生絲素蛋白於靜電紡絲的工藝性及性能[13]。2014 年，王一川等學者以絲素蛋白與聚乙烯醇共混，並以滾筒接收方式製作出具一定取向的紺絲[14]。

上述相關研究均缺乏自動化控制之裝置，本研究設計自動化多針式靜電紡絲機構，發展一套自動化奈微米靜電紡絲量產機構，以微控制器進行環境溫濕度監控、設計龍門精密移動平台帶動多針頭載具進行紡絲、傳輸機構傳送紡絲基材進行氣壓控制裁切、再以真空收集系統收集完成的紺絲材料。設計人機介面，達到操作簡單與穩定且自動化量產的紺絲機構，並進行單針與多針頭靜電紺絲產量分析。

二、實驗製程

本研究開發自動化多針式靜電紺絲機構系統，研究流程如圖二所示，主要控制與生產功能架構包含：高壓電產生器、微量注射幫浦、接地收集鋁板、陣列式

多針載台、二軸移動龍門架構、傳輸裝置、切割裝置與收集裝置等設備。高壓電產生器提供持續且穩定的高壓電源；微量注射幫浦供應靜電紡絲製程前軀體溶液之穩定推動與調整流動速度；接地收集鋁板提供電壓差，用於收集奈米紺絲纖維；陣列式多針頭載台固定於龍門移動機構上方，利於系統自動化控制，可自動控制針頭至收集板的工作距離和多針載台左右移動位置；傳輸裝置主要利用步進馬達驅動，並帶動滾輪傳輸基材；切割裝置主要由氣壓開關帶動裁刀進行切割；收集裝置則是由真空裝置吸住切割後的基材，配合滑軌系統帶入收集區，達到持續性生產奈米纖維薄膜。自動化多針式靜電紺絲機構設備示意圖，如圖三所示。

靜電紺絲平台機構的陣列型針頭裝置，以單一針筒供給溶液至一對四分配管裝置後，再均勻分配紺絲溶液至四根不鏽鋼針頭，以 3D 印表機製作主體結構，陣列型單排針裝置結構實體圖如圖四左所示。以單列多針裝置為基礎，發展陣列型多針頭結構，主要目的為提升靜電紺絲產量，增加靜電紺絲機構平台的效能。由兩排單列多針載台結構組成，並設計支撐圓孔配置與圓形支架，作為排針之間的連接固定，並可調整兩排針之間距離，陣列型多排針裝置結構實體圖，如圖四右所示。

製作靜電紺絲奈米纖維薄膜時，紺絲的生成主要受到環境溫度、濕度、工作電壓、溶液供給速率與工作距離等因素影響。本研究將透過紺絲影響參數的調整，與 SEM 高倍率電子顯微影像的觀察，找出蠶絲蛋白奈米紺絲的最佳化參數，並以不同基材進行收集測試，以利後續相關應用。

本研究裝置之自動化控制部分，是以 LabVIEW 開發人機介面，並與微控制器(Arduino mega2560)進行連接，透過電腦進行人機介面的操作設定，達到紺絲環境的監控、紺絲工作距離與沉積位置設定、傳送基材、切割與收集等指令，達到穩定的自動化生產，並進行單針與陣列式多針頭的紺絲產量分析。

三、結果與討論

本自動化奈微米靜電紺絲量產機構，由溫濕度控制模組、傳輸帶模組、精密龍門移動平台、裁切與收集模組等組成。透過微控制器(Arduino mega2560)進行信號的發送與接收，分離式組裝設計木板底座與電器控制盒，可方便未來的故障檢修與功能測試。並於板材底座設計接地電極，以防漏電之危險。電器控制盒以鋁質材料為外殼，可抗干擾；控制器與元件以連接器相接，可以防止錯誤操作，避免插錯造成元件損壞，還可方便檢修。運作程序為在開機後，先做環境參數偵測，參數不適合則啟動繼電器開關，進行加熱或除濕功能，直到達到合適紺絲的條件後關閉；接著開始進行紺絲，當紺絲達設定厚度時，會啟動龍門移動平台進行位置調整移動，將紺絲區域補滿至相同厚度；然後啟動步進馬達帶動紺絲基材傳輸，將傳輸紺絲基材透過裁切與收集模組，以氣壓推動裁切刀進行裁切，並以真空裝置吸取裁切後基材，以滑軌送至收集區收集。紺絲完成後，再次檢測環境參數，進行持續的紺絲動作流程，其動作過程透過電腦人機介面進行即時的環境參數與動作流程監控。

紡絲區主要由環境監控系統、龍門移動平台與傳輸裝置組成；環境監控系統是由數位型溫濕度感測器、繼電器模組、致冷晶片除濕裝置與電熱絲加熱裝置所組成。除濕方式是以半導體致冷晶片的冷面朝向紡絲腔體內部，凝結空氣中水氣，排出腔體達到除濕效果；除濕效率 $0.4\% \text{ RH}/\text{min}$ ，除濕裝置如圖五左所示。使用電熱絲的電熱效應進行升溫，以電木板絕緣，電熱絲置於下方，以風扇提高升溫速率，升溫速率 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，升溫裝置如圖五右所示。龍門移動平台以精密滑軌、步進馬達與馬達驅動器組成。傳輸裝置以步進馬達驅動，透過微控制器發送訊號至馬達驅動器，藉由步進馬達的移動步數計數，進行移動距離控制；龍門移動平台龍門表面有不導電陽極處理，主要控制紡絲針尖到收集板間的工作距離與紡絲分布沉積位置控制，傳輸系統以滾筒、步進馬達與傳輸輪結合，步進馬達驅使傳輸輪轉動，帶動滾筒上的基材移動，控制紡絲沉積面積與紡絲材料傳輸至切割區切割。切割與收集模組主要由氣壓缸、壓版、裁刀、真空裝置與滑軌組成，切割流程先將完成紡絲之基材，移動到定點後，啟動切割裝置，空壓機進氣至氣壓缸帶動壓條固定基材，裁刀向下裁切，碰觸微動開關後，進行排氣收復裁刀與壓版，完成切割，切割模組實體示於圖六左。切割完成後，啟動真空裝置吸住基材，以滑軌將吸住的基材移至收集區，排氣放下基材，進行收集動作，完成後滑軌自動歸位，真空吸引管路與滑軌控制模組示於圖六右。

紡絲前軀體溶液濃度會影響溶液黏稠度和導電性，當溶液濃度增加時，溶液黏稠度和導電性都會增加。當溶液黏稠度過低時，實驗影像顯示為球或串珠狀纖維結構；溶液黏稠度過高時，會抑制溶液射流的拉伸細化，造成無法得到連續的奈米纖維。本實驗較佳設定參數為針頭針徑(內徑 0.77 mm 、外徑 1.07 mm)、工作電壓(20 kV)、工作距離(90 mm)、供給流速(0.3 ml/hr)、環境溫度($30\text{ }^{\circ}\text{C}$)和環境濕度(40 \%RH)。實驗製程變量是調整溶液濃度 12 和 15 \%wt/v ，以不同溶液濃度觀察奈米纖維表面形貌，如圖七所示。 12 \%wt/v 溶液之靜電紡絲有大量串珠纖維與不連續紡絲結構；設定 15 \%wt/v 溶液紡絲實驗成果較佳。紡絲電壓，電場強度增加，使得帶電射流的靜電排斥力克服溶液分子的內聚力，溶劑揮發速度加快，同時增加紡絲溶液拉伸細化纖維之效率，纖維直徑減少。當電場強度超過特定臨界值，帶電射流的加速度太快，反而會讓溶液射流鞭動起始點與收集板之間距離減少，使得分裂次數不足、增加不穩定性，造成奈米纖維線徑增加與型態變異。實驗製程電壓變量是 16 和 20 kV ，如圖八所示， 16 kV 工作電壓產生不連續細絲結構存在； 20 kV 工作電壓產生平均纖維直徑為 $54.2 \pm 15.7\text{ nm}$ ，根據工作電壓對於奈米纖維實驗影響之結果分析，設定以 20 kV 的工作電壓製作奈米纖維薄膜。調變溶液供給速率影響物質交換速度與射流速度，適當速率狀態下，揮發性溶劑有足夠時間進行揮發，可減少纖維不完全揮發的表面形貌變化。實驗製程變量供給流速 0.3 和 0.5 ml/hr ，分析奈米纖維表面形貌與供給流速之相關性，如圖九所示。溶液供給速率 0.5 ml/hr ，出現明顯串珠纖維與不連續細絲結構。供給溶液最佳參數為 0.3 ml/hr 。蠶絲蛋白靜電紡絲製備中，若原料中含有 Cl 和 Ca 等元素，將會影響奈米紡絲結構狀態，使紡絲成為薄膜狀態，如圖十所示。

最佳化參數以不同基材做收集測試，分別以超導材質水針材質黑不織布材質和天絲材質實驗，示於圖十一；薄膜沉積分析得知，可以使用不同的基材當作基底進行靜電紗絲，以利後續相關應用。

多針紗絲以單針、4針與8針進行量產化測試比較，紗絲溶液為SF/PEO溶液濃度(10 %wt/v、1 %wt/v)。紗絲參數為：紗絲電壓差(20 kV)、工作距離(9 cm)、供給流速(0.3 ml/hr)、針頭針徑(內徑 0.77 mm、外徑 1.07 mm)、環境溫度(30 °C)和環境濕度(40 %RH)，進行不同時間的紗絲製程分析。第一組單針結構收集基材尺寸為 150×150 mm²，如圖 10(a)所示。第二組為單排4針結構，針頭間距為60 mm 與收集基材尺寸為 300×200 mm²，如圖 10 (b)所示。第三組為陣列式8針結構，針頭間距為60 mm、排針與排針間距80 mm 和收集基材尺寸為 300×300 mm²，如圖 10 (c)所示。實驗顯示單針產量 6.1mg，4 針紗絲產量增加為 5 倍的 30.71mg，8 針紗絲產量增至 9 倍的 55.81mg。圖十二為針頭數量和奈米纖維薄膜重量相關特性分析圖。

以十組溶液供給速率 0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、1.0 和 1.2ml/hr 等參數，在相同的靜電紗絲製程參數下，探討溶液供給速率對紗絲的影響，奈米纖維薄膜沉積狀況，不同速率的紗絲產量分別為 29.09 mg、40.18 mg、57.66 mg、70.76 mg、83.45 mg、88.57 mg、114.87 mg 和 142.87 mg。實驗顯示當溶液供給速率增加時，奈米纖維薄膜產量也相對提升。放大 2000 倍 SEM 分析中，從 0.3 ~ 0.8 ml/hr 參數，主要表面形貌結構為奈米纖維，而 0.8 ml/hr 參數以上之表面形貌，開始產生膜狀結構於收集基材，在 1.0 ml/hr 仍以奈米纖維薄膜結構為主體，溶液供給速率再增加後，膜狀結構分布部分也隨之增加，因此以 0.7 ml/hr 之溶液供給速率為陣列式多排針載台結構最佳參數。

本機構以 Arduino 為控制器，透過 LabVIEW 進行人機介面的開發設計，可即時監控環境參數與運作狀況，功能設計分成自動控制與手動控制兩部分，自動控制部分主要是將製程參數設定後執行，開發系統將按照各參數進行運作，可使紗絲流程穩定，並降低人為操作的疏失。手動部分主要以人為控制進行每個部份的單獨運作，可單獨檢測每個操作部分是否正常運作。整體人機介面設計，示於圖十三。

四、結論

本自動化多針式靜電紗絲機構，已完成陣列型靜電紗絲機構設計、自動化生產測試、靜電紗絲薄膜量產參數分析、陣列式多排針載台設計和奈米纖維薄膜產量效率測試比較。多針式靜電紗絲平台提供良好和快速的紗絲製程環境，相比於傳統靜電紗絲架構，具備穩定環境因素控制、不間斷收集傳輸系統、快速紗絲參數調整和大幅提升奈米纖維薄膜產能，可應用於各類型靜電紗絲製程。

實驗獲得蠶絲蛋白靜電紗絲最佳操作參數為：溫度 30 °C 濕度 40 %HR、濃度 15 %wt/v、工作電壓 20 kV、溶液供給速率 0.3 ml/hr。系統可將奈米紗絲成長於不同基底上。奈米纖維薄膜產量效率測試以陣列式多排針結構進行紗絲產量測

試分析，最佳化溶液供給速率為 0.7 ml/hr，相較於單針的產量，陣列式 8 針結構提升了 9 倍奈米纖維薄膜產量，並且保持完整奈米纖維結構和收集基材巨觀表面形貌。經不同收集時間結果分析，針頭數量與紡絲產量兩者呈近似正比關係。

誌謝

感謝台北市瑠公農田水利會、財團法人中正農業科技社會公益基金會與農委會提供為期 2 年的產學合作計畫，讓我們能夠與產業界接軌交流完成奈米蠶絲研究。特別感謝苗栗農改場的吳副場長提供蠶絲蛋白原料與資料。感謝逢甲大學貴重儀器中心，提供電子顯微影像與元素含量分析設備，協助完成奈米紡絲成果分析。

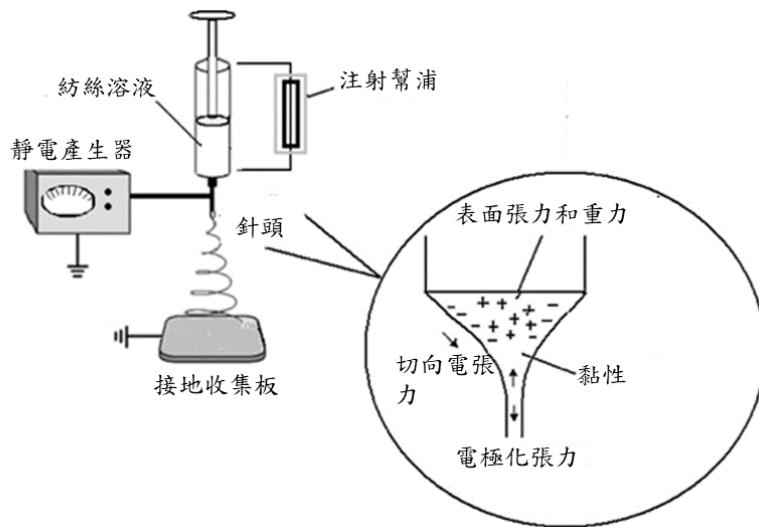
參考文獻

- [1] S. Kacmaz, K. Ertekin, A. Suslu, M. Ozdemir, Y. Ergun, E. Celik, and U. Cocen, “Emission based sub-nanomolar silver sensing with electrospun nanofibers,” *Sensors and Actuators B: Chemical*, Vol. 153, pp. 205-213, 2011.
- [2] B. Ding, E. Kimura, T. Sato, S. Fujita and S. Shiratori, “Fabrication of blend biodegradable nanofibrous nonwoven mats via multi-jet electrospinning,” *Polymer*, Vol. 45, pp.1895-1902, 2004.
- [3] S. A. Theron, A. L. Yarin, E. Zussman and E. Kroll, “Multiple jets in electrospinning: experiment and modeling,” *Polymer*, Vol. 46, pp.2889-2899, 2005.
- [4] A. Varesano, R. A. Carletto and G. Mazzuchetti,“Experimental investigations on the multi-jet electrospinning process,” *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 209, pp. 5178-5185, 2009.
- [5] E. Jentzsch, Ö. Gül and E. Öznergiz, “A comprehensive electric field analysis of a multifunctional electrospinning platform,” *Journal of Electrostatics*, Vol. 71, pp. 294-298, 2013.
- [6] G. Campatelli, L. Sapuppo and A. Scippa,“Analytical – FE simulation of a multi-jet electrospinning process to predict material flow,” *Simulation Modelling Practice and Theory*, Vol. 52, pp. 135-148, 2015.
- [7] X. Wang and W. Xu,“Effect of experimental parameters on needleless electrospinning from a conical wire coil,” *Journal of Applied Polymer Science*, Vol 123, pp. 3703-3709, 2012.
- [8] G. Jiang and X. Qin,“An improved free surface electrospinning for high throughput manufacturing of core–shell nanofibers,” *Materials Letters*, Vol. 128, pp.259-262, 2014.
- [9] H. Li, H. Chen, X. Zhong, W. Wu, Y. Ding and W. Yang,“Interjet distance in needleless melt differential electrospinning with umbellate nozzles,” *Journal of*

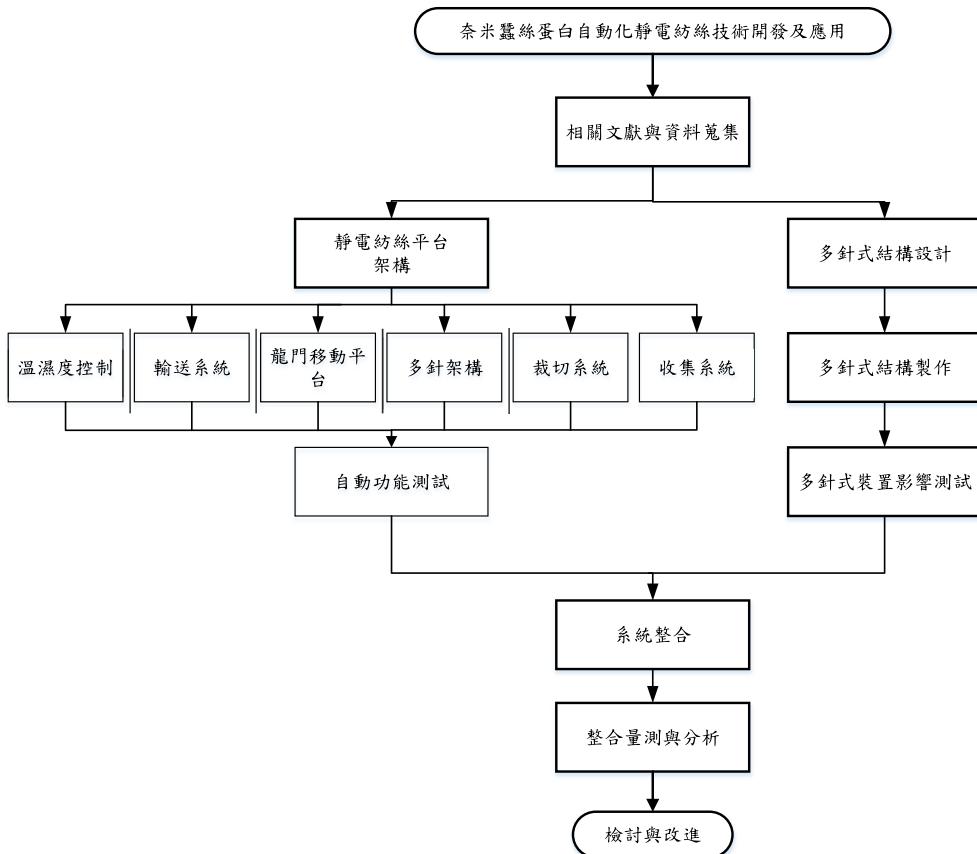
Applied Polymer Science, Vol. 131, pp.40515, 2014.

- [10] J. Holopainen, T. Penttinen, E. Santala and M. Ritala, “Needleless electrospinning with twisted wire Spinneret,” *Nanotechnology*, Vol. 26, pp.1-8, 2015.
- [11] 孫芳、謝軍軍、熊杰等。2009。納米/亞微米再生絲素蛋白纖維制備的影響因素。浙江理工大學學報 26(1):1-6。
- [12] 杭怡春、張耀鵬、邵惠麗等。2010。再生絲素/絲膠共混蛋白水溶液的靜電紡絲。功能材料 41(1):108-111。
- [13] 黃建、劉琳、姚菊明等 2011。靜電紗再生絲素蛋白納米纖維膜的工藝及性能。絲綢 48(1):20-23。
- [14] 王一川、劉延波、唐兵兵等。2014。絲素蛋白-聚乙烯醇共混改性電紗膜的制備。合成纖維 43(5):23-28。

圖表



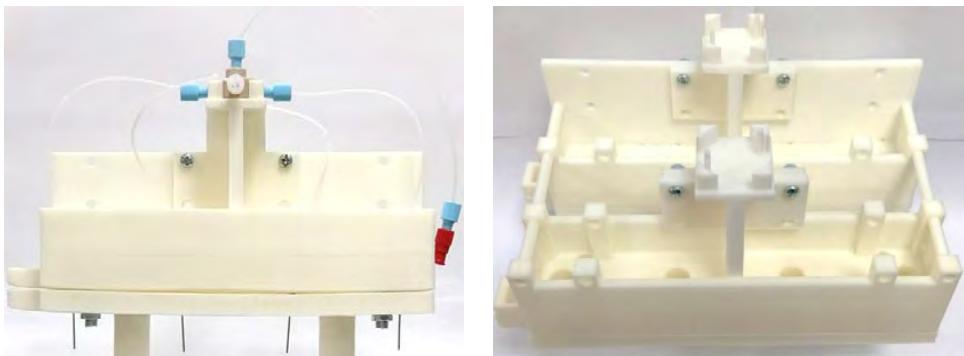
圖一 靜電紡絲基本架構[1]。



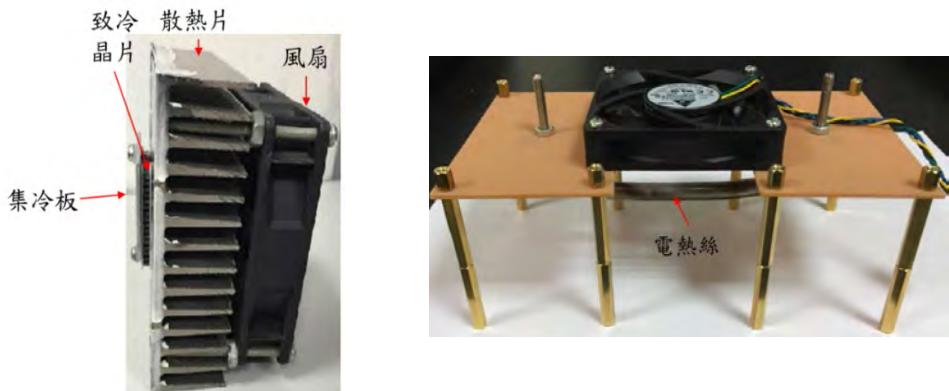
圖二 自動化靜電奈米紡絲技術研究流程圖。



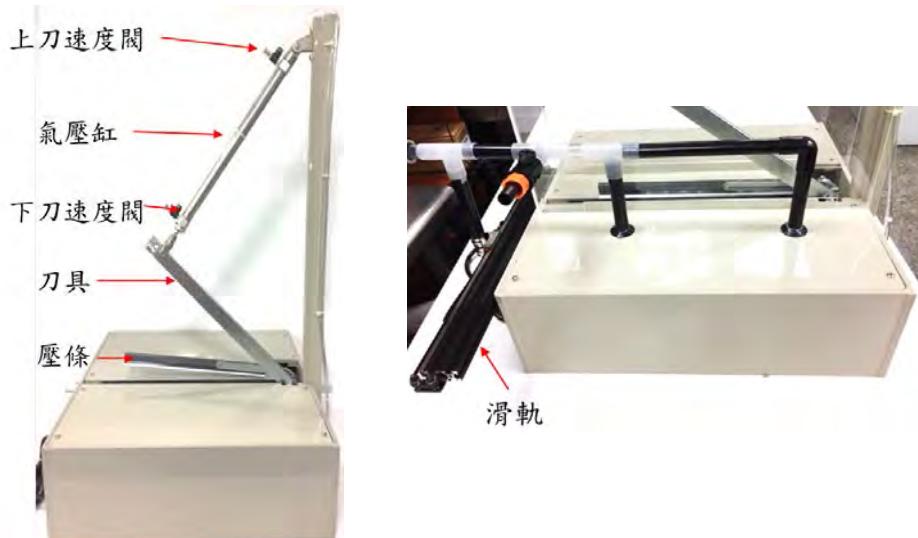
圖三 自動化奈微米靜電紡絲量產機構設備示意圖。



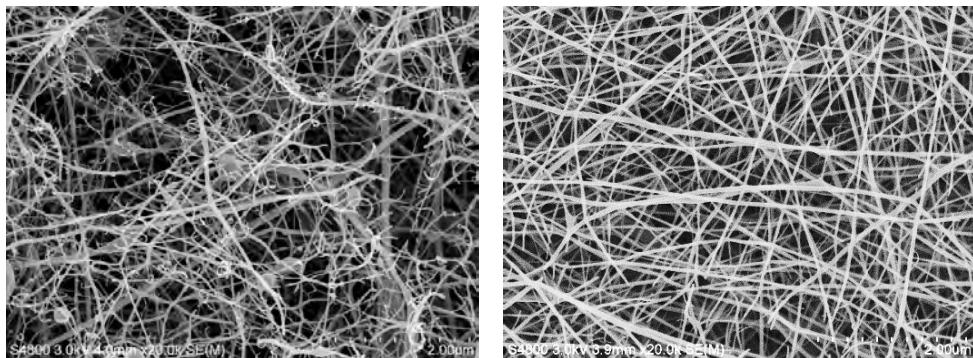
圖四 左為陣列型單排針結構設計，右為多排針結構實體圖。



圖五 左為除濕裝置，右為升溫裝置。



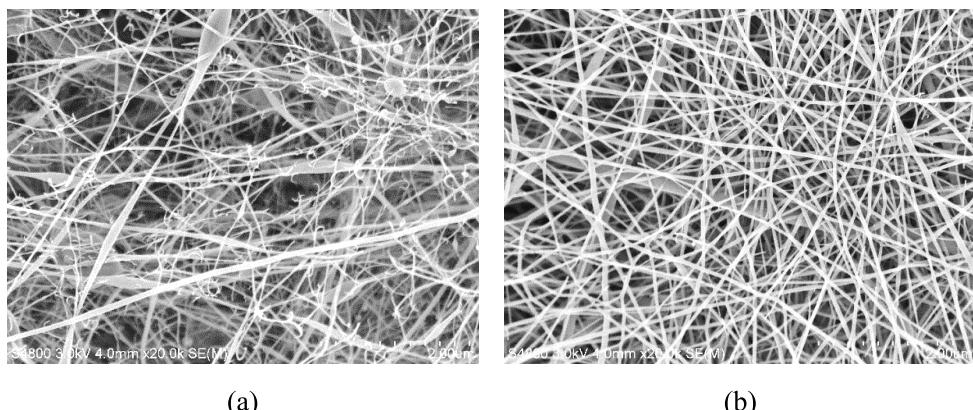
圖六 左為切割裝置，右為真空吸管與滑軌裝置。



(a)

(b)

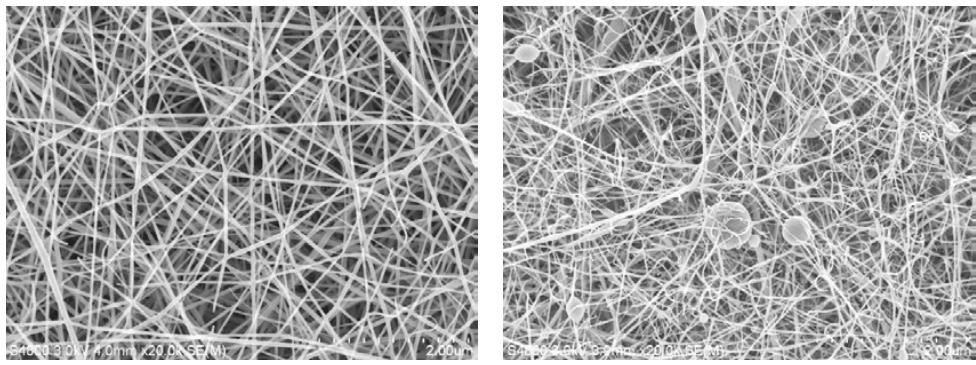
圖七 不同溶液濃度對絲素蛋白奈米纖維表面形貌之 SEM 分析：(a) 12 %wt/v；
(b) 15 %wt/v。



(a)

(b)

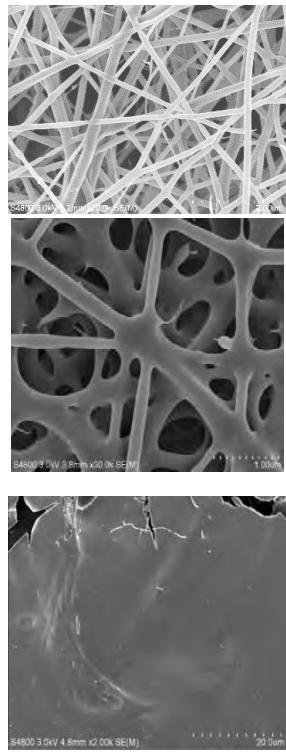
圖八 不同紡絲電壓對絲素蛋白奈米纖維表面形貌之 SEM 分析：(a) 16 kV; (b) 20 kV。



(a)

(b)

圖九 不同溶液供給速率對絲素蛋白奈米纖維表面形貌之 SEM 分析：(a) 0.3 ml/hr；(b) 0.5 ml/hr。

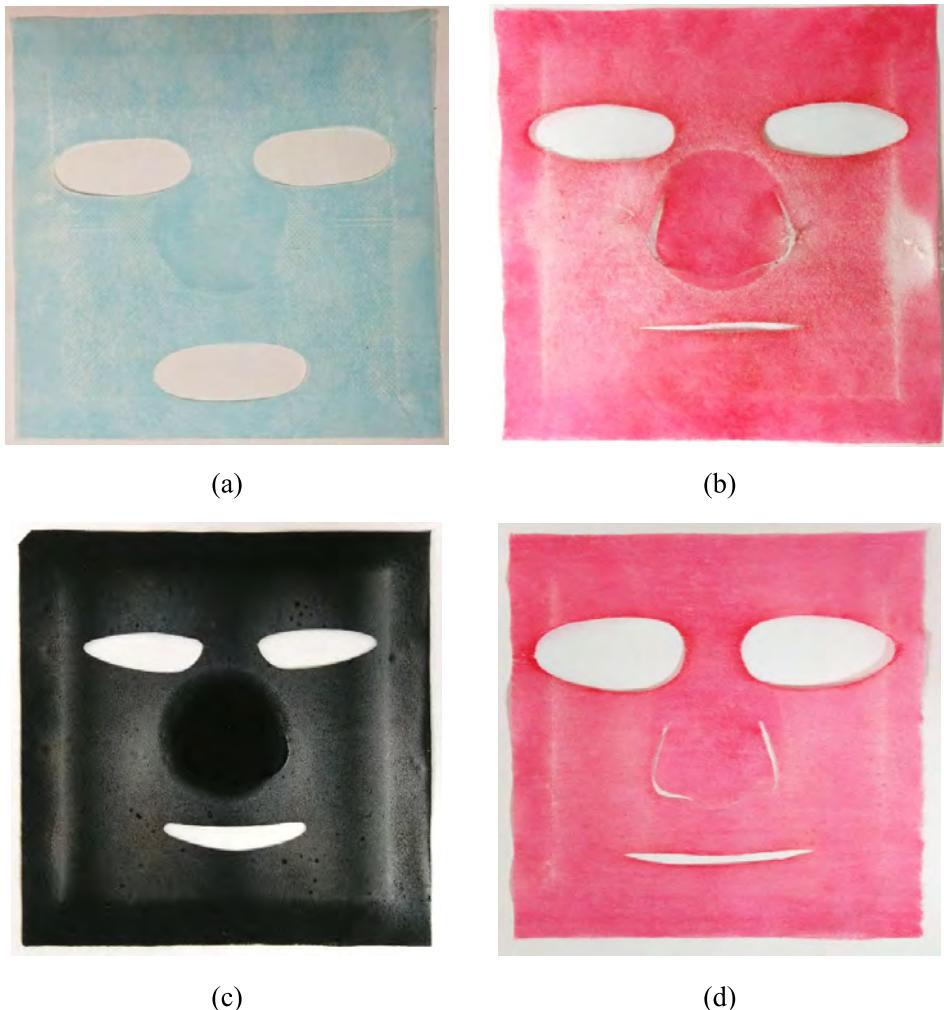


Elements	Norm. C	Atom. C
C	47.16	52.92
N	21.38	20.57
O	31.46	26.51
Total	100	100

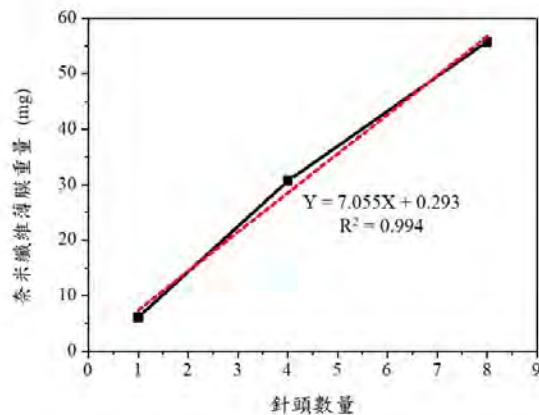
元素	Mass C	Norm. C	Atom. C
C	44.41	45.58	57.03
N	12.44	12.77	13.70
O	24.37	25.01	23.49
Cl	7.28	7.48	3.17
Ca	6.26	6.42	2.41
Pt	2.67	2.74	0.21
Total	97.42	100	100

