

「2021 省工農機研發及技術應用研討會」議程表

日期及時間：2021 年 10 月 8 日(星期五)上午 9 時 30 分

地點：桃園區農業改良場農友服務中心

| | | | | |
|-------------|------------------|-----|--|-----------------------------|
| 09:30-09:45 | 報到 | | | |
| 09:45-09:50 | 致歡迎詞 | | | 郭坤峯 場長 |
| 09:50-10:00 | 貴賓致詞 | | | 蔡致榮 副所長 蘇宗政 場長 黃俊欽 組長 |
| 10:00-10:15 | 台灣農機之開發及願景 | | | 邱銀珍 副研究員 |
| | 田間及收穫作業機械 | | | 主持人 |
| | 單位 | 發表人 | 論文題目 | |
| 10:15-10:27 | 茶改場 | 黃惟揚 | 植茶機投苗機構改善之研發 | 顏炳郎 教授 |
| 10:27-10:39 | 桃園場 | 吳有恒 | 電剪式紙穴盤切割模組之初步設計 | |
| 10:39-10:51 | 高雄場 | 潘光月 | 乘坐式鳳梨苗種植機械之研究 | |
| 10:51-11:03 | 花蓮場 | 郭東禎 | 新型驅鳥器的開發與試驗 | |
| 11:03-11:15 | 花蓮場 | 張光華 | 米蛾繁殖收集機械開發與試驗 | |
| 11:15-11:27 | 台南場 | 楊清富 | 結球類蔬菜機械採收技術之研發 | |
| 11:27-11:39 | 拍團體照 | | | |
| 11:39-13:00 | 午餐 | | | |
| | 收穫後處理機械 | | | 主持人 |
| | 單位 | 發表人 | 論文題目 | |
| 13:00-13:12 | 台中場 | 張金元 | 文心蘭省工搬運與摺箱機具之研發應用 | 黃俊欽 組長 |
| 13:12-13:24 | 農試所 | 邱相文 | 百香果取漿機之研發與應用 | |
| 13:24-13:36 | 桃園場 | 黃柏昇 | 往復旋轉削皮機械之研發 | |
| 13:36-13:51 | 休息 | | | |
| | 智慧生產機械 | | | 主持人 |
| | 單位 | 發表人 | 論文題目 | |
| 13:51-14:03 | 台中科大 | 鄭經偉 | A Novel Semiautomatic Flesh Peeling and Seed Removing Mechanism for Dried Longan | 謝清祿 教授 |
| 14:03-14:15 | 台大生機 | 顏炳郎 | 協作式採茶智慧載具 | |
| 14:15-14:27 | 中興生機 | 黃柏喻 | 應用卷積神經網路與雙目視覺於番茄機器人採摘之研究 | |
| 14:27-14:39 | 中山機電 | 林韋至 | 外骨骼搬運服之省力功效評估 | |
| 14:39-14:54 | 電動農機未來發展展望 | | | 李汪盛 課長 |
| 14:54-15:10 | 綜評及結語 | | | 郭坤峯 場長 |

目 錄

| | |
|--|-----|
| 1. 台灣農機之開發及願景 | 1 |
| 2. 植茶機投苗機構改善之研發 | 9 |
| 3. 電剪式紙穴盤切割模組之初步設計 | 15 |
| 4. 乘坐式鳳梨苗種植機械之研究 | 21 |
| 5. 新型驅鳥器的開發與試驗 | 29 |
| 6. 米蛾繁殖收集機械開發與試驗 | 39 |
| 7. 結球類蔬菜機械採收技術之研發 | 47 |
| 8. 文心蘭省工搬運與摺箱機具之研發應用 | 53 |
| 9. 百香果取漿機之研發與應用 | 59 |
| 10. 往復旋轉削皮機械之研發 | 67 |
| 11. A Novel Semiautomatic Flesh Peeling and Seed Removing Mechanism for Dried Longan | 71 |
| 12. 協作式採茶智慧載具 | 81 |
| 13. 應用卷積神經網路與雙目視覺於番茄機器人採摘之研究 | 87 |
| 14. 外骨骼搬運服之省力功效評估 | 95 |
| 15. 電動農機未來發展展望 | 103 |

台灣農機之開發及願景

邱銀珍

台灣農業機械開發有 4 個重要關鍵點

1. 1950 年代：引進耕耘機等建立農業機械化起步
2. 1980 年代：稻田轉作促成雜糧農業機械的開發
3. 1990 年代：推動農業生產自動化
4. 2010 年代：智慧農業時代

「引進耕耘機等」

二次世界大戰後在農復會的主導下，農業機械化的大門才又再度開啟。農復會技正馬逢周於 1950 年代中期自日本引進 Merry tiller 耕耘機，Merry tiller 耕耘機原先是由美國設計製造，但經日本人改良後更適合小農戶使用。農復會將這批耕耘機送給各地農業試驗改良場所進行實驗與示範，其後國內貿易商也開始進口 Merry tiller 耕耘機。這款耕耘機進入國內後，大家都通稱為「美利鐵牛」耕耘機或「快樂農夫」耕耘機。

推廣農業機械化的同時，政府也希望藉此輔導農業機械公司的設立，帶動國內機械工業的發展，中國農業機械公司與新臺灣農業機械公司因此於 1960、61 年相繼成立。中國農業機械公司主要是和日本野馬農機公司與井關農機公司進行技術合作，而新臺灣農業機械公司則是與日本久保田農業機械公司合作。兩家公司成立後，不僅讓臺灣的農業機械化進入新的階段，同時也帶來有趣的行銷文化。

「稻田轉作促成雜糧農業機械的開發」

水稻是臺灣最重要的農產品，不但種植面積、產值均占各農產品項首位，而米飯作為臺灣民眾主要食品，也為臺灣人日常生活提供必要的糧食來源。因此，在臺灣，水稻生產情形與水稻產業輔導一直都是農政單位關注的焦點。而隨臺灣社會經濟背景變化，與水稻相關的農業政策亦因不同時期而有不同的思維與政策方針。1973 年，世界第一次石油危機導致的國際糧食價格高漲，促使臺灣的農政主管機關再次意識到糧食供應與價格穩定的重要性，並設置糧食平準基金對稻米以成本增加 20% 的優惠價格進行大規模收購，再度大幅刺激稻農生產意願，然而消費上卻因國內飲食習慣逐漸西化、國民平均稻米消費減少、以及出口不敵其他國家低價優勢導致外銷停滯等需求衰退情形下，最終臺灣水稻生產呈現供過於求的情形，不但使國內糧倉爆滿、更在收購上造成政府重大財政負擔。

為解決生產過剩問題，恢復稻米市場供需秩序，政府於 1983 年起迄今，以「稻米生產及稻田轉作計畫」(1983~1996)為首，實施一連串稻田轉作相關政策，促成雜糧農業機械的開發。

「推動農業生產自動化」

自 80 年度起配合產業自動化，政府積極推動農業自動化計畫，訂定整個計畫發展的方向，為透過自動化技術的導入，提升國內農業的產銷體質，在農業自動化策略規劃和發展推動初期為自行研發與國外引入相關技術和設備並重，由於農業有強烈的區域特質，引入技術本土化轉化生根的需求很高。我國自加入 WTO 後，國內市場大幅開放，進口農產品市場占有率提高，國內農業生產過剩的問題漸浮現，擴大國內農產品進軍國際市場的規模，來積極地化解國內農業生產過量的問題，藉此發展具國際市場競爭力的農糧產業，由需求的擴充良性地帶動農糧產業轉變，同時也提高農糧產業對自動化技術的需求。為針對國內主要農產業發展需要，農業生產自動化發展重點為生產栽培管理自動化、生產環境監管自動化、收穫後處理自動化等發展連貫性作業系統，達到省工及穩定產能與品質的目的。產業發展主要以水稻、蔬果及花卉為主，相關技術的發展著重於設施栽培管理、種苗生產、嫁接及移植、收穫處理、施藥防治技術及品質檢測分析等多項關鍵技術。推動以來，在稻米、花卉、種苗生產自動化及蔬果分級自動化都有相當具體研發成果。未來配合重點競爭型農糧產業發展，邁向國際市場需要，針對產品安全、品質檢測、分級與檢疫、保鮮與儲運，發展非破壞性檢測與精準農業等相關技術加強研發，及配合建立作物生產履歷制度方向發展，提升國內農糧產業在國際市場的競爭力優勢。

發展重點與成果應用

(一) 稻作生產及加工自動化

1. 秧苗自動疊棧機

由國立宜蘭大學與鴻伸機器有限公司合作開發完成之一貫化育苗播種作業設備及綠化場田間自動化搬運輸送設備，可使育苗作業自動化程度提高，減輕農村勞力需求。目前一貫化育苗播種作業設備每小時播種作業速度可達 2,000 箱以上，連結開發之自動疊棧機使播種作業人力需求降至最低。在入苗作業時，配合已開發完成自動卸取機及自動捲苗機，入苗時可將苗箱自動排放於綠化場。待秧苗長成後，可以反向將秧苗收集並輸送，每小時可收集 3,000 個捲苗。

2. 稻穀乾燥中心自動化控制系統

由國立台灣大學組成穀物加工自動化研究團隊共同研發稻穀乾燥與儲藏之自動化技術設備，包括稻穀之輸送、乾燥機之連線整合、儲倉調配、監控中心之監控等，已成功地將目

前國內的稻穀乾燥作業轉為由乾燥中心自動化乾燥之型態，對於稻米品質之提升與確保具有實際之功效。本署為輔導經收公糧之農民團體設置穀物乾燥中心，直接受理農民收穫後之濕穀，統一乾燥後入倉儲存，農民不再自行乾燥稻穀，截至目前累計輔導 81 個鄉鎮市農會設置乾燥設備，總容量達 15,763 公噸，39 個鄉鎮市農會設置低溫暫存筒，總容量達 72,150 公噸，年乾燥稻穀 31 萬餘公噸，約占稻穀總產量之 22%。

(二) 種苗生產自動化

1. 蔬菜育苗作業自動化

由國立台灣大學同桃園區農業改良場合作研發完成穴盤真空播種系統、搬運系統、育苗管理系統等自動化設備及技術之開發，成功地建立了蔬果穴盤苗自動化生產體系，並輔導 32 場民間蔬果自動化育苗場進行生產，每年可提供健康的蔬菜穴盤苗約 4 億株。

2. 蔬果嫁接作業自動化

由國立台灣大學、中興大學、宜蘭大學等相關學術單位組成研究群合作完成癒合養生裝置、套管式嫁接機、西瓜苗省工型嫁接機及百香果嫁接機應用至木瓜苗之開發，完成百香果種苗嫁接機，其每小時作業能量 208 株，為人工之 2.4 倍；而嫁接成功率 87.5%，成活率則為 96.4%。套管式蔬果種苗嫁接機之研發，使用具有良好擴張彈性之橡膠軟管作為嫁接固定材料，為國內外自動化嫁接機之首創，不必使用嫁接夾。可適用於根砧及接穗苗莖粗差異不大之蔬果種苗，多種茄科和葫蘆科之作物皆適用。作業能量每小時 360 株，以番茄嫁接苗為例，其嫁接存活率高達 90~100%。

3. 豌豆苗生產自動化系統

由國立台灣大學、桃園區農業改良場配合桃園縣平鎮市福田有機農場研發改進豌豆苗生產自動化系統包括自動播種、催芽系統、綠化栽培、排苗取苗系統、採收包裝及預冷保鮮等自動化作業。

(三) 設施精準管理自動化

1. 花卉生產自動化環控系統

國內花卉的栽培面積與產量不斷之增加，為確保此項產品在國內外市場的優勢，花卉的生產品質必須不斷提升。但由於國內經濟結構的變遷，為解決農業生產勞動力缺乏的問題，必須引入機械化與自動化之技術以調解設施內部環境與進行生產作業之問題，由國立中興大學、嘉義大學、屏東科技大學及宜蘭大學等單位研究群分工合作完成花卉設施栽培作業自動化，包括溫室內花卉生長環境之控制、自動化環控設備之開發等。利用水牆與負壓風扇解決夏季問題，以內循環風扇改善內部相對濕度之環境。冬天加設加溫機以提高溫度，以及光質之調整與作物生理感測為主之環控系統，並開發完成的側窗控制系統，可以進行電腦控制與人力控制。在停電時期解除動力傳動線即可採用手動進行側窗自然通風。配合內循環風扇的

使用，溫室內可維持終年通風作業，有效消除病害發生的機率，並且促進蘭花成長。開發完成的催花冷房利用熱傳原理，構成絕熱結構，可及時提供帶花梗大苗外銷，完成具有感測氣溫、相對溼度與光量的 3 項功能。並具有抗陽光輻射能量裝置與維持適度通風之功能，有效提高微氣候量測的準確性。此系統為模組化結構，維修簡易，並且具有故障自我診斷的功能。

2. 設施內精準可變率噴灑系統

由國立台灣大學與中興大學合作研究種苗本體生理感測與數位整合監控系統，利用苗株水分管理遙測系統所得之苗床植株影像資訊，由植被指 NDVI 和 LAI 作為水分管理之判別，轉換成具空間資訊的數位資料，經由噴頭閥門之開關控制，自動調速及噴灑驅動脈衝頻寬調整(PWM)之可變率噴灑系統，可達到精確灌溉之目的。並以作物生理本體指標結合遙測技術，進行水份及肥份精準施用(適量適時)等自動化作業，提高產品品質，並發揮知識經濟價值。

3. 換棟式懸吊桿式自噴灌系統

由本會台中區農業改良場開發懸吊桿式自動噴灌系統於設施生產作業中普遍被採用，噴灑管理作業性能良好。目前已研發成功換棟式系統，可藉由換棟軌道來回使用於 6 棟溫室中，節省設備成本。

(四) 採後品質非破壞性檢測與分級處理自動化

由國立台灣大學、中興大學及嘉義大學等單位利用近紅外光及影像系統進行水果品質線上檢測系統一貫化作業之建構，藉由各檢測單元之量測分析，可獲得水果之糖度、果形、大小、著色率、瑕疵率和重量等品質指標，達到水果客觀分級之目的。內部品質檢測單元在採用新設計之聚光鏡頭後能有效地收集水果表面反射光線，可提升檢測速度為 2.5 個/秒；並加入自動白板校正系統。光譜量測訊號經由快速複利葉轉換之低通訊號濾波後，可提高內部品質檢量線之預測能力。外部品質檢測單元已完成立體視覺系統之建構，及圖控軟體界面系統之開發，以供芒果與蓮霧外觀品質之判別。秤重系統利用荷重元進行水果輸送時之動態秤重，具自行開發之訊號處理程式和自動建立秤重檢量線功能，其重量之最大量測誤差為 5.2%。確立水果分級制度，以利電子商務之推行，並提升品牌水果之國際競爭力，開拓外銷市場。

結 語

農業生產自動化以稻作育苗、稻穀收穫後處理、種苗生產、設施栽培及管理、採後處理作業自動化，為近年來推動重點，目前已設立稻穀加工自動化示範工廠 50 處，每處每期作可節省作業之成本 200 萬元。開發完成雙排式真空播種機，播種精度可達 99%以上，並推廣設置蔬菜育苗作業自動化示範點共 34 處，年育苗數量達 4 億 2 千萬株以上。完成花卉設施栽培環控自動化與遠端遙控技術開發，提升蝴蝶蘭種苗生產合格率 100%，並促進國內溫室工業進軍國際市場。為確保我國農糧產業的永續發展，提升產業競爭力，解決農村勞力不足問題，導入自動化、生物科技與資訊化技術並加以整合，是為重要的發展方向，期降低人力需

求，提升營運管理效率，穩定產能，增進產品品質，提高農產品的附加價值。未來將分別針對不同農糧產業經營型態之需要，藉由機械、機電、設施工程、生物、材料和行銷管理等各專業人才以分工合作模式，進行自動化科技之研發與推廣，促成自動化技術落實民間運用之目標。

智慧農業 推動政策

行政院農業委員會配合國家政策，推動智慧農業計畫，並將主軸定位為「智慧生產」與「數位服務」兩大面向，希望透過智慧化生產管理，突破小農單打獨鬥之困境，提升農業整體生產效率與量能；並藉由物聯網與大數據分析技術，建構主動式全方位農業消費/服務平臺，滿足所有農業利害關係人需求，提高消費者對農產品安全之信賴感。期待能打造優質從農環境，開創農業經營新典範，邁向「效率」、「安全」、「低風險」的新農業時代。

農委會推動中的「智慧農業 4.0」計畫，定位為「智慧生產」及「數位服務」，從人、資源及產業三方面進行優化，透過「以智農聯盟推動智慧農業生產技術開發與應用」、「建置農業生產力知識及服務支援體系，整合資通訊技術打造多元化數位農業便捷服務及價值鏈整合應用模式」及「以人性化互動科技開創生產者與消費者溝通新模式」等策略(圖 1 與圖 2)，將農業從生產、行銷到消費市場系統化。亦即藉由感測、智能裝置、物聯網及巨量資料分析的導入，將知識數位化、生產智動化、產品優質化、操作便利化及溯源雲端化，建構智農產銷及數位服務體系。這種智能生產及智慧化管理，可突破小農單打獨鬥的困境，提升農業整體生產效率及量能；再藉由巨量資訊解析產銷供需求，建構全方位農業消費與服務平臺，提高消費者對農產品安全的信賴感；此外，也透過策略性的行銷及商務模式輔導及推動產業國際化，將我國特有的智慧農業國產化技術及服務，建立國際品牌能見度，領航農產業技術整廠輸出，將優質農產品推向全球。

★部份資料取自行政院農業委員會



甘藷去藤收一貫收穫機



電動葉菜散裝收穫機



收穫後甘藷外表不破皮



甘藷收穫觀摩會場



履帶綠竹粉碎機粉碎中



多功能植物殘枝少碎機粉碎中



可變行株距葉菜苗移植機



可變行株距葉菜苗移植機移植中



一次移植六行作業中



一次移植三行作業中



一次移植二行作業中



溫室一次移植六行作業中

植茶機投苗機構改善之研發

黃惟揚、劉天麟

茶業改良場茶葉機械課

摘 要

本研究為開發曳引機附掛式植茶機(簡稱植茶機)之投苗機構，早期植茶機無法預先投苗，投苗工人需等植茶機行走 30-50 公分後，再將茶苗投下去，工人需專心注意投苗的時機點。曳引機行走速度若是過快，工人跟不上投苗速度，容易產生缺株現象，長時間作業下工人也易精神疲乏，造成機械種植效率不佳。為解決上述問題，本場改良植茶機投苗機構，有左右 2 組盛苗轉盤，每組盛苗轉盤有 6 個高度 15 公分與直徑 10 公分之圓筒盛苗杯，操作者將茶苗置入盛苗杯中，當盛苗杯轉至落料口時，遮板會自動打開，盛苗杯中的幼苗便落下。初期測試發現茶苗容易卡在投苗機構，藉由改良投苗機構，並導入可分解紙袋苗，以提高茶苗掉落之成功率。

關鍵詞：植茶機、投苗機構、可分解紙袋苗。

緒 論

臺灣茶園面積為 12,000 公頃左右，平均 20 年會進行茶園更新，每年約有 600 公頃茶園需更新。依種植方式所需之茶苗量也不同，單排種植茶園需種植 12,000 株/公頃；雙排種植茶園需種植 24,000 株/公頃。目前茶苗種植為人工作業，一人一天約種植 600-800 株苗，工作相當辛苦。本場與^[1]祥順有限公司合作，改良植茶機(圖 1)投苗機構，以提高落苗與植茶成功率，解決種植缺工問題。



圖 1、植茶機作業情形

植茶機投苗機構設計與改善方法

植茶機主要架構為 1 組傳動機構、2 組投苗機構與 2 組開溝種植機構(圖 2)。為提高茶苗落下之成功率(圖 3)，針對投苗機構做改良及探討。

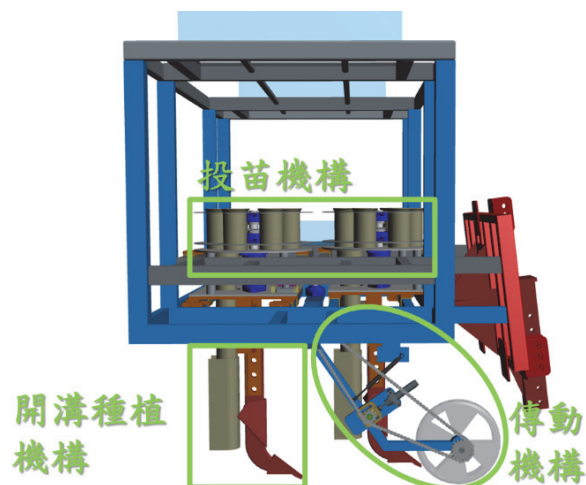


圖 2、植茶機各機構設計示意圖(側視圖)



圖 3、茶苗卡住情形

投苗機構有左右 2 組轉盤，每盤有 6 個高度 15 公分且直徑 10 公分之圓筒形盛苗杯，可分別預投放置 6 株苗(圖 4)，當盛苗杯轉至落料口時，遮板會自動打開，盛苗杯中的茶苗便落入開溝種植機構。



圖 4、待種植茶苗預先放置投苗機構情形

盛苗杯底部遮板後方設計擋桿，使底部遮板可強制復歸，遮板不會卡在底盤，提高茶苗掉落的成功率(圖 5)。



圖 5、遮板後方設計擋桿

臺灣茶苗主要用黑色塑膠袋扦插(圖 6 右)，種植前需先脫掉黑色塑膠袋，土壤裸露後才可種植，但用於植茶機時，會產生許多問題，整理如下：

1. 脫袋後的茶苗土壤容易散落在植茶機(圖 4)，卡住機構無法作業。
2. 脫袋後的茶苗容易黏在投苗機構底部遮板(圖 3)，遮板打開時茶苗會轉向卡住，造成茶苗無法順利掉落。
3. 脫袋後的茶苗土壤容易崩落，造成茶苗重量過輕，會卡在投苗機構無法掉落。

為解決上述問題，茶業改良場在民國 105 年引進可分解紙袋苗(如圖 6 左)，茶苗可連紙袋與土一起種植，茶苗也不易沾黏機器，重量也足使茶苗從投苗機構掉落，降低種植過程中土壤散落的問題。

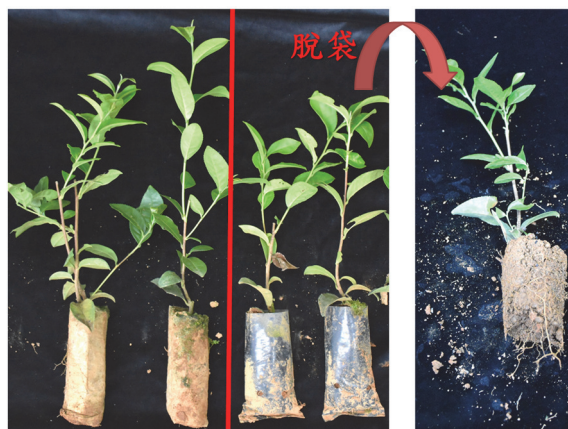


圖 6、紅線左邊為可直接種植的可分解紙袋苗；紅線右邊為需脫袋的傳統塑膠袋苗

結果與討論

過去植茶機無法預先投苗，工人需專心注意投苗的時機點，但當曳引機行走速度過快，投苗工人會趕不上投苗速度，容易有缺株現象，長時間作業工人也易精神疲乏，造成種植效率無法提升。藉由改良植茶機投苗機構，引進可分解紙袋苗種植。經測試，茶苗掉落的成功率已接近 100%，茶苗不會卡住投苗盤，也降低清理植茶機的頻率，大幅提升植茶機作業效率。