元素	Mass C	Norm. C	Atom. C
C	40.06	42.30	54.41
N	10.26	10.83	11.95
O	25.35	26.77	25.85
Cl	10.02	10.58	4.61
Ca	7.35	7.76	2.99
Zr	0.55	0.58	0.10
Pt	1.11	1.18	0.09
Total	94.70	100	100

圖十 奈米蠶絲蛋白紡絲溶液含 Cl 和 Ca 元素對製程影響分析，上圖材料只含 C、N 和 O，可成功完成奈米紡絲；中圖材料含 Cl 和 Ca，形成聯結網結構；下圖材料含 Cl、Ca 和金屬元素，奈米紡絲擴散形成薄膜。



圖十一 靜電奈米紡絲沉積於不同基材：(a)超導材質;(b)水針材質;(c)黑不織布材質;(d)天絲材質。



圖十二 紡針數量和奈米纖維薄膜重量相關性分析。



圖十三 人機介面設計。

開發一種具有抑制醣類消化的發酵豆乳

Development of a Fermented Soy Milk That May Inhibit Carbohydrate Digestion

汪嵩遠助理教授

實踐大學食品營養與保健生技系

摘要

本研究目的為研發出一種植物性優格，發酵過程利用特殊乳酸菌的 β -葡萄糖苷酶水解豆漿中大豆異黃酮的醣基，產生無醣基的異黃酮 Daidzein 和 Genistein，藉由 Daidzein 和 Genistein 抑制人體腸道內的分解醣類 α -葡萄糖苷酶酵素活性，減少葡萄糖的產生，可延緩血糖上升並避免肥胖。目前在醫學上也已有許多抑制劑如阿卡波糖及伏格列波糖等應用於抑制人體腸道內 α -葡萄糖苷酶酵素活性，但這些人工抑制劑卻會引起腸胃道不適的副作用，因此本實驗想利用豆漿及乳酸菌研發出可抑制 α -葡萄糖苷酶酵素活性，且無副作用，天然的一種植物性優格。先前的研究已完成篩選乳酸菌，並對這些乳酸菌 β -葡萄糖苷酶活性檢測、Daidzein 和 Genistein 抑制分解醣類的酵素活性試驗，接著對這些特殊的乳酸菌進行菌種鑑定，最後使用這些特殊乳酸菌發酵豆漿製作植物性優格。

本實驗選用了優格常見基底菌嗜熱鏈球菌(*Streptococcus thermophiles*, STh) 及保加利亞桿菌(*Lactobacillus bulgaricus*, LB)，與 F48、F55、G30、Y16 進行(1)單一菌株發酵，發酵實驗以恆溫培養箱，於 35°C 分別發酵 4 小時、8 小時、12 小時、16 小時，檢測樣品黏度、酸鹼值、酸度、Daidzein 和 Genistein 濃度，比較檢測結果後將發酵時間設定為 12 小時，(2)將兩株基底菌株分別組合 F48、F55、G30、Y16，於 35°C 發酵 12 小時後檢測樣品黏度、酸鹼值、酸度、Daidzein 和 Genistein 濃度，(3) 將兩株基底菌株加入 F48 分別組合 F55、G30、Y16，於 35°C 發酵 12 小時後檢測樣品黏度、酸鹼值、酸度、Daidzein 和 Genistein 濃度，(4) 將兩株基底菌株加入 F48 及 F55，分別組合 G30、Y16，於 35°C 發酵 12 小時後檢測樣品黏度、酸鹼值、酸度、Daidzein 和 Genistein 濃度，比較單一菌株發酵、三菌組合發酵、四菌組合發酵、五菌組合發酵對於黏度、酸鹼值、酸度、Daidzein 和 Genistein 濃度的影響，以及樣品對於 α -葡萄糖苷酶酵素活性的抑制率。

關鍵字： β -葡萄糖苷酶、 α -葡萄糖苷酶、配醣體異黃酮素、Daidzein、Genistein、發酵豆漿、乳酸菌

1.1 前言

現代人的飲食型態與過去相比有很大的轉變，雖然健康意識逐漸抬頭，但是現在社會的環境與飲食習慣容易使人們攝取過多的熱量與糖類，因而增加許多慢性疾病的風險。根據世界衛生組織(WHO)表示，肥胖已成為全世界都需面對的健康問題，連帶影響高血糖、高血壓、心血管疾病等疾病的治療與控制，並且會提高糖尿病患者罹患心血管疾病的風險，而其中，高血壓也是糖尿病病患最常見的併發症，糖尿病患者罹患高血壓的機率是普通人的兩倍，也是造成糖尿病患者容易有心血管併發症的原因，而減重則可幫助糖尿病人控制血糖且降低併發症的發生(Shi et al, 2011; Mogre et al, 2014)。控制體重與血糖的方法除了可減少飲食中對於含醣類食物的攝取外，也已經有研究指出抑制人類小腸中的 α -葡萄糖苷酶可以延緩葡萄糖的吸收，目前已有許多抑制劑被廣泛使用，如阿卡波糖及伏格列波糖，但在許多實驗中，也可以看到受試者長期使用這些抑制劑會使腸胃出現各種不適，如胃痛、腹瀉、胃脹氣等副作用(Chiasson et al, 2002; Kawamori et al, 2009; Fujitani et al, 2016; Stefano et al, 2018)，為了取代這些有許多副作用的人工合成抑制劑，需要開發天然而且不會產生副作用的功能性食品，因此學者們開始轉往研究出食物中哪些成分可以和抑制劑有相同的功能。已經有研究顯示異黃酮素可抑制老鼠體內 α -葡萄糖苷酶的功能，在亞洲大豆經常用來加工成各種食品，大豆所富含的異黃酮素中主要為 Genistin 和 Daidzin，經過人體腸道內酵素 β -葡萄糖苷酶(β -glucosidase)移除糖基，產生無糖基異黃酮素 Daidzein 和 Genistein 來抑制 α -葡萄糖苷酶(Park et al, 2006; Lima et al, 2014)。目前已有實驗表示乳酸菌中的 β -葡萄糖苷酶(β -glucosidase)可水解出無糖基異黃酮素 Daidzein 和 Genistein (Delgado et al, 2018)，因此可以利用乳酸菌來開發出能抑制人體腸道內的分解醣類的酵素活性，減少葡萄糖的產生，可延緩血糖上升並避免肥胖的功能性大豆食品。

1.2 文獻回顧

1.2.1 異黃酮素(isoflavone)

異黃酮素常見於大豆中，為一種植化素，是由兩個酚環所組成的多酚類物質，同時也是種抗氧化物質，在大豆中異黃酮素主要有兩種不同形式，第一種為葡萄糖基異黃酮素(glycosides)，以 6 號碳接上丙二醯(6"-O-malonylglucosides) 和乙醯基(6"-O-acetyl-glucosides)兩種葡萄糖苷形式存在，如 daidzin、genistin(圖一)，第二種為無糖基異黃酮素(aglycones)，如 daidzein 和 genistein(圖一)，而目前研究已經得知，在自然界中主要以葡萄糖苷異黃酮素的形式存在，而無糖基異黃酮素在大豆中的含量則是較低的(Farmakalidis et al., 1985; Izumi et al., 2000)。

1.2.2 β -葡萄糖苷酶特性

β -葡萄糖苷酶廣泛存在於黃豆、鷹嘴豆等植物中，甚至微生物內也可發現 β -

葡萄糖苷酶的存在，在自然界中是相當常見的一種酵素，研究已證實 β -葡萄糖苷酶主要催化或水解雙醣和寡糖類 β -glucoside 鍵結，而目前的研究發現含有葡萄糖基的異黃酮素之水解可藉由乳酸菌所產生的 β -葡萄糖苷作用，產生無糖基異黃酮素，若應用在豆類製品上，可進而抑制人體腸道內 α -葡萄糖苷酶的活性(Hsieh & Graham, 2001; Choi et al., 2002)

1.2.3 乳酸菌

是指能夠代謝碳水化合物並可產生 50%以上乳酸之細菌的總稱，菌體形態以球狀或桿狀兩種為主，在人體的消化道中存在許多乳酸菌，其數目和種類會隨年齡而有所改變。乳酸菌的營養需求複雜，包含碳水化合物、胺基酸、維生素、礦物質等，以維持其生長。一般來說，乳酸菌是一種兼性厭氧菌，可以在有氧氣的環境下生長，但在無氧環境下生長情況較良好。

1.2.4 研究目的

綜合以上敘述，雖然目前研究已發現抑制 α -葡萄糖苷酶可降低人體吸收葡萄糖及熱量，在醫學上也已有許多抑制劑如阿卡波糖及伏格列波糖等應用，但這些人工抑制劑卻會引起腸胃道不適的副作用，因此本研究目的為利用豆漿及乳酸菌研發出無副作用，天然的一種植物性優格，發酵過程利用乳酸菌所產生的 β -葡萄糖苷酶水解豆漿中大豆異黃酮的醣基，產生無糖基的異黃酮 Daidzein 和 Genistein，藉由 Daidzein 和 Genistein 抑制人體腸道內的分解醣類的 α -葡萄糖苷酶酵素活性，減少葡萄糖的吸收，可延緩血糖上升並避免肥胖。

第二章 材料與方法

2.1 實驗材料

2.1.1 化學藥劑與實驗樣品

- (1) Lactobacilli MRS Broth：購買自美國 Difco 公司
- (2) 100 % Acetonitrile, 99 % Ethanol, Acetic acid：購買自德國 Merck 公司
- (3) Trifluoroacetic; TFA：購買自日本 Wako 公司
- (4) 義美無糖豆漿

2.1.2 套組

- (1) FavorPrepTM Plasmid Extraction Mini Kit：購買自
- (2) EconoTaq PLUS GREEN 2X Master Mix：購買自波仕特生物科技股份有限公司
- (3) Primers：購買自生工科技有限公司與明欣生物科技有限公司

2.1.3 儀器與設備

- (1) DNA Engine[®] Peltier Thermal Cycler：Bio Rad
- (2) pH meter：METER 6171
- (3) Centrifuge：Eppendorf 5810R

- (4) LVDV-I Prime
- (5) 直流攪拌器 DC-1r
- (6) 恒溫培養箱 E600
- (7) 無菌操作台 3HT-24
- (8) Power Wave XS2 : BioTek
- (9) Thermo Biomate 3s

2.2 實驗方法

2.2.1 菌株培養

將乳酸菌菌株塗盤至 MRS agar 上，於 37°C 下厭氧培養 48 hr 後，挑取一菌落至 10 ml 含有 MRS broth 於 37°C 培養 16 hr。

2.2.2 菌株篩選

將培養之菌株以 3200 g, 4°C 離心 10 分鐘後，去除上清液，加入 1 ml 豆漿，以 45 °C 發酵兩小時後，取 200 µl 加入 200 µl 100% 乙醇震盪混勻，以 20000 g, 4°C 離心 20 分鐘，取上清液，以 HPLC 分析 Daidzein 和 Genistein 濃度。

2.2.3 16S rRNA 菌種鑑定

依照 FavorPrep™ Plasmid Extraction Mini Kit 之操作方法，取得 Genomic DNA，儲存於 4°C。以 genomic DNA 為模板，並以 16S rRNA 廣效性引子進行 PCR，所得 PCR 產物經取 5 µl 菌體 Genomic DNA 以 0.8% agarose gel、1X TAE buffer 於 100V 進行膠體電泳分析後，於 UV 燈下照相觀察結果，委由明欣生物科技有限公司代為定序

2.2.4 發酵豆漿

以恒溫培養箱於 30°C 下培養嗜熱鏈球菌、保加利亞桿菌、F48、F55、G30、Y16 等六株乳酸菌 12 到 16 小時候，檢測六株乳酸菌 OD 值，接著將乳酸菌 OD 值調整至 1 後，以 100 毫升豆漿加入 1 OD 菌液 4 毫升的比例進行發酵，發酵前先將豆漿以水浴回溫至 30°C 後加入菌液，再放入恒溫培養箱，以 35°C 分別發酵 4 小時、8 小時及 12 小時以及 16 小時，接著檢測樣品黏度、pH 值、酸度並以 HPLC 分析樣品 Daidzein 和 Genistein 濃度

2.2.4.1 樣品黏度檢測

發酵結束後，將樣品置於水浴降溫至室溫(25°C)後，以直流攪拌器 DC-1r，在 80 rpm 的速度下將樣品攪勻後，使用黏度計 LVDV-I Prime，以 100 rpm 的速度，探針則選用 S62 及 S64 檢測樣品黏度。

2.2.4.2 酸鹼值檢測

發酵結束後，將樣品置於水浴降溫至室溫(25°C)後，以直流攪拌器 DC-1r，80 rpm 的速度將樣品攪勻，使用 pH meter(METER 6171)檢測樣品酸鹼值。

2.2.4.3 酸度檢測

發酵結束後，將樣品置於水浴降溫至室溫(25°C)後，以直流攪拌器 DC-1r, 80 rpm 的速度將樣品攪勻，使用有機酸含量之測定，取 10 克豆漿樣品加 20 克水，加入

1%，0.5 ml 酚酞，以 0.1N NaOH 滴定，並記錄滴定之 NaOH 用量，有機酸以乳酸計算。

2.2.4.4 Daidzein 和 Genistein 濃度分析

使用高效液相層析儀(HPLC)分析樣品中 Daidzein 及 Genistein 濃度。=

2.2.5 乳酸菌對異黃酮素水解分析

2.2.5.1 高效液相層析儀分析方法

參考(Hsu et al., 2001)之方法加以修飾

機型：Shimadzu-20A

管柱：Waters Nova-Pak C18 (3.9×150 mm；4 μm)

管柱溫度：25°C

波長：254 nm

流速：0.8 ml/min

移動相： A (0.1%Trifluoroactic acid/Acetonitrile, v/v)

B (0.1% Trifluoroactic acid/10%Acetic acid/Water, v/v)

梯度

分鐘	A(%)	B(%)
0	15	85
2	15	85
2.5	25	75
14.5	70	30
17.5	15	85
20	15	85
25	15	85

2.2.5.2 建立異黃酮素標準品 Daidzein 和 Genistein 之標準曲線

利用 80% 酒精連續稀釋 Genistein 和 Daidzein 標準品(1mg/ml)進行 HPLC 分析，紀錄波峰面積與標準品相對應濃度，建立波峰面積對濃度之檢量線為標準曲線。Daidzein 之檢量線 $R^2 = 0.9998$ ，Genistein 之檢量線 $R^2 = 0.9982$

2.2.6 統計分析

實驗數據使用統計系統(statistical analysis system, SAS)進行統計分析。使用變異數分析(analysis of variance : ANOVA)鄧肯多變域檢定法(Duncan's multiple range test)進行差異性比較，比較菌株在不同發酵時間發酵以及組合菌株發酵後，發酵豆漿其黏度、pH、酸度以及 Genistein 和 Daidzein 濃度影響，數據上顯示相同字母表示組間並沒有顯著的差異。

第三章 結果與討論

3.1 菌株純種分離

本研究取市售優格經稀釋，以及由實驗室儲存之乳酸菌株，以 Lactobacilli MRS Broth 培養基中培養 24 hr，接著從培養基上挑選清晰可分辨的單一菌落，個別接種至 Lactobacilli MRS Broth，以 37°C 培養 24 小時後，將培養之菌株以四區劃線於 MRS Agar，並在 37°C 下厭氧培養 48 小時，純種培養後，市售優格所分離出來的菌編號為 "G"，實驗室儲存之乳酸菌株編號則為 "A"、"F" 及 "Y"

3.2 菌株對異黃酮素水解篩選分析

大豆中異黃酮素其配醣體可經由 β -葡萄糖苷酶水解，形成無糖基異黃酮素，因此將培養 16 hr 之乳酸菌加入到 1 ml 豆漿發酵兩小時後，以 1 比 1 的比例加入乙醇，離心取上清液，以 HPLC 分析 Daidzein 和 Genistein 濃度，藉此了解乳酸菌株之 β -葡萄糖苷酶水解異黃酮素配醣體的效率。

首先須建立無糖基異黃酮素 Daidzein 和 Genistein 分析之標準曲線，利用 80% 酒精連續稀釋 Daidzein 和 Genistein 標準品(1mg/ml)後，進行 HPLC 分析，可得無糖基異黃酮素 Daidzein 公式 $y = 48246x - 54376(R^2 = 0.9997)$ 和無糖基異黃酮素 Genistein 公式 $y = 41131x + 321559 (R^2 = 0.9964)$ 。

88 株實驗室所儲存之乳酸菌加上從市售優格分離出來的菌株以 Lactobacilli MRS Broth 培養 16 hr 後，將菌株之 OD 值調整成 0.5 後加入 1 ml 豆漿中，以 45 °C 發酵兩小時後，以 HPLC 分析豆漿樣品中 Daidzein 和 Genistein 濃度，實驗結果以統計四分法(quartiles; Q)將各菌株水解出無糖異黃酮素能力分組，挑選水解出無糖異黃酮素 Daidzein 和 Genistein 能力在前 50 百分位(Q4、Q3)的乳酸菌株共 15 株菌。

3.3 16S rRNA 菌株序列分析鑑定

篩選出來的乳酸菌經純化萃取得 genomic DNA，接著將以 genomic DNA 為模板，並以 16S rRNA 廣效性引子進行 PCR，所得 PCR 產物經膠體電泳後，委由明欣生物科技有限公司代為定序，定序結果與 NCBI nucleotide BLAST 資料庫中已知菌種比對後，G11、G14、G24、G26、G28 及 G30 菌株其 16S rRNA 序列與 *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* 相似，Y12、Y13、Y14、Y15、Y16、Y18 菌株其 16S rRNA 序列與 *Lactobacillus plantarum* 相似，A12、F55 菌株其 16S rRNA 序列與 *Pediococcus pentosaceus* 相似，F48 菌株其 16S rRNA 序列與 *Pediococcus acidilactici* strain 相似。

3.4 單一菌株發酵豆漿

委由葡萄王生技幫忙生產優格常用之基底菌，嗜熱鏈球菌(STh)與保加利亞桿菌(LB)，加上挑選出來的 F48、F55、G30 和 Y16 四株乳酸菌株，以四區劃線於 MRS Agar，並在 37°C 下厭氧培養 48 小時後，取單一菌落至 Lactobacilli MRS Broth，於 30°C 下厭氧培養 12 小時，在這樣的條件下，菌株生長不易快速至停滯期並可保持其活性，接著檢測菌株 OD 值，將 OD 值調整成 1 後，以 100 毫升豆

漿加入 1 OD 菌液 4 毫升的比例進行 4 小時、8 小時、12 小時、16 小時，四種不同時間發酵豆漿，接著檢測樣品的黏度、酸鹼值、酸度以及 Daidzein 和 Genistein 濃度，從圖二中可看到，在不同發酵時間下，除了 G30 外，其他菌株的發酵豆漿黏度會在發酵 12 小時後測到最高值，並與其他發酵時間有顯著的差異，接著在圖三中，以 STh、LB 及 Y16 三株菌株發酵的樣品，在 8 小時、12 小時、16 小時的酸鹼值沒有顯著的差異，而 F48 和 F55 在 12 小時的樣品酸鹼值和 8 小時的樣品有顯著的差異，但與 16 小時並無差異，以 G30 菌株發酵的樣品則在發酵 16 小時後，酸鹼值才有明顯的下降，但從數據上(表一)可看到在 12 小時所測得的酸鹼值，除了 G30 外，其他樣品酸鹼值都有下降至 4.2 到 4.3，這樣的環境較不利於微生物孳生，接著檢測六種樣品的酸度，食品的酸度會影響其口感及風味，圖四中顯示，以 LB、F48、Y16 三株菌發酵的樣品除了 0 小時外，其餘發酵時間測得的酸度沒有顯著的差異，STh 則是在發酵 12 小時候有最低的酸度，F55 發酵 12 和 16 小時後會有較高的酸度，兩者沒有顯著的差異，而 G30 會在發酵 16 小時後有最高的酸度，從這些實驗結果可以看到，發酵 12 小時的樣品在黏度、酸鹼值和酸度上都可以做出較良好的發酵豆漿，因此將發酵時間定為 12 小時。因此接下來 HPLC 主要分析發酵 12 小時的六種樣品，G30 會得到最高的 Daidzein 濃度(圖八)，其次是 Y16，最低濃度則是 LB 及 F48，而 Genistein 濃度(圖八)，則是 Y16 會水解出最高含量的 Genistein，STh 及 G30 也可以看到有不錯的水解功效。

3.4.1 三種菌株組合發酵豆漿

將兩種基底菌分別組合 F48、F55、G30 及 Y16 四株菌株，發酵 12 小時後，檢測四種樣品的黏度、酸鹼值、酸度以及 Daidzein 和 Genistein 濃度，從圖五中可看到，基底菌組合 F55 的樣品會有最好的黏度、其次是基底菌組合 F48，最低的則是基底菌組合 G30，酸鹼值檢測以基底菌組合 F55 的發酵豆漿樣品有最高的 pH 值(圖五)，但從表二中可看到，四種樣品的 pH 值皆在 4.2 左右，而四種樣品的酸度則並沒有統計上的差異(圖五)，樣品經過 HPLC 分析後，基底菌組合 F55 的樣品可測得最高濃度的 Daidzein，而基底菌組合組合 Y16 的樣品則可測得高濃度的 Genistein(圖九)。

3.4.2 四種菌株組合發酵豆漿

將兩種基底菌加入在單一菌株發酵時黏度和酸鹼值表現較好的 F48 後再分別組合 F55、G30 和 Y16 三種菌株，發酵 12 小時後，檢測三種樣品的黏度、酸鹼值、酸度以及 Daidzein 和 Genistein 濃度，從圖六中可看到，基底菌加 F48 組合 F55 的樣品會有較好的黏度與較低的酸鹼值，而三種樣品的酸度則是沒有顯著的差異(圖六)，接著看到樣品經過 HPLC 分析後的 Daidzein 和 Genistein 濃度，基底菌加 F48 組合 G30 的豆漿樣品會得到最高的 Daidzein 濃度，其次是基底菌加 F48 組合 F55，而這兩個樣品也會得到較高的 Genistein 濃度，但兩者之間並沒有顯著的差異(圖十)。

3.4.3 五種菌株組合發酵豆漿

將兩種基底菌加入 F48 及 F55 後，再分別組和 G30 和 Y16 兩種菌株，發酵 12 小時後，檢測兩種樣品的黏度、酸鹼值、酸度以及 Daidzein 和 Genistein 濃度，從圖七中可觀察到，兩種樣品的黏度、酸鹼值、酸度並沒有顯著的差異，接著看到樣品無糖基異黃酮素的濃度，以組合 Y16 菌株發酵的樣品會得到較高的 Daidzein 和 Genistein 濃度(圖十一)。

3.5 抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗

檢測發酵豆漿樣品是否具備抑制 α -葡萄糖苷酶活性的功能，先檢測單一菌株的發酵豆漿對於 α -葡萄糖苷酶活性的抑制，從圖十二中可看到，經過 12 小時發酵後的樣品，G30 和 STh 對於 α -葡萄糖苷酶活性的抑制率最好，接著是 Y16 和 F48，而圖十三中，也可看到發酵豆漿中所測出的 Daidzein 與 Genistein 越高，抑制率越好。

3.5.1 三種菌株組合之發酵豆漿抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗

接著檢測基底菌組合 F48、F55、G30、Y16 等的發酵豆漿抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗，從圖十四中顯示由基底菌組合 F48 的發酵豆漿會得到四種樣品中最好的抑制率。

3.5.2 四種菌株組合之發酵豆漿抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗

圖十五中可看出，由基底菌加入 F48 再組合 F55 的發酵豆漿有最好的抑制率，其次是 Y16。

3.5.3 五種菌株組合之發酵豆漿抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗

檢測基底菌加入 F48 和 F55 再組合 G30、Y16 的發酵樣品抑制 α -葡萄糖苷酶活性，圖十六中可看到 Y16 發酵豆漿對於 α -葡萄糖苷酶活性的抑制比 G30 好。

第四章結論

綜合實驗結果，在最初單一菌株發酵豆漿時，發酵 12 小時後，六種發酵豆漿都會測得最好的黏度及酸鹼值，酸度則是發酵 8 小時後的變化並不大，考慮到樣品的黏度、酸鹼值、酸度等性質，而黏度和酸鹼值都會在 12 小時得到最好的效果，因此將發酵時間訂為 12 小時，接著看到樣品水解出無糖基異黃酮素 Daidzein 和 Genistein 濃度，在發酵 12 小時的樣品中，G30 及 Y16 可水解出較高濃度的 Daidzein 和 Genistein，且對於 α -葡萄糖苷酶活性的抑制也較高，而其他樣品也可以看到不錯的抑制率。單菌發酵結束後，我們進一步將六種菌株組合起來，而嗜熱鏈球菌(STh)與保加利亞桿菌(LB)是優格在製作時最常使用的基底菌，因此在組合菌發酵實驗中，我們也將這兩株菌設定為基底菌，再去組合剩下的 F48、F55、G30、Y16 四株菌，而在三種菌株組合的樣品中，在單一菌株發酵時呈現良好黏度 F48 及 F55 依舊保有較高的黏度，四種樣品的 pH 值皆已在 4.2 左右，F55 的樣品酸度是四個樣品中最低的，而樣品經過 HPLC 分析後，基底菌組合 F55 的樣品可測得最高濃度的 Daidzein 而基底菌組合組合 Y16 的樣品則可測得高濃度的 Genistein。再接著四菌組合與五菌組合在黏度、酸鹼值、酸度的相差

並不小，而水解出無醣基異黃酮素的能力，在四菌組合中，基底菌加 F48 組合 G30 的豆漿樣品會得到最高的 Daidzein 濃度，其次是基底菌加 F48 組合 F55，而這兩個樣品都會得到較高的 Genistein 濃度，五菌組合則是以組合 Y16 菌株發酵的樣品會得到較高的 Daidzein 和 Genistein 濃度，而抑制 α -葡萄糖苷酶活性實驗，無論是單一菌株發酵還是組合菌株發酵，都可看到發酵豆漿有良好的抑制率，表示發酵豆漿中 β -葡萄糖苷酶所水解出的 Daidzein 和 Genistein 是可以抑制 α -葡萄糖苷酶的活性。

第五章 參考文獻

- Chiasson Jean, L., Josse Robert, G., *et al.* (2002). Acarbose for prevention of type 2 diabetes mellitus: the STOPNIDDM randomised trial., 359, 2072-2077.
- Choi Yeon, B., Kim Kang, S., Rhee Joon, S. (2002) Hydrolysis of soybean isoflavone glucosides by lactic acid bacteria., 24, 2113-2116.
- Delgado, S., Guadamuro, L., et al. (2018) Fermentation of commercial soy beverages with lactobacilli and bifidobacteria strains featuring high β -glucosidase activity.
- Fujitani, Y., Fujimoto, S., Takahashi, K., et al. (2016) Effects of linagliptin monotherapy compared with voglibose on postprandial blood glucose responses in Japanese patients with type 2 diabetes: Linagliptin Study of Effects on Postprandial blood glucose (L-STEP)., 121, 146-156.
- Farmakalidis, E., & Murphy, P. (1985) Isolation of 6"-0 -Acetylgenistin and 6"-0 -Acetyldaidzin from Toasted Defatted Soyflakes., 33, 385-389.
- Hsieh Ming, C., & Graham, T. (2001) Partial purification and characterization of a soybean β -glucosidase with high specific activity towards isoflavone conjugates., 58, 995-1005.
- Izumi, T., Piskula, M., et al. (2000) Soy Isoflavone Aglycones Are Absorbed Faster and in Higher Amounts than Their Glucosides in Humans., 130, 1695-1699.
- Kawamori, R., Tajima, N., Iwamoto, Y., *et al.* (2009) Voglibose for prevention of type 2 diabetes mellitus:a randomised, double-blind trial in Japanese individuals with impaired glucose tolerance., 373, 1607-1614.
- Lima Fernando, S., & Ida Elza, I. (2014) Optimisation of soybean hydrothermal treatment for the conversion of β -glucoside isoflavones to aglycones., 56, 232-239.
- Mogre, V., Abedandi, R., Salifu, Z.,(2014). Prevalence of obesity and systemic hypertension among diabetes mellitus patients attending an out-patient diabetes clinic in a Ghanaian Teaching Hospital., 8, 67-71.
- Park, Sun., Choi, M., Cho, S., *et al.* (2006). Genistein and daidzein modulate hepatic glucose and lipid regulating enzyme activities in C57BL/KsJ-db/db mice., 79,

1207-1213.

Shi, X.D., He, S.M., Tao, Y.C., *et al.* (2011). Prevalence of obesity and associated risk factors in Northeastern China., 91, 389-394.

Stefano Elisa, D., Oliviero, T., Udenigwe Chibuike, C., (2018). Functional significance and structure–activity relationship of food-derived α -glucosidase inhibitors., 20, 7-12.