結 論

本研究成功改善植茶機投苗機構之性能，植茶機種植效率為 900-1200 株/時(雙排種植)，能種植於溝底與平地。植茶機共需 3 人操作種植，1 人駕駛曳引機，2 人投苗，降低 3-5 倍的種植人力。茶改場在 109 年在花蓮瑞穗、臺東鹿野與桃園龜山測試之種植情形，面積總計約 10 公頃，種植狀況良好。本場針對植茶機預投苗與行株距調整之機構做改善，於 109 年 08 月 21 日取得經濟部智慧財產局專利核准審定書(新型第 M600072 號)，並於 109 年 12 月完成非專屬技術移轉祥順有限公司。110 年爭取農糧署「新研發農糧機械補助暨示範推廣計畫」補助 3 臺植茶機，預計在桃園、花蓮與臺東舉辦 3 場示範觀摩會，推廣農民使用。

誌 謝

本報告為行政院農業委員會計畫經費支持(編號 108 農科-24.4.2-茶-T1)，特此致謝。

參考文獻

1. 林和春(民 104)。專利證號 M512285。臺北市：經濟部智慧財產局。

電剪式紙穴盤切割模組之初步設計

吳有恆

行政院農業委員會桃園區農業改良場

摘要

本設計應用於 128 格紙穴盤之電剪式切割模組，用以將育苗栽培後之紙穴盤剪切成單粒穴格，以供後續移植作業使用。電剪式切割模組包含以電動缸控制之穴盤輸送台、縱向電剪裝置、舉升機構、橫向電剪裝置及平移機構等，系統透過可程式控制器執行紙穴盤移動、復位、縱向剪切及橫向剪切等作業程序。切割模組可應用於蔬菜移植機之前端處理作業，切割後之穴格苗可供移植機取苗機構夾持移植，進行菜苗自動化移植作業。

關鍵詞：移植機、紙穴盤、切割模組、電剪。

緒論

穴盤育苗是臺灣大宗蔬菜生產的主要育苗方式，其做法是將種子播入塑膠穴盤內，待成長至一定狀態後，再以人力或移植機將穴盤內種苗移植到田間。估算 2018 年臺灣塑膠穴盤的使用量約 900 萬片^[1]，大量的廢棄塑膠穴盤難以處理，對農業環境影響極大。面對廢棄塑膠穴盤，業者除積極尋求回收管道外，產業端亦應思考摒棄塑膠穴盤的使用，代之以具環保的育苗穴盤，同步加速育苗產業的升級。

桃園區農業改良場於 2016 年開發 128 格紙穴盤製造技術^[2]，利用紙箱裁切後的邊料製作紙穴盤，目前亦透過栽培試驗，開發不同菜苗的紙穴盤育苗技術。由於紙穴盤的尺寸規格均與塑膠穴盤相同，塑膠穴盤育苗所需使用的設備^[3]，包括介質充填、自動播種、灑水覆土及自動排箱積箱系統等均可直接導入使用，無需修改變更，有利於後續的推廣應用。蔬菜育苗完成後的紙穴盤經單粒化切割後，即可供直接種植、營養膜技術(NFT; Nutrient Film Technique)系統及半自動化移植機作業使用。

相較於塑膠穴盤，紙穴盤單粒化苗株有以下優點，包含(1)可配合夾持或取苗機構，進行移植作業；(2)移植時苗株無需從穴格中取出，含穴格一起移植，減少根系受損，利於移植後作物的生長；(3)含穴格一起移植，移植時不會受限於介質的鬆散性，移植穩定性較高；(4)紙穴格直接埋入土壤，沒有廢棄物，減少環境的污染。

紙穴盤單粒化切割作業是在育苗完成後，因此，育苗栽培過程中的各項管理作業會影響紙穴盤的切割特性，特別是紙穴盤的吸水性極佳，吸水後穴盤會變軟，因此切割前必須停止灌溉一段時間，以利紙穴盤的切割作業。再者，穴格長寬各僅 36 mm，切割時需避開苗株，

可利用空間極少，因此切割模式需針對紙穴盤規格、材質、含水率等特性進行設計。本研究在開發紙穴盤切割模組，以將紙穴盤栽培之穴盤苗，進行穴格單粒化作業，未來可利用半自動化移植機械將單粒化穴格苗移植於本田。

材料與方法

紙穴盤(圖 1)，長 600 mm、寬 300 mm、高 30 mm，材質為紙箱裁切後之邊料，經溶漿、調質、吸附、脫模、烘乾及整形製作而成。每一穴盤具有 128 個圓形穴格，依長 16 孔寬 8 孔排列，與傳統塑膠育苗盤相同。

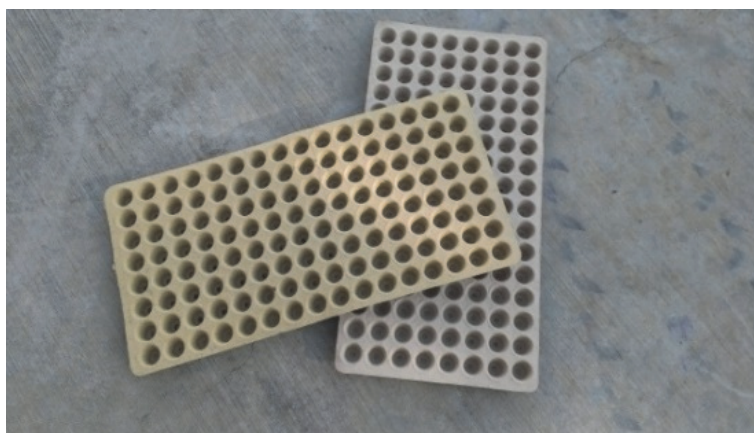


圖 1、紙穴盤

本研究設計利用電剪方式進行紙穴盤切割作業，並透過自動控制執行切割流程。電剪式紙穴盤切割模組(圖 2)主要構件包含穴盤輸送台、縱向電剪、舉升機構、橫向電剪及平移機構等。電剪樣式如圖 3，為剛質材料，可剪硬質物件，如薄銅片等，其刃口處設計有一凹口，剪斷後靠凹口處材料會順著凹口向後且略為向上移動，使剪斷後材料可上下錯位，利於剪切作業的順暢性。為使紙穴盤能穩定被送入電剪模組切割，設計一具有 128 孔之不鏽鋼支撐盤(圖 4)，紙穴盤的穴格可置入其內，並使紙穴盤面與不鏽鋼盤面間有 10 mm 的間隔，以供電剪刀頭伸入進行剪切作業。

電剪式紙穴盤切割模作業流程如圖 5，由程序 A 依序執行至程序 H，再回到程序 D，並循環於程序 H-D-H 間作業，直到一個紙穴盤被完整切割完畢後，再以人工重新置入新的紙穴盤，進行新一輪的剪切作業。系統設計採用可程式控制器，透過感測器接點進行回授控制，完整執行剪切程序。

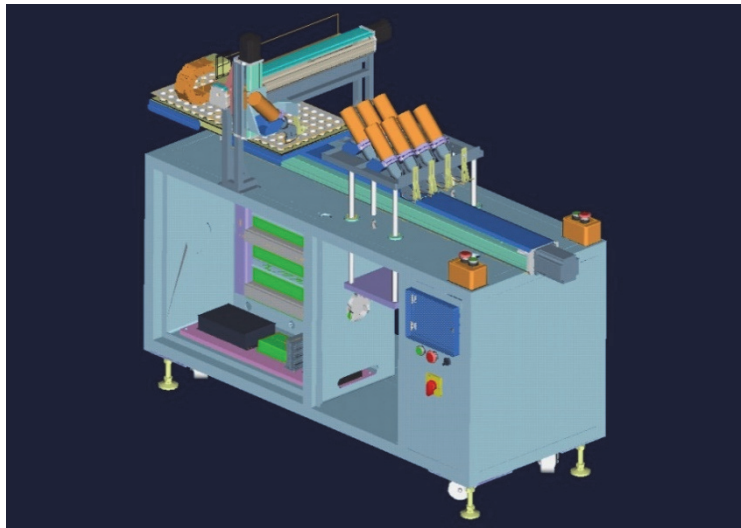


圖 2、電剪式紙穴盤切割模組設計圖



圖 3、電剪樣式

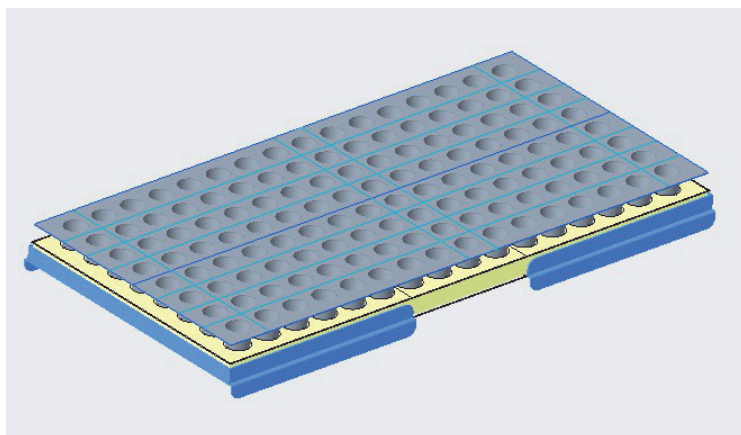
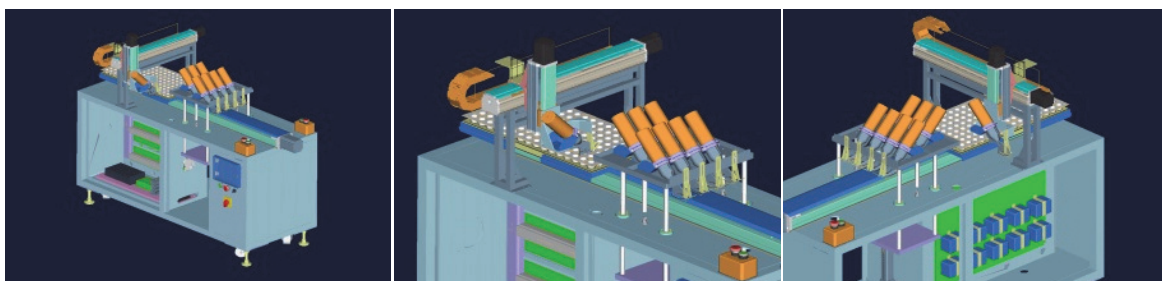


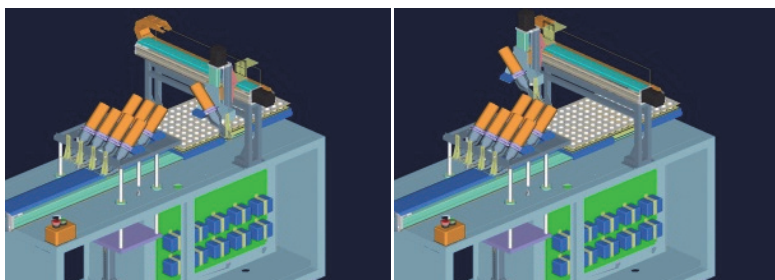
圖 4、紙穴盤(上方藍色)及不鏽鋼支撐盤(下方黃色)設計圖



A. 縱向電剪固定，紙穴盤放置於不鏽鋼盤，並由右側進入
B. 紙穴盤前進，縱向電剪向下移動並啟動電剪作業
C. 紙穴盤持續前進到完全被剪斷成 8 條狀態



D. 橫向電剪向下移動並啟動電剪作業
E. 橫向電剪切割作業中
F. 橫向電剪持續前進到最後出刀位置



G. 橫向電剪向上，準備回到起始位置
H. 橫向電剪回到起始位置，紙穴盤向前移動 1 個穴格的間距，之後作業程序由 D 至 H 重複循環至剪切完畢即整盤取走使用

圖 5、電剪式紙穴盤切割模組作業流程

結果與討論

一、切割模式考量

本研究設計之切割模組採用電剪模式，利用電剪本身的剪力切割紙穴盤，並透過自動控制執行穴盤移動、橫向切割及縱向切割等程序，以達紙穴盤切割目的。其設計關鍵點在切割刀具的選擇及如何固定紙穴盤。以手持電剪切割未育苗的紙穴盤顯示可完整切割，即使將盤面噴溼後再乾燥，亦可穩定以 3 cm/s 的切割速度作業；但由於穴格上方平面長寬僅 36 mm ×