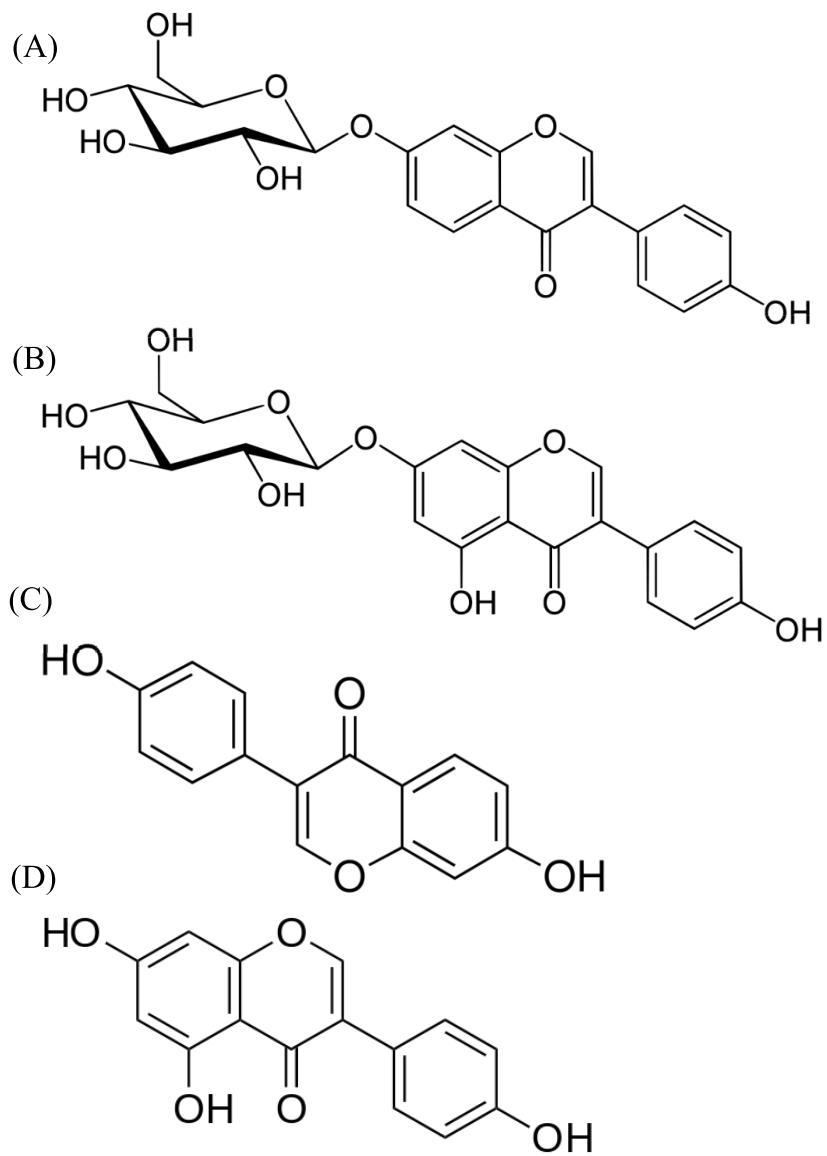
表一、不同發酵時間下單一菌株發酵豆漿酸鹼值

時間 \ 菌株	STh	LB	F48	F55	G30	Y16
0 hr	6.72 ± 0.00 ^a	6.72 ± 0.00 ^a				
4 hr	4.74 ± 0.03 ^b	4.40 ± 0.13 ^b	5.16 ± 0.15 ^b	5.37 ± 0.22 ^b	6.46 ± 0.13 ^{ab}	5.95 ± 0.00 ^b
8 hr	4.34 ± 0.07 ^c	4.34 ± 0.03 ^b	4.53 ± 0.14 ^c	4.65 ± 0.27 ^c	6.57 ± 0.16 ^{ab}	4.52 ± 0.26 ^c
12 hr	4.30 ± 0.06 ^c	4.29 ± 0.03 ^b	4.28 ± 0.05 ^d	4.22 ± 0.02 ^d	6.30 ± 0.07 ^b	4.35 ± 0.01 ^c
16 hr	4.31 ± 0.06 ^c	4.28 ± 0.04 ^b	4.31 ± 0.06 ^d	4.16 ± 0.06 ^d	4.66 ± 0.38 ^c	4.38 ± 0.03 ^c

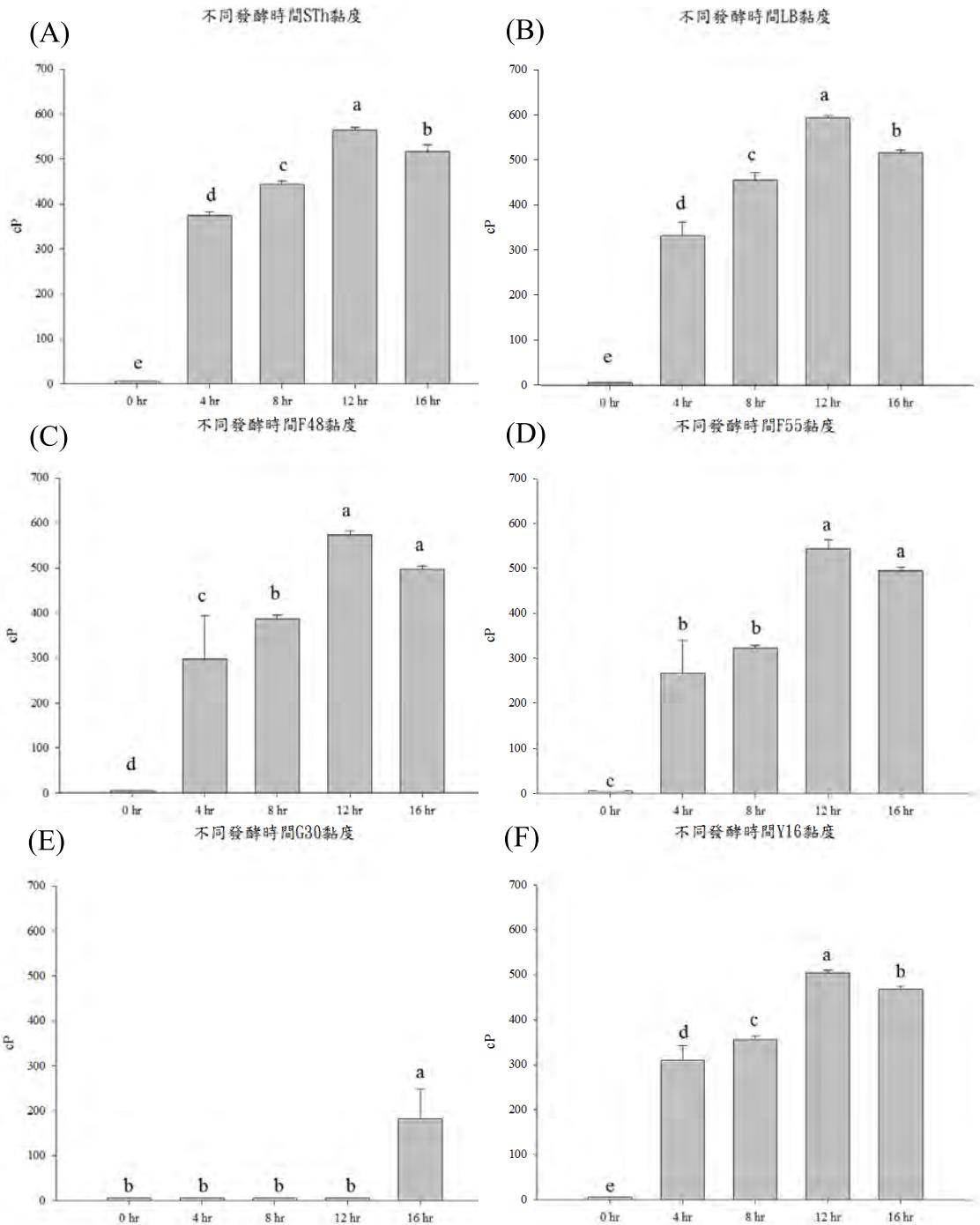
數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

表二、三菌組合發酵 12 小時發酵豆漿溫度、黏度、酸鹼值、有機酸含量

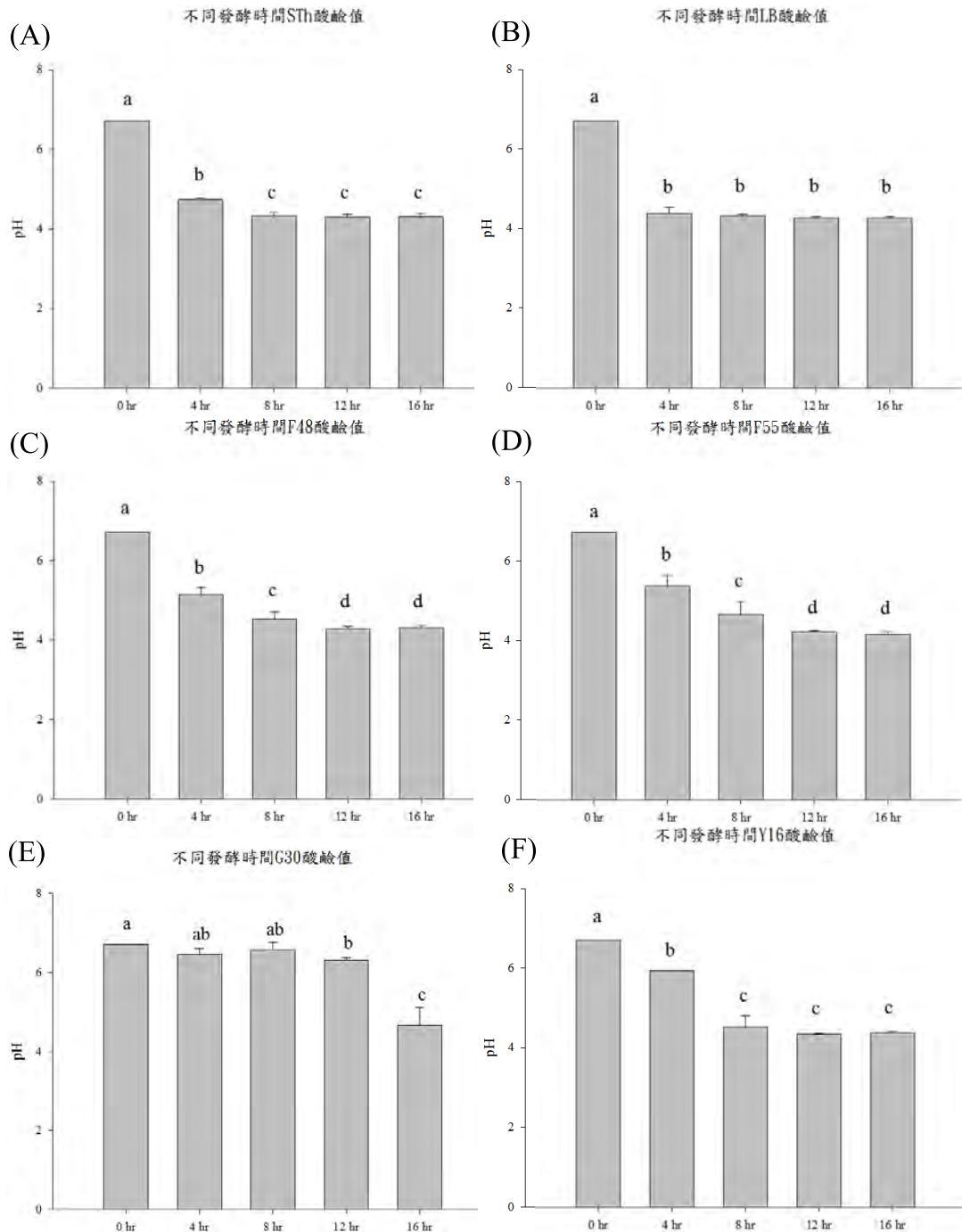
發酵時間 三菌組合	12 hr			
	溫度	黏度	pH	有機酸含量(%)
LBSThF48+F55	35	425.90 ± 4.90	4.175 ± 0.00	44.49 ± 1.21
LBSThF48+G30	32.5	413.90 ± 4.90	4.183 ± 0.00	43.32 ± 1.54
LBSThF48+Y16	35	403.90 ± 7.48	4.198 ± 0.00	43.90 ± 0.55



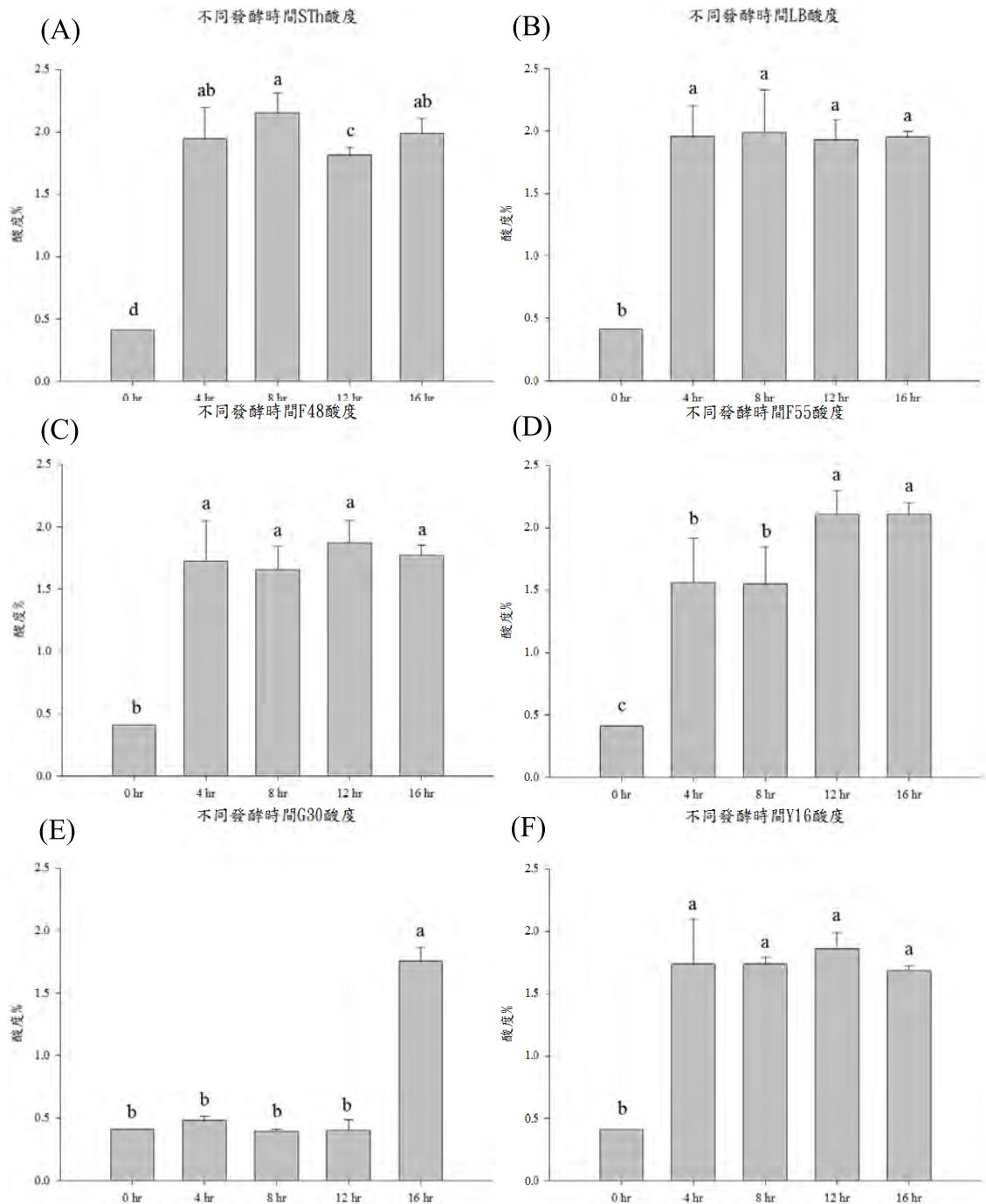
圖一、(A) 配糖體異黃酮素 Daidzin (B) 配糖體異黃酮素 Genistin
 (C) 無配糖體異黃酮素 Daidzein (D) 無配糖體異黃酮素 Genistein 化學結構



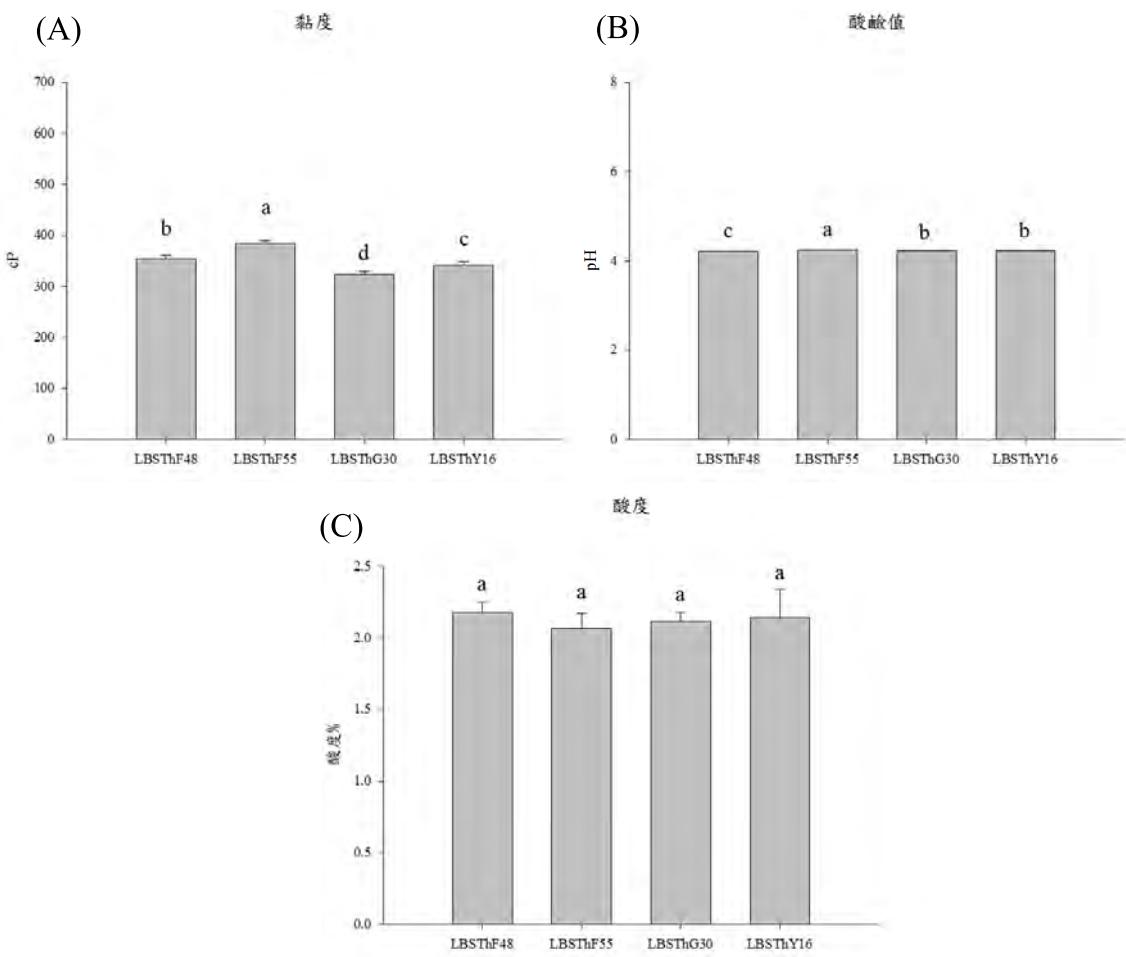
圖二. (A) 不同發酵時間下以 STh 菌株發酵豆漿樣品黏度 (B) 不同發酵時間下以 LB 菌株發酵豆漿樣品黏度 (C) 不同發酵時間下以 F48 菌株發酵豆漿樣品黏度 (D) 不同發酵時間下以 F55 菌株發酵豆漿樣品黏度 (E) 不同發酵時間下以 G30 菌株發酵豆漿樣品黏度 (F) 不同發酵時間下以 Y16 菌株發酵豆漿樣品黏度; 數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



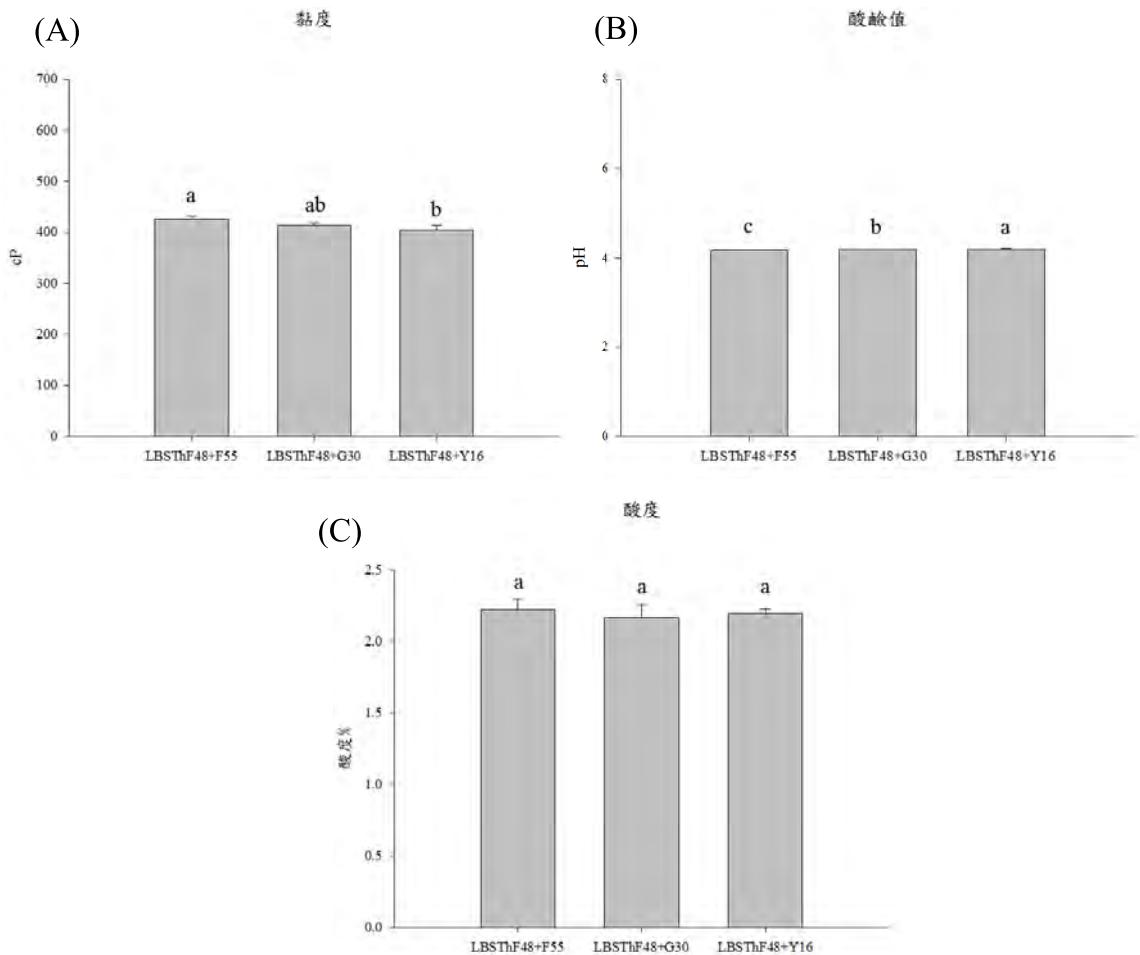
圖三. (A) 不同發酵時間下以 STh 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值 (B) 不同發酵時間下以 LB 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值 (C) 不同發酵時間下以 F48 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值 (D) 不同發酵時間下以 F55 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值 (E) 不同發酵時間下以 G30 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值 (F) 不同發酵時間下以 Y16 菌株發酵豆漿樣品酸鹼值; 數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



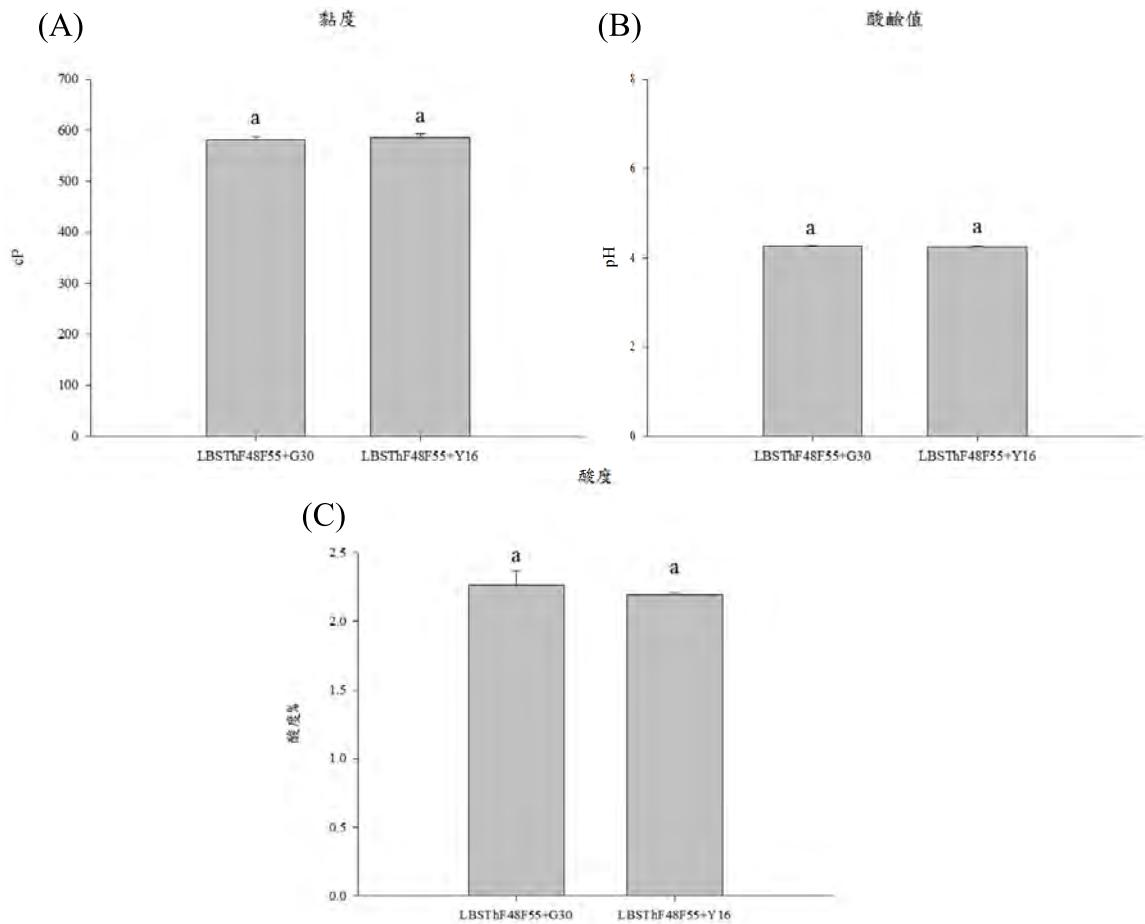
圖四. (A) 不同發酵時間下以 STh 菌株發酵豆漿樣品酸度 (B) 不同發酵時間下以 LB 菌株發酵豆漿樣品酸度 (C) 不同發酵時間下以 F48 菌株發酵豆漿樣品酸度 (D) 不同發酵時間下以 F55 菌株發酵豆漿樣品酸度 (E) 不同發酵時間下以 G30 菌株發酵豆漿樣品酸度 (F) 不同發酵時間下以 Y16 菌株發酵豆漿樣品酸度; 數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



圖五. (A) 三菌組合發酵 12 小時樣品黏度 (B) 三菌組合發酵 12 小時樣品酸鹼值(C) 三菌組合發酵 12 小時樣品酸度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



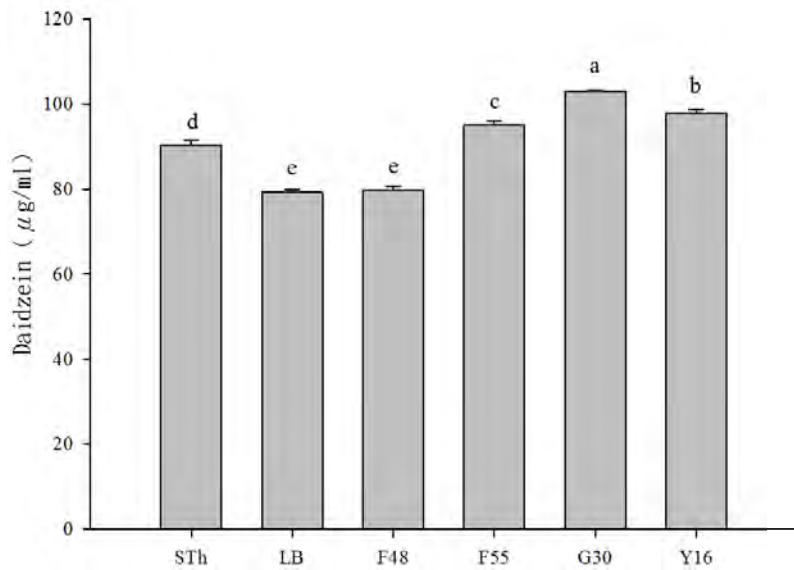
圖六. (A) 四菌組合發酵 12 小時樣品黏度 (B) 四菌組合發酵 12 小時樣品酸鹼值(C) 四菌組合發酵 12 小時樣品酸度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



圖七. (A) 五菌組合發酵 12 小時樣品黏度 (B) 五菌組合發酵 12 小時樣品酸鹼值(C) 五菌組合發酵 12 小時樣品酸度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

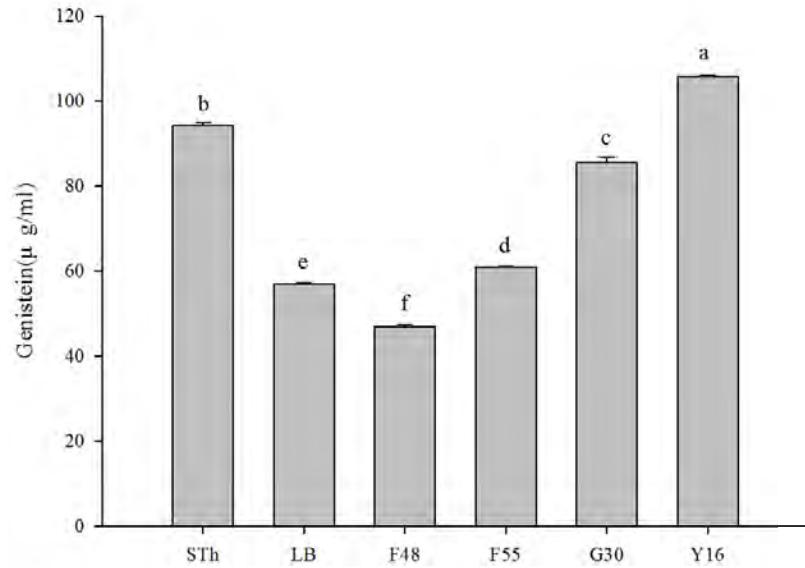
(A)

12 hr Daidzein濃度

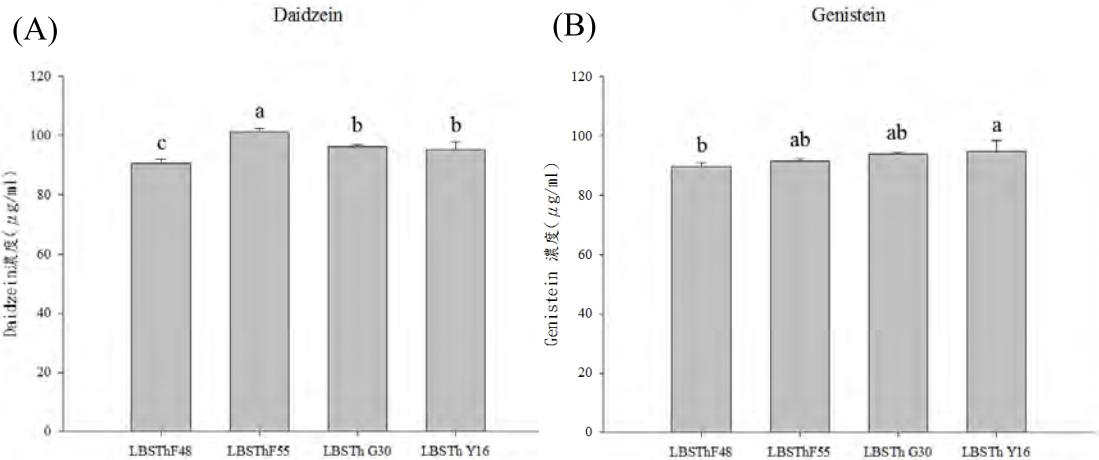


(B)

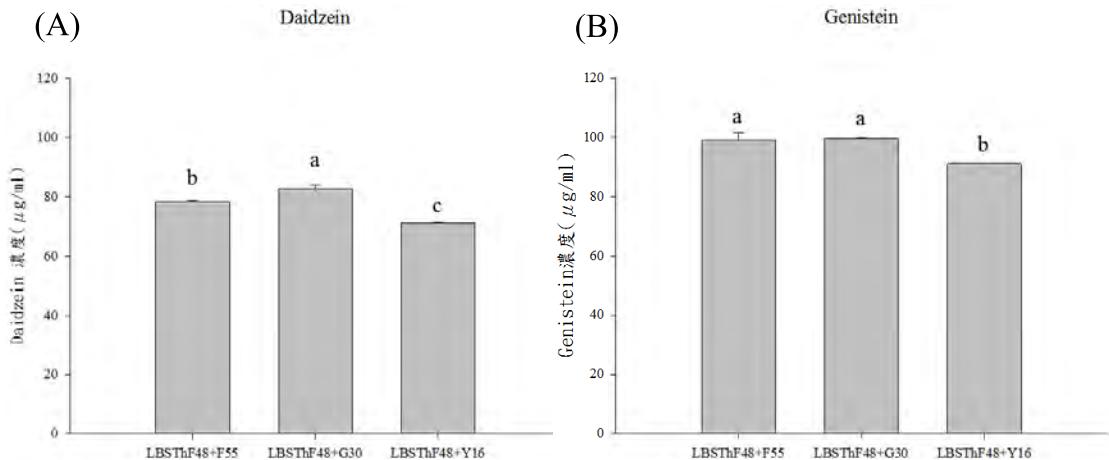
Genistein濃度



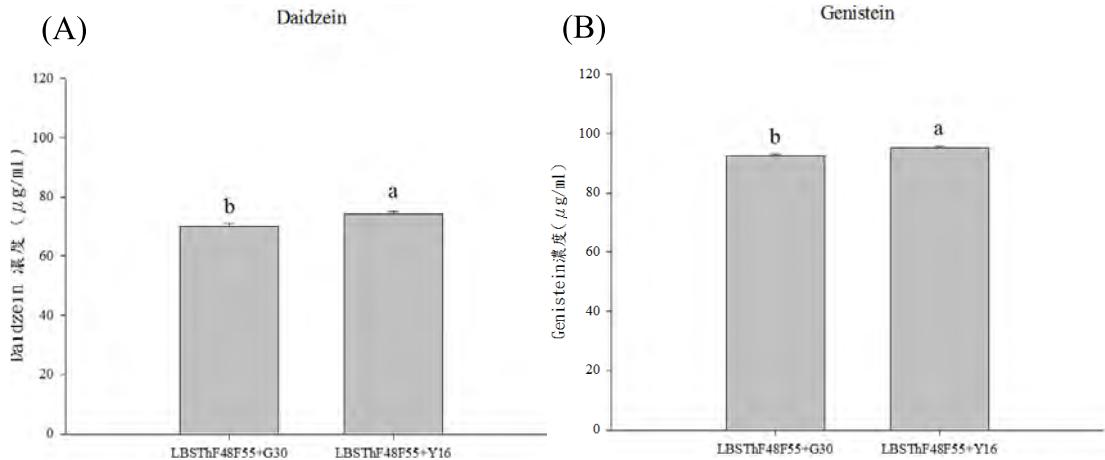
圖八、(A) 12 小時發酵時間下以六株菌株發酵豆漿 Daidzein 濃度 (B) 12 小時發酵時間下以六株菌株發酵豆漿 Daidzein 濃度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



圖九、(A) 三菌組合發酵豆漿 Daidzein 濃度 (B) 三菌組合發酵豆漿 Genistein 濃度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

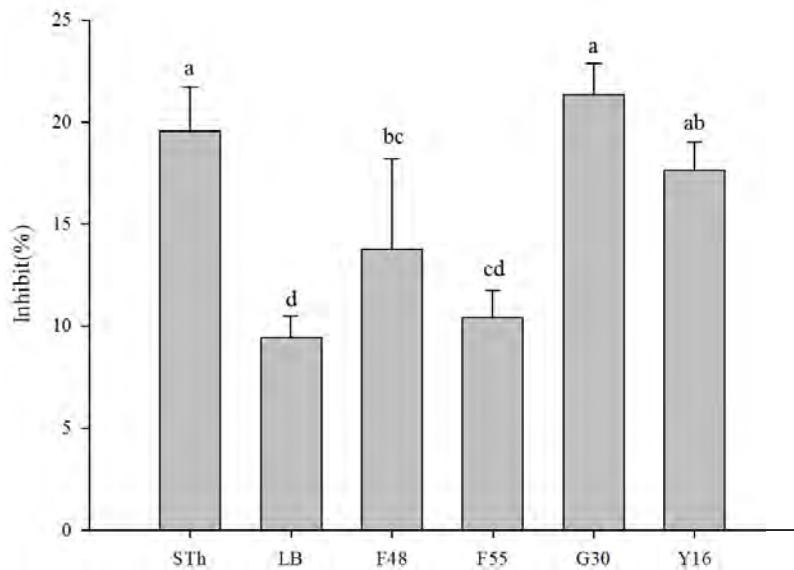


圖十、(A) 四菌組合發酵豆漿 Daidzein 濃度 (B) 四菌組合發酵豆漿 Genistein 濃度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



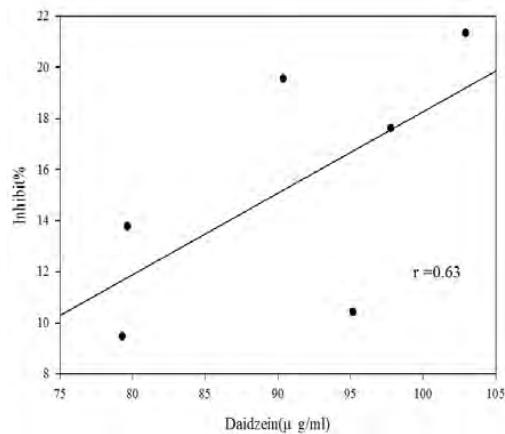
圖十一、(A) 五菌組合發酵豆漿 Daidzein 濃度 (B) 五菌組合發酵豆漿 Genistein 濃度;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

12 hr 抑制率

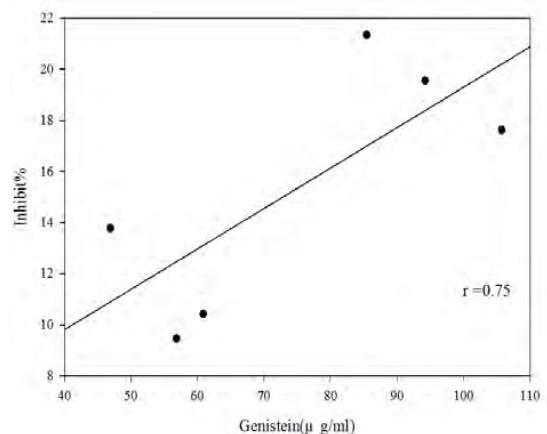


圖十二、發酵 12 小時下，六株菌株發酵豆漿抑制率比較;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

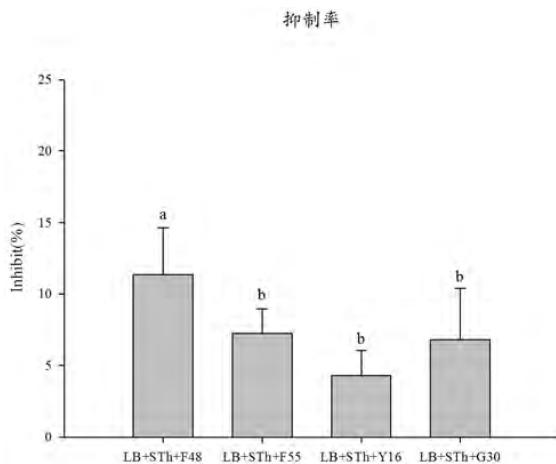
(A)



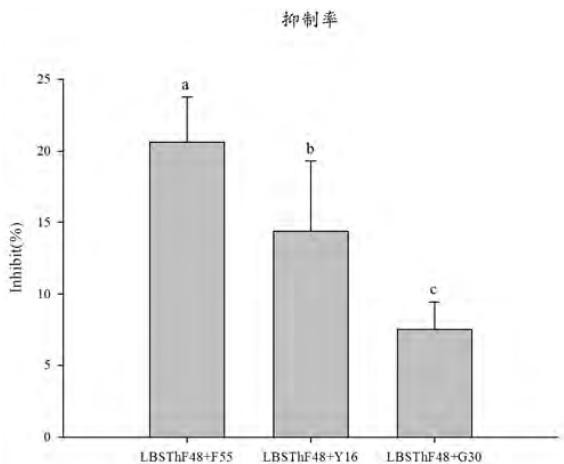
(B)



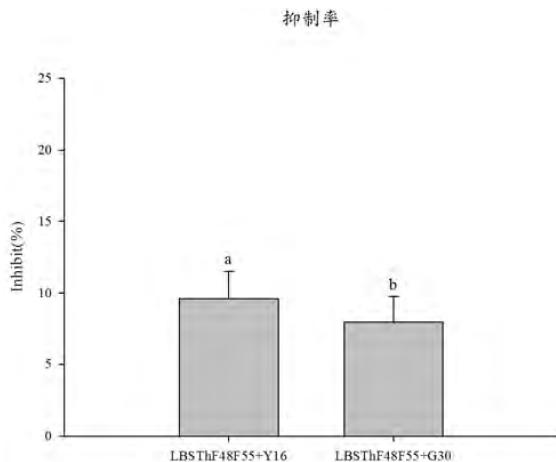
圖十三、(A)發酵 12 小時豆漿抑制率與 Daidzein 濃度回歸係數 (B) 發酵 12 小時豆漿抑制率與 Genistein 濃度回歸係數



圖十四、三菌組合發酵 12 小時發酵豆漿抑制率;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



圖十五、四菌組合發酵 12 小時發酵豆漿抑制率;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異



圖十六、五菌組合發酵 12 小時發酵豆漿抑制率;數據上顯示的字母相同表示組間沒有顯著的差異

台灣檳榔殘留農藥檢測分析

陳翠瑤

國立宜蘭大學食品科學系副教授

摘要

檳榔屬於棕櫚科常綠喬木，台灣種植的面積約 45,000 公頃，農戶約 70,000 戶。嚼食檳榔人數約 170 萬人。市售檳榔分為青仔(檳榔子)及葉仔(外層包裹荖葉)兩類，農民種植檳榔及荖葉，為了維護品質，提升產量，會噴灑殺蟲劑、殺菌劑、殺蟎劑等農藥。衛福部食藥署將檳榔視為嗜好性特殊作物，不屬於食品，因此在食品安全衛生管理法中未訂定檳榔相關危害物的容許量，也無定期抽驗把關的計畫。本研究為了要了解台灣目前種植的檳榔及荖葉殘留農藥的問題，先以目前種植面積較大的花東、南投、嘉義及屏東地區產的檳榔及荖葉樣品，探討殘留農藥品項及殘留量可能造成健康的危害。

本研究先確認檢驗方法的適用性，再將檳榔與荖葉區隔，分別以衛福部公告之 QuEChERS-多重殘留農藥分析方法(五)針對 60 件樣品進行 310 種農藥檢測。其中檳榔樣品 40 件，主要來自台灣四大主要的檳榔產區，分別是花東、南投、嘉義、屏東各 10 件。40 件檳榔樣品有 19 件有檢出殘留農藥，檢出率 47%，所有檢出的殘留農藥共檢出 28 不同品項的農藥，包含殺蟲劑 15 種；殺菌劑 8 種；殺蟎劑 4 種；殺草劑 1 種。其中有一件檳榔樣品同時檢出 14 種不同農藥，包含殺蟲劑 6 種；殺菌劑 5 種；殺蟎劑 2 種；殺草劑 1 種。而最常使用在檳榔的農藥分別是益達胺，檢出率為 28%；其次是貝芬替，檢出率為 25%；檢出率第三高的陶斯松，為 23%。

荖葉的 20 件樣品中有 19 件有檢出殘留農藥，檢出率高達 95%，共檢出 47 不同品項的農藥，包含殺蟲劑 20 種；殺菌劑 22 種；殺蟎劑 5 種。其中有一件荖葉樣品同時檢出 15 個品項的農藥，包含殺蟲劑 7 種；殺菌劑 8 種。而最常使用在荖葉的農藥分別是益達胺，檢出率達 80%，其次是加保扶、克凡派及亞滅陪，檢出率均為 45%。

檳榔與荖葉共 60 件樣品中有 38 件檢出殘留農藥，檢出率高達 63.3%，共檢出 6 種不同的農藥，其中殺蟲劑 26 種；殺菌劑 26 種；殺蟎劑 8 種；殺草劑 1 種，其中有益達胺、加保扶、陶斯松等 14 種農藥於檳榔與荖葉中均有檢出。

關鍵字：殘留農藥、殺蟲劑、殺菌劑

前言

檳榔屬於棕櫚科常綠喬木，全世界嚼食檳榔的人口約有 10%，是僅次於尼古丁、酒精、咖啡因使人成癮的第四大物質，嚼食後會具有舒緩消化，興奮的作用 (Encyclopaedia Britannica., 1974；Nelson *et al.*, 1999；Norton, 1998)。檳榔中的生物鹼其硝基衍生物是 γ -丁基胺酸(γ -aminobutyric acid; GABA)接受器的競爭性抑制劑，實在動物的整個上腸道和前腸誘導物中誘導腫瘤，也與人類增加的腫瘤風險有關，證實檳榔為的致癌物質。同時這些亞硝化化合物在 CD1 小鼠中也具有肥胖型的第 2 型糖尿病誘導物，使心血管損傷及發生慢性發炎增加(Boucher and Mannan, 2002)。台灣檳榔的嚼食人口數仍約有 170 萬人，使得檳榔的年產值超過 80 億元，在農產品中僅次於稻米，又稱「綠金」。在民國 92 年台灣檳榔栽培面積約 52,000 公頃，產量 145,000 公噸，至 102 年栽培面積降至約 45,000 公頃，產量 125,000 公噸，種植農戶約 70,000 戶，已經有明顯下降趨勢。主要的產區包括南投、嘉義、屏東及花東，主要的嚼食人口以男性居多，年齡以 40-49 歲為主要的年齡層，教育程度以國中為主，嚼食率較高的地區包括台東、花蓮、嘉義及雲林。

市面上所販賣的檳榔，有菁仔(檳榔子)及葉仔(外層包裹荖葉)兩大類。近年來食品安全的問題日益受到大家的重視，尤其是殘留農藥的新聞也一再占據新聞媒體的重要版面。自從 104 年發生了茶飲店被檢出原料茶葉含農藥芬普尼超標，我們便經常看見蔬果農藥超標或營養午餐食材藥檢檢測不符規定的新聞，有鑑於此，政府也特別成立了食安辦公室，推出了食安五環的政策，強調源頭管理並加強產地及消費地的抽驗抽驗工作，希望藉此來保障國人的健康。

蔬果的殘留農藥問題有政府在幫民眾把關，但有另外一項農產品殘留農藥問題也很嚴重，卻經常被人忽視，那就是檳榔，雖然檳榔的生產面積及產值都非常高，但由於嚼食檳榔有礙健康又有影響山坡地水土保持的疑慮，即使農政單位對於檳榔的種植採「不鼓勵」、「不輔導」、「不禁止」的三不政策，並積極鼓勵檳榔農戶轉作。衛福部食藥署把檳榔當作是嗜好性特殊作物，不屬於食品，因此在食品安全衛生管理法中沒有訂定檳榔相關危害物的容許量，更不會有定期抽驗把關的計畫，所以檳榔的安全問題並未受到重視。

很多人認為檳榔樹長得很高所以不會有病蟲害的問題，其實檳榔不但有病蟲害的問題，根據民間種植檳榔農民的栽種經驗，農民為了維護品質，提升產量，會噴灑殺蟲劑、殺菌劑、殺蟎劑等農藥。更因為檳榔樹長的高所以噴藥時多使用高壓水槍，還造成了環境及鄰田汙染，波及無辜更嚴重。此外很多人嚼檳榔時喜歡包裹荖葉，荖葉屬於胡椒科藤類植物，目前台灣荖葉的主要產區在台東縣，約佔總產量的 80% 以上，荖葉的種植是否也有農噴灑農藥，因而可能危害食用者的健康，都是未知。

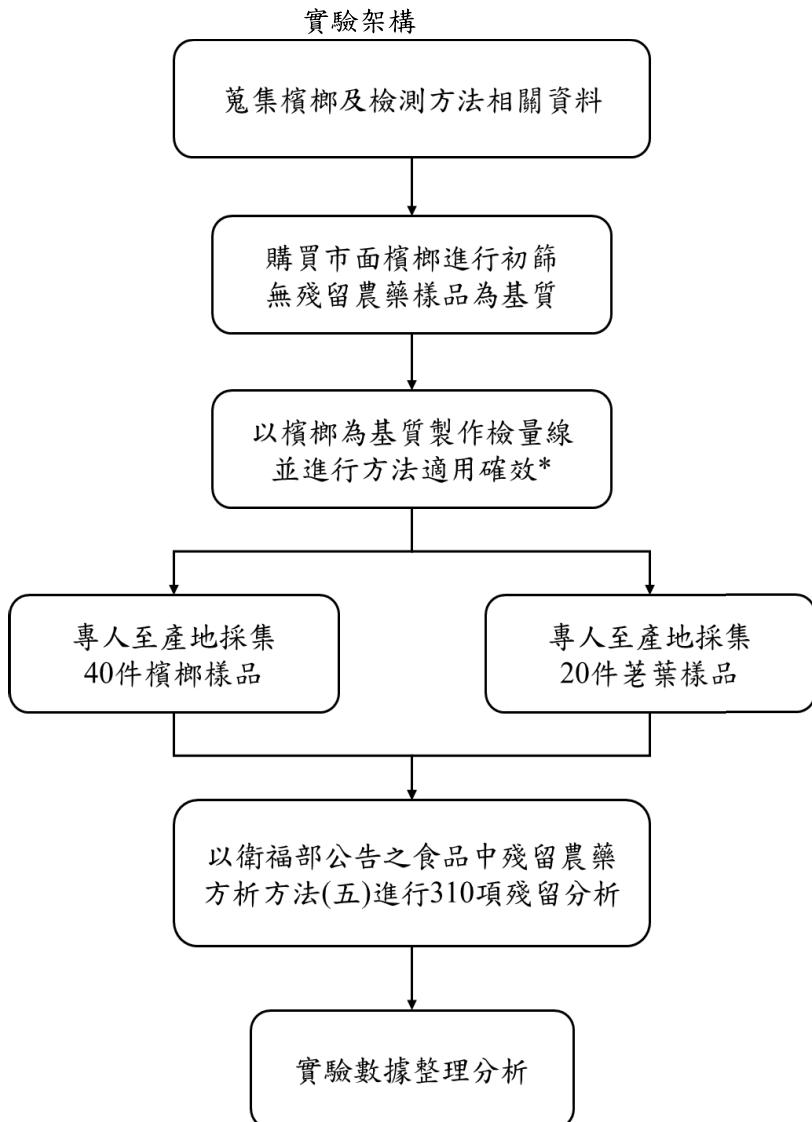
本研究計畫為了要了解台灣目前種植的檳榔及荖葉殘留農藥的問題，先以目前種植面積較大的花東、南投、嘉義及屏東地區產的檳榔及荖葉樣品，針對 40 件檳榔樣品及 20 件荖葉，以衛福部公告之 QueChERS-多重殘留農藥分析方法(五)進行 310 種農藥殘留檢測，探討殘留農藥品項及殘留量可能造成健康的危害。

材料與方法

一、材料

檳榔取自南投縣、嘉義縣、屏東縣及花東地區種植的樣品，荖葉取自台東縣、彰化縣、嘉義縣、雲林縣種植的樣品，皆由專人至產地採樣，並透過宅配寄送至實驗室檢驗。

二、檳榔殘留農藥的檢測方法



檳榔檢測方法參照衛福部食品藥物管理署 103 年 7 月 3 日部授食字第 1031900615 號公告修正-食品中殘留農藥檢驗方法—多重殘留分析方法(五) Method of Test for Pesticide Residues in Foods-Multiresidue Analysis (5)。蔬果類、穀類、乾豆類、茶類、香辛植物及其他草本植物等食品中 10 項農藥多重殘留分析。樣品採用 QuEChERS 方法(Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, Safe)前處理後，以液相層析串聯質譜儀(liquid chromatograph/tandem mass spectrometer, LC/MS/MS)及氣相層析串聯質譜儀(gas chromatograph/tandem mass spectrometer, GC/MS/MS)分析之方法。

三、檢驗方法確效

(一) 檢量線查核

建立的基質匹配檢量線，確認線性範圍、以第二標準品進行檢量線查核允收範圍為正負 20%，線性回歸方程式之相關係數不應低於 0.99。檢液中待測物濃度應在檢量線之線性範圍內。

(二) 定量極限測定

訊號/雜訊比(signal/noise ratio, S/N ratio)含有已知量待測物之低濃度樣品，經前處理後層析圖中待測物波峰之訊號/雜訊比 ≥ 10 。

(三) 準確度測定

取空品樣品添加 10 ng/g 的 310 項農藥混合標準品，以二、(六)建立的檢量線測定添加樣品中殘留農藥的含量，實驗為三重覆，計算其回收率。允收範圍為 70-120%。

(四) 精密度測定

取空品樣品添加 10 ng/g 的 310 項農藥混合標準品，以二、(六)建立的檢量線測定添加樣品中殘留農藥的含量，實驗為三重覆，計算變異係數(C.V.)，允收範圍為小於 25%。

四、殘留農藥的測定

(一) 檢液的製備

取均質之檢體或空白基質約 10 g，依公告方法的步驟進行檢液的製備。

(二) 殘留農藥量的測定

檢液經由 LC/MS/MS 及 GC/MS/MS 多重殘留分析對照空白基質檢量線後計算殘留農藥量。

LC/MS/MS：檢體中各農藥之含量(ppm) = $C \times V / M$

C：由農藥之檢量線求得檢液中各農藥之濃度($\mu\text{g/mL}$)

V：萃取檢體之乙腈溶液體積(10 mL)

M：取樣分析檢體之實際重量(g)

GC/MS/MS： 檢體中各農藥之含量(ppm) = $C \times V / M$

C：由農藥之檢量線求得檢液中各農藥之濃度($\mu\text{g/mL}$)

V：萃取檢體之乙腈溶液體積(10 mL)

M：取樣分析檢體之實際重量(g)

結果

一、檳榔殘留農藥檢驗方法的可行性

(一) 檢量線的確效

本研究以衛福部公告之食品中殘留農藥檢驗方法—多重殘留分析方法(五)測定檳榔 310 項殘留農藥，先以檳榔的空白基質分別添加 0.04, 2.0, 5.0, 10, 20, 40, 100, 200 ng/mL 不同濃度的 310 項混合農藥標準品及 75 ng/mL 磷酸三苯酯；triphenylphosphate, TPP)當內部標準品，就各農藥與內部標準品波峰面積比，與對應之各農藥濃度，製作 0.04~200 ng/mL 之基質匹配檢量線。

(二) 準確度和精密度

以衛福部公告之食品中殘留農藥檢驗方法—多重殘留分析方法(五)測定檳榔 310 項殘留農藥的回收率。取空品樣品添加 10 ng/g 的 310 項農藥混合標準品，以上述建立的檢量線測定添加樣品中殘留農藥的含量，實驗為三重覆。各農藥回收率三重覆的平均質皆大於 60%且小於 125%，變異係數 CV% 皆小於 25%，符合衛福部化學實驗室的規範。

(三) 定量極限

本研究對各項農藥的偵測極限為參照衛福部對蔬果類中殘留農藥檢測的定量極限標準，設定在空白樣品添加農藥濃度為 10 ppb 時訊噪比大於 10(S/N 值 > 10)即可定 10 ppb 為定量極限。測定空白樣品添加 10 ng/g 的農藥，實驗進行三重覆，310 項農藥在 10 ng/g 時，S/N 值皆大於 10，由此可知本方法測定檳榔中 310 項農藥的定量極限訂為 10 ppb，符合衛福部化學實驗室的規範。

二、檳榔殘留農藥的概況

(一) 各地區樣品檢出概況

本計畫檳榔檢測樣品共有 40 件，荖葉檢測樣品共 20 件。各地區檢測樣品的件如表一，檳榔樣品南投、嘉義、屏東、花東各 10 件。荖葉樣品分別為台東 11 件、彰化 7 件、嘉義 1 件、雲林 1 件。

(二) 檳榔檢出的農藥品項及殘留量

各地區檢出農藥殘留的品項與殘留量如表二。在檳榔有檢出的樣品中共檢出 28 種農藥。殺蟲劑共檢出 15 種，其中檢出量較高(> 0.2 ppm)的有益達安、陶斯松、百滅寧、加保利。殺菌劑共檢出 8 種，其中檢出量較高(> 0.2 ppm)的有貝芬替、賓克隆。殺蟎劑共檢出 4 種，其中檢出量較高(> 0.2 ppm)的有愛殺松、大克蟎。殺草劑檢出 1 種。

(三) 檳榔同時使用多種農藥情況

於同一樣品中檢出農藥品項數如表三。樣品中以檢出 14 種農藥為最多，共一件，其包含殺蟲劑 6 種、殺菌劑 5 種、殺蟎劑 2 種、殺草劑 1 種。其他同一件樣品中檢出 12

種、10 種、7 種農藥的各有 1 件。檢出 9 種、5 種農藥的各 2 件。檢出 3 種、2 種農藥的各有 3 件。檢出 1 種農藥的有 5 件。

(四) 檳榔農藥檢出率較高的品項

檢出率較高的農藥及樣品檢出濃度如表四所示，共六項農藥，分別為益達胺、貝芬替、陶斯松、賽洛寧、愛殺松、第滅寧等，其檢出率皆超過 15%。

三、荖葉殘留農藥概況

(一) 荦葉檢出的農藥品項及殘留量

各地區檢出農藥殘留的品項與殘留量如表五。荖葉的 20 件樣品共驗出 47 種農藥。殺蟲劑共檢出 20 種，其中檢出量較高($> 0.2 \text{ ppm}$)的有益達胺、亞滅培、加保扶、克凡派、第滅寧、普硫松、賽洛寧、馬拉松、益滅松。殺菌劑共檢出 22 種，其中檢出量較高($> 0.2 \text{ ppm}$)的有亞托敏、達滅芬、待克利、滅達樂、歐殺斯、達特南、克收欣、嘉保信、凡殺同。殺蟎劑共檢出 5 種，其中檢出量較高($> 0.2 \text{ ppm}$)的有芬佈賜、畢達本。

(二) 荢葉使用多種農藥情況

在相同樣品中同時檢出多種農藥的情形如表六，最嚴重的是同 1 件樣品驗出 15 種農藥，本件的農藥殺蟲劑有 7 種，殺菌劑有 8 種。其他同一件樣品檢出 11 種農藥品項的 1 件，檢出 10 種的有 4 件，檢出 9 種的也有 4 件，檢出 8 種和 5 種的各有 3 件，檢出 4 種和 3 種的各有 1 件。

(三) 荢葉檢出率較高的農藥品項

檢出率較高的農藥及樣品檢出濃度如表七所示，共七種農藥，分別為益達胺、加保扶、克凡派、亞滅培、達滅芬、待克利、亞托敏等，其檢出率皆超過 40%。

討論

一、檢驗方法之探討

本研究以衛福部公告之食品中殘留農藥檢驗方法—多重殘留分析方法(五)檢測 310 項殘留農藥，為證明方法適用性，我們進行了在檳榔空白樣品中添加 310 項農藥，其在樣品的含量為 10 ng/g 的農藥，並且進行 3 重複的實驗。由 310 項農藥在此含量下，實驗結果的訊噪比(S/N)皆大於 10，而平均回收率介於 60% 至 125% 之間，變異係數 CV% 皆小於 25%，本方法的準確度、精密度，定量的線性方程式均符合衛福部—食品化學檢驗方法之確效規範，顯示本方法可應用在檳榔的 310 項殘留農藥的檢測。

另衛福部的公告方法的適用範圍包括香辛植物與草本植物，而荖葉是屬於胡椒科藤類植物，因此包含於此公告方法之適用範圍，本研究未再進行荖葉殘留農藥測定的方法確效，唯在每次檢測前均進行空白樣品的基質匹配檢量線的製作，每項農藥的檢量線方程式之 $r^2 \geq 0.990$ 才進行定量分析。

二、實驗結果之分析

本次殘留農藥實驗共分 2 個部分進行：1. 檢測 40 件檳榔樣品 2. 檢測 20 件荖葉樣品。40 件的檳榔樣品主要來自台灣四大主要的檳榔產區，分別是花東、南投、嘉義、屏東各

10 件。40 件檳榔樣品有 19 件有檢出殘留農藥，總檢出率為 47%。

從檢出的農藥品項總計共檢出 28 種不同的農藥，其中殺蟲劑 15 種；殺菌劑 8 種；殺蟎劑 4 種；殺草劑 1 種。同一樣品中同時檢出農藥超過五種的共有 8 個樣品，均來自屏東，其中有一件甚至同時檢出 14 種不同農藥：包括殺蟲劑有 6 種；殺菌劑有 5 種；殺蟎劑有 2 種；殺草劑有 1 種。另也有同時檢出 12 種及 10 種、農藥的樣品，是否有必要同時使用這麼多種農藥有必要加以探討。

在各地區所有檢出的農藥中，最常使用在檳榔的農藥分別是益達胺殺蟲劑檢出率 27.50%，檢出範圍為 0.01-0.61 ppm；貝芬替殺菌劑的檢出率 25.00%；陶斯松殺蟲劑檢出率 22.50%，賽洛寧殺蟲劑、愛殺松殺蟎劑、第滅寧殺蟲劑也有達 15%，殺蟲劑的使用率比較高，檳榔的病蟲害可能比較嚴重，由於使用的殺蟲劑種類最多，應該進一步觀察何種殺蟲劑較有效。

20 件荖葉樣品有 19 件有檢出殘留農藥，檢出率 95%，共檢出 47 種不同的農藥，其中殺蟲劑 20 種；殺菌劑 22 種；殺蟎劑 5 種。其中一件荖葉樣品檢出 15 種不同農藥：殺蟲劑 7 種；殺菌劑 8 種。而最常使用在荖葉的農藥分別是益達胺檢出率 80%；加保扶檢出率 45%；克凡派檢出率 45%；亞滅陪檢出率 45%，荖葉農藥的使用比檳榔更為嚴重。

三、檢出農藥對生態環境影響以益達胺為例

從實驗結果得知檳榔及荖葉檢出率最高的農藥皆為益達胺，分別是 27.5% 及 80%，我們知道許多種植檳榔的農友噴灑農藥時是利用高壓水槍由地面往上噴，如果剛好有吹風，極有可能造成附近環境的汙染，近年來全球蜜蜂的數量急遽減少，許多研究人員將箭頭指向類尼古丁類的農藥包括益達胺、可尼丁、賽速安，因為這類農藥會使蜜蜂嗅覺變得遲鈍、找不到可以利用的花叢，有的迷途忘返、客死異鄉，有的則是學習能力變差，無法順利完成採蜜工作，讓整個蜂巢逐漸土崩瓦解。

台大學昆蟲系教授楊恩誠，於國際期刊《Nature》的子期刊 Scientific Reports 上發表研究，證實「即使益達胺只有 1 ppb 這麼少的劑量，都能影響蜜蜂的神經發育。」蜜蜂幼蟲的腦部相對簡單，因此餵食益達胺給幼蟲後，待幼蟲羽化成蟲再進行解剖，發現其腦部掌管記憶和學習能力的「蕈狀體（mushroom body）」出現異常。

目前國際上僅歐美對益達胺採取較嚴格的管控態度，但美國環境保護局（EPA）發表的「對蜜蜂有潛在危險的 4 種農藥初步評估」中，首度承認當益達胺超過 25 ppb 時，便會對蜜蜂族群數量造成影響。

該報告也指出，2015 年 EPA 已禁止在作物開花期、蜜蜂授粉期使用類尼古丁農藥，並於年底前完成可尼丁（clothianidin）、賽速安（thiamethoxam）、達特南（dinotefuran）等類尼古丁農藥的初步風險評估。這些農藥因化學結構和尼古丁相似，而被歸類為「類尼古丁農藥」，也是因為這樣的化學結構，會嚴重影響蜜蜂的神經傳導，導致蜜蜂「興奮而死」。

動物接受到外界刺激時，會透過神經細胞將訊息傳遞回腦部，但神經細胞和另一個神經細胞要傳遞時，必須藉由釋放神經傳導物質讓傳遞的「通道」打開；正常情況下，傳遞完畢通道後便會關閉。但當類尼古丁農藥進入蜜蜂體內時，因化學結構關係導致通道維持暢通狀態，讓神經細胞外的鈉離子持續進入，造成神經細胞不斷接受刺激、產生一直興奮的效果，最終導致死亡。（資料來源：農委會農業技術交流網電子報第 82 期）

農委會動植物防疫檢疫局為紓解蜂農對於益達胺有慢性蜂毒之疑慮，決議參照歐盟作法，暫時刪除包括益達胺、賽速安及可尼丁等三種藥劑於荔枝、龍眼之使用方法及範圍 2 年，並已正式預公告。