36 mm，穴格圓周相切處厚度較厚且空間約僅有 3 mm，因此需考慮電剪刀頭的尺寸、電剪刀頭的定位、電剪的剪切力、紙穴盤的固定方式及紙穴盤的變形量等參數。

前期試驗曾以圓切刀(圖 6)及砂輪切片(圖 7)進行紙穴盤切割試驗，其紙穴盤移動由平行鏈條串接之橫向連接桿驅動，前端設置同軸切割圓刀，並以 7 刀同步切割方式進行，切割結果顯示刀片側向阻力極大，紙穴盤切割面會因為此阻力及切割刀迴轉的力量被拉扯，主因是每一切割圓刀片均有一定厚度，入刀切割時，刀片會被穴格擠壓，導致摩擦阻力大增，阻擋切割作業進行。在電剪式切割模組設計中，採用先剪 4 刀再剪 3 刀方式進行縱向切割，其目的除了要分散側向阻力外，也由於單一穴格僅 36 mm，此間隔可能難以安裝電剪驅動機構。

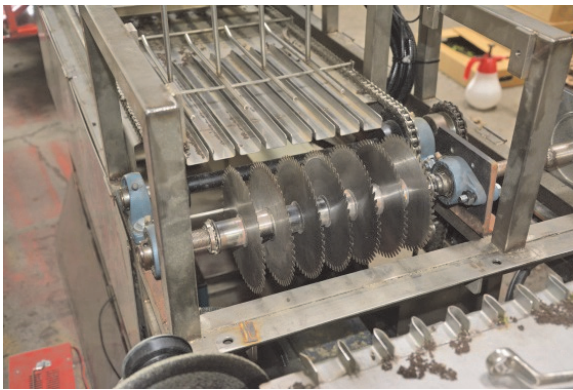


圖 6、圓切刀切割模組



圖 7、砂輪片式切割模組

二、紙穴盤作業模式考量

為使紙穴盤具有良好的平整性，其在製作時已進行熱壓整平程序，但育苗後盤面的平整性會變差(圖 7)，可能是因為育苗過程需澆水，同時水分由紙穴盤表面不斷地蒸發，穴盤在不同濕度間的交互變化，導致紙穴盤產生應力變形。為使紙穴盤能被穩定的支撐以利於切割作業的進行，切割模組設計有可支撐 128 孔穴格之不鏽鋼盤，以減少紙穴盤變形對切割作業的影響。此支撐方式可完全承載紙穴盤而不偏移，相較於圓切刀切割試驗(圖 6)以橫桿直接帶動穴盤移動方式，應會有較穩定的表現。

紙穴盤的育苗栽培模式與塑膠穴盤不同^[4]，以紙穴盤育苗，水分除透過作物蒸散及介質蒸發外，由於紙穴盤為紙纖維材質，穴格四周亦會散失水分，因此栽培管理需有高於塑膠穴盤育苗的灌溉水量，才能滿足紙穴盤育苗蒸散與蒸發的需求。再者，以紙穴盤栽培之穴盤苗，苗株根系在發育數天後即可能穿穴格，根系穿穴格將導致養分吸收減緩，影響苗株生長。因此以紙穴盤育苗，移植的時間點相當重要，需在根系將穿穴格前即進行移植，待穴格移植田間後，根系穿穴格，即可直接吸取養分。相較於塑膠穴盤，紙穴盤不必從穴格取出苗株，其根系不致受傷，應可減少恢復期，縮短作物栽培時間。

本研究設計的電剪式切割模組，適合於切割穴盤面較乾燥的紙穴盤；但澆水後的紙穴盤會變軟，需等待一段時間使穴盤面上方較乾燥後才能進行切割作業，此時間的長短與紙穴盤材質、作物種類、灌溉模式及栽培環境有關，需完整配合才能在不影響作物育苗的狀態下，進行紙穴盤的切割及後續的種植作業。

結 論

在永續農業的經營與發展中，減塑是一項重要的作為，以紙穴盤取代塑膠穴盤進行作物育苗極符合農業減塑政策及未來農業發展。在紙穴盤的技術應用規劃中，已開發紙穴盤製造技術，所製作的紙穴盤可直接應用現有塑膠穴盤育苗的自動化播種設備，以減少紙穴盤應用的困難性；然而現階段仍缺乏可用於移植紙穴盤苗的各項設備及技術，包含紙穴盤育苗栽培管理技術、紙穴盤苗移植最佳時間點、半自動或全自動移植設備等。因此，有必要開發紙穴盤產業應用鏈結的技術及設備，以加速產業應用。

誌 謝

本研究承蒙農委會計畫(109 農科-11.3.1-桃-Y1)經費支持，謹致謝忱。

參考文獻

1. 安志豪、劉明宗、張勝智、張倚瓏、陳思吟、陳尚謙、劉卓翰、曾馨儀。2020。108 年臺灣地區蔬菜育苗產業現況調查與分析。種苗科技專訊 110: 9-13。
2. 吳有恒。2017。植物纖維穴盤製造技術。桃園區農業專訊 101: 10-12。
3. 陳世銘、張金發、馮丁樹、游俊明、呂昆忠、王大立、田秉才、張文宏。1993。蔬菜育苗作業自動化－穴盤育苗真空播種系統。農業機械學刊 2(3): 56-64。
4. 吳有恒、邱銀珍。2019。應用於紙穴盤栽培之切割機構設計考量。2019 生機與農機學術研討會。台中市。p.123-125。

乘坐式鳳梨苗種植機械之研究

葉仲基¹、邱銀珍²、黃柏昇³、詹德財⁴、潘光月⁵

¹國立臺灣大學生物機電工程系副教授、^{2,3,4}行政院農業委員會桃園區農業改良場

⁵行政院農業委員會高雄區農業改良場

摘要

本研究目的為開發省工省力、符合產業需求鋪布種植一貫作業之乘坐式鳳梨苗種植機械，藉以節省農民進行種植作業之時間與勞力成本，解決日益嚴重的農業勞動力短缺及老年化問題，提高作業效率，降低生產成本並增加農民收入。本研究以調查鳳梨苗物理性質、人工慣行種植方式及蒐集探討種植機械相關等資料，據以開發乘坐式鳳梨苗種植機械，其主要機構分成動力源(40hp 四汽缸柴油引擎)、車體(高腳式四輪驅動四輪轉向)、駕駛座椅、種植機構(包含承載苗平臺、預苗筒 2 組(每組 6 個)、鴨嘴式插植爪 2 個、鎮壓輪 3 個、驅動插植爪地輪、投苗作業人員座椅 2 個、覆土板犁及鋪布機構。本機一次可種植 2 行，作業時需 3 名人工，1 人駕駛及補充苗，2 人投苗，依據田間作業試驗結果，種植效率約每秒 1 株，作業效率約人工種植作業的 4 至 5 倍。

關鍵詞：鳳梨苗、省工、省力、移植機械、乘坐式移植機。

緒論

鳳梨是臺灣重要的經濟果樹，108 年鳳梨種植面積 11,676 公頃，產量約 43 萬噸，產值約新臺幣 91 億元。鳳梨的主要市場是國內銷售，臺灣鳳梨的主要產區是屏東縣，種植面積約 2,696 公頃，約占 27%，其次是臺南市面積約 2,300 公頃，約占 23%，高雄市面積約 1,549 公頃，約占 15%，嘉義縣面積約 1,376 公頃，約占 14%，其餘地區約占 22%。鳳梨生產極度仰賴人力，在栽培管理過程中，需要進行之作業項目很多，如整地(碎土、作畦)、種植、噴藥、噴灌、中耕除草、施肥、套袋、果實採收與採收後之搬運等工作。雖然整地、噴藥、選別項目已以機械取代，但整體鳳梨產業機械化程度仍偏低，其中在種植部分雖已有研發及引進之機械，惟因該機械種植方式無鋪設抑制草蓆機構，日後需進行除草作業，增加生產成本，無法被農民接受。因此目前種植作業仍以人工鋪設抑制草蓆後再植苗為主。近來面臨鄰近國家市場競爭壓力，國內農村勞動力短缺及老年化，工資節節升高，不易雇工之際，產業機械化勢在必行。

目前開發及引進之鳳梨種植機械，如承載式半自動鳳梨種植機如圖 1，其主要架構包含傳動機構、盛苗轉盤、種植機構與覆土鎮壓機構。盛苗轉盤設計為 6 個高度 200 mm，直徑

150 mm 之圓筒形盛苗杯，操作者將幼苗從苗架取出置入盛苗杯中即可，當盛苗杯轉至鴨嘴杯上方導管時，轉軸在轉盤做順時針軌跡運行，碰觸凸輪帶動半月型齒輪而開啟遮板，杯中的幼苗便落入種植機構，覆土鎮壓機構安裝於種植機構後方，當幼苗經鴨嘴杯插入土壤後將土撥回並進行壓實，使幼苗能直立埋入土中。本鳳梨種植機係以 80 馬力曳引機為原動機，機體長 1,500 mm，寬 1,300 mm，高 1,200 mm，全重 180 kg；適用於寬度 1,000 mm 畦面上種植兩行鳳梨幼苗，植株行距 500 mm，株距可調整，範圍為 300、320、304 及 360 mm 四種。該機由兩人操作，一人負責種植，另一人管理鳳梨苗兼任駕駛。另有附掛式鳳梨種植機如圖 2。本機種植方式係以開溝器挖出種植孔，然後將鳳梨種到土壤中並覆蓋土壤。該機由 3 人操作，1 人駕駛，2 人放苗。上述鳳梨種植機皆無鋪設抑制草蓆裝置。



圖 1、承載式半自動鳳梨種植機



圖 2、附掛式鳳梨種植機

乘坐式鳳梨苗種植機構造功能設計與改良

本乘坐式鳳梨苗種植機係針對一般鳳梨農作業模式而設計，目前鳳梨農種植之作業方式為鋪設抑制草蓆後植苗，因此以鋪設抑制草蓆及種植一貫作業為設計方向，且整體設計以構造簡單，操控及維護保養容易並耐久為主要考量。

一、機構設計構想

1. 應鳳梨農現行鋪設抑制草蓆及植苗一貫作業模式。
2. 以鳳梨機體需求大小。
3. 機構要簡化，以減少故障發生。
4. 容易操作與保養維護，同時價格低廉。

二、性能要求

1. 作業效率高於人工作業，且需符合經濟效益。
2. 種植時不能對鳳梨苗造成損壞，及缺株現象。
3. 種植時確實作業穩定。

三、主要機構與功能

本研究所研製完成之乘坐式鳳梨苗種植機可種植 2 行，其主要機構及外型如圖 3。

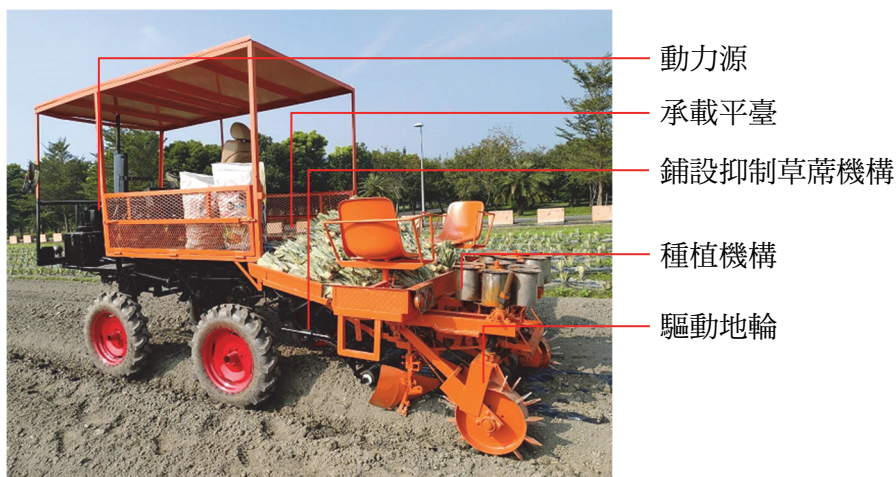


圖 3、乘坐式鳳梨苗種植機

1. 動力源：40hp 四汽缸柴油引擎，主要功能為驅動本機動力及驅動轉向幫浦與種植部油壓舉升幫浦。
2. 承載平臺：承載備用鳳梨苗。

3. 鋪設抑制草蓆機構：為無動力自由浮動式機構，其機構包含抑制草蓆滾筒架及覆土板犁。
4. 種植部：以油壓控制舉升，主要功能為種植鳳梨苗，其機構包含 2 個鴨嘴式種植爪、12 個預苗筒(每一種植爪 6 個預苗筒)、覆土鎮壓輪 3 個。
5. 驅動地輪：以太陽輪型式設計，主要功能為種植爪之動力源。

試驗材料與方法

一、試驗設備

1. 乘坐式鳳梨苗種植機。
2. 馬錶。
3. 皮尺。

二、試驗材料

1. 臺農 17 號鳳梨苗如圖 4，規格如表 1。

表 1、鳳梨苗規格

| | D1 (苗頭直徑) mm | D2 (苗腰直徑) mm | L (苗長) mm |
|------|--------------|--------------|-----------|
| 最小尺寸 | 35 | 38 | 200 |
| 最大尺寸 | 87 | 100 | 350 |
| 平均尺寸 | 58 | 80 | 275 |

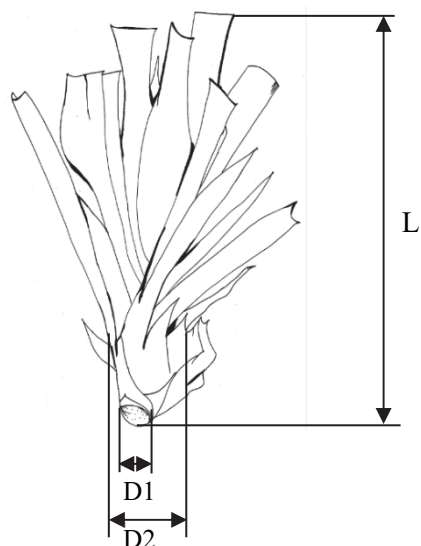


圖 4、修整後鳳梨苗

三、試驗方法

1. 以 200、250、300、350 mm 不同苗長為材料，在每小時 0.5、0.6、0.7、0.8 公里之車速下進行種植，並觀察種植成功率及損傷率。
2. 上述方式處理種植 200 株(樣本數)。

結果與討論

一、結果

1. 種植行距 400 mm，株距 350 mm (如圖 5)。



圖 5、機械種植情形

2. 各種種植條下平均種植成功率與損傷率如表 2、3、4、5。

表 2、種植車速每小時 0.5 公里，不同苗長之種植結果

| 狀態 | 苗長 200 mm | 苗長 250 mm | 苗長 300 mm | 苗長 350 mm |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 倒伏 | 0 | 0 | 2% | 100% |
| 缺株 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 成功率 | 100% | 100% | 98% | 0 |

表 3、種植車速每小時 0.6 公里，不同苗長之種植結果

| 狀態 | 苗長 200 mm | 苗長 250 mm | 苗長 300 mm | 苗長 350 mm |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 倒伏 | 0 | 0 | 3% | 100% |
| 缺株 | 0 | 0 | 1% | 0 |
| 成功率 | 100% | 100% | 96% | 0 |

表 4、種植車速每小時 0.7 公里，不同苗長之種植結果

| 狀態 | 苗長 200 mm | 苗長 250 mm | 苗長 300 mm | 苗長 350 mm |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 倒伏 | 0 | 0 | 3% | 100% |
| 缺株 | 0 | 0 | 1% | 0 |
| 成功率 | 100% | 100% | 96% | 0 |

表 5、種植車速每小時 0.8 公里，不同苗長之種植結果表

| 狀態 | 苗長 200 mm | 苗長 250 mm | 苗長 300 mm | 苗長 350 mm |
|-----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 倒伏 | 0 | 0 | 3% | 100% |
| 缺株 | 0 | 0 | 1% | 0 |
| 成功率 | 100% | 100% | 96% | 0 |

二、討論

鳳梨苗的長度會影響種植的成功率。當鳳梨苗的長度小於 250 mm 時，種植成功率達 100%，且不會造成損傷鳳梨苗的情形。但是，當鳳梨苗長度在大於 250 mm (300 及 350 mm) 時，會造成倒伏及損傷鳳梨苗之情形，尤其是鳳梨苗長度在 350 mm 時，倒伏達 100%。故鳳梨苗過長將影響種植成功率，並損傷鳳梨苗。其原因為種植爪行程不足，當種植爪上升至上死點閉合時會夾到鳳梨苗尾端，並拔起所種植的鳳梨苗，而造成倒伏現象。

結 論

本乘坐式鳳梨苗種植機，設計以鋪設抑制草蓆及種植一貫化作業模式，符合鳳梨農種植機械作業模式之需求，惟不適用於較多石塊之田區。該機於 108 年 10 月 31 日於高雄區農業改良場舉辦田間作業示範觀摩會，並於屏東縣高樹鄉及嘉義縣民雄鄉等地示範種植作業，深受鳳梨農好評，其作業效率每小時種植 3,000~3,600 株，約人工種植的 5 倍。種植前必須先將鳳梨苗修整小於 250 mm 長度，種植速度視投苗作業員熟練度調整，避免造成缺株現象。

誌 謝

本研究承蒙農委會 108 農科-1.2.6-科-a3 計畫補助，旭業有限公司配合開發及鳳梨農洪銘聰、何秉洋及陳映延提供鳳梨苗及試驗場地，謹致謝忱。

參考文獻

1. 今周刊/一塊鳳梨酥 扭轉務農「沒前途」。ETtoday 財經新聞 ETtoday 新聞雲，網址 <http://www.ettoday.net/news/20140205/322268.htm#ixzz3u6K4ZwtV> Follow us: @ ETtodaynet on Twitter | ETtoday on Facebook。
2. 徐武煥、蔡致榮、陸龍虎、向為民、官青衫。2007。高架式鳳梨施肥與採收集運田間管理作業機之研製與應用。九十六年農機與生機論文發表會論文摘要集第 139~140 頁。
3. 陳秀文、顏克安、賴威澂。2000。鳳梨園多用途管理機。高雄區農業專訊第 71 期。
4. 農業委員會農業試驗所。1995。蔬菜移植機性能測定方法及暫行基準(TS44)。網址：<http://www.tari.gov.tw/sub/form/index.asp?Parser=2,30,858,386,404,,,,,5>，下載日期；2017/02/09。
5. 賴耿陽。1995。生物產業科技機具。復漢出版社。臺南。
6. 關昌揚。1997。農業機械學。徐氏基金會。臺北。
7. Srivastava, A. K., C. E. Goering, R. P. Rohrbach, and D. R. Buckmaster. 2006. Engineering Principles of Agricultural Machines. ASABE, USA.

新型驅鳥器的開發與試驗

郭東禎*、林宜緯、張光華

花蓮區農業改良場 農業機械研究室

摘 要

鳥類常啄食剛播種的種子、嫩苗或屆收成的作物種子、果實，造成作物損失率高而收穫不佳。本研究開發新型驅鳥器，以 Arduino 控制馬達水平旋轉及垂直擺動，搭載綠光雷射($\lambda=532\text{ nm}$)，可使雷射光點以星芒軌跡在田中移動，增加驅鳥有效範圍，並以亂數讀秒控制裝置啟動暫停以達到不易學習之目的。驅鳥的原理是鳥類會將光點視為一會動的目標物正在靠近，因感到威脅而離開，以此達到降低作物損害的目的。本研究設計作物損害率及缺株率試驗，除了確校已開發之驅鳥器功能，亦評估驅鳥器可降低作物損害率 18%；減少大豆苗期缺株率 17.4%。

關鍵詞：驅鳥器、雷射、作物損害率、苗期缺株率。

緒 論

鳥類在作物生長初期或穀物收穫期常啄食剛播種的種籽、嫩苗或屆收成的作物種子、果實，造成作物損失率高而收穫不佳，如圖 1。目前有以聲音、圖像、光影或人工威嚇來達到驅鳥之目的，但鳥類通常能快速學習適應固定的方法或者設備，使驅鳥效果不彰，而架設捕鳥網以及放置毒餌並非友善環境及生物的方法，更有觸犯野生動物保育法的疑慮^[1,2]。



圖 1、各種作物遭受鳥害，而影響收穫

以雷射驅趕鳥群是目前最為有效的方法之一^[3]，綠色光點在田中移動，鳥類會將其視為一會動的目標物正在靠近，而感到威脅離開。台灣早在民國 91 年就有以雷射作為驅離手段之驅鳥器^[4]，隨後於民國 100 年利用遠端控制雷射轉動方向，水平及垂直的旋移掃射^[5]，到了民國 102 年則是加入影像追蹤單元，控制轉動單元朝目標擊發雷射^[6]，以及將太陽能板作為供電系統^[7]，而 108 年則是將雷射光點經由矩陣透光片投射為多點光源，並驅動矩陣透光片旋轉使多點光源形成動態網點，以構成大面積動態干擾^[8]，如圖 2。

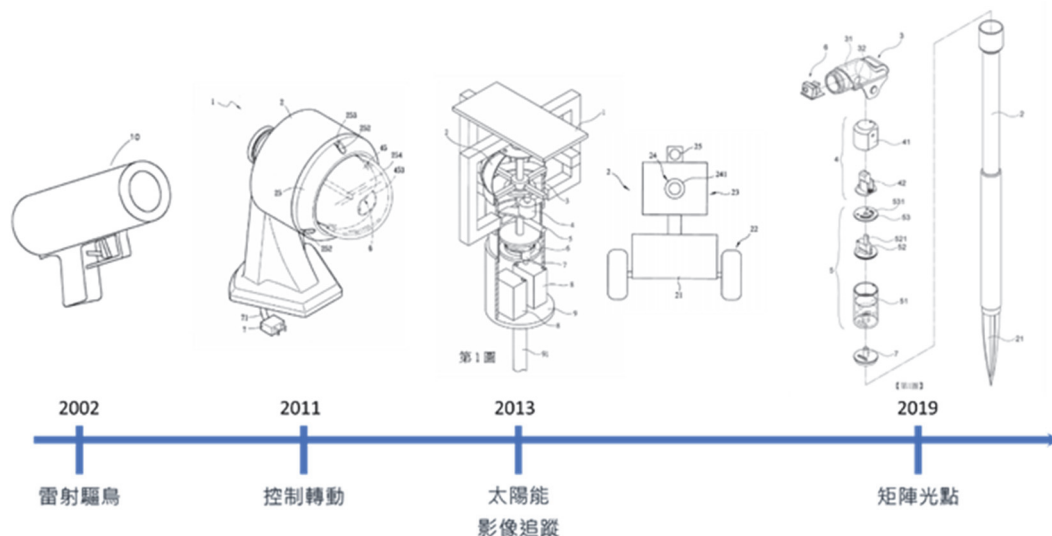


圖 2、雷射驅鳥器專利演進

綜合以上文獻資料，本研究採用增加雷射單元以增加驅離範圍避免矩陣光點法降低光強度；以太陽能作為充電系統提升續航力；需要轉動單元，可由微電腦以程式控制，並亂數讀秒作動休停，以避免鳥群學習；並以定時裝置自動啟動運轉，節省人力支出；不追蹤避免耗電激增。

材料與方法

一、新型驅鳥器架構設計

本研究利用 Arduino 開發版(Atmega328p Nano)，以程式控制步進馬達(水平)轉動，並同時供給繼電器模組訊號，開啟裝載在水平轉動單元之綠光雷射($\lambda = 532 \text{ nm}$)以及微型伺服馬達(垂直)，雷射光點因此可以星芒軌跡繞行，驅逐區域內之鳥類。雷射驅鳥器之架構圖及零組件規格如圖 3 所示。