結論

檳榔及荖葉的殘留農藥問題不容小覷，在本研究的分析，40 件的檳榔樣品中 19 件檢出農藥殘留，檢出率 47.5%，共檢出 28 種農藥包括(殺蟲劑 15 種、殺菌劑 8 種、殺蟎劑 4 種及殺草劑 1 種)其中 1 件檳榔樣品同時檢出 14 種不同的農藥包括(殺蟲劑 6 種、殺菌劑 5 種、殺蟎劑 2 種及殺草劑 1 種)，檳榔多重用藥的問題確實嚴重。此外 20 件的荖葉樣品中有 19 件檢出農藥殘留，檢出率高達 95.0%，高出一般蔬果農藥殘留監測的結果甚多，且共檢出 47 種農藥包括(殺蟲劑 20 種、殺菌劑 22 種、殺蟎劑 5 種)其中 1 件荖葉樣品同時檢出 15 種不同的農藥包括(殺蟲劑 7 種、殺菌劑 8 種)。荖葉多重用藥的問題更嚴重。檳榔與荖葉共 60 件樣品，有 38 件檢出殘留農藥，檢出率 63.3%，共檢出 61 種不同的農藥，其中殺蟲劑 26 種；殺菌劑 26 種；殺殺蟎劑 8 種；殺草劑 1 種，其中有 14 種農藥於檳榔與荖葉中均有檢出。

當一件檳榔樣品同時驗出 14 種農藥時，還有一個令人擔憂的問題就是會不會產生雞尾酒效應呢？所謂雞尾酒效應是指多重農藥殘留彼此產生交互作用，產生相加甚至相乘的影響，目前國際上對於制訂殘留農藥的容許量時，都是用單一農藥試驗評估，世界各國尚未建立多重農藥殘留交互作用的評估機制，站在政府立場，制定任何標準都要有科學數據，消費者擔憂的卻是未知風險，現階段源頭管控突顯重要，避免使用同樣作用機制的農藥，農藥殘留的問題終究還是必須回歸產地源頭管理，才能有效的控制。

無論是檢出率、檢出濃度或是檢出農藥品項的多寡都顯示荖葉的殘留農藥問題較檳榔更為嚴重，而台灣 80%以上的荖葉產地都集中於台東，根據我們實際去產地訪查農友的情況，檳榔無推薦用藥，也無執行監測計畫，許多農友使用農藥時聽取農藥行的建議，加上農友視檳榔與荖葉生長品質噴灑不同農藥，因此出現一件樣品中同時檢出 15 種農藥(殺蟲劑 7 種、殺菌劑 8 種)的情形，令人憂心，相關單位能重視這個問題，並採取較積極的管理措施，以達到減少用藥、合理用藥、降低成本、愛護環境的目標。

謝誌

本研究計畫承蒙財團法人中正農業科技社會公益基金會的支助與鼓勵，藉此謹表最誠摯的謝忱。

參考文獻

- 王蜀桂。1999。台灣檳榔四季青。常民文化。台北。
- 李仁傑、王培成、李茂榮。2011。新前處理技術—QuEChERS 之簡介。科儀新知。183：67-74。
- 許如君、吳昌昱。2015。農用藥劑分類及作用機制檢索。行政院農委會動植物防疫檢疫局，台北。
- 翁志宏。2016。農藥市場發展現況及趨勢。國家實驗研究院科技政策研究與資訊中政策研究指標資料庫。<https://pride.stpi.narl.org.tw/PRIDE> 1-30。
- 楊俊宏、林天宇、蔡鍵任。2015。農政與農情蔬果多重農藥殘留之風險研究簡介。[<http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=2502899>]。
- 郭曉文、陳翠英、施鈞傑、楊凱智等。2010。市售農產品殘留農藥監測。食品藥物研究年報，1: 23-40。
- 陳惠章、余婉慈、許正忠、曾淑萍等。2011。市售及包裝場農產品殘留農藥監測。食品

藥物研究年報，2: 107-123。

陳惠章、曾淑萍、余婉慈、周秀冠等。2012。市售及包裝場農產品殘留農藥監測。食品藥物研究年報，3: 62-77。

曾淑萍、蘇秀琴、余婉慈、周秀冠等。2013。市售及包裝場農產品殘留農藥監測。食品藥物研究年報，4: 23-37。

蘇秀琴、徐錦豐、周秀冠、王慈穗等。2014。市售及包裝場農產品農藥殘留監測。食品藥物研究年報，5: 92-115。

蔡宜芳、蘇秀琴、余婉慈、劉芳銘等。2015。市售農產品殘留農藥監測。食品藥物研究年報，6: 86-108。

衛生福利部。2015。農藥殘留容許量標準。104.12.22 部授食字第 1041304505 號令。衛生福利部。2014。食品中殘留農藥檢驗方法-多重殘留分析方法(五)。103.07.03 部授食字第 1031900615 號公告修正。

表一、各地區檢測樣品的件數

地區	檳榔	荖葉
	(樣品數)	
花東	10	11
南投	10	7
嘉義	10	1
屏東	10	1
合計	40	20

表二、檳榔中檢出農藥名稱及其殘留量分布

用 途	序 號	農 藥 名 稱	殘 留 量 分 布 (ppm)	ADI (mg/Kg body wight)	花 東	南 投	屏 東	嘉 義	合 計 (樣品數)
殺蟲 劑	1	益達胺(Imidacloprid)	0.61~0.01	0.06		2	6	3	11
	2	陶斯松(Chlorpyrifos)	0.20~0.02	0.01			8	1	9
	3	賽洛寧(Cyhalothrin)	0.07~0.01	0.005			7		7
	4	第滅寧(Deltamethrin)	0.16~0.02	0.01		2	4		6
	5	百滅寧(Permethrin)	0.28~0.03	0.05			3	1	4
	6	加保利(Carbaryl)	0.31~0.03	0.001			1	2	3
	7	加保扶(Carbofuran)	0.04~0.01	0.01		1	2		3
	8	賽滅寧(Cypermethrin)	0.04~0.01	0.02			2	1	3
	9	芬化利(Fenvalerate)	0.12~0.06	0.02			1	1	2
	10	芬普寧(Fenpropathrin)	0.13~0.04	0.03			2		2
	11	馬拉松(Malathion)	0.01	0.30			1		1
	12	二福隆(Diflubenzuron)	0.04	0.015			1		1
	13	大滅松(Dimethoate)	0.05	0.02			1		1
	14	克凡派(Chlorfenapyr)	0.03	0.01			1		1
	15	亞滅寧(Alpha-cypermethrin)	0.03	0.02			1		1
殺 菌 劑	16	貝芬替(Carbendazim)	0.41~0.01	0.03		2	8		10
	17	得克利(Tebuconazole)	0.06~0.01	0.03	1		3		4
	18	百克敏(Pyraclostrobin)	0.10~0.02	0.03			3		3
	19	賓克隆(Pencycuron)	0.30~0.12	0.02			3		3
	20	待克利(Difenoconazole)	0.08~0.02	0.01			2	1	3
	21	凡殺同(Famoxadone)	0.01	0.006				1	1
	22	撲克拉(Prochloraz)	0.02	0.01			1		1
	23	菲克利(Hexaconazole)	0.01	0.005			1		1
殺 蠕 劑	24	愛殺松(Ethion)	0.38~0.02	0.002				6	6
	25	4,4'-dichlorobenzophenone (DCBP)	0.05	0.002				1	1
	26	大克蠅(Dicofol)	0.72	0.002				1	1
	27	芬普蠅(Fenpyroximate)	0.02	0.01				1	1
殺 草 劑	28	草殺淨(Ametryn)	0.01	0.015				1	1

表三、單件檳榔樣品中檢出殘留農藥品項數及種類

檢出農藥品項數	出現 樣品數	農 藥 分 類 (樣品數)			
		殺蟲劑	殺菌劑	殺蟎劑	殺草劑
14	1	6	5	2	1
12	1	6	5	1	
10	1	6	3	1	
9	1	5	3	1	
	9	1	6	2	1
7	1	5	2		
5	1	4	1		
	5	1	3	1	1
3	1	3			
	3	1	2	1	
	3	1	2	1	
2	1	2			
	2	1	2		
	2	1	1	1	

表四、檳榔檢出率較高的農藥品項及檢出濃度範圍

農藥名稱 檢出樣品數 檢出率% 檢出範圍(ppm)

益達胺	11	27.5	0.01-0.61
貝芬替	10	25.0	0.01-0.41
陶斯松	9	22.5	0.02-0.20
賽洛寧	7	17.5	0.01-0.07
愛殺松	6	15.0	0.02-0.38
第滅寧	6	15.0	0.02-0.16

表五、各地區荖葉檢出農藥的品項與殘留量

用途	序號	農藥名稱	殘留量分布 (ppm)	ADI (mg/Kg body wight)	台東	嘉義	彰化	合計 (樣品數)
殺蟲劑	1	益達胺(Imidacloprid)	6.91~0.02	0.06	9	1	6	16
	2	亞滅培(Acetamiprid)	6.32~0.03	0.07	6		3	9
	3	加保扶(Carbofuran)	0.95~0.02	0.001	7		2	9
	4	克凡派(Chlорfenapyr)	11.20~0.02	0.015	6	1	2	9
	5	第滅寧(Deltamethrin)	8.57~0.01	0.01	4	1	2	7
	6	普硫松(Prothiofos)	4.49~0.04	0.0001	3		2	5
	7	陶斯松(Chlorpyrifos)	0.03~0.01	0.01	3		1	4
	8	百利普芬(Pyriproxyfen)	0.12~0.02	0.1	3			3
	9	丁基加保扶(Carbosulfan)	0.11~0.07	0.005	3			3
	10	加保利(Carbaryl)	0.02	0.01	1	1		2
	11	芬普尼(Fipronil)	0.043~0.035	0.0002		1	1	2
	12	賽洛寧(Cyhalothrin)	0.43~0.31	0.005	2			2
	13	氟芬隆(Flufenoxuron)	0.02	0.01	1	1		2
	14	布芬淨(Buprofezin)	0.11	0.01	1			1
	15	芬化利(Fenvalerate)	0.02	0.02	1			1
	16	可尼丁(Clothianidin)	0.02	0.1	1			1
	17	賜諾特 J(Spinetoram J)	0.04	0.05	1			1
	18	滅必蠶(Isopropcarb)	0.12	0.004	1			1
	19	馬拉松(Malathion)	0.30	0.3			1	1
	20	益滅松(Phosmet)	0.37	0.01	1			1

用途	序號	名稱	殘留量 (ppm)	ADI (mg/Kg body weight)	台東	嘉義	彰化	合計
殺菌劑	21	亞托敏(Azoxystrobin)	4.73~0.01	0.02	7		1	8
	22	達滅芬(Dimethomorph)	3.71~0.01	0.1	7	1		8
	23	待克利(Difenoconazole)	1.80~0.01	0.01	5	1	2	8
	24	滅達樂(Metalaxydil)	1.55~0.06	0.03	2		2	4
	25	歐殺斯(Oxadixyl)	0.76~0.02	0.11	3		1	4
	26	三泰隆(Triadimenol)	0.06~0.01	0.03	2		1	3
	27	氟比來(Fluopicolide)	0.04~0.02	0.08	3			3
	28	達特南(Dinotefuran)	0.64~0.07	0.22	1	1	1	3
	29	撲滅寧(Procymidone)	0.04~0.01	0.1	2			2
	30	菲克利(Hexaconazole)	0.03~0.02	0.005	1		1	2
	31	得克利(Tebuconazole)	0.01	0.03	1		1	2
	32	克收欣(Kresoxim-methyl)	2.85	0.4			1	1
	33	賽普洛(Cyprodinil)	0.07	0.03	1			1
	34	護汰寧(Fludioxonil)	0.08	0.4	1			1
	35	依瑞莫(Ethirimol)	0.04	0.05	1			1
	36	環克座(Cyproconazole)	0.06	0.02	1			1
	37	布瑞莫(Bupirimate)	0.02	0.05	1			1
	38	嘉保信(Oxycarboxin)	2.48	0.15		1		1
	39	凡殺同(Famoxadone)	1.88	0.006	1			1
	40	四氯異苯腈 (Chlorothalonil)	0.05	0.02	1			1
	41	滅芬農(Metrafenone)	0.07	0.25	1			1
	42	依普同(Iprodione)	0.01	0.06	1			1
殺蟎劑	43	賜派滅(Spirotetramat)	0.04~0.01	0.12	4		1	5
	44	芬佈賜(Fenbutatin-oxide)	9.78~0.01	0.03	1		2	3
	45	畢達本(Pyridaben)	3.21	0.01	1			1
	46	芬普蟎(Fenpyroximate)	0.04	0.01			1	1
	47	新殺蟎(Bromopropylate)	0.01	0.03			1	1

表六、單件荖葉樣品中檢出殘留農藥品項數及種類

檢出農藥品項數 出現樣品數	農藥分類 (樣品數)		
	殺蟲劑	殺菌劑	殺螨劑
15	1	7	8
11	1	7	4
10	1	7	2
10	1	3	6
10	1	6	3
10	1	3	6
9	1	7	2
9	1	2	6
9	1	3	4
9	1	5	4
8	1	4	4
8	1	7	1
8	1	4	2
5	1	3	1
5	1	3	1
5	1	4	1
4	1	2	1
3	1	3	

表七、荖葉檳榔檢出率較高的農藥品項及檢出濃度範圍

農藥名稱	檢出樣品數	檢出率%	檢出範圍(ppm)
益達胺	16	80.0	6.91-0.02
加保扶	9	45.0	0.95-0.02
克凡派	9	45.0	11.2-0.02
亞滅培	9	45.0	6.32-0.03
達滅芬	8	40.0	3.71-0.01
待克利	8	40.0	1.80-0.01
亞托敏	8	40.0	5.60-0.01
第滅寧	7	35.0	8.57-0.01
普硫松	5	25.0	4.49-0.04
賜派滅	5	25.0	0.04-0.01

以固定型網室設施生產紅龍果正期果之可行性評估

簡嬿健、張哲嘉

國立中興大學園藝學系研究生、國立中興大學園藝學系副教授

摘要

本研究為評估網室栽培‘越南白肉種’紅龍果(*Hylocereus undatus*)正期果之可行性，於臺灣臺中市外埔區之固定型網室(高3公尺、覆白色16目或24目防蟲網，果實不套袋)及露天栽培(未覆網之對照組，果實套袋)進行試驗。16、24目網室內太陽輻射分別為露天對照組之78.12%及75.03%；光強度則為76.03%及73.00%。16、24目網室最高溫皆高於露天對照組(高1.5°C、1.2°C)；平均溫、最低溫及相對濕度於處理間則無顯著差異。網室處理之首波來花時間(6月12日)及末批萌花時間(9月11日)均與露天對照組相同，且對正期萌花率無不良影響。雖果實果皮顏色之L*、a*值以網室者較露天對照組低，16目網室果重卻顯著高於露天對照組，且不影響平均、中心可溶性固形物含量及可滴定酸度。此外16目網室即可阻隔部分大型害蟲、無嚴重病害發生且可減少枝條日燒及風災損害，故16目固定型網室應有助於臺灣中部白肉種紅龍果之栽培及正期果生產。

關鍵詞：仙人掌科、成本效益分析、果實品質、設施栽培、生殖物候期、微氣候

前言

紅龍果(pitaya/pitahaya)原生於中南美洲(Benzing, 1990; Britton and Rose, 1963; Haber, 1983)，世界主要商業栽培物種為白肉種(*Hylocerues undatus*)、紅肉種(包含紫肉種)(*H. ocamponis*、*H. costaricensis*、*H. polyrhizus*)及黃龍(*H. megalanthus*)及雜交種，並經濟栽培於熱帶、亞熱帶等地(Mizrahi et al., 1997; Mizrahi, 2015; Ortiz-Hernandez and Carrillo-Salazar, 2012)。

臺灣紅龍果歷經品種改良與栽培技術改進後，栽培面積擴增迅速。2016年全臺面積已達2,490公頃，北部、中部、南部及東部地區分別占約4.6%、44.3%、43.1%及8%，以彰化縣、南投縣及臺南市為前三大產地(行政院農委會，2018)。

紅龍果枝條多不耐高溫及強日照環境，而易產生日燒生理障礙(徐，2004；Zee et al., 2004；Chu et al., 2015；Chang et al., 2016)。白肉種紅龍果於臺灣栽培生產占約3成(劉，2015)，其於臺灣南部可始花於五月上旬，末期花於九月中旬，主要自然產季為夏、秋兩季(徐，2004；邱等，2015)。以色列[夏季日累積光量(daily light integral)約 $50 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$]地區對白肉種紅龍果之建議遮陰率為30-60%，以有較好之生物量累積及開花表現(Raveh et al., 1998)。

單果套袋為目前臺灣紅龍果慣行管理作業之一，除可避免害蟲對果實外觀之不利影響，亦有助於果實色澤表現(Tran et al., 2015)。惟套袋需耗大量人力及成本，如採用不透光之牛皮紙袋時，不易判斷採收成熟度，此外亦因透氣不良、易引發煤煙病(sooty molds)而徒增採後清潔之缺點(邱等，2015)。

網室栽培可阻絕病蟲害並免去套袋；透過降低過量輻射進入設施內，或許亦有助於減緩日燒傷害，穩定正期果實產量與品質。紅龍果水平棚架網室已納入農糧署補助項目，惟相關設施條件及栽培管理等基礎資料尚處建立初期。賴(2017)指出於臺灣臺中外埔採用32目網室可大幅減少輻射進入設施，並減少煤煙病發生，且對果實內部品質無不良影響；然夏季時網室內最高溫及日均溫較露天栽培高，不利‘越南白肉種’紅龍果萌花。更低目數之防蟲網如24、16目或有助於改善設施內氣溫過高問題，並可提供適當光強度環境，以栽培白肉種紅龍果與生產果實。

本研究於‘越南白肉種’之正期萌花與果實生產期間(6月至9月)，探討白色16、24目防蟲網室對設施內微氣候、萌花表現、果實品質、日燒生理障礙及病蟲害之影響，並就其成本效益予以討論，以綜合評估網室生產‘越南白肉種’紅龍果正期果之可行性，期可供中部地區紅龍果產業行網室栽培之實務參考。

材料與方法

1. 植物材料：

試驗於臺中市外埔區洪氏之6年生‘越南白肉種’(*Hylocereus undatus*) 紅龍果果園進行，於2015年12月後始標定枝條，並於2016年6至9月之正期萌花、結實期間進行調查。

2. 網室網目密度處理：

網室分別覆以16目(16 mesh)、24目(24 mesh)白色防蟲網為兩種網目密度網

室處理(網高皆 3 公尺)，各網室處理規模約 5.4 至 6 分地，另以 3 分地之露天栽培者為對照組，整枝模式均為籬壁式。

3. 微氣候監測及比較：

於 2016 年 8 月 4 日及 8 月 7 日之晴朗無雲正午(11:00-14:00)，以光照記錄器(LI-1400 data Logger, LI-COR Biosciences, USA)並搭配日輻射(LI-200SA, LI-COR Biosciences, USA)及光量子(LI-190SA, LI-COR Biosciences, USA)感測器，於 16 目、24 目網室及露天對照組中，約距地面 2 公尺高處，輪流量測日輻射量(solar radiation；SRD，單位： $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) 及光強度[或稱光合有效光通量密度(photosynthetic photon flux；PPFD)，單位： $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$] (3 重複)，以計算 SRD 及 PPFD 之通透率。

另於樹冠等高處設置溫濕度紀錄器(HOBO[®] U23-001 Pro v2 data logger, Onset Computer Corp., USA)，並予以適當遮蔽，每 15 分鐘紀錄 1 筆資料，以監測田間氣溫、濕度變化，並據監測資料比較每日溫度及濕度之差異。

4. 正期萌花物候期及萌花率調查：

於各網室處理內逢機選取 8 畦植株，每畦內取 1 區段(3 至 5 公尺長)進行調查。2015 年 12 月後萌發之枝條定義為當年生枝條；而狀態健壯且仍具可萌發芽體刺座者則為一年生以上枝條。隨後每週於兩種枝條上分別調查正期萌花物候期及萌花率，結果以平均值±標準誤差(SE)表示。

萌花率公式：(開花枝條數/總枝條數)×100%

5. 果實品質分析：

露天栽培之果實套牛皮紙袋，網室栽培者則不套袋。於正期果實生產高峰之際，將正期果實採收並攜回實驗室分析，採收時間與果農慣行採收期一致。各網室果實採自前述萌花區段(1 區段為 1 重複)，每重複採 2 至 9 果，結果以平均值±標準誤差(SE)表示。

分析項目包含：

(1) 果實及果皮重量：

以上皿式電子天平(XS 3250C-SCS, Precisa Gravimetrics AG, Switzerland)測定果實及果皮鮮重(fresh weight)，並據此計算果肉率。

果肉率(edible part, %)=[(果重-果皮重)/果重] × 100%

(2) 果實縱徑、橫徑：

將果實縱切後，以數位液晶卡尺(500-196-20, Mitutoyo Corp., Japan)測量果實縱、橫徑。

(3) 向陽面、背陽面果皮顏色：

以筆式色差計(pen-type colorimeter)(spectro-pen, Dr. Lange, Germany)測量向陽面及背陽面赤道處之果皮顏色，結果以 CIE 表色系統之 L* (亮度)、a*(紅/綠值)及 b*(黃/藍值)表示。

(4) 平均與中心之總可溶性固形物含量(Total soluble solid content, TSS content)：

將果實縱切後，分別於果萼端(styler end)、中心(center)、果梗端(stem end)選定一處以取其果汁。口袋型數位式屈折度計(PAL-1, ATAGO, Japan)以蒸餾水校正歸零後，分別測定不同部位之果汁 TSS，結果以[◦]Brix 表示。平均 TSS 為將果萼端、中心及果梗端之數值平均後所得。

(5) 可滴定酸度(titratable acidity)：

取果汁 1 mL 加入 25 mL 蒸餾水，加入一滴(0.02-0.04 mL)酚酞(phenolphthalein)後，以 0.1N NaOH 滴定至變色為粉紅色為滴定終點。將 0.1N NaOH 用量(mL)換算為蘋果酸(malic acid)含量，結果以百分比表示。換算公式：可滴定酸度(%) = 0.1N NaOH 滴定用量(mL) × NaOH 之力價 × 0.0067/樣品量(mL) × 100%

6. 病蟲害調查：

每月觀察網室及露天栽培田間之病害及蟲害種類與嚴重程度，以 0 至 5 級為分級：無發生(0 級)、輕微(1 級)、輕微至中度(2 級)、中度(3 級)、中度至嚴重(4 級)、嚴重(5 級)，評估 16 目、24 目防蟲網對病害之影響以及是否有效防止害蟲進入設施。

7. 日燒生理障礙：

參考陳及林(2016)之枝條日燒等級標準，於日燒最嚴重月份逢機選定各網室處理下 4 畦植株(每畦為一重複)，每畦內取一區段(3 至 5 公尺長)，調查總枝條數及黃化(1+2 級)、白化(3+4 級)及潰爛(5 級)之枝條數，並將日燒枝條數加總(1+2+3+4+5 級)，以瞭解網室對日燒之效應。

8. 成本效益分析：

網室建設及套袋人力成本之數據引述自劉碧鵝副研究員於農傳媒(2017)之公

開資訊；紅龍果總生產成本則引述楊(2016)之年報資料。另與果農進行訪談，以獲得果實價格資訊。據露天對照組及網室內正期累計萌花量、果實品質等數據，估算年產量後進行成本效益分析。

9. 統計分析：

萌花物候期以 SigmaPlot 12.0 繪製成圖。處理間平均值差異之比較，採用 Costat 6.1 軟體進行變異數分析及最小顯著差異檢定法。

結果與討論

1. 微氣候：

16 目及 24 目網室內日輻射之通透率分別為露天對照組之 78.12 % 及 75.03% (遮陰率 21.88%、24.97%)；光強度(PPFD)則為 76.03% 及 73.00% (遮陰率 23.97%、27.00%)(於 8 月晴朗正午量測)(表 1)，顯示 16 目及 24 目平織網可減少部分太陽輻射進入。平均最高溫於 16 目及 24 目網室內分別為 36.2、35.9°C，皆顯著高於露天對照組(34.7°C)；平均溫、最低溫及相對溼度於各處理間則無差異(表 2)。網子因具破風性質，減少空氣流通量及速度；阻礙部分長波輻射通透之特性，亦使輻射熱發散較慢(黃，2001)，故使夏季網室內日間最高溫常較露天對照組高。16 目或 24 目網室設施雖使設施內每日最高溫高於露天，但均無發生嚴重熱蓄積，故處理間平均溫未達顯著差異，而不同於 32 目防蟲網之效應(賴，2017)，顯示 16 或 24 目其通風性應優於 32 目，可減少高溫潛在的不良影響。

2. 萌花物候期與萌花率：

不論網室栽培與否，‘越南白肉種’首批正期花皆於 2016 年 6 月 12 日萌發，萌發前平均氣溫約為 25 至 30°C，與 Khaimov-Armoza 等人(2012)提及適合白肉種紅龍果花苞萌發之溫度相近。2016 年 7 月每週均有花苞萌生，至 8 月下旬時萌花率漸減，末批花於 9 月 11 日結束，自然花期內萌花批次約 10 批。正期萌花初期(6 月)以一年生枝條萌花率較高而為開花主力，少部分當年生枝條亦達足夠生理成熟度而可行生殖生長；當年生枝條萌花率於 7 月漸增至與一年生以上枝條相近；8、9 月當年生枝條萌花率高於一年生以上枝條(圖 1)。

Khaimov 及 Mizrahi (2006)曾指出白肉種紅龍果於不同遮陰程度下栽

培，其開花表現有所差異。在以色列地區以 40%遮陰可有最多正期開花量(平均每 3 米棚架有 68 朵花)。本試驗中，露天對照組、16 目或 24 目網室內正期累計萌花率整體仍達 80%以上，推測於中部地區不論 16 目或 24 目防蟲網下提供之光強度環境均適合植株萌花，而網室內每日最高溫雖高於露天對照組，但因通風良好而使高溫時間僅短暫發生，未對白肉種紅龍果萌花產生不利影響。

3. 果實品質分析：

於 9 月 11 日採收正期果(7 月 24 日萌花之代表性批次)(圖 2)，露天對照組果實套牛皮紙袋；網室內果實則無套袋。果皮顏色以露天對照組亮度 L^* 最高，24 目網室次之，16 目網室果實最低(表 3)。黃及林(2008)曾指出套牛皮紙袋所造就之暗環境可促使葉綠素降解、使紅龍果果皮 L^* 值顯著增加。16 目網室果實因無套袋，故向陽面 L^* 值較露天對照組低；24 目網室果實 L^* 值較 16 目網室高，則可能因 24 目防蟲網相對於 16 目有較高遮陰率所致(表 1)。

成熟白肉種紅龍果果皮為紫紅色，呈色主要來源為甜菜苷色素中的甜菜苷(betanin)(Suh, 2014)。「越南白肉種」正期果果皮向陽面 a^* 值(紅/綠值)以露天對照組、16 目網室最高，24 目網室果實最低；於背陽面 a^* 值則以露天對照組為最高，16、24 目網室果實最低(表 3)。黃及林(2008)曾指出套牛皮紙袋不影響白肉種紅龍果 a^* 值，然 Tran 等人(2015)以白紙袋卻可顯著提高此指標。果皮 a^* 值表現受甜菜苷色素生成與葉綠素降解的共同影響，推測套白紙袋後，可能改變果實周圍之微氣候，如：略為減少照光及提高溫度，而溫度與光線因素協同影響色素的降解與形成，方使 a^* 值有所提高。於日本石垣島生產白肉種夏果時， a^* 值隨累積溫度增加而提高，且向陽面 a^* 值有較背陽面高之趨勢(Nomura et al., 2005)，此結果指出向陽面可能因接受日曬而溫度增加，有助於 a^* 值表現。網室內果實可能因葉綠素降解及甜菜苷色素生成較慢而使 a^* 值較露天對照組低。

正期果平均單果重量以 16 目網室果實較露天對照組高，16 及 24 目網室間則無顯著差異(表 4)。內部品質以 24 目網室果實之平均及中心糖度低於露天對照組，16 目網室與露天對照組間無顯著差異；可滴定酸度於各處理間則無明顯差異(表 4)。紅龍果果實的生產受光環境與原枝條狀態所影響，

遮陰不足或過強(Chang et al., 2016)及枝條發生日燒(陳及林，2016)時會使果重減少、可溶性固形物含量減少。16 目網室可能因提供相對較好之光環境，使植株產生光抑制情況較少，且日燒生理障礙亦較輕微，故有助於枝條光合產物的累積，進而使其積貯——果實重量較高。白肉種紅龍果果實發育於夏季時，花後 21 天至 29 天時，果實內部澱粉快速降解、花後 25 至 30 天為可溶性固形物快速累積之時期，主要醣類為葡萄糖及果糖(Nomura et al., 2005; 黃及林，2010)。24 目果實之平均及中心可溶性固形物含量顯著較露天對照組低，暗示 24 目防蟲網下的光合產物可能累積不足，故對果肉糖度產生不良影響。

4. 病蟲害、日燒生理障礙及抗颱：

16 目及 24 目網室皆可阻絕金龜類、椿象類及瓜實蠅等害蟲侵入而減少其危害，惟小型害蟲如薊馬仍不能有效隔絕，理論上可阻隔之夜蛾類幼蟲及扁蠍牛仍可見於網室內(表 5)，顯示網室密閉性不佳，此受到防蟲網是否經常性維護及人員操作習慣所影響。莖潰瘍病、炭疽病等病害於露天對照組及網室內之表現幾無明顯差別，果實煤煙病以露天對照組發生較網室內嚴重(data not shown)。於日燒最嚴重月份(8 月)分析枝條受害程度，露天對照組、16 目、24 目網室內均有枝條黃化、白化、甚至潰爛。其中以 16 目網室可顯著減少日燒枝條數，24 目網室之總日燒枝條數則與露天對照組間無顯著差異(表 6)。紅龍果枝條的日燒生理障礙，為日間累積高溫與太陽輻射熱的因素協同導致(陳及林，2016)。推測 16 目網室下之微氣候，相對於 24 目網室蓄熱較輕微，故可減少日燒發生。試驗期間共受四次颱風危害，其中梅姬颱風(9/25-9/28)造成露天對照組部分棚架傾斜、枝條擦傷、斷裂及落果等損失；而固定型網室之主要結構及設施內部植株則無明顯損害(圖 3)，顯示出應用良好結構設施對穩定作物生產的重要性。

5. 成本效益分析：

以正期整體累計萌花率(露天對照組：103.1%、16 目網室：82.3%、24 目網室：90.4%)及果品分析之平均果重(露天對照組：336.8 克、16 目網室：409.6 克、24 目網室：369.1 克)估算各處理平均每枝條果實產量，分別為 347.2 克(露天對照組)、337.1 克(16 目網室)及 333.7 克(24 目網室)。若以每 0.1 公頃具 6500 支枝條進行概算，露天對照組及 16 目網室每公頃收量約為

22570 及 21911 公斤。依據洪氏農戶提供正期網室內與露天果實均價，分別為每公斤 71.27 元及 62.35 元，以網室內果實價格較露天者高(表 7)。

成園初期之設備資材、建設人力及防蟲網使網室成本較高，蚊帳型及固定型網室成本分別約為 76,000 及 140,000 元(每 0.1 公頃)(農傳媒, 2017)，但成園後網室可較露天管理所需成本較低，因網室內果實不須套袋，故可減少套袋與人力所需成本(每 0.1 公頃共約 26,400 元)，蚊帳型及固定型網室分別約 3 及 5 年可回收初期投入成本。根據楊(2013)所示年報之紅龍果總生產成本為 520,941 元/公頃(表中以 520,000 元/公頃計)，而固定型網室建設第 6 年後，可免除前述套袋相關成本，於考量果實價格及產量後，每公頃賺款可較露天增加 413,229 元(表 7)。

結論

於 16 目網室內栽培‘越南白肉種’紅龍果可免除套袋，且不影響正期萌花表現。網室果實著色雖略劣於套袋者，但 16 目網室下果實重量表現優良且不影響內部糖度、酸度品質，可為市場所接受且價格較高。此外，16 目網室即可遏止瓜實蠅等主要蟲害，並減少日燒生理障礙發生，亦有防颱、抗風之效。故於臺灣中部應用 16 目固定型網室，以生產白肉種紅龍果正期果應具產業化潛力。

聲明

本研究為第一作者碩士論文之一部份，刻正準備發表於正式期刊，特此聲明。

參考文獻

1. Benzing, D. H. 1990. Vascular epiphytes, general biology and related biota. Cambridge: Cambridge University Press.
2. Britton, N. L. and J. N. Rose. 1963. The Cactaceae. Vol. I and II. Dover Publication, New York.
3. Chu, Y. C., W. H. Lee and J. C. Chang. 2015. Sustaining and improving white pitaya (*Hylocereus undatus*) production under abiotic stress environments: a case study in Penghu, Taiwan. Intl. Wkshp. Proc.:

Improving Pitaya Production and Mtg. Food and Fert. Technol. Center. p. 181.