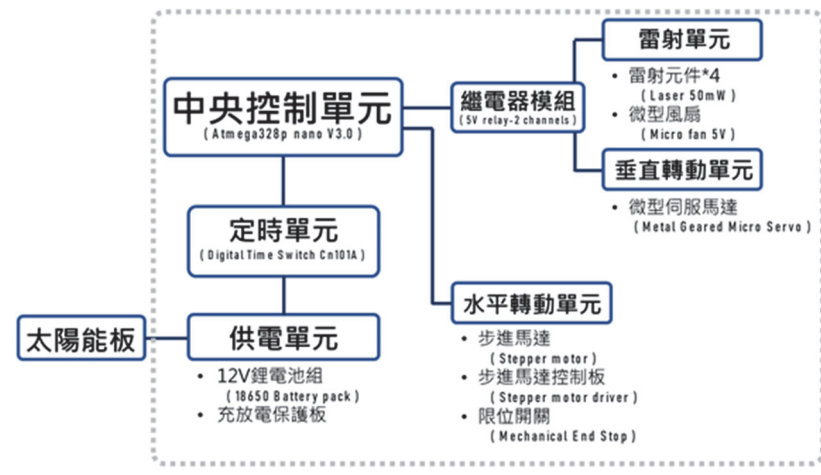


圖 3、雷射驅鳥器架構圖

二、試驗方法

(一) 作物損害率試驗

此試驗主要模擬作物在收穫期時遭受鳥害的情況。將溫室(面積 30m*25m)分成左右兩區，兩邊皆均勻擺放 25 盤小麥種子(單盤 50g)，左區中央架設驅鳥裝置，作為實驗區；右區則為對照組，試驗設置如圖 4。釋放 30 隻斑鳩及 5 隻麻雀入內，一段時間後回收量測盤中小麥重量，並以下列公式計算損害率。

$$\text{作物損害率} = \frac{\text{單盤作物放置量(g)} - \text{作物剩餘平均量(g)}}{\text{單盤作物放置量(g)}} \times 100\%$$

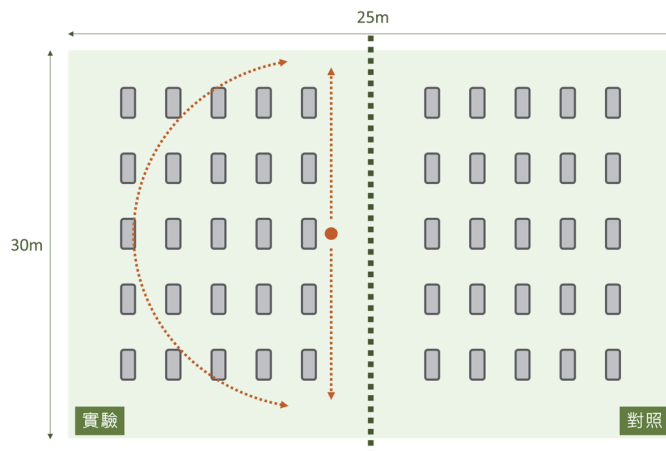


圖 4、作物損害率試驗設置

(二) 作物缺株率試驗

於溫室(面積 30m*11m)內作 3 畦，1 畦種 3 行，行距 35cm，株距 14 公分，於一端架設驅鳥裝置，並透過降低裝置高度，調整掃射範圍，將有無被掃射作為實驗及對照之區分如圖 5，大豆種下後先以防鳥網覆蓋，待大豆發芽再掀開防鳥網，此時驅鳥器亦開始運轉，直到子葉長出 4~7 天後再收集數據。

以驅鳥器為起始，縱軸為方向，將田區分成 A、B、C、D 四區，驅鳥器掃射範圍只包含 A、B 兩區，以縱向 40 株為一單位，計算 40 株內有多少缺株，並分別在四區域中取樣 9 組數據，計算該區間之缺株率，如同前實驗釋放 30 隻斑鳩及 5 隻麻雀入內，一段時間後再觀察缺株狀況，並以下列公式計算缺株率。

$$\text{作物缺株率} = \frac{\text{單位面積發芽植株數} - \text{單位面積鳥害植株數}}{\text{單位面積發芽植株數}} \times 100\%$$

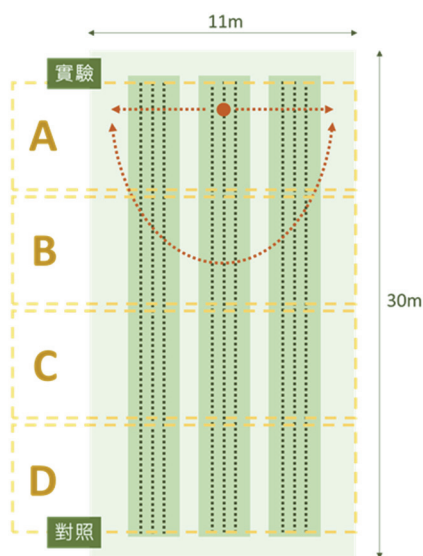


圖 5、作物缺株率試驗設置

結果與討論

一、驅鳥器之設計與開發

裝置節節分層，每層結構皆能分開以利維修除錯，由上而下分別為一裝載雷射元件之伺服馬達用以垂直擺動、作為水平轉動單元的步進馬達、定時裝置以及主要控制電路版，最下方則是電池及太陽能充電系統，結構分配如圖 6。

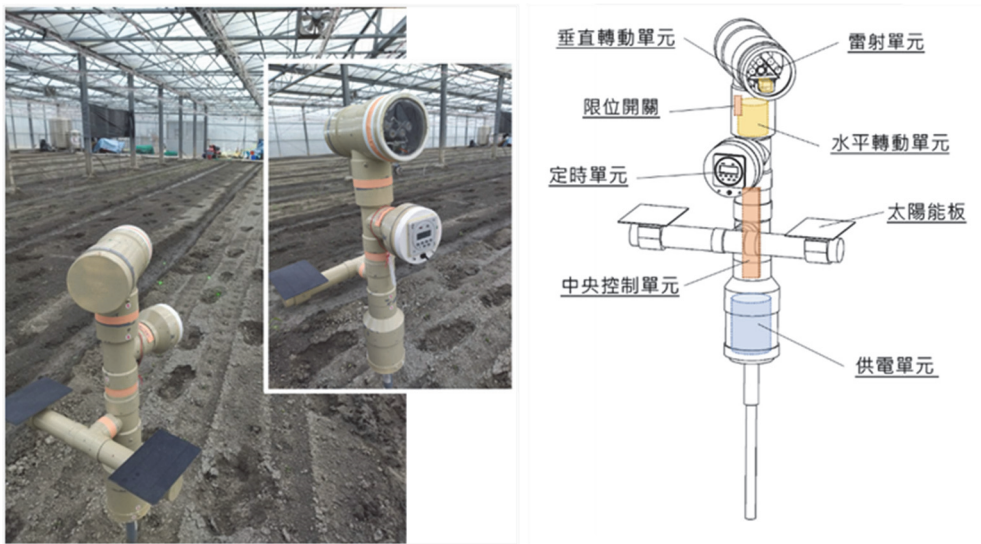


圖 6、雷射驅鳥器立體構造圖

此驅鳥器之運作邏輯如圖 7，以計時器控制裝置通電與否，通電後微處理器啟動程式，此時有二單元被喚醒，一為水平轉動單元，開始進行正轉。二為收到訊號而啟動之繼電器模組使雷射單元及伺服馬達被啟動，垂直轉動單元隨步進馬達前進而作動，一步則執行一次上下周而復始。程式作動直到水平轉動單元走至按壓限位器而停止，進入休息，此時微處理器將倒數亂數 45~60 秒，隨後重新啟動程式，此時所有單元再度啟動，直到水平轉動單元執行完反轉 360 步(1 步 1 度)後程式再度暫停，處理器亂數讀秒 300~360 秒。

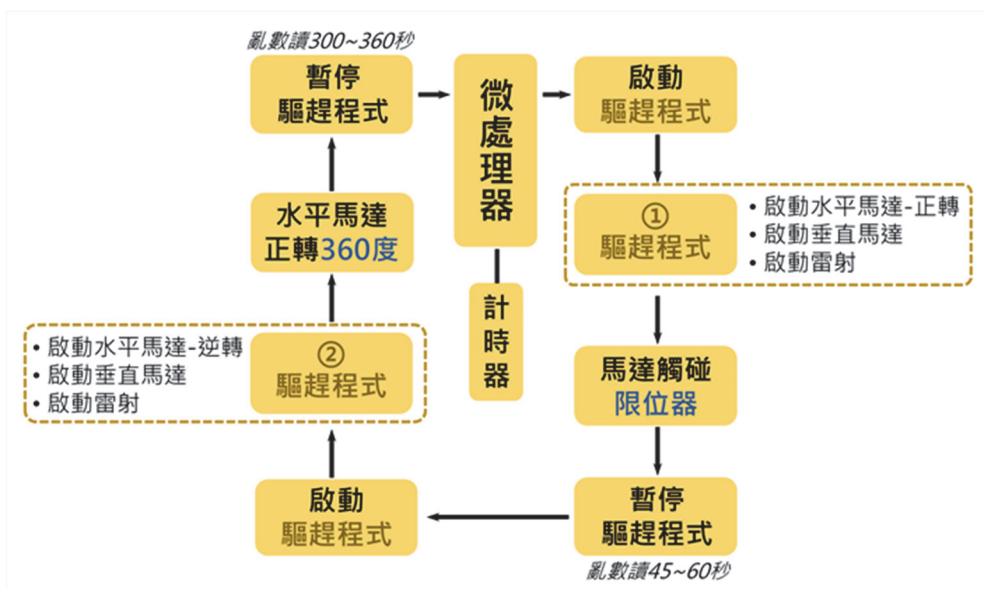


圖 7、運轉邏輯方塊圖

二、驅鳥裝置確效試驗

(一) 作物損害率試驗

試驗將等量小麥裝盤均勻放置在溫室田區各處，並架設驅鳥器，最後量測小麥減少重量，判斷驅鳥器是否能嚇阻鳥類。I 次試驗結果，如表 1。實驗與對照平均損害率相差 17.2%，為確保損害率落差原因是來自驅鳥裝置，也另外進行對照試驗，將裝置移除，一樣放置小麥，觀察兩邊是否有落差。在對照中兩側田區平均損害率幾乎一致。

表 1、作物損害率試驗

| | 平均剩餘重量 | | 平均損害率 | | 損害率差值 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 實驗組 | 對照組 | 實驗組 | 對照組 | 實驗-對照 |
| I 次試驗 | 41.94g | 33.34g | 16.11% | 33.31% | 17.20% |
| II 次試驗 | 27.26g | 21.57g | 9.13% | 28.10% | 18.96% |

為了能看出損害分布情況，我們以單盤剩餘重量和其放置位置作等高線圖，如圖 8。I 次試驗中對照組的損害率比實驗組高。且田區位置越是遠離中間(有柱子、器材放置等處，威脅度高之區域)的四周角落，小麥損害量越大。另外 I 次試驗中實驗組的損害趨勢和雷射掃射的範圍重合。

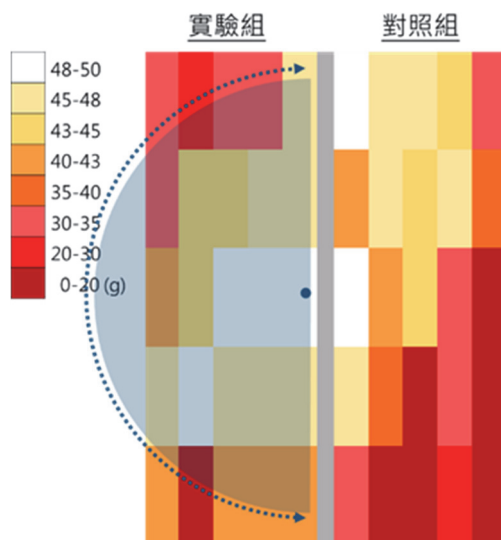


圖 8、實驗組(左側)較對照組(右側)損害率低，且實驗組損害分布和雷射掃射範圍重合

II 次試驗中放置總盤數增加，使放置密度增加。由表 1 可知，II 次試驗中實驗組和對照組的總損害率相差 18.96%，兩次試驗可以判斷雷射驅鳥裝置確實對於斑鳩、麻雀具有威嚇效果，在溫室可有效降低損害率約達 15~20%。以 SigmaPlot 分析作圖，如圖 9。對於試驗區以及對照區之間損害程度的差異明顯。