4. Chang, P. T., C. C. Hsieh, and Y. L. Jiang. 2016. Responses of 'Shih Huo Chuan' pitaya (*Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britt. & Rose) to different degrees of shading nets. *Sci. Hortic.* 198: 154-162.
5. Haber, W. A. 1983. *Hylocereus costaricensis* (pitahaya silvestre, wild pitahaya), p. 252-253. In: D. H. Janzen (ed.). Costa Rican natural history. The Univ. of Chicago Press, Chicago.
6. Khaimov, A. and Y. Mizrahi. 2006. Effects of day-length, radiation, flower thinning and growth regulators on flowering of the vine cacti *Hylocereus undatus* and *Selenicereus megalanthus*. *J. Hortic. Sci. Biotech.* 81(3): 465-470.
7. Khaimov-Armoza, A., O. Novák, M. Strnad, and Y. Mizrahi. 2012. The role of endogenous cytokinins and environmental factors in flowering in the vine cactus *Hylocereus undatus*. *Israel J. Plant Sci.* 60: 371-383.
8. Mizrahi, Y., A. Nerd, and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. *Hort. Rev.* 18:291-320.
9. Mizrahi, Y. 2015. Thirty-one years of research and development in the cacti pitaya in Israel. *Intl. Wkshp. Proc.: Improving Pitaya Production and Mtg. Food and Fert. Technol. Center.* p.1-18.
10. Nomura, K., M. Ide, and Y. Yonemoto. 2005. Changes in sugars and acids in pitaya (*Hylocereus undatus*) fruit during development. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 80(6): 711-715.
11. Ortiz-Hernandez, Y. D. and J. A. Carrillo-Salazar. 2012. Pitaya (*Hylocereus* spp.): a short review. *Comunicata Sci.* 3(4): 220-237.
12. Raveh, E., A. Nerd, and Y. Mizrahi. 1998. Responses of two hemiepiphytic fruit crop cacti to different degrees of shade. *Sci. Hortic.* 73: 151-164.
13. Suh, D. H., S. Lee, D. Y. Heo, Y. Kim, S. K. Cho, S. Lee, and C. H. Lee. 2014. Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and

- antioxidant activity. J. Agric. Food Chem. 62(34): 8764-8771.
14. Tran, D., C. Yen, and Y. H. Chen. 2015. Effects of bagging on fruit characteristics and physical fruit protection in red pitaya (*Hylocereus* spp.). Biol. Agric. Hortic. 31(3):158-166.
 15. Zee, F., C. R. Yen, and M. Nishina. 2004. Pitaya (Dragon Fruit, Strawberry Pear).Fruit and Nut 9: 1-3.
 16. 行政院農業委員會. 2018. 農情報告資源網.
<http://agr.afa.gov.tw/afa/afa_frame.jsp>.
 17. 邱一中、林筑蘋、徐敏記、留欽培、陳殷義、劉碧鵠. 2015. 紅龍果的栽培與管理. 天晴文化事業. 臺南. 臺灣.
 18. 徐萬德. 2004. *Hylocereus* spp. 仙人掌紅龍果之栽培、生育習性及物候調查. 國立臺灣大學園藝學系碩士論文. 台北.
 19. 陳奕君、林延諭. 2016. 遮光處理對防範紅龍果肉質莖日燒傷害之研究. 臺東區農業改良場彙報 26: 41-58.
 20. 黃裕益. 2001. 自然通風溫室之微氣候調節, p.33-40. 刊於：林達德、李桂芝主編. 設施栽培自動化. 國立台灣大學生物產業機電工程學系. 台北.
 21. 黃琇亭、林慧玲. 2008. 套袋及環剝對紅龍果果實生長發育之影響. 興大園藝 33: 1-15.
 22. 黃琇亭、林慧玲. 2010. 紅龍果果實發育後期醣類合成酶和蘋果酸去氫酶活性之變化. 臺灣園藝 56: 81-91.
 23. 農傳媒. 2017. 透風不透蟲，猴子看得到吃不到，神奇網室讓紅龍果免套袋年省 26 萬. 臺灣. 2017 年 6 月 21 日.
<https://www.agriharvest.tw/theme_data.php?theme=article&sub_theme=article&id=214>.
 24. 楊宏瑛. 2016. 紅龍果生產成本紀錄與應用. 紅龍果整理產業價值鏈整合記錄發表暨產業交流研討會. 台中區農業改良場編印. p. 101-108.
 25. 賴樵緯. 2017. 以 RAPD 標記分析台灣桑樹基因型親緣關係及於網室生產紅龍果正期果之可行性評估. 國立中興大學園藝學系碩士論文. 臺中.

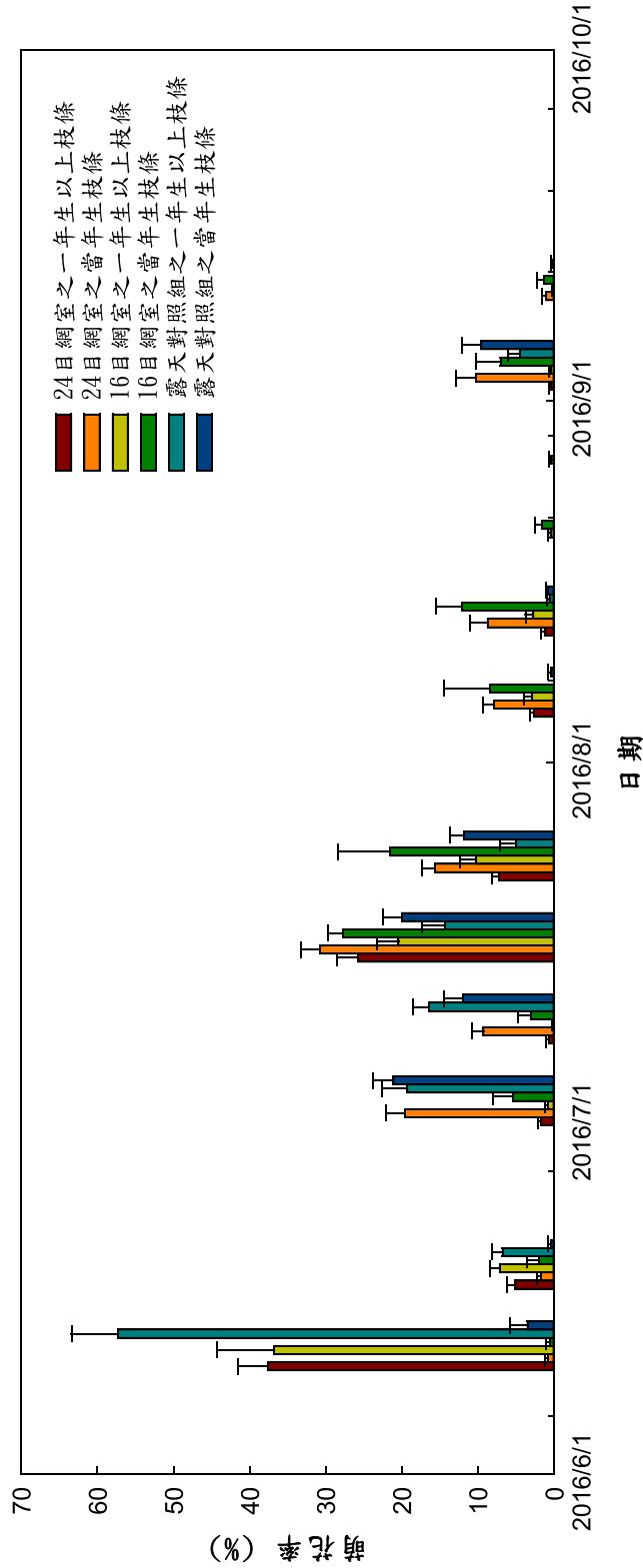


圖 1. 網室與梢齡對‘越南白肉種’紅龍果正期萌花之影響。數值以平均值±標準偏差(SE)表示。



圖 2. 露天及網室栽培之‘越南白肉種’紅龍果(*Hylocereus undatus*)田間植株情形與其正期果實外觀。(A)露天對照組、(B)16 目網室及(F)24 目網室下栽培之果實外觀。



圖 3. 梅姬颱風侵台(9/25-9/28)後之臺中外埔試驗果園 (A)露天對照組、(B)固定型網室果園田間情況。

表 1. 露天對照組及 16、24 目網室之日輻射與光強度通透率比較

網室處理	通透率 (%) ^z	
	日輻射	光強度
露天對照組	100	100
16 目網室	78.12 ± 0.13 ^y	76.03 ± 0.04
24 目網室	75.03 ± 0.63	73.00 ± 0.21

^z 於 2016 年 8 月 4 日及 7 日晴朗正午測量日輻射及光強度，並計算兩網室內通透率：(網室內數值/露天對照組) ×100%，露天對照組則以 100% 表示。

^y 平均值±標準誤差(n=3)。

表 2. 露天對照組及 16、24 目網室於‘越南白肉種’正期果生育期間(2016 年 6 月至 9 月)之氣溫與相對濕度比較

網室處理	最高溫 (°C)	平均溫 (°C)	最低溫 (°C)	平均相對濕度 (%)
露天對照組	34.7 ± 0.2 b ^z	28.5 ± 0.1 a	24.6 ± 0.1 a	80.6 ± 0.6 a
16 目網室	36.2 ± 0.3 a	28.9 ± 0.2 a	24.4 ± 0.1 a	80.8 ± 0.6 a
24 目網室	35.9 ± 0.6 a	28.7 ± 0.2 a	24.4 ± 0.1 a	81.0 ± 0.6 a

^z 資料分析自 2016 年 6 月 1 日至 2016 年 9 月 30 日，以平均值±標準誤差(n=123)表示。同行項目內以相同字母表示者，在 5% 顯著水準之最小顯著差異檢定下未達顯著差異。

表 3. 露天對照組、16 及 24 目網室栽培之‘越南白肉種’果實顏色分析^z

網室處理 ^y	果數	向陽面果皮顏色			背陽面果皮顏色		
		L*	a*	b*	L*	a*	b*
露天對照組	33	47.2 a ^y	24.8 a	9.3 b	45.2 ab	32.3 a	2.8 a
16 目網室	36	42.9 c	22.5 a	7.7 b	44.0 b	29.7 b	1.3 a
24 目網室	36	45.0 b	16.7 b	11.9 a	45.5 a	29.2 b	2.2 a

^z 7月24日為正期產調萌花高峰，盛花後露天果實套牛皮紙袋，網室內果實則無套袋。9月11日採收露天及網室內同批果實進行品質分析。

^y 數值以平均值(n=7-8)表示。同行項目內以相同字母表示者，在5%顯著水準之最小顯著差異檢定下未達顯著差異。

表 4. 露天對照組、16 及 24 目網室栽培之‘越南白肉種’果實品質分析^z

網室處理	單果重量 (g)	總可溶性固形物含量 (°Brix)		可滴定酸度 (%)
		平均	中心	
露天對照組	336.8 ± 15.7 b	16.5 ± 0.5 a	17.8 ± 0.5 a	0.28 ± 0.02 a
16 目網室	409.6 ± 17.9 a	16.3 ± 0.4 a	17.2 ± 0.5 ab	0.30 ± 0.02 a
24 目網室	369.1 ± 8.7 ab	15.1 ± 0.2 b	16.4 ± 0.2 b	0.28 ± 0.02 a

^z 7月24日為正期產調萌花高峰，盛花後露天果實套牛皮紙袋，網室內果實則無套袋。9月11日採收露天及網室內同批果實進行品質分析。

^y 數值以平均值(n=7-8)表示。同行項目內以相同字母表示者，在5%顯著水準之最小顯著差異檢定下未達顯著差異。

表 5. 露天對照組及 16、24 目網室於‘越南白肉種’(*Hylocereus undatus*)正期果生育期間之有害動物種類及嚴重度^z

網室處理	有害動物種類	6 月	7 月	8 月.	9 月
露天對照組	蝸牛類	2	1	0	2
	瓜實蠅	1	0	0	4
	金龜類	0	0	0	1
	椿象類	0	1	3	1
	蛾類	1	3	3	0
	薊馬類	0	1	2	2
16 目網室	蝸牛類	2	3	3	5
	蛾類	1	4	4	4
	薊馬類	0	2	3	2
24 目網室	蝸牛類	2	3	3	4
	蛾類	1	4	3	4
	薊馬類	0	2	2	2

^z0 至 5 級分級：0：無；1：輕微；2：輕微至中度；3：中度；4：中度至嚴重；5：嚴重。

表 6. 2016 年 8 月露天對照組及 16、24 目網室內‘越南白肉種’枝條日燒生
理障礙之比較

網室處理	總枝條數	日燒枝條數
露天對照組	132.0 ± 6.2 a ^z	92.5 ± 1.9 a
16 目網室	94.5 ± 4.6 c	68.5 ± 6.1 b
24 目網室	115.8 ± 4.2 b	87.0 ± 3.0 a

^z 數值以平均值±標準誤差(n=4)表示。同行項目內以相同字母表示者，在 5%顯著水準之最小顯著差異檢定下未達顯著差異。

表 7. 露天與網室栽培之生產成本與效益比較

成本效益	露天對照組	16 目網室
產量 (kg/ha/year)	22,570	21,911
產品價格 (NTD/kg)	62.40	71.27
產品總值 (NTD/ha/year)	1,408,368	1,561,597
總成本花費(NTD/ha/year) (設施搭設後第六年)	520,000 ^z	260,000 ^y
收益 (NTD/ha/year)	888,368	1,301,597

^z 紅龍果 2013 年年報數據(楊，2016)。

^y 網室免除套袋成本之數據引述自鳳試所劉碧鵝副研究員(農傳媒，2017)。

Abstract

This study aimed to evaluate the feasibility of white pitaya (*Hylocereus undatus*) cultivation under the net-house for natural production. Experiments were conducted under the fixed net-house, that produced non-bagging fruits, which was three meters in height and covered with 16 or 24 meshes of white net and open-field that fruits were paper-bagged by hand in Waipu, Taichung. The 16-mesh and 24-mesh insect-proof screens shielded 21.88% and 24.97% of solar radiation, and isolated 23.97 and 27.00% of PPFD, respectively. The daily maximum temperatures under the net-houses were higher than in the open-field, when average and minimum temperatures and mean relative humidity were not significantly different among treatments. Whether pitayas were grown under the net-houses or open-field, the times of the first and the last flowering wave were the same. Besides, facilities had no harmful effect on floral bud emergence percentage. Although the fruit coloring of net-houses was inferior to the field, but it is still acceptable in the market. The fruit weights of 16-mesh net-house were significantly heavier than them of open-field, and cultivation under 16-mesh screen didn't impact average and center total soluble solid contents and titratable acidity. Furthermore, 16-mesh net-house can exclude most pests, moderate shoot sunburn and reduce damages of plant and structure caused by typhoon. In conclusion, it could benefit industrial cultivation and natural production to plant white pitaya in the 16-mesh fixed net-house.

Key words: Cactaceae, cost-benefit analysis, fruit quality, protected cultivation, reproductive phenological stage, microclimate

林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱開發 2.0 (I)

周立強

國立宜蘭大學

摘要

本計畫第一年執行成果為林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱開發。本環境控制箱係採用邏輯式離散事件系統（Logical Discrete Event System, LDES）擬合設計一混合控制動態系統（Hybrid Control Dynamic System, HCDS），演繹實現林木苗栽培溫室中將混合控制系統應用於溫濕度環境控制上。在控制箱開發與硬體建置上，採用工業量產價廉的可程式控制器（Programmable Logic Controller, PLC）與人機介面觸控螢幕（Human Machine Interface, HMI）等近代科技產品，完成一林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱。本計畫第一年分別於三間溫室進行環控設備裝設並測試功能，在人機介面觸控螢幕畫面上，可透過隱蔽式副畫面觸發設計功能將監控資訊顯示單一化，使操作者或管理者能掌握更多即時資訊，提升整體控制及管理效率。

第二年預期進度擬對三間林木苗栽培溫室進行環境調控及操作策略開發設計改良，將以濕空氣線圖作為理論基礎、結合空氣調節控制程序與質傳、熱傳能量論點，導入電力有效使用及節能作為設計考量，實現一具備節能且智慧之林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱開發。

關鍵字：溫濕度環境控制；混合控制系統；可程式控制器；林木苗栽培溫室

前言

台灣地區近十年來出生率下降以致少子化現象日益嚴重，致使社會人口結構改變，造成社會勞動人口減少及高齡化的趨勢，因此透過產業自動化技術是可解決現今勞動力流失所造成的產業缺工現象。而自動化技術的快速發展，是由於第三次工業革命所帶動使然，生產或製造系統內之控制核心已經由早期的繼電器配電盤演變至以微處理機（Microprocessor）、可程式控制器（Programmable Logic Controller, PLC）及個人電腦（Personal computer, PC）所取代，控制面板（Control panel）也由傳統儀表、開關按鈕及燈號顯示演繹為人機介面（Human Machine Interface, HMI）操作型態。

在 1991 年後陸續台灣有許多學者專家投入自動化溫室環控技術的研究，使技術達到本土化紮根。梁與郭（1992）提出林業溫室條件序控系統設計研製，其控制器主要以微電腦單晶片為主，輔以固態繼電器模組，感測器模組，類比/數位轉換器等。其控制流程、順序、策略均透過程式編寫軟體、以組合語言在一般個人電腦上編譯完成，藉由 RS232 卡輸入微電腦中，其控制方式採時間序控及

條件序控。爾後陳與林(1993)也有類似觀念的設計應用於塑膠布溫室環控系統。接著周與王(1994)研製以個人電腦配合溫室內溫濕度控制模式的環控系統，其中經驗控制法內的灌溉及補光控制即是迴授序控的一種應用。黃等(1996)利用DOS作業系統發展溫室環境監控系統，控制系統可監看整個環控設備作動情形及記錄環控因子的數據，發展之環控系統除了台糖蝴蝶蘭栽培溫室使用外，金車蝴蝶蘭園等也使用該套系統，較具實用價值。

回顧過去本系發展設施環境控制已有多年的歷史及經驗，周等(2000)曾以條件序控法的環控裝置應用在嫁接苗癒合養生室(以下簡稱「癒合室」)，其中控制迴路的組成元件僅以低壓工業配線及感測器為主，並製作成三種不同條件序控的控制迴路，包含有以上下限區域及界限啟閉附加延時共三種不同條件的邏輯動作方式。然而這種控制迴路邏輯是取代了以往研究上的軟體程式邏輯，雖然可解決目前農家在使用現實面上的問題，但是傳統的繼電器硬體邏輯迴路仍有其限制。以該文為例，濕空氣線圖上的控制路徑就不能過於複雜或多元化，再加上當系統控制邏輯需要多層多段時，就存在著硬體迴路及邏輯死角修改等大問題。周等(2002)結合了迴授的條件序控法及濕空氣線圖(Psychometric)的空調原理，演譯溫溼度聯控的環控程序及複雜邏輯。硬體裝置除原有低壓工業配線元件，感測器及可程式控制器外，其相同的演譯邏輯是可以透過圖控式語言(LabVIEW)及介面達成(游與周，2003)。實驗結果發現此方式之溫溼度的環控精度不高，比較適合環控精度要求不高成本低之設施。接著Jou等於2005年發展以結合布林代數的演算法及濕空氣線圖(Psychometric)的空調程序為主，質傳熱傳的理論為輔的數學控制模式，推演溫溼度聯控的複雜環控程序及邏輯。主要控制架構及動作仍然以非線性控制方式為主的迴授條件序控進行設計，此方式補強了以往條件序控之流程作業法在溫溼度控制精度不高之缺點。

儘管台灣經過一系列有關於設施環控自動化技術發展，過去技術在當時環境下是偏重於以功能導向為目的去解決產業面需求問題，而歷經這幾年基載電力結構改變、缺電危機與全球性「節能環保」議題與綠能意識，既有設施環控自動化技術也已經無法僅以滿足功能性設計作為目的，未來勢必因應時代變革的需求與科技技術發展，使農業生產設備結合日新月異的工業產品作提昇與改良，並加入有效地運用能源、節能與智能操作減少管理人力作為設計考量。

綜合上述所論，本計畫致力於系統軟能力改善並修正衍伸自Hu等(2011)及Zeng等(2012)提出設施室內環境動態系統模型，以濕空氣線圖原理配合空氣調節控制程序，加入質傳及熱傳能量觀點，利用有限界限分割溫濕度合理調控範圍，簡化複雜的非線性溫濕度動態行為系統，再以定時不定量調控概念應用於數位化控制器，可演繹設計一環境控制之混合控制系統架構，並加入電力分析運用節能作為設計考量。由於溫濕度環境為一連續變化且非線性(不定時不定量)之系統，數位化的控制器無法直接對連續系統進行完全控制，通常必須對連續系統進行數位化處理。在硬體設備方面，本計畫仍以工業量產價廉的可程式控制器介面及其週邊硬體作為發展「模組化商品」溫室環境控制箱的核心，將以往所採用

傳統錶頭面板環境控制箱（圖 1）轉換成人機觸控顯示面板（圖 2），使操作使用或管理者在現場掌握更多控制輸入輸出資訊並附加擴充網路通訊模組功能，使控制管理效能更提升。

材料與方法

一、控制標的物描述

本計畫之標的物為位於宜蘭大學生資大樓頂樓的溫室實驗花園（圖 3），外部主體為建築鋼材及玻璃建造而成；內部係以鋁合金建築型材及玻璃組合成三間林木苗栽培溫室。圖 4 為三間林木苗栽培溫室硬體配置架構規劃，各間木苗栽培溫室室內積約 22 m^3 ($3.06\text{ m} \times 3.3\text{ m} \times 2.2\text{ m}$)，占地面積約 10 m^2 (約 3.3 坪)。室內設備有分離式冷氣機、離心式加濕器、抽排風扇、乾濕球溫度轉換器及溫溼度感測器。室內可藉由冷氣機及加濕器作內循環式的環境調節，亦可利用抽排風扇導入室外空氣以外循環法調節室內微氣候 (Jou et al., 2005)。

為因應時代變革的需求與科技發展，使自動化技術再提升解，可決現今勞動力流失所造成的產業缺工現象，本計畫將原有核心原理技術配合科技潮流工業產品，以提昇到更為精緻且多元複合的控制方式，並加入電力有效使用及節能作為設計考量。本模組化環境控制箱開發 2.0 建置的儀表組件及環境控制設備規格，如表 1 及表 2 所示，包括可程式控制器、類比輸入/輸出模組、人機介面、電磁接觸器、電力繼電器、無熔絲斷路器、漏電斷路器、環控設備（離心式加濕器、抽排風扇、分離式冷氣機、窗型冷氣機及乾濕球溫度轉換器）。

二、人機操作界面設計

「人機介面」(Human Machine Interface, HMI) 是一種提供操作者與自動化設備溝通的數位產品。其內含多樣化的通訊埠方便於與各式的設備作通訊，觸碰式面板可讓操作者直覺地進行參數設定，液晶螢幕則可呈現給操作者機台設備的各項監控數據。在使用者操控與後端設計及維修部分將以往採用傳統錶頭面板環境控制箱升級為人機觸控顯示面板，並透過彈性的軟體編輯功能可依照不同應用的需求客製化設計多功能畫面，不僅解決以往為擴充功能，使系統日漸繁雜導致迴路邏輯複雜難以考慮周延且偵線除不易的問題，也能使操作者或管理者能掌握更多即時資訊，提升整體控制及管理效率。圖 5 為人機介面於系統控制架構呈現。

本計畫所使用之人機介面為台達集團—台達電子針對工業自動化解方案所研發生產的 DOP-B07S415 觸控型人機介面，為工業自動化機械提供快速便利的控制功能，在螢幕為 65536 色液晶顯示面板，採用 2D 繪圖加速技術，可規劃更多畫面元件，提供更細緻的顯示。通訊界面具有搭配 RS232 / RS422 / RS485 之 3 組連接埠，可利用 Direct Line 功能藉由 USB 介面透過人機介面監控或修改 PLC 程式。在人性化設計與編輯軟體 DOPSoft 支援 Windows-base 作業系統，使用者可快速編輯圖表介面，並可自由設定適合的通訊規範。

為結合本計畫針對林木苗培育所擬定之調控方法與本院「森林暨自然資源學系」針對溫室環控設備之操作程序要求，在人機介面中操作畫面設計之目標初步擬定功能需求如表 3 示，各畫面連動關係設計則以圖 6 樹狀圖表示。為使操作者或管理者能快速且直觀地操作，因此畫面預期規畫主要分為四頁分頁（操作說明、設備控制、作物資訊與生長環境設定及統計歷線圖），並在各分頁有數個選擇開關作副畫面觸發功能，透過隱蔽式副畫面觸發設計概念能使監控資訊顯示單一化，使操作管理者提升操作順暢度增加管理效率。

三、控制系統架構

本計畫林木苗栽培溫室之環境控制系統模型係衍伸修正自 Stiver 等（1996）提出一混合控制系統模型，以邏輯式離散事件系統（Logical Discrete Event System, LDES）擬合方法設計一混合控制動態系統（Hybrid Control Dynamic System, HCDS），演繹實現林木苗溫室環境控制之混合控制系統。此系統組成包含（A）—林木苗栽培溫室 Plant、（B）—訊號轉換介面 Interface 與（C）—PLC 控制器 Controller，系統架構如圖 7 所示。

系統中林木苗栽培溫室（Plant）可由一組非線性及非時變系統之常微分方程組 $\dot{X} = f(x(t), u(t))$ 描述，其中 $x(t)$ 及 $u(t)$ 代表為連續時間下狀態向量及輸入向量（即溫濕度感測狀態與系統操作輸出）；而可程式控制器 PLC（Controller），其機制動作可由（1）及式（2）描述：

$$\tilde{S}[n] = \delta(\tilde{S}[n-1], \tilde{x}[n]), \quad (1)$$

$$\tilde{u}[n] = \emptyset(\tilde{S}[n]), \quad (2)$$

式中顎化符號~表示為一變數符號之值組或序列； $\tilde{S}[n]$ 為在 n 時間點的空氣溫濕度狀態值組（即溫度：常溫、冷與熱與濕度：常濕、乾燥與潮濕之狀態組）； $\tilde{S}[n-1]$ 為在 $n-1$ 時間點的空氣溫濕度狀態值組； $\tilde{x}[n]$ 為在 n 時間點的空氣溫度及濕度狀態值組（即溫度： 20°C 、 25°C 與濕度： 70% 、 80% 之感測狀態組）； δ 為狀態轉移機制函數； $\tilde{u}[n]$ 為在 n 時間點的控制器輸出值組； \emptyset 為輸出操作之機制函數。控制器模型核心設計關鍵在於如何分別獲得 δ （狀態轉移）及 \emptyset （輸出操作）之機制函數並加以程式化。因此將濕空氣線圖（Psychrometric Chart）上之溫濕度狀態作路徑歷程推演可獲得狀態轉移機制函數 δ ；而輸出操作機制函數 \emptyset 則是以當下溫濕度離散狀態組作標的，根據自然科學演繹（濕空氣熱力性質、質能平衡定律與空調控制程序）結合硬體設備之操作限制加以獲得。

由於林木苗栽培溫室之溫濕度環境為一連續變化且非線性之系統，數位化控制器無法與連續系統直接地進行訊號溝通交換與控制，通常必須對連續系統進行數位化處理，因此兩模型彼此間可藉由訊號轉換介面（Interface）相互作用。訊號轉換介面包含產生器（Generator）及致動器（Actuator）兩類，其中 Generator 為訊號離散化功能，主要係將連續系統產生之類比訊號（Analog signal）透過數位電路邏輯轉譯為數位訊號（Digital signal）後輸入至控制器示；反之 Actuator 則是接收控制器輸出之數位訊號（Digital signal）以片段線性函數輸出方法控制

硬體介面，達到擬合連續系統之控制目標。

結果與討論

一、硬體建置

此控制箱之規劃及在開發程序，主要以經濟部於 102 年 4 月 10 日修正之屋內線路裝置規則作為本控制箱電力迴路設計及裝配作為依據，並參考一般工業生產客製化控制模組之八項規劃步驟執行（周，2002）：(I) 明確敘述並定義控制模組之功能要求；(II) 將控制模組之功能要求轉換成邏輯語言（即條件式之邏輯流程圖或布林代數演算真值表）；(III) 根據邏輯語言轉化成控制階梯電路（包含主負載迴路設計）；(IV) 確認控制階梯電路之動作分析說明與功能要求相符；(V) 繪出各控制設備之時序圖，確認符合功能要求；(VI) 開立控制模組匹配之元件規格及商品；(VII) 控制模組的盤面規劃；(VIII) 實體配線施工。

本計畫林木苗栽培溫室之控制箱內部盤面整體規劃配置、PLC 控制迴路複線圖及主負載迴路複線圖分別如圖 8—10 所示。針對負載電路設計上複合使用 MK 型電力繼電器與 MC 電磁接觸器做為控制迴路與負載迴路訊號傳遞之中間介面，並配合具有漏電/過負載/短路保護兼用之漏電斷路器使其電路具有安全保護功能，降低過載超額線路電流發生之風險，也保護本設施使用者避免設備因所處環境潮濕導致漏電造成意外。

圖 11—13 為林木苗栽培溫室控制箱各項建置成果，模組化控制箱開發將箱體分為三層，由外而內第一層為方便使用者觀看當下溫室內溫濕度狀態資訊及保持內部乾燥之防塵防水隔離層、第二層為使用者可操作人機介面觸控螢幕（含輸入環境調控參數之控制介面層）。第三層為實體線路與電控元件配置。在本計畫林木苗栽培溫室完成電力迴路配線作業後，進行三間溫室環控設備線上功能測試（圖 14），達成本計畫第一年預定進度。未來將根據本計畫擬設計之環控操作策略，加入電力分析運用節能作為設計考量，以狀態不等式及布林邏輯函數建構在春（秋）、夏及冬季三種氣候下溫濕度環控操作。

※溫室內硬體配置

在硬體配置上，依照各別環控設備預期規畫進行安裝，實際裝配結果如圖 15 所示。並在裝配完成後針對環控設備各別進行單一操作測試功能，檢核冷氣之冷房能力及除溼能力、抽排風扇之抽風能力與加濕器之加濕速率是否符合標稱設備容量或能力，達成本計畫第一年進度。

二、人機介面觸控螢幕

圖 16 為模組化環境控制箱開發之人機介面觸控螢幕建置成果，在觸控螢幕開機後即呈現三間溫室即時環控模式及環控設備狀態監看主畫面（圖 17），並在此設計四個分頁按鈕進行各項畫面切換。圖 18 為操作說明分頁，本頁左側顯示各項儀表功能說明，並於右側繪出人機介面設計樹狀圖顯示各畫面連動關係，便於管理者迅速上手；圖 19 為設備控制介面分頁，其中附有手/自動選擇開關、緊

急停止開關及三間溫室各項環控設備獨立控制按鈕以及環控操作取樣週期設定（根據不同作物進行適當調整）；圖 20 為作物資訊與生長環境設定分頁，左側為栽培作物資訊設定（輸入作物編號便於管理者進行事後資料蒐集與整理），中間部分為作物生長環境模式選擇（恆定環境與多階段時變環境），右側則為畫面觸發按鈕並切換至對應之環境參數設定（圖 21—22）；圖 23—24 為統計歷線圖分頁，可切換觀看溫室內溫濕度變化歷線、預估電量與累計電量之歷線圖。

結論與建議

本計畫開發一套林木苗栽培溫室之模組化環境控制箱，依照第一年進度及執行結果統整以下五點結論：

- 一、本環境控制箱以邏輯式離散事件系統(Logical Discrete Event System, LDES)擬合方法設計一混合控制動態系統(Hybrid Control Dynamic System, HCDS)，演繹實現林木苗栽培溫室中將混合控制系統應用於溫濕度環境控制上。
- 二、模組化環境控制箱以工業量產價廉的可程式控制器建構環境控制箱內線路配置及人機介面觸控螢幕之通訊連接，並依序於三間林木苗栽培溫室進行環控設備裝設，完成林木苗栽培溫室硬體架設。
- 三、將傳統錶頭面板環境控制箱升級為人機觸控顯示面板，使用編輯軟體以隱蔽式副畫面觸發模式將監控資訊顯示單一化，使管理者可同時掌握多項溫室之控制輸入輸出資訊，使控制與管理效率更提升。
- 四、將人機觸控顯示面板配合彈性的軟體編輯功能可依照不同應用的需求客製化設計多功能畫面，解決以往為擴充功能，使系統日漸繁雜導致迴路邏輯複雜難以考慮周延且偵線除不易的問題。
- 五、在人機介面觸控螢幕之操控畫面加入生長環境設定，可依照不同栽培計畫或作物生長週期客製化排程所需的微氣候環境，達到提升作物產量或生產品質之目標。

為了降低環境不可控制向量（太陽輻射）對於設施內氣候條件的影響程度，可於溫室屋頂加裝可控制之遮蔭黑網以減少熱量進入，但此方法僅單一減少太陽光進入溫室之輻射能，對於降低設施內溫度震盪與設備負荷之效果著實有限。近年來在環保意識抬頭，提倡能源使用綠色化政策推動之下，未來可將建材一體型太陽光電系統(Building Integrated Photovoltaic, BIPV)之技術方法結合遮蔭黑網控制系統導入對設施農業或溫室作改良規劃(例如太陽能溫室、太陽能板追日系統等)，其兩者併用之複合效果不僅能降低室內溫度擾動與環控設備過負荷的問題，在能源使用上藉由光伏打效應回收電能並加以儲存及運用，可視為具備智慧與節能（潔）之設施農業未來發展趨勢。

謝誌

本研究承財團法人中正農業社會公益基金會支持與經費補助，特致謝忱。

參考文獻

1. 周立強, 王鼎盛。1994。溫濕度環控系統之設計與裝置。技術學刊 9(3): 271-280。
2. 周立強、邱奕志、陳世銘。2000。條件序控法應用在嫁接苗愈合養生裝置的環境控制。宜蘭技術學報 4: 47-66。
3. 周立強, 邱奕志, 陳世銘。2002。嫁接苗愈合養生室之環控系統演譯及試驗研究。農業機械學刊 11(4): 85 - 104。
4. 游哲銘, 周立強。2003。LabView 於人工微氣候環境控制之應用-以多階段溫濕度環境嫁接苗愈合室控制系統為例。機電整合 58: 116 -123。
5. 陳加忠、林瑞松。1993。塑膠布溫室環控系統之研究。中國農業工程學報 39(2): 84-91。
6. 黃東瑞、潘清樂、簡銘宏、陳健夫。1996。溫室環境自動控制系統之研發。臺灣糖業研究所研究彙報 153: 59-73。
7. 梁亞忠, 郭幸發。1992。單元化精密溫室設計構想 溫室環控自動感測技術研討會專集: 75- 84。
8. 梁亞忠, 郭幸發。1992。林業溫室條件序控系統之研究。臺大實驗林研究報告 5(2): 17 - 30。
9. Stiver, J. A., Antsaklis, P. J., Lemmon, M. D., 1996. A logical DES approach to the design of hybrid control systems. Mathematical and Computer Modeling 23(11): 55-76.
10. Bemporad, A., and Morari, M. 1999. Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints. Automatica 35: 407-427.
11. Chiu YC, Jou LJ, Chen S. 1999. Design of an Acclimatization Chamber for Grafted Seedlings ,農業機械學刊 8(3): 9- 20.
12. Hu, H. G., Xu, L. H., Wei, R. H, Zeng, B. K. 2011. Multi-objective control optimization for greenhouse environment using evolutionary algorithms. Sensors 11: 5792–5807.
13. Hu, H. G., Xu, L. H., Zeng, B. K., Wei, R. H. 2011. A compatible control algorithm for greenhouse environment control based on MOCC strategy. Sensors 11: 3281–3302.
14. Jou LJ, Liao CM, Chiu YC. 2005. A Boolean algebra algorithm suitable for use in temperature-humidity environmental control of a grafted seedling acclimatization chamber. *Computers and Eletronics in Agriculture* 48(1): 1-18.
15. Spanomitsios, GK. 2001. Temperature control and energy conservation in a plastic greenhouse. Journal of Agricultural Engineering Research 80(3): 251-259.
16. Trigui M, Barrington S, Gauthier L. 2001. A strategy for greenhouse climate control, Part I: model development. Journal of agricultural engineering research 78(4): 407-413.

17. Trogui M, Barrington S, Gauthier L. 2001. A strategy for greenhouse climate control, Part II: model validation. Journal of agricultural engineering research 79(1): 99-105.
18. Zeng, B. K., Hu, H. G., Xu, L. H., Li, G. G. 2012. Nonlinear adaptive PID control for greenhouse environment based on RBF network. Sensors 12: 5328–5348.

表 1 模組化環境控制箱內部儀表組件規格

名稱	廠牌型號	規格功能	
可程式控制器 (PLC)	VIGOR VB1-32MR	AC100~240V +10%/-15%電源輸入 16點DC24V輸入 16點繼電器輸出 輸出入連接採用端子台	
類比輸入/輸出模組 (Converter)	VIGOR VB-6A	輸入4點12bits 輸出2點12bits 可任意選擇電壓或電流形式	
人機介面 (HMI)	DELTA DOP-B07S415	額定電壓	24 VDC
		面板種類	7" 寬螢幕TFT LCD
		解析度	800*480 pixels
		作業系統	Delta Real Time OS
電磁接觸器 (MC)	Riken理研 RAB-A24	啟動電壓	220 VAC
		額定容量	2.2 kW
電力繼電器	OMRON MKS-3P	額定電壓	220 VAC
		消耗電力	2.3 W
		接點承受電流	10 A
		最大容許電壓	110 %
漏電斷路器 漏電/過負載/短路 保護兼用 (NFB+ELCB)	士林電機 NV50-HN	過載跳脫方式	完全電磁式
		額定絕緣電壓 Ui (V)	690 VAC
		額定電流In (A)(AT)	15 AT
		額定啟斷容量	10 kA
漏電斷路器 漏電/過負載/短路 保護兼用 (NFB+ELCB)	士林電機 NV50-HN	過載跳脫方式	完全電磁式
		漏電跳脫方式	電子偵測，機械跳脫
		額定電流In (A)(AT)	20 AT
		框架電流	50 AF
		額定啟斷容量	25 kA
		E.E.R	3.59
		適用坪數	14-18坪
乾濕球溫度轉換器	科群電機 TH4001	工作電源	85 ~ 265 VAC / 50 ~ 60 Hz
		感測器	溫度: Pt 100Ω DIN, IEC 751 濕度: Pt 100Ω DIN, IEC 751
		測量範圍	溫度: -20°C ~ 80°C 濕度: 0% ~ 100 % RH
		精準度	溫度: ± 0.3°C 濕度: ± 1 % RH
		輸出訊號	0~1V/0~5V/0~10V/4~20mA

表 2 林木苗栽培溫室各環控設備的設備容量及電氣規格

名稱	廠牌型號	規格功能	
離心式加濕器	昕勇企業 BC-360	電源規格	220 VAC
		運轉電流	0.67 A
		功率	147.4 W
		流量	3-3.8 L / Hr
		容量	4 L
抽排風扇	南亞牌 EF-9914	電源規格	220 VAC
		運轉電流	0.227 A
		功率	50 W
		轉速	1430 R.P.M
		外觀尺寸	440*400*150 (mm)
窗型冷氣機	TATUNG大同 TW-322DCN	電源規格	220 VAC
		運轉電流	16.4 A
		冷氣能力	3600 W
		除溼能力	3.1 L / Hr
		E.E.R	3.25
		適用坪數	7-9坪
分離式冷氣機	SAMPO聲寶 AM-PA93L	電源規格	220 VAC
		運轉電流	12.4 A
		冷氣能力	9300 W
		除溼能力	4 L / Hr
		E.E.R	3.59
		適用坪數	14-18坪
		精準度	溫度: ± 0.3°C 濕度: ± 1% RH
		輸出訊號	0~1V/0~5V/0~10V/4~20mA

表 3 操作畫面設計規劃表

類別	編號	功能需求
監測部	1	室內溫溼度即時狀態顯示監看視窗
	2	室外氣候即時狀態顯示監看視窗
	3	環控設備即時狀態監看指示燈
	4	室內外溫溼度歷線變化
	5	各溫室電耗歷線變化
	6	各溫室累計電耗視窗
	7	手/自動模式指示燈
控制部	1	緊急停止按紐
	2	手/自動模式切換操作
	3	各項環控設備操作
參數部	1	作物參數輸入
	2	作物生長環境參數自定義 (單一閾值輸入、多階段閾值輸入)
	3	環控操作定時功能
	4	環控操作取樣時間設定



圖 1 傳統儀錶顯示面板之環境控制箱



圖 2 人機觸控顯示面板之控制箱



圖 3 宜蘭大學生資大樓
頂樓的溫室

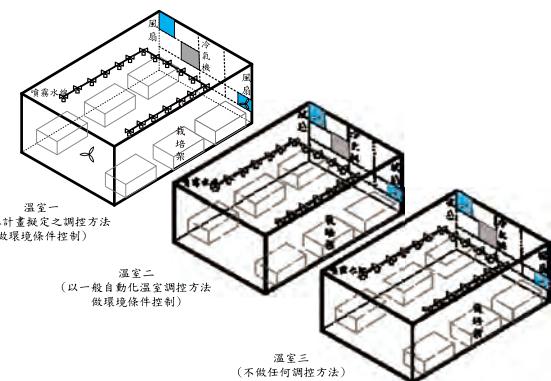


圖 4 三間林木苗栽培溫室本體幾何及硬體設備配
置呈現

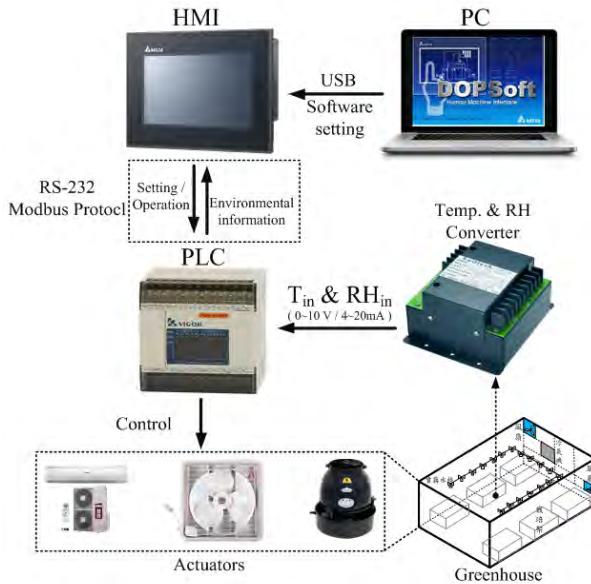


圖 5 模組化環境控制箱開發 2.0 之人機介面
於系統控制架構

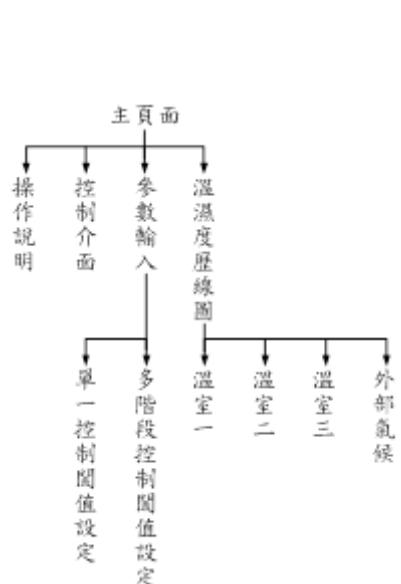


圖 6 人機介面設計樹狀圖

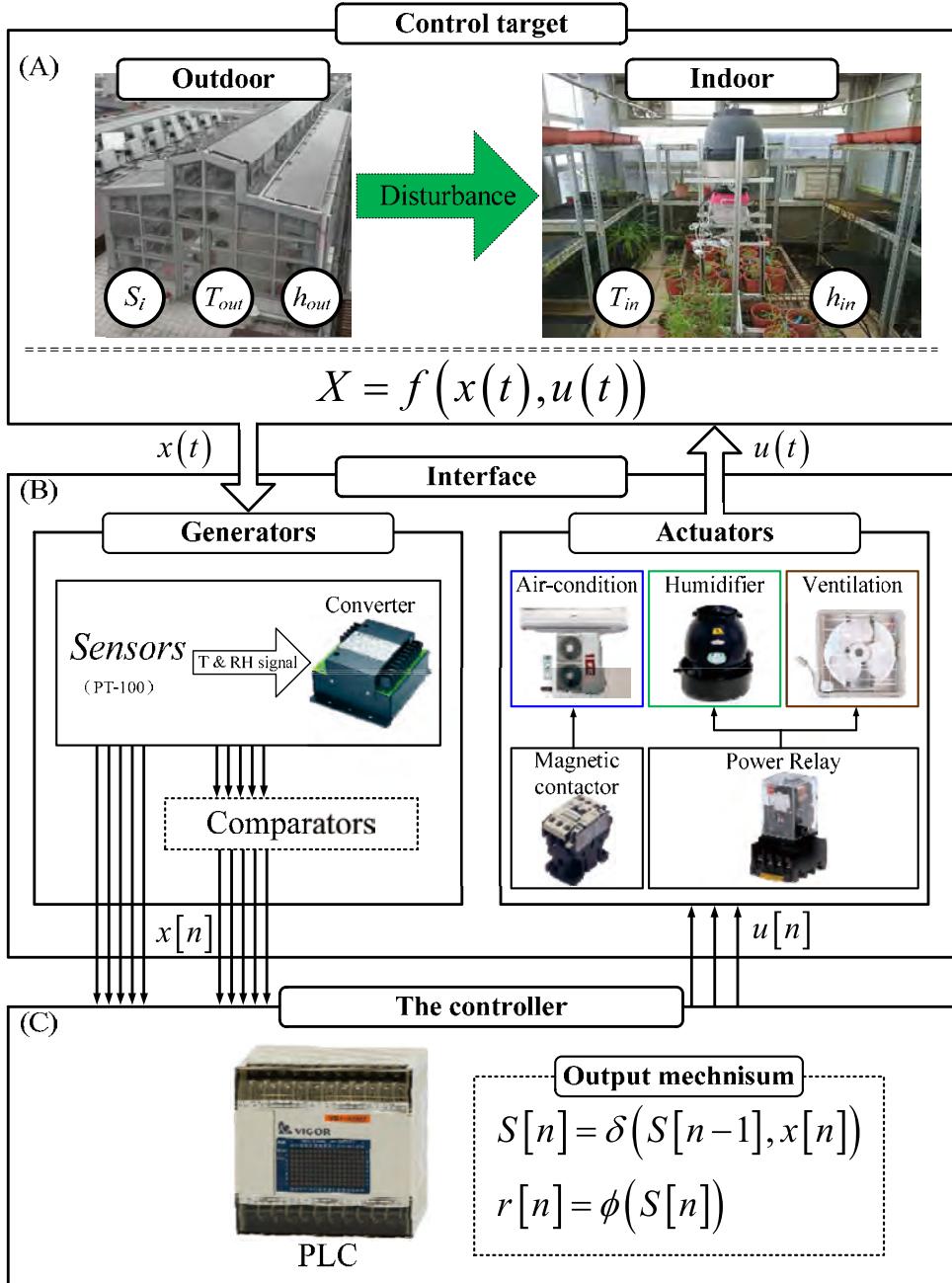


圖 7 林木苗栽培溫室環境控制之混合控制系統架構

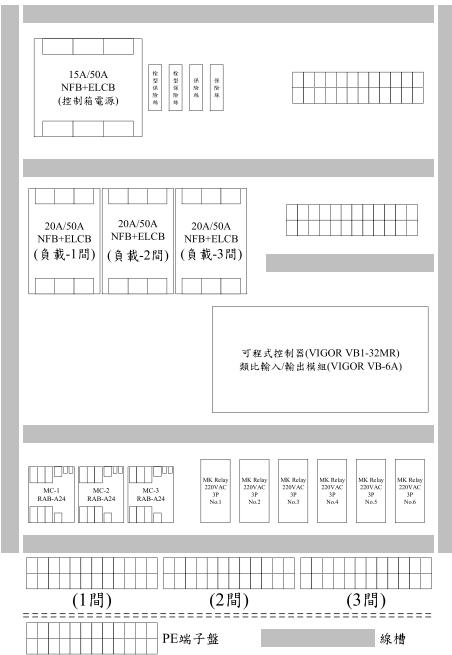


圖 8 控制箱內部盤面整體規劃配置

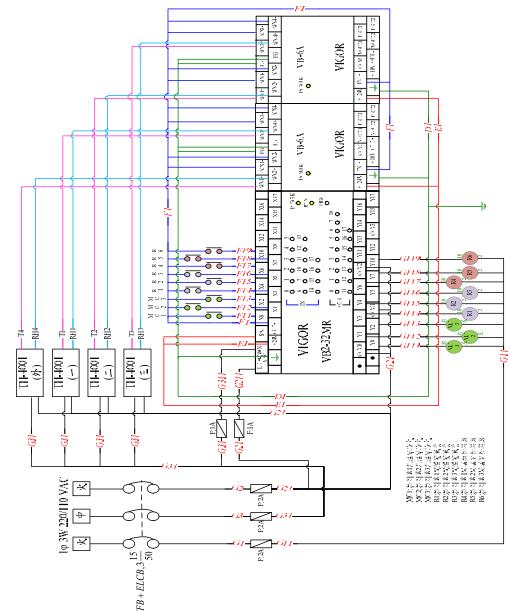


圖 9 PLC 控制迴路複線圖

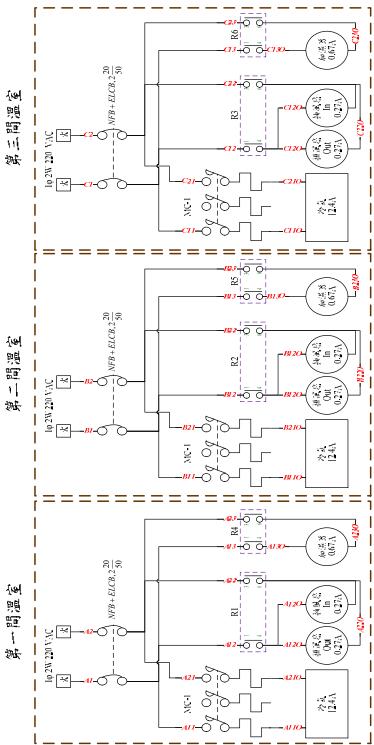


圖 10 主負載迴路複線圖



圖 11 第一層控制箱本體外觀（防塵防水）



圖 12 第二層控制箱本體包含人機介面
觸控螢幕及可視溫室資訊操作

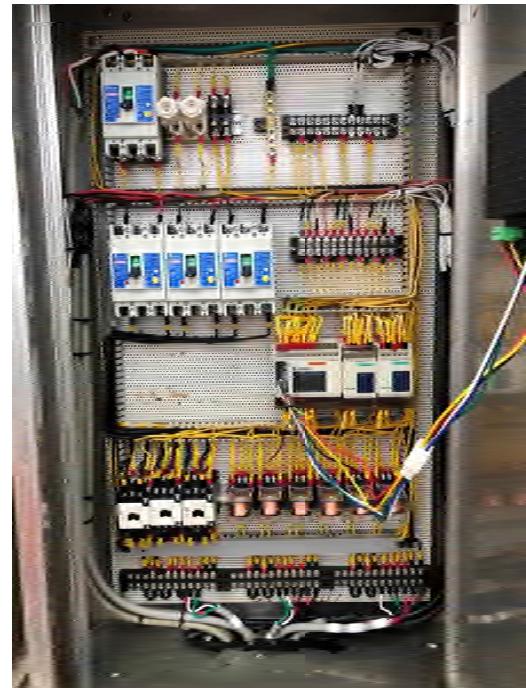


圖 13 第三層控制箱內部實體線路配置



圖 14 溫室控制箱各環控設備線上功能
測試

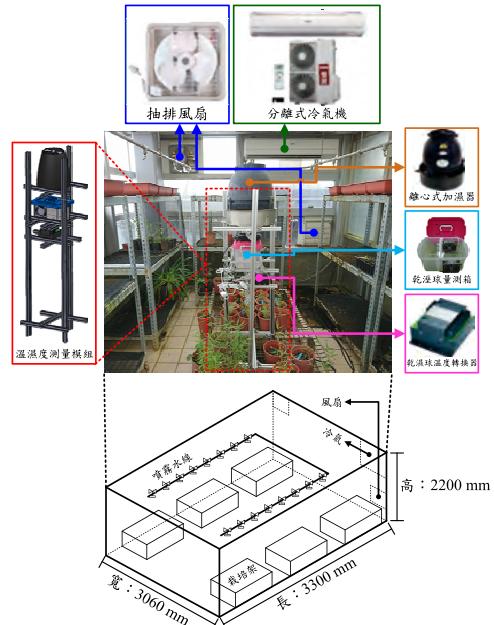


圖 15 控制標的溫室一之內部硬體配置



圖 16 模組化環境控制箱開發 2.0 之人機介面觸控螢幕



圖 17 三間溫室即時環控模式及環控設備
狀態監看主畫面



圖 18 操作說明分頁



圖 19 三間溫室環控設備操作

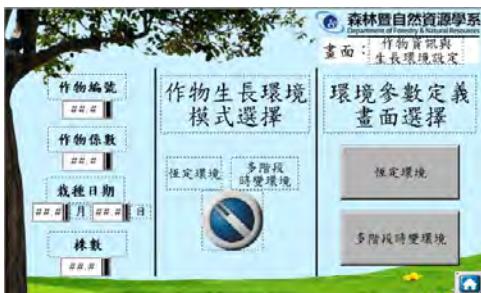


圖 20 作物資訊與生長環境設定畫面



圖 21 三間溫室溫溼度恆定環境設定畫面



圖 22 溫室溫溼度多階段時變環境
設定畫面

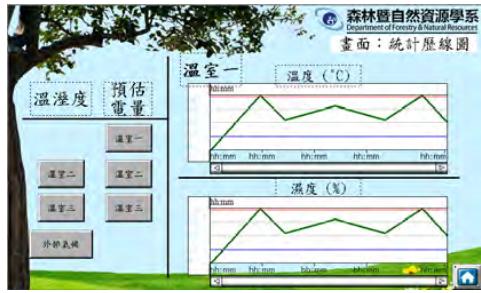


圖 23 三間溫室溫濕度之歷線呈現

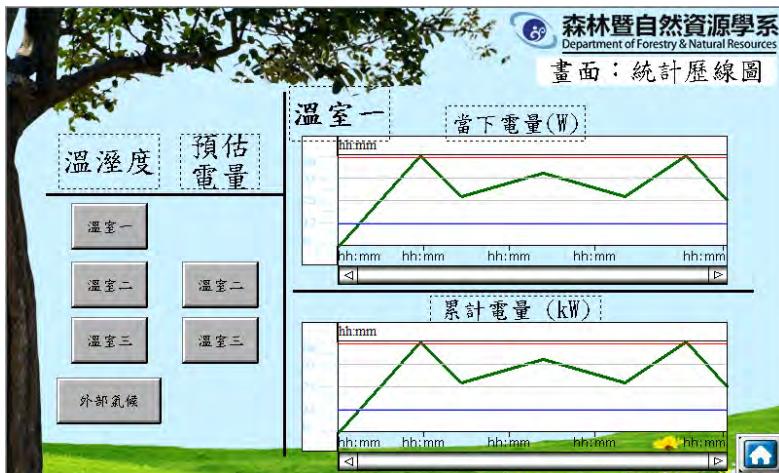


圖 24 三間溫室預估電量與累計電量之歷線呈現

田媽媽農村餐廳體驗經濟模式之研究

劉瓊如教授 黃文雄助理教授

嘉義大學行銷與觀光管理學系

摘要

本研究運用 S-O-R 理論建立田媽媽餐廳體驗經濟模式，瞭解農村餐廳體驗經濟如何經由個人的認知與情感，進而影響行為意圖。本研究擇選中南部具知名度的田媽媽農村餐廳，計有東部地區-菇鍋美食體驗館(宜蘭冬山)、北部地區-田媽媽雲也居一休閒農場(苗栗大湖)、中部地區-艾馨園(彰化花壇)及南部地區-古道廚娘(嘉義奮起湖)等 4 家，獲致 606 份有效問卷。研究結果發現：體驗經濟對遊客記憶具有正向的影響，以「健康關注」對記憶最具影響力，其次分為「跳脫現實體驗」、「人際關係體驗」、「文化體驗」、「美感體驗」及「娛樂體驗」；此外，遊客記憶正向顯著影響餐廳依戀及忠誠度，餐廳依戀正向顯著影響餐廳忠誠；再者，餐廳依戀在記憶與餐廳忠誠之間扮演部分中介的角色。最後依據研究結果提出田媽媽餐廳行銷管理意涵與建議。

關鍵字：農村餐廳、體驗經濟、記憶、場所依戀

Abstract

The Stimulus-Organism-Response Theory is used to build an experience economy model to find out how experience economy influences restaurant loyalty by one's perception, emotion and intention. A total of 606 valid survey responses are collected from four "Farm Mother" restaurants in Taiwan, including the "Mushroom pot organic restaurant" (East area) in Dongshan, the "The cloud is also home recreation farm" (North area) in Dahu, the "Fragrant wormwood garden" (Central area) in Huatan, and the "Female cook by the road" (South area) in Fenchihu. The result shows that experience economy has a positive effect on tourists' memory with "Health Concern" having the strongest influence, followed by "Escapism", "Interpersonal Relationship", "Culture", "Beauty", and "Entertainment". Moreover, memory has a positive effect on restaurant attachment. Restaurant attachment has a positive effect on restaurant loyalty. Furthermore, restaurant attachment partially mediates the relationship between memory and restaurant loyalty. Finally, marketing managerial implications and suggestions for future researches are also discussed.

Keywords: Rural restaurants, Experience economy, Memory, Place attachment

前言

為強化農村特產品銷售體系及農村餐廳行銷資源，行政院農委會自 2003 年開始推動田媽媽農村餐廳，強調低油、低鹽、低糖、高纖維的「三低一高」理念，推廣在地生產及在地消費的飲食潮流，豐富遊客的農村體驗，並藉此促進農村的在地經濟發展。截至 2016 年 6 月的統計資料，全台共有 141 家田媽媽農村餐廳（農業易遊網，2017），顯示以特色美食及農村生活等美食體驗旅遊已逐漸成為國民旅遊重要選項之一，在未來觀光發展益顯重要。然而，如何使消費者在享受農村地方特色美食中依舊能感受到樂趣、娛樂或放鬆等體驗價值，實乃相關業者應該努力的方向。Pine and Gilmore(1998)提出體驗經濟(Experience Economy)一詞，以經濟的觀點針對企業所提供的活動，從中再區別出服務和體驗內容，並著重在消費者的體驗上。因此，田媽媽農村餐廳的「體驗經濟」是極為重要產業服務特色，消費者從中創造出有價值的體驗經驗，可能進而影響其行為意圖。據此，本研究探究刺激（體驗）、個體情緒（記憶）及行為反應（餐廳依戀、餐廳忠誠）模式之關係，可彌補過往研究缺口，並提供相關單位經營與行銷規劃參考。

文獻回顧

一、體驗經濟與田媽媽農村餐廳之關係

(一) 田媽媽農村餐廳之教育體驗

以遊客的角度而言，教育體驗的內容已成為參與相關活動時所考量的主要動機(Prentice, 2004)，在同時，遊客對於教育體驗的需求也持續增加中(Ritchie & Crouch, 2003)。Pine 與 Gilmore(1999)認為教育體驗，係指參與者在經歷體驗活動後，能讓自己學到相關知識和技能，並讓自己的知能因參與體驗活動而有所提升。田媽媽農村餐廳可以提供多樣的農村自然資源、多樣性生態環境讓遊客深度體驗，且適時提供教育性的導覽解說。例如：可以在餐桌上介紹食材特色與當地風土文化的關係。這些教育學習的過程，對於那些尋求更高層次旅遊感受的顧客，深具重要的吸引力(Galloway et al., 2008)。因此，田媽媽農村餐廳業者除了規劃遊客體驗當地食材烹飪方式之外，可以透過解說導覽設施或專人導覽，協助遊客了解當地食材特色、農村文化，並學習相關知識和技能。

(二) 田媽媽農村餐廳之逃脫現實體驗

Getz(2012)指出，人們為了逃離他們日常的生活環境，會去尋找改變和不一樣的經驗，同時也會去參與一些不同以往的體驗內容，像是主題公園、主題餐廳，藉此來逃離他們日常生活，並為自己單調的生活重新灌輸生命力。逃脫現實體驗就能讓遊客達到逃離現實生活，並重新振奮自己的目的。逃離現實體驗需要更多程度的投入，讓自己完全沉浸在當地或相關活動中(Pine & Gilmore, 1999)。

Sharpley 與 Jepson (2011) 指出遊客需要消遣娛樂，逃離緊張的生活；Morgan (2009)也認為活動應提供遊客參與空間，藉由特殊體驗的創造及分享，讓遊客有遠離日常生活的感受。因此，田媽媽農村餐廳可以創造遊客遠離日常生活壓力，紓解壓力，感受到平和、寧靜的氣氛，讓人重回童年的時光。例如：透過提供遊

客主題性的展示內容，以及角色扮演和實際操作的活動，讓遊客能夠完全沉浸在不同農村文化和時空背景中，進而讓遊客留下深刻印象。

(三)田媽媽農村餐廳之娛樂體驗

根據 Pine 與 Gilmore(1999)的觀點，在今天的產業發展的環境中，娛樂體驗活動是目前發展最為普及的活動形式之一，它目的在於提供訊息，吸引遊客的注意力，遊客在此時的角色是被動接受訊息的，娛樂活動的例子像是觀看和聆聽表演、音樂，互動遊戲、影片欣賞等。如 Oh 等(2007)研究指出旅遊目的地所提供的觀看表演，產品製作演示等活動，能提供顧客一種娛樂的體驗，此種體驗能快速吸引顧客目光，並讓顧客感受到好玩的感覺。農村的自然根基是地方、氣候、自然景色、動植物與農產，而它可以藉由音樂、歌曲、舞蹈、故事傳說、藝術、建築、儀式以及慶典展現出來，只有與大自然的脈動及文化薪傳相扣，才能實踐台灣新農村體驗的休閒觀光文化(李素馨、侯錦雄，2004)。因此，在田媽媽農村餐廳的經營中，可以提供農、林、漁、牧業等農村資源，提供農民生活環境息息相關的文化特色與多樣性的 D.I.Y 活動，提供遊客體驗享受。

(四)田媽媽農村餐廳之美感體驗

美感的體驗包含了個人所接受到的實體環境、整體的氣氛，和情緒的綜合感受(Pine & Gilmore, 1999)。遊客前往一地旅遊時，所感受到當地景致和氣氛，通常是由便利性，員工特色、獲取的資訊、活動內容、設施、紀念品和食物等組合而成，而這些內容會接續影響到遊客的情緒和行為(Lee et al., 2008)，遊客所感受到的美感的體驗，甚至會直接影響他們對當地的正面評價和滿足感(Mehmetoglu & Engen, 2011)。田媽媽農村餐廳本身所營造出來的景觀環境，和其所能提供給顧客的服務品質、產品和活動內容，以及整體園區所規劃的動線和設施，皆會促成遊客在參觀過程中不同的感官刺激，進而影響到其所感受到的美感體驗。因此，田媽媽農村餐廳可透過其所塑造出結合地方農村文化的空間環境，配合員工、飲食、購買商品等服務，來營造其獨有的環境氣氛，進而讓遊客感受到其所提供的美感體驗。