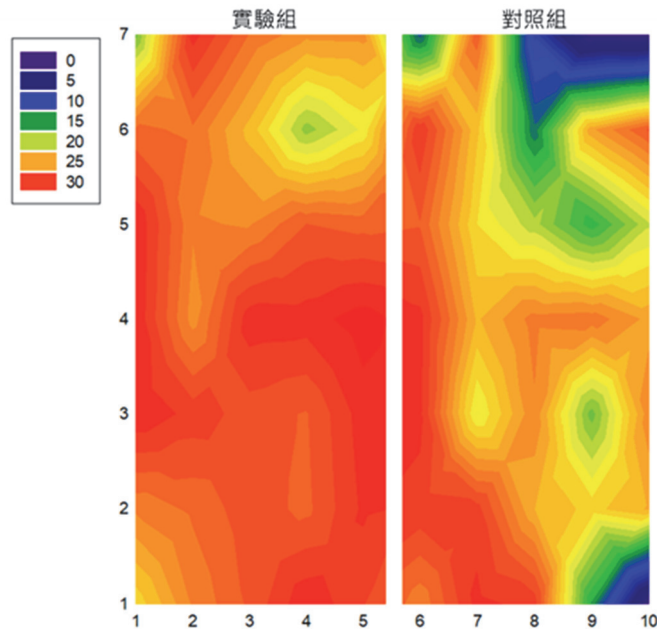


圖 9、II 次試驗等高線圖，實驗組與對照組損害情況差異明顯

(二) 作物缺株率試驗

取樣時的植株狀況可分為三類，發芽無損傷、發芽遭鳥害以及未發芽。分別算出該狀況在不同區域內，占取樣總數之占比，同時計算標準差，結果如圖 10。若單看植株受害占比，C 區明顯較其他區域高出許多，整體損害從 A 區往 D 區逐漸遞增。且由圖可知不同區域間未發芽占比相近且標準差僅 1.5%，可知此因素在區域間均勻發生，與試驗處理與否無關，因此未將其納入缺株率計算公式中。

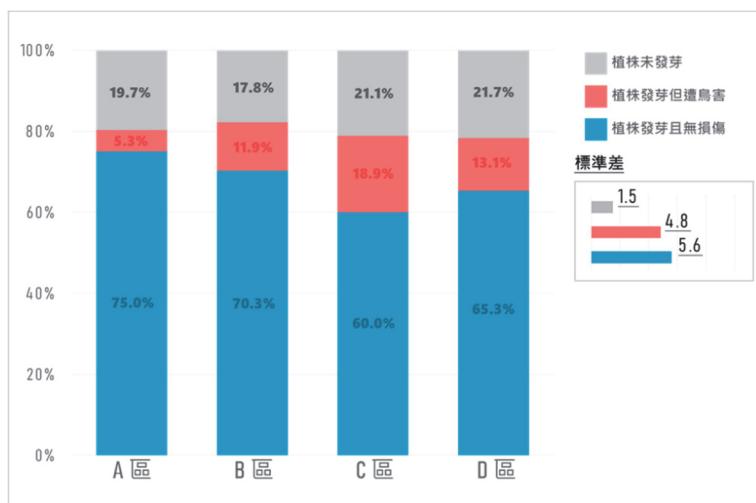


圖 10、作物缺株率試驗

將四個區域數據使用 LSD 檢定並以區域平均缺株率作圖，如圖 11。A、B 區實驗組為驅鳥器掃射範圍，檢定顯示就試驗處理無顯著差異，C、D 區則是對照組。其中 D 區缺株明顯下降，猜測是因靠近溫室門口，場內因工作進出而對鳥類造成威脅進而損害較小。因此以 C 區作為對照比較。A、B 區相較 C 區缺株率明顯較低，驅鳥器掃射與否確實會對缺株造成影響，比較峰值，A 區可降低缺株率達 17.4%。至於 B 區數值上升，猜測是因距離使驅鳥器雷射光點密度下降而造成威嚇度下降。

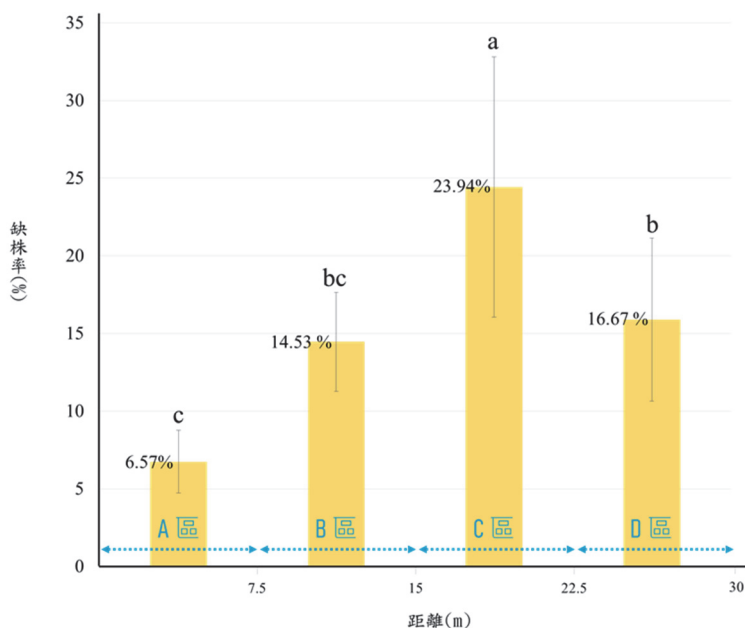


圖 11、各區間缺株率趨勢曲線圖

結 論

本研究以 Arduino、步進馬達、伺服馬達、雷射開發一新型驅鳥器，以雷射光點作為驅離鳥類的手段，水平垂直移動部件，使雷射以星芒狀掃射田區達到驅離鳥類之目的。並成功經試驗確效。以斑鳩為對象，小麥為作物之損害率試驗中，由色塊圖能明顯看出實驗和對照間損害之差別，驅鳥器成功降低損害率 18%；以大豆為作物的缺株率試驗中，則是成功降低缺株情況 17.4%，並知道整體缺株趨勢和驅鳥器距離正相關。未來還須完善驅離率試驗、時效性試驗，並經田間測試完成，希望未來的一天此驅鳥器能解決農民的問題。

誌 謝

本研究由農委會經費支持(計畫名稱：新型驅鳥器研究與開發(110 農科-4.5.1-花-V2))，感謝所有執行期間提供意見以及在試驗工作上的協助的夥伴，使本研究得以順利完成，謹此申謝。

參考文獻

1. 曾祥恩、林學詩。2014。太陽能人型驅鳥器之研製。行政院農委會臺東區農業改良場研究彙報 24:47-68。
2. 曾祥恩、林學詩。2013。太陽能人型驅鳥器應用於防制農作物鳥害之研究 27-35。
3. Rebecca Brown. 2017. Laser Scarecrows: Gimmick or Solution? University of Rhode Island Vegetable Production Research Reports.
4. 葉橫耀。2002。具多波長閃爍雷射光與雷射光網之驅鳥器。中華民國發明專利第 9120184 號。
5. 陳俊仁。2011。驅趕裝置。中華民國發明專利第 100148839 號。
6. 江炳輝、林偉誠。2013。中華民國發明專利第 M465011 號。
7. 陳進益、蕭宇翔、黃文毅、張佑任。2013。電子稻草人。中華民國發明專利第 M466501 號。
8. 朱玉麟、吳佩萱、廖勻薇、陳政彥。2019。中華民國發明專利第 I665964 號。

米蛾繁殖收集機械開發與試驗

張光華^{*1}、林立¹、謝佳宏²、莊玉祥³

¹花蓮區農業改良場 ²文化大學 ³台糖公司花蓮糖廠

*Email: kuanghua@hdares.gov.tw

摘要

外米綴蛾卵粒常用於赤眼卵寄生蜂之代用寄主以及作為草蛉食餌，是生物天敵防治的重要原料，如今產量逐年驟減，已成為寄生蜂片量產缺口的主要原因。本研究研發米蛾繁殖收集機械，以求效能提升、降低管理風險、節約人力並減輕工作人員不適感，目標為大量生產提高普及率以滿足市場需求。研究已開發機械配合傳統繁殖技術進行量產試驗，於平均每日345隻的羽化米蛾數量中，機械集蛾率為 $47.1\% \pm 11.2\%$ ，驗證機械取代人力繁殖與收集米蛾之可行性。研究同時調查米蛾卵孵化率及其成蛾產卵率，作為日後導入產業應用之效益評估參考。

關鍵詞：生物防治(biological control)、寄生性天敵(parasitoid)、外米綴蛾(rice moth)量產(mass production)

緒論

近年推行農藥減量政策，非化學防治受到重視，其中生物防治中包括捕食性天敵、寄生性天敵、微生物與性費洛蒙等方法。外米綴蛾(*Corcyra cephalonica*)是生物防治產業重要的昆蟲，其卵粒可應用作為赤眼卵寄生蜂(*Trichogramma egg wasps*)量產所需的代用寄主，以及草蛉(*Green lacewings*)量產所需的食餌，進而寄生於甘蔗螟、玉米螟，以及補食粉蝨、介殼蟲、蚜蟲及葉蟬等害蟲，達到生物防治的目的^[1]。然而由於產業需求常年萎縮、繁殖技術未有效傳承、生產勞動力不足等因素，國內外米綴蛾產量已逐年驟減，成為寄生蜂片量產缺口的主要原因。

傳統米蛾繁殖法是在密閉房舍內，使用木製盤床鋪滿米粒撒上米蛾卵飼養，待蛾卵孵化成長，最後化蛹後羽化。在米蛾羽化盛期以人力在房舍內收集成蛾，置入集蛾筒使其交尾產卵，再逐日收集其卵並風選除雜、過篩純化^[2]，至此可作為寄生蜂片生產原料，或是做為草蛉食餌直接販售。由於鱗翅目的米蛾在密閉空間內散落大量鱗粉，工作人員必須全身包覆後再進入繁殖室作業，以防止因鱗粉造成皮膚搔癢或呼吸道不適。困難的工作環境再加上收集成蛾作業多在清晨，使得人員訓練及任用不易。

為降低人力需求，曾有研究以飼育盆側邊黏貼 PE 袋方式組合串接收集羽化成蛾^[3]。農糧署也於 90 年曾委託中興大學執行「生物防治天敵生產自動化之技術改進(90 農科-5.1.1-糧-Z1(12))」計畫，研發有外米綴蛾成蛾收集機。原理是利用米蛾喜好粗糙表面的特性，以輸送帶收集並分離米蛾，相較人工收集可提高平均產卵量^[4]。另有研究設計模組化盤床垂直堆疊，外部包覆塑膠袋，最下層以四方漏斗狀收口，用瓶罐集中滑落的米蛾，可免去收集米蛾勞力，降低整體人力需求 75%，並且避免集體飼養的感染風險^[5]。既有研究的機械原理皆是被動等待米蛾從盤床移動至外部，再以垂直輸送帶或是平滑塑膠袋帶至收集處收集。然而經過實際飼養觀察，米蛾在初羽化時翅膀濕潤且活動力弱，待其主動離開盤床被有效收集的比率，以及其確認其產卵有效性，是值得精進提升之處。