(五)田媽媽農村餐廳之健康關注體驗

Kim, Eves 與 Scarles (2013)認為在清新環境中品嚐當地食物是改善遊客身心健康的一種手段並認為當地的食物成分應該更新鮮且有利於健康。Sparks, Bowen 與 Klag (2003)研究指出多數旅客在度假中飲食的關鍵動機之一是進行在地健康食物的消費。Glanz 等(1998)研究證實食物消費最重要的因素是健康的生活風格導向，遊客認為味道、營養、成本及取得方便性是很重要。因此，田媽媽農村餐廳可以提供遊客許多在地生產的新鮮食材、是具多有營養的及可以讓遊客維持健康。

(六)田媽媽農村餐廳之文化體驗

Kim et al. (2009) 研究發現旅客認為品嚐當地食物是一種學習和了解當地文化的方式。他們也認知享用當地食物，可以豐富他們的味覺體驗。有些旅客似乎渴望知道更多其他國家和觀察新的事物。Getz(2000)認為在地食物經驗可以視為

學習當地的文化機會。例如：遊客可以學習餐桌禮儀，如何飲用當地的葡萄酒，和不同的烹飪方法。再者，Kim et al. (2009)研究指出旅客認為真實的體驗可被視為旅行中新的和獨特的經驗。他們聚焦在當地食品和飲料的獨特性和獨創性，也認為真實體驗是在當地享用當地的食物。因此，田媽媽農村餐廳可以提供消費者獨特的機會去了解當地文化、發現新的東西、了解這個地方的食物味道與烹飪技能。

(七)田媽媽農村餐廳之社交體驗

Kim 等(2009)研究發現品嚐當地食物可以讓遊客視為與家人和朋友見面和溝通的機會，他們似乎覺得藉此可以建立個人關係或強化家庭聯結。Warde 與 Martens(2000)也認為在目的地吃飯是一個有價值的飲食社會性功能，旅行期間與他人分享食物比食物質量更為重要。此外，Kim 等(2009)研究指出當地的食物體驗在旅客的自我增強或自我滿足中發揮作用。旅客對品嚐當地的食物很感興趣，同時也想展示他們的當地食物體驗給朋友或其他人。Fields(2002)認為美食觀光中一般自尊或自我的動機係指旅客希望得到其他人的認可和關注。例如：Fodness (1994)認為在度假時旅客需要奢侈與美味的食物和好餐廳的可用性被視為自尊的展現。因此，田媽媽農村餐廳可以創造遊客享用在地美食，讓度假的人分享他們在旅遊假期中的偏好或品味，並增進家人和朋友的情誼。

三、研究假設

(一)體驗經濟與記憶

情緒和知覺是一種由顧客自我心中想法所導致的心理狀態，一次的旅遊體驗，會引導遊客去連結到自身所感受到的情緒，而這情緒最終會轉變成顧客對此次旅遊經驗的記憶，因此愉悅的經驗和體驗感受往往會對整體的旅遊記憶造成正面的結果，並讓遊客留下難忘的旅遊經驗(Pine & Gilmore, 1999; Oh et al., 2007)。此外，Loureiro (2014)研究發現，鄉村觀光的遊客若有參與鄉野目的地相關的體驗活動，則會對目的地留下鮮明的記憶。因此，當遊客在田媽媽農村餐廳能獲得多樣的體驗時，將有助於提升個人對該餐廳留下正向的記憶。根據上述論述，本文提出以下假設：

H_{1a} ：遊客對餐廳的文化體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1b} ：遊客對餐廳的逃脫現實體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1c} ：遊客對餐廳的娛樂體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1d} ：遊客對餐廳的美感體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1e} ：遊客對餐廳的健康關注體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1f} ：遊客對餐廳的文化體驗會顯著正向影響其記憶。

H_{1g} ：遊客對餐廳的社交體驗會顯著正向影響其記憶。

(二)記憶與餐廳依戀

有關於記憶與場所依戀的連結，過去的研究指出個人在與某個場所互動後，對於該場所環境會產生正向的記憶，這正向的記憶又會進一步引導個人對該場所產生依戀(Hinds & Sparks, 2008; Loureiro, 2014)。此外，Loureiro (2014)研究指出，

進行鄉村旅遊的遊客，若在旅遊過程中對該地區產生了正向的記憶，將會影響遊客對該鄉村目的地的依戀；Moore 與 Graefe(1994)研究指出，個體對活動的投入、追求自我實現和滿足自身價值的需求，以及投入活動過程中所感到的快樂將會影響場所依戀的形成。換言之，遊客對田媽媽農村餐廳有正向的記憶，會進而對該餐廳產生依戀。根據上述，我們提出以下假設：

H_2 ：遊客對餐廳的記憶會顯著正向影響其餐廳依戀。

(三)記憶與餐廳忠誠

有關記憶的研究都指出重遊意願是一個重要的後果變項。當遊客對一處旅遊目的地具有正向的記憶時，將會引發遊客更有意願重遊(Martin, 2010)。Manthiou 等(2014)研究發現當遊客對節慶活動產生鮮明的記憶，則會正向地影響他們對該活動的參與忠誠度。因此，當遊客對田媽媽農村餐廳留下美好的記憶，將會提升遊客對該餐廳忠誠。根據以上論述，提出以下假設：

H_3 ：遊客對餐廳的記憶會顯著正向影響其餐廳忠誠。

(四)餐廳依戀與餐廳忠誠

場所依戀能預測遊客的重遊意願，當遊客對一場所產生實質上或心理情緒上的依賴與連結時，會比較傾向推薦該場所，或是未來在旅遊地點的規劃與選擇時，會將該場所列為旅遊消費的選項之一 (Yuksel et al., 2010)。Tsai(2012)研究指出，國際旅客對一地區場所依戀的強度，將會影響旅客未來重遊該地區的頻率；因此，當遊客對田媽媽農村餐廳產生情感上的連結，會提高他們對餐廳的忠誠。根據以上論述，提出以下假設：

H_4 ：遊客對餐廳依戀會顯著正向影響其餐廳忠誠。

(五)餐廳依戀之中介效果

依戀是推動承諾和忠誠度的重要因素(Fedorikhin, Park, & Thomson, 2008)。相關研究指出，遊客若對品牌或商店表現出情感的依戀，會更願意對該品牌或商店展現出承諾並持續維繫關係(Carroll & Ahuvia, 2006; Thomson et al., 2005)。品牌依戀會正向影響遊客的行為忠誠，因為它有助於維持與品牌在重複購買行為方面的關係(Bahri-Ammari, Niekerk, Khelil, & Chtioui, 2016)。Kim, Njite 與 Hancer (2013)調查環保餐廳之遊客，研究發現遊客對餐廳依戀會顯著影響遊客的重訪意願；同樣地，咖啡店的遊客若對綠色商店有依戀則會正向影響對該商店的忠誠(Jang, Kim, & Lee, 2015)。此外，Yuksel 等 (2010) 提出經由體驗，個人會對一個地方產生情感連結，甚至會對該地方產生行為意圖。再者，Kim, Ritchie 與 McCormick(2012)證實個人傾向於回憶正面的經驗，當對某一目的地或住宿的體驗可以產生自我認同和依賴 (Worster & Abrams, 2005)，會產生正向的記憶，則會影響對這個地方的依戀，進而會有重遊和推薦意願(Hinds & Sparks, 2008; Ramkissoon, Smith, & Weiler, 2013)。也就是說，當一遊客對田媽媽餐廳產生正向的記憶，會對該餐廳產生依戀，進而產生行為忠誠。因此，餐廳依戀在記憶與餐廳忠誠之間扮演重要的角色。提出本研究假說：

H_5 ：遊客對餐廳的記憶會透過餐廳依戀進而影響其餐廳忠誠。

研究方法

一、樣本選取與資料收集

針對目前農委會田媽媽餐廳以目前具結合農村體驗與鄉土美食並有各式DIY活動計有：東部地區-菇鍋美食體驗館(宜蘭冬山)、北部地區-田媽媽雲也居一休閒農場(苗栗大湖)、中部地區-艾馨園(彰化花壇)及南部地區-古道廚娘(嘉義奮起湖)等4家。本研究於2017年1月先針對艾馨園體驗遊客進行前測，發出40份問卷，回收30份有效問卷；除了檢視受訪者對問題的瞭解程度，並修正部分問題項的用詞。於2017年2月~10月於4處田媽媽餐廳進行立意抽樣；抽樣對象以體驗過餐廳相關服務之遊客為主。總計發出800份問卷，共回收606份有效問卷，問卷有效率約76%。

二、問卷設計

本研究問卷分為三部分，第一部分調查遊客對田媽媽餐廳體驗之看法，本量表引用Oh, Fiore, and Jeoung (2007)的研究題項，共計18個問題，分別有教育體驗5個問題、娛樂體驗4個問題、美學體驗4個問題及跳脫現實體驗5個問題等；另外，Kim, Eves 與 Scarles (2013)的研究題項，共計15個問題，分別有健康關注體驗3個問題、文化體驗8個問題及社交體驗4個問題等。第二部分調查遊客對記憶、餐廳依戀及餐廳忠誠等看法，在記憶問題，採用Pine 與 Gilmore (1999)測量3題項；在餐廳依戀問題，採用Hernández et al. (2007)測量4題項；在餐廳忠誠問題，採用Kim等(2009)測量4題項。並均以Likert五點尺度衡量，依序由1分(非常不同意)至5分(非常同意)。第三部分則調查遊客之基本資料包括：性別、家庭組成、職業、年齡、教育程度、月收入、用餐次數等問題。

結果與討論

一、樣本特性

受訪樣本特性以女性居多，佔61.7%；家庭組成以單身佔多數，佔38.3%；其次是已婚有小孩，佔35.3%；年齡多介於25~34歲，佔25.7%，其次為35~44歲，佔25.4%；教育程度以大專／大學居多，佔50.3%，其次是高中／職以下，佔21.5%；居住地以北部地區為主，佔53.1%，其次是中部地區，佔25.4%；職業以技術人員為最多，達32.9%，其次為軍公教，佔19.3%，再其次為學生，佔14.0%；平均月收入以2~4萬，達38.6%，其次為2萬元以下，佔21.1%，再其次為4萬~6萬，佔19.8%；過去一年來用餐次數，以第一次用餐者居多，佔56.1%，而重遊者也佔43.9%，其中又以第二次用餐者15.8%為多數。

二、信效度檢定與共同方法變異

本研究以驗證性因素分析(confirmatory factor analysis, CFA)檢測量表之效度與信度。信度方面，個別觀察變項之多元相關平方值(squared multiple correlation, SMC)至少須大於0.20，潛在變項的組成信度(composite reliability, CR)須高於0.60(Jöreskog & Sörbom, 1993)。本研究各觀察變項之SMC介於0.44~0.77，潛在變項的組成信度介於0.86~0.90，表示各量表具良好信度。效度方面，所有觀察變項之因素負荷量皆達顯著水準($t>2.54$, $p<0.01$)，且高於判定準則0.40(Hair,

Anderson, Tatham, & Black, 1998)。潛在變數與其對應之所有測量問項間所萃取的平均變異抽取量(average variances extracted, AVE)若達 0.50 以上，表示具有收斂效度。本研究採用之量表構面之 AVE 值介於 0.53~0.75，顯示各量表具有可接受之收斂效度。

三、整體模式適配度之檢定

本研究利用結構方程模式對假說模式進行驗證，以最大概似法(maximum likelihood, ML)進行理論模式適配函數之估計，並檢測潛在變項間的因果關係。驗證假說前需先進行模式適配度評估，以判斷研究者所建構之理論模式能否合理的解釋實際觀察的資料，即模式外在品質的評鑑。整體模式的配適度指標：

(1) χ^2/df 比值(3165.92/871)為 4.32，符合小於 5 之標準；(2)GFI 值為 0.81，高於 0.80 的建議值，GFI 值愈大表示模式整體配適度愈好；(3)SRMR 為 0.055，標準化殘差均方根代表殘差值的大小，低於 0.08 表示模式適配良好(Hu & Bentler, 1999)；(4)CFI 值為 0.98，高於 0.9 的建議值，表示模式適配良好(Hair et al., 1998)。整體而言，本研究所建構之理論模式的適配指標達理想水準；換言之，該模式具有良好外在品質，理論模式可被接受。

四、研究假說之驗證

由最大概似法所估計的 γ 與 β 值是用來檢定研究假說，假說之檢定結果詳如表 1，整體結構模式如圖 1 所示，其中模式中的 7 條假說路徑達顯著水準($p < 0.01$)，茲分述如下：

(一)體驗經濟與記憶之關係

首先，本研究檢驗教育體驗對記憶之影響，結果顯示標準化估計係數值為 -0.05 ($p > 0.01$)，未達顯著水準，假說 1a 不成立。其次，逃脫現實體驗對記憶之影響係數為 0.22 ($p < 0.01$)，亦達顯著水準，故假說 1b 成立。具體而言，當遊客所認知的餐廳愈具有逃脫現實體驗，則其記憶亦會愈高。第三，娛樂體驗將正向影響記憶，其標準化估計係數值為 0.12 ($p > 0.01$)，未達顯著水準，故假說 1c 不成立。第四，美感體驗將正向影響記憶，其標準化估計係數值為 0.17($p < 0.01$)，達顯著水準，故假說 1d 成立。結果說明：當遊客所感受的美感體驗越強烈，則其記憶會愈高。第五，健康關注體驗將正向影響記憶，其標準化估計係數值為 0.23($p < 0.01$)，達顯著水準，故假說 1e 成立。結果說明：當遊客愈有健康關注體驗時，其記憶也會愈高。第六，文化體驗將正向影響記憶，其標準化估計係數值為 0.19($p < 0.01$)，達顯著水準，故假說 1f 成立。結果說明：當遊客愈有文化體驗時，其記憶也會愈高。最後，人際關係體驗將正向影響記憶，其標準化估計係數值為 0.20 ($p < 0.01$)，達統計水準，故假說 1g 成立。綜合上述，證實了影響餐廳遊客之記憶的來源有五，分別是：逃脫現實體驗、美感體驗、健康關注體驗、文化體驗以及人際關係體驗，共可解釋記憶的 87% 變異量。

(二)記憶、餐廳依戀與餐廳忠誠之關係

記憶正向顯著影響餐廳依戀，標準化估計值為 0.85($p < 0.01$)，假說 2 成立；記憶對餐廳忠誠的標準化估計值為 0.15($p > 0.01$)，假說 3 不成立；餐廳依戀正向顯著影響餐廳忠誠，標準化估計值為 0.77($p < 0.01$)，假說 4 成立。此外，餐廳依

戀可藉由模式中的變數解釋 73%的變異量，而餐廳忠誠可藉由模式中的變數解釋 81%的變異量。本研究模式證實餐廳忠誠可藉由記憶與餐廳依戀產生影響，且模式路徑係數顯示餐廳依戀為重要之中介變數。

本研究亦檢驗餐廳依戀在「記憶」以及「餐廳忠誠」之間的中介效果。如表 2 中所分析的直接與間接效果；當「記憶→餐廳依戀」且「餐廳依戀→餐廳忠誠」兩條路徑係數皆達顯著，則「記憶→餐廳忠誠」之路徑（藉由餐廳依戀）將產生間接效果為 0.65 ($p<0.01$)。

(四) 餐廳依戀之中介效果

本研究採用 Holmbeck (1997) 提出之 SEM 檢驗步驟來評估中介變數。首先，建立一個只有前因變項(記憶)與結果變項(餐廳忠誠)之直接關係的模式(M1)，並且模式須具良好適配度。其次，建議一個完全中介模式(記憶與餐廳忠誠之間並無直接關係，僅經由餐廳依戀所產生的間接關係；M2)，除了須具良好適配模式，所有路徑係數皆須達顯著性。最後，將比較完全中介模式(M2)與部份中介模式(記憶與餐廳忠誠之間具有直接關係，再加上經由餐廳依戀的間接關係；M3)。如果隨著增加額外的路徑，使模式由完全中介變為部份中介，而適配度並無明顯改善，則完全中介模式將會成立。相較於 M1，M3 中變項之間的因果路徑關係若是減少，模式卻依然顯著，則部份中介模式將能成立。

本研究檢驗 M1 具有良好的適配度($\chi^2 = 75.37$, $df = 13$; GFI = 0.97; CFI = 0.99; RMSEA = 0.089)，記憶顯著正向影響餐廳忠誠，標準化路徑係數分別為 0.68 ($p<0.01$)。完全中介模式(M2)亦具良好適配($\chi^2 = 238.56$; $df = 42$; GFI = 0.93; CFI = 0.98; RMSEA = 0.088)，模式中所有路徑如同預期皆達顯著，分別為：記憶正向影響餐廳依戀($\gamma = 0.75$, $p<0.01$)、餐廳依戀正向影響餐廳忠誠($\beta = 0.90$, $p<0.01$)。最後步驟是比較完全中介模式(M2)與部份中介模式(M3)；經卡方差異性檢定，證實 2 個模式之間不具顯著差異($\Delta\chi^2 = 1.62$, $p>0.05$)。相較於 M2，增加一條路徑的 M3，其模式與 M2 沒有顯著差異，顯示增加記憶對餐廳忠誠的直接路徑不具有部分影響，即支持完全中介模式。故推論餐廳依戀在記憶與餐廳忠誠之間扮演部分中介角色。

結論與建議

一、研究結論

本研究採用 Mehrabian 與 Russell (1974) 的 S-O-R 理論瞭解田媽媽農村餐廳體驗與記憶之關係是形成餐廳依戀及餐廳忠誠行為反應的關鍵過程。本研究是第一個驗證應用 S-O-R 理論在田媽媽農村餐廳體驗經濟模式，對於瞭解體驗的情緒及反應行為提出一個完整的理論架構。體驗對遊客記憶而言是一個很重要的催化劑。遊客特別的體驗感受，有利於遊客產生美好的記憶，有助於遊客的餐廳依戀，進而影響其餐廳忠誠。由整體模式來看，本研究證實體驗經濟對記憶之整體解釋力達 87%。記憶對餐廳依戀解釋量有 73%，再透過餐廳依戀對餐廳忠誠解釋量有 81%。綜言之，體驗經濟、記憶是影響餐廳忠誠非常重要的影響因素，

但需透過餐廳依戀之情感轉化才會對餐廳產生忠誠度。

二、管理意涵

透過前述的模式，餐廳業者應強化餐廳體驗經濟內涵，分為健康關注、跳脫現實體驗、人際關係體驗、文化體驗、美感體驗及娛樂體驗，提供遊客鮮明的體驗服務意象。首先，在健康關注體驗(如：餐點具有許多在地生產的新鮮食材、餐點可以保持健康)，建議相關單位如：艾馨園可以規劃以艾草為主題的相關養生料理和用品，如：製成茶、醋、粉末等飲品，或是嫩葉煎蛋食用料理、艾草藥浴、艾草藥膏、艾灸等。或是古道廚娘可以依當地奮起湖四季物產醃漬料理(如：茗荷、龍鬚菜果實、薑、梅子等)，讓遊客沈浸在品味當令食材及養生概念入菜的料理中，有助於強化遊客深刻的記憶。在跳脫現實體驗(如：營造讓遊客置身另一空間感覺及放鬆紓壓感覺)，建議相關單位創造一個有趣的、農村文化與環境體驗的氣氛，讓遊客有機會融入氛圍中，彷彿進入另一世界或改變自己的生活節奏。例如：在餐廳中依當地產業或農村文化主題布置，透由繪畫、雕塑、工藝品、建築等方式營造人與當地產業環境共生的情景，讓遊客有置身於另一世界感覺。或是提供遊客學習製作農家傳統糕點小吃，如：米糕、發糕、米粉、米苔目、米果、發粿等，在現場邊學、邊做、邊玩融入農家生活情境中，讓人有放鬆的感覺。

此外，在人際關係體驗(如：提供增加朋友/家人關係、與朋友/家人享有愉快的時光)，建議相關單位多規劃簡單手作體驗課程，例如：艾草 SPA 包、艾草染毛巾童趣造型、綠茶或五行茶包製作(運用中藥茶與茶葉配出陰陽五行五種茶包)等親子或朋友共同參與，進而增強遊客美好的記憶。此外，另外，在文化體驗(如：了解這個地方的食物味道、增加我對不同文化的認識)，建議相關單位可針對薑特色進行薑的歷史文化、藝術美學、民俗應用等規劃展示主題，並針對多樣的薑料理進行說菜服務，讓遊客在享受美食之餘更能認識薑的特色，有助於強化遊客深刻的記憶。

另外，在美感體驗規劃具有愉快、非常舒適宜人的設施、環境及氛圍應是相關單位要加以關注的。例如：菇鍋餐廳的休憩、導覽服務設施和標誌，能運用當地各種菇類特殊食材之造形或符號，進行獨特的美學設計；或依不同季節和活動，透過當地宜蘭農村地景或人文景觀符號，進行創意時尚的舒適氛圍，讓遊客沈浸在自然及藝術之空間環境，有助於強化遊客深刻的記憶。再者，透過遊客記憶會引發餐廳依戀，進而影響其餐廳忠誠。建議相關單位提出強化遊客對餐廳依戀的產品或活動設計，例如：「製作年茶茶片，大家一起來找茶」、「你茶席了沒？」，讓遊客獲得更多的滿足、感覺是很特別的，進而增強遊客的餐廳忠誠。

本研究採橫斷面研究法，資料分析僅以單一時點衡量各變數之認知。就長期觀點而言，遊客對這些變數的認知可能有所改變，因此結果難免會有些偏誤，此為本文之研究限制之一；此外，本研究僅調查不同地理區域田媽媽餐廳的消費者，然而不同體驗類型的田媽媽餐廳可能導致結果有所差異。因此建議未來研究可以其他體驗類型的田媽媽餐廳的消費者為調查對象，以實證本研究提出餐廳體驗經濟模式之外部效度。

引用文獻

1. 農業易遊網(2017)。農遊好吃-各地田媽媽，下載日期：2017/9/16，取自：<https://ezgo.coa.gov.tw/zh-TW/Front/Tianma/Index>
2. 李素馨、侯錦雄 (2004)。台灣休閒農業之體驗付費與觀光商品化現象。觀光研究學報，10(1)，133-145。
3. Bahri-Ammari, N., Niekerk, M.V., Khelil, H. B. Chtioui, J. (2016). The effects of brand attachment on behavioral loyalty in the luxury restaurant sector, *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 28(3), 559-585.
4. Carroll, B., & Ahuvia, A.(2006). Some antecedents and outcomes of brand love. *Marketing Letter*; 17 (2), 79-89.
5. Fedorikhin, A., Park, C.W., & Thomson, M., (2008). Beyond fit and attitude: the effect of emotional attachment on consumer responses to brand extensions. *Journal of Consumer Psychology*, 18, 281-291.
6. Fields, K.(2002). Demand for the gastronomy tourism product: motivational factors. In: Hjalager, A., Richards, G. (Eds.), *Tourism and Gastronomy*. Routledge,London, pp. 37-50.
7. Fodness, D.(1994). Measuring tourist motivation. *Annals of Tourism Research*, 21 (3), 555-581.
8. Galloway, G., Mitchell, R., Getz, D., Crouch, G., & Ong, B. (2008). Sensation seeking and the prediction of attitudes and behaviours of wine tourists. *Tourism Management*, 29(5), 950-966.
9. Getz, D. (2012). *Event studies: Theory, research and policy for planned events*. Routledge.
10. Glanz, K., Basil, M., Maibach, E., Goldberg, J.,& Snyder, D.(1998). Why Americans eat what they do. *Journal of the American Dietetic Association*, 98 (10), 1118-1126.
11. Hair, J. F., Anderson, R. E., Tatham, R. L., & Black, W. C. (1998). *Multivariate data analysis* (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
12. Hernández, B., Hidalgo, M. C., Salazar-Laplace, M. E., & Hess, S. (2007). Place attachment and place identity in natives and non-natives. *Journal of Environmental Psychology*, 27(4), 310-319.
13. Hinds, J., &Sparks, P., (2008). Engaging with the natural environment: the role of affective connection and identity. *Journal of Environmental Psychology*, 28 (2),109-120.
14. Holmbeck, G. N. (1997). Toward terminological, conceptual, and statistical clarity in the study of mediators and moderators: Examples from the child-clinical and pediatric psychology literatures. *Journal of Consulting & Clinical Psychology*, 65(4), 599-610.

15. Hu, L. T., & Bentler, P. M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis: Conventional criteria versus new alternatives. *Structural Equation Modeling*, 6(1), 1-55
16. Jang, Y.J., Kim, W.G., & Lee, H.Y. (2015). Coffee shop consumers' emotional attachment and loyalty to green stores: The moderating role of green consciousness, *International Journal of Hospitality Management*, 44, 146-156.
17. Jöreskog, K. G., & Sörbom, D. (1993). *LISREL 8: A guide to the program and applications*. Chicago: SPSS Inc.
18. Kim, Y.G., Eves, A., Scarles, C. (2009). Building a model of local food consumption on trips and holidays: A grounded theory approach, *International Journal of Hospitality Management*, 28, 423-431.
19. Kim, Y.J., Njite, D., & Hancer, M.(2013). Anticipated emotion in consumers' intentions to select eco-friendly restaurants: augmenting the theory of planned behavior, *International Journal of Hospitality Management*, 34, 255-262.
20. Kim, J.-H., Ritchie, J.R.B. , & McCormick, B.(2012). Development of a scale to measure memorable tourism experiences. *Journal of Travel Research*, 51 (1), 12-25.
21. Kim, Y.G., Eves, A., Scarles, C. (2013). Empirical verification of a conceptual model of local food consumption at a tourist destination, *International Journal of Hospitality Management*, 33, 484-489.
22. Lee, Y. K., Lee, C. K., Lee, S. K., & Babin, B. J. (2008). Festivalscapes and patrons' emotions, satisfaction, and loyalty. *Journal of Business Research*, 61(1), 56-64.
23. Loureiro, S. M. C. (2014). The role of the rural tourism experience economy in place attachment and behavioral intentions. *International Journal of Hospitality Management*, 40, 1-9.
24. Manthiou,A., Lee, S. Tang, L. , & Chiang, L.(2014). The experience economy approach to festival marketing: Vivid memory and attendee loyalty. *Journal of Services Marketing*, 28 (1), 22-35.
25. Martin, D.(2010). Uncovering unconscious memories and myths for understanding international tourism behavior. *Journal of Business Research*, 63 (4), 372-383.
26. Mehmetoglu, M., & Engen, M. (2011). Pine and Gilmore's concept of experience economy and its dimensions: an empirical examination in tourism. *Journal of Quality Assurance in Hospitality & Tourism*, 12(4), 237-255.
27. Mehrabian, A., and J. A. Russell. (1974). *An approach to environmental psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
28. Moore,R L. and Graefe, A. R.(1994) Attachments to recreation settings: the case

- of rail-trail users, *Leisure Sciences*, 16, 17-31
- 29. Morgan, M. (2009). What makes a good festival? Understanding the event experience. *Event Management*, 12 (2), 81-93.
 - 30. Oh, H., Fiore, A.M., Jeoung, M., (2007). Measuring experience economy concepts: Tourism applications. *Journal of Travel Research*, 46 (2), 119-132.
 - 31. Pine, B. J.,& Gilmore, J. H. (1998). Welcome to the experience economy. *Harvard Business Review*, 76 (4), 97-105.
 - 32. Pine, B. J.,& Gilmore, J. H. (1999). *The experience economy: Work is theatre & every business a stage*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
 - 33. Prentice, R. (2004). Tourist motivation and typologies. *A companion to tourism*, 261-279.
 - 34. Ramkissoon, H., Smith, L.D.G., & Weiler, B.(2013). Testing the dimensionality of place attachment and its relationships with place satisfaction and pro-environmental behaviours: a structural equation modelling approach. *Tourism Management*, 36 (June), 552-566.
 - 35. Ritchie, J. B., & Crouch, G. I. (2003). *The competitive destination: A sustainable tourism perspective*. Cabi.
 - 36. Sharpley, R., & Jepson, D. (2011). Rural tourism: A spiritual experience? *Annals of Tourism research*, 38(1), 52-71.
 - 37. Sparks, B., Bowen, J., & Klag, S. (2003). Restaurant and the tourist market. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*, 15 (1), 6-13.
 - 38. Tsai, S. P. (2012). Place attachment and tourism marketing: Investigating international tourists in Singapore. *International Journal of Tourism Research*, 14(2), 139-152.
 - 39. Thomson, M., MacInnis, D.J., & Park, W. (2005). The ties that bind: measuring the strength of consumers' emotional attachments to brands. *Journal of Consumer Psychology*, 15, 77-91.
 - 40. Warde, A., & Martens, L.(2000). *Eating out: Social differentiation, Consumption and Pleasure*. Cambridge University Press, Cambridge.
 - 41. Worster, A.M., & Abrams, E. (2005). Sense of place among New England commercial fishermen and organic farmers: implications for socially constructed environmental education. *Environmental Education Research*, 11 (5), 525-535.
 - 42. Yuksel, A., Yuksel, F., & Bilim, Y. (2010). Destination attachment: effects on customer satisfaction and cognitive, affective and conative loyalty. *Tourism Management*, 31 (2), 274-284.

表1 研究假說的實證結果

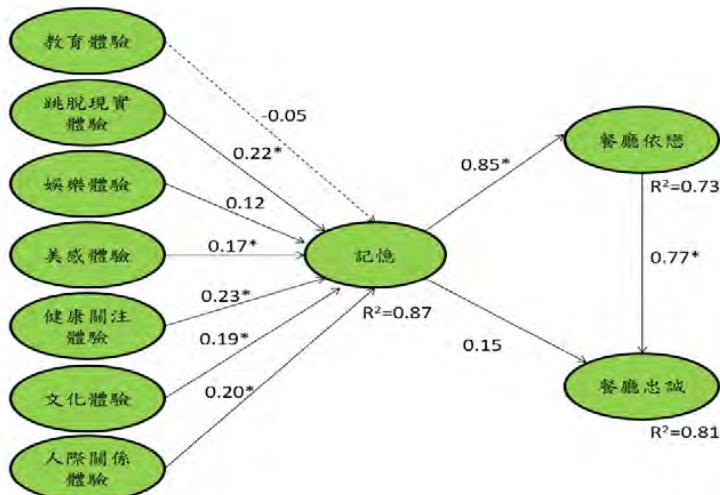
假說	路徑	標準化係數	t 值	檢定結果
H _{1a}	教育體驗 → 記憶	-0.05	-0.70	不成立
H _{1b}	逃脫現實體驗 → 記憶	0.22	4.51*	成立
H _{1c}	娛樂體驗 → 記憶	0.12	2.23	不成立
H _{1d}	美感體驗 → 記憶	0.17	3.09*	成立
H _{1e}	健康關注體驗 → 記憶	0.23	5.48*	成立
H _{1f}	文化體驗 → 記憶	0.19	2.77*	成立
H _{1g}	社交體驗 → 記憶	0.20	3.76*	成立
H ₂	記憶 → 餐廳依戀	0.85	18.85*	成立
H ₃	記憶 → 餐廳忠誠	0.15	2.19	不成立
H ₄	餐廳依戀 → 餐廳忠誠	0.77	9.80*	成立

註：* 表示 p<0.01

表2 餐廳依戀的直接與間接效果分析

自變數	依變數	
	餐廳依戀	餐廳忠誠
記憶		
直接效果	0.85*	0.15
間接效果	--	0.65*
總效果	0.85*	0.81*
餐廳依戀		
直接效果		0.77*
間接效果		--
總效果		0.77*

註：* 表示 p<0.01



說明：*表示 p<0.01。

圖 1 田媽媽餐廳體驗經濟模式之結構模式圖

	
美感體驗-菇鍋用餐環境氛圍	人際關係體驗-在菇鍋體驗五色便當 DIY
	
(左) 人際關係體驗-雲也居一手作薑餅人 (右) 美感體驗-雲也居一戶外環境氛圍	健康關注體驗-在雲也居一品嘗薑料理
	
健康關注體驗-在艾馨園品嘗艾草料理	(左) 人際關係體驗-艾馨園艾的穀粒 DIY (右) 教育體驗-艾馨園農村學園
	
(左) 健康關注體驗-在古道廚娘品嘗茶料理 (右) 人際關係體驗-在古道廚娘品茗體驗高山茶	美感體驗-古道廚娘用餐環境氛圍