材料與方法

一、機械設計概念

本研究設計開發米蛾繁殖收集機，參考傳統盤床飼養模式設計層架，承盤尺寸為 $49 \times 88 \times 2.5$ cm (機械尺寸為 $80 \times 100 \times 180$ cm)，每台機械可飼養米蛾約 30 餘萬隻。為了主動收集羽化成蛾提升收集效能，本機以直流馬達帶動附掛毛刷的輸送鍊條，於繁殖槽內主動掃拂，將成蛾帶出承盤後收集。機械主要結構包括層架飼養盤、直流馬達、調速器、齒輪、輸送帶、收集槽、防逃結構、通風網等。機械設計圖如圖 1 所示。米蛾繁殖期間須通風或保暖，因此機械兩側設計通風網(為避免米蛾受天敵小繭蜂危害，網目規格必須大於 32)。

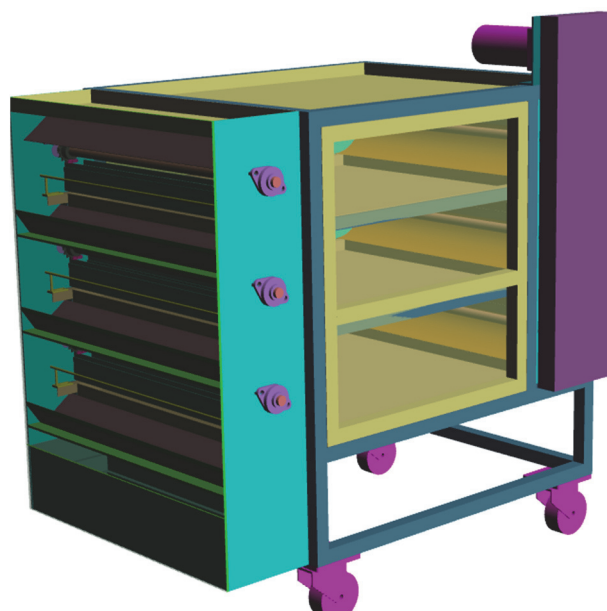


圖 1、外米綴蛾繁殖收集機設計圖

二、雛型機量產試驗及調查

(一) 量產試驗條件

雛型機經開發後與台糖公司花蓮光復糖廠合作進行量產試驗，以既有的米蛾繁殖技術配合本研究成果測試導入機械生產之可行性。試驗採用台糖繁殖留種外米綴蛾，於飼養槽中置入糙米並均勻撒布外米綴蛾卵，每 8.5 kg 糙米撒布 3 mL 米蛾卵。備妥後於室溫中飼養，無環境(溫、濕度、光照等)調控。持續觀察直至成蛾羽化後，啟動定時器開始間歇收集，每日記錄成蛾數量計算集蛾率，並持續改善機械結構。

(二) 調查項目

為評估機械性能，針對以下指標項目定義量化公式。

1. 機械集蛾率：每日調查集蛾槽與機械內部殘存之成蛾數量。

$$\text{集蛾率(\%)} = \frac{\text{集蛾槽中蛾數量}}{\text{集蛾槽中蛾數量} + \text{殘存蛾數量}} \times 100\%$$

(1)

2. 成蛾產卵率：為了解成蛾數量與卵粒的關係，隨機蒐集大量初羽化成蛾集中交尾，每日搖瓶取卵、純化並計量，連續調查至無產卵後，統計總卵量和蛾數量。進行 2 次重複試驗。
3. 孵化率：由於量產試驗中發現米蛾羽化量不如預期，因此調查米蛾卵孵化率以利釐清可能原因。於飼養前抽樣部分蟲卵，獨立至於 96-well 塑膠微量多孔盤中孵育，以避免幼蟲互食的干擾。孵育數天後計算蟲卵孵化率。

結果與討論

一、米蛾繁殖收集機應用優勢

本研究已研製具有飼養外米綴蛾及蒐集功能的雛型機，如圖 2。機械相較於傳統方法具有以下優勢。首先是採用可模組化量產的多層架飼養，空間利用效率提高有利於產業化應用；再者是改以輸送結構主動掃拂取代被動收集，可提高集蛾效率；機械封閉式批次繁殖可使天敵小繭蜂的危害風險得到控制，大幅降低損失；最後是機械集蛾可節省人力並且大幅減輕人員集蛾的不適感。為利成果商品化及保護智財，機械設計已同時提出新型及發明專利申請，並已取得新型專利(新型第 M610411 號)。



圖 2、米蛾繁殖收集機

二、米蛾繁殖收集機量產試驗調查

由統計數據可知，量產試驗平均米蛾羽化數量為每日 345 隻，總羽化米蛾共 5283 隻。每日羽化量差異大，由 66 隻至 579 隻不等。機械集蛾率於 3 至 7 成之間變化，平均集蛾率為 $47.1\% \pm 11.2\%$ (圖 3)，集蛾率與蛾羽化數量之間並無明顯關係。經由縮時攝影觀察，米蛾初羽化時活動力低，約在羽化後 10 至 20 分鐘才開始移動，且喜好以行走取代飛行。成蛾習慣停留於粗糙的垂直面，偶有原地振翅的行為，猜測為散佈費洛蒙吸引異性交尾。

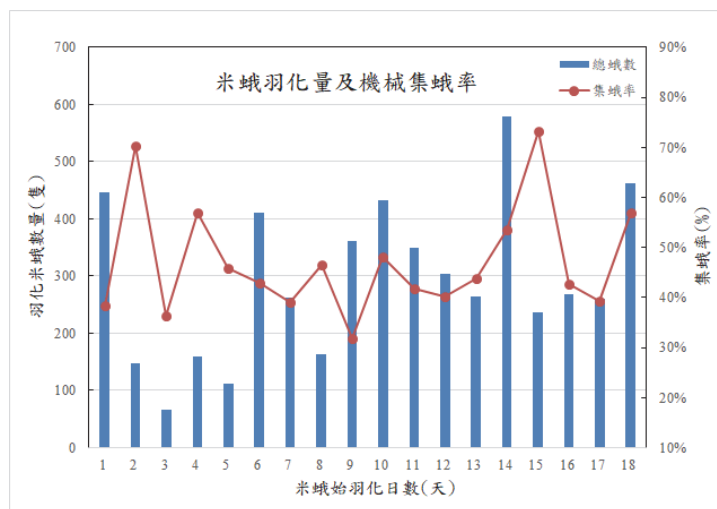


圖 3、米蛾羽化量及機械集蛾率

試驗過程觀察發現，未被成功收集的米蛾多停留在毛刷無法掃拂的死角空間(如圖 4)，為了解殘存米蛾分布情形，連續 4 日調查殘存於機械各繁殖槽的米蛾數量，統計如表 1。結果最上層和第 2 層繁殖槽的殘存約各佔羽化數量的 1 成，最下層殘存占比將近 2 成，其逾未被收集的米蛾占比不到 1 成。推測是米蛾容易因掃拂落下的過程受到驚擾而紛飛，因此提高再次收集的困難度，結果導致越下層所殘存未被收集的米蛾比例越多，因此在採用本原理進行立體化設計時應考慮為提高產能而造成的效率降低，此同時也是未來提升機械集蛾率的重要工作。



圖 4、米蛾停留在無法掃拂的死角空間

表 1、機械未集蛾分布統計

| 天數 | 1 槽殘存 | 2 槽殘存 | 3 槽殘存 | 其餘殘存 | 集蛾數量 | 羽化米蛾數量 | 集蛾率(%) |
|----|-------|-------|-------|------|------|--------|--------|
| 1 | 32 | 45 | 69 | 23 | 380 | 549 | 69.2% |
| 2 | 56 | 61 | 132 | 49 | 326 | 624 | 52.2% |
| 3 | 67 | 58 | 119 | 50 | 190 | 484 | 39.3% |
| 4 | 72 | 84 | 150 | 74 | 450 | 830 | 54.2% |
| 平均 | 57 | 62 | 118 | 49 | 337 | 622 | 53.7% |
| 佔比 | 9.1% | 10.0% | 18.9% | 7.9% | | | |

依據文獻指出每 mL 米蛾卵約為 16,000-20,000 粒^[5]，推估此次試驗投入卵粒數約為 30 餘萬粒，計算總羽化率低於 2%，可能的原因包括卵粒孵化率低、米蛾幼蟲互食習性造成夭折、飼養環境因素造成疾病或緊迫、小繭蜂等天敵入侵危害族群等。經調查孵化率約為 73.6% (表 2)，非羽化率過低的主因，惟其餘因素尚待進一步試驗釐清。

表 2、米蛾卵孵化率

| 抽樣 | 孵化數 | 孵化率 |
|-----|-----|-------|
| 1 | 68 | 70.8% |
| 2 | 77 | 80.2% |
| 3 | 67 | 69.8% |
| 平均 | 71 | 73.6% |
| 標準差 | 6 | 5.7% |

在成蛾產卵率試驗調查結果(表 3)中得知，米蛾集中交尾後可連續產卵 4 天，於第一天產出總卵量一半以上的卵，爾後逐日驟減，可知米蛾收集工作應連續進行，且收集頻度至少每日一次，以減少成蛾於繁殖槽內產卵的卵粒損失；在兩次重複試驗中計算出平均每產出 1 mL 米蛾卵需要收集 249 隻米蛾。

表 3、蛾數量與產卵量統計表

| 交尾後日數(日) | A 組集卵量(mL) | B 組集卵量(mL) |
|----------|-------------|-------------|
| 1 | 3.5 (52.2%) | 1.2 (66.7%) |
| 2 | 2 (29.9%) | 0.5 (27.8%) |
| 3 | 1 (14.9%) | 0.1 (5.6%) |
| 4 | 0.2 (3.0%) | 0 (0.0%) |
| 總卵量 | 6.7 | 1.8 |
| 蛾數量 | 1616 | 501 |
| 蛾卵關係 | 平均 249 隻/mL | |

結 論

本研究為支持生物天敵防治技術，開發外米綴蛾繁殖收集機械，以半自動化機械取代人力收集工作，並採用多層架設計以符合量產期待。機械設計以馬達帶動齒輪及鍊條，於模組化繁殖槽內主動掃拂，將成蛾帶出後收集。在逐日調查機械集蛾率的量產試驗中，米蛾平均每日羽化 345 隻，總羽化量 5283 隻，卵孵化率為 73.6%±5.7%，機械集蛾率平均為 47.1%±11.2%，試驗同時量化未成功被機械收集之米蛾分布情形。經蛾卵產率試驗調查得知平均每毫升米蛾卵需收集 249 隻羽化米蛾。本研究已驗證機械取代人力繁殖與收集之可行性，期待技術改良後導入產業應用。

誌 謝

本研究由農委會經費支持(計畫名稱：(108 農科-13.2.11-花-V1))，執行期間承蒙潘光啟、邱博嫻、蔡軫羽等研究夥伴共同討論及提供意見，感謝林瑋祥先生、簡宏諭先生、宋美蓉小姐在試驗工作上的協助，本研究得以順利完成，謹此申謝。

參考文獻

1. 吳春美。2000。天敵代用食物~外米綴蛾卵。苗栗區農業專訊第十期。
2. 吳炎融。2011。外米綴蛾人工量產技術及應用。苗栗區農業專訊 56。
3. 吳子淦。1993。外米綴蛾飼育及成蛾收集方法之改進。中華昆蟲 13: 9-15。
4. 盛中德。2005。外米綴蛾成蛾收集機。中華民國專利發明第 I270346 字號。
5. Manjunath, T. M. 2014. A semi-automatic device for mass production of the rice moth, *Corcyra cephalonica* (Stainton) (Lep., Pyralidae), and evaluation of several biological and economic parameters to develop a package of practice for its commercial production. *Journal of Biological Control* 28: 93-108.

結球類蔬菜機械採收技術之研發

楊清富

臺南區農業改良場作物環境課

摘 要

結球類蔬菜耐儲存、口味鮮甜是國人餐桌上不可或缺的食材，全臺高苣年生產面積約 3,080±93 公頃、年收穫量約 54,358±1,597 公噸^[4]。但結球高苣一向仰賴人工採收，平均每公頃之結球高苣所需之採收人力約 30 人-日，所需人工成本約佔生產成本之 1-2 成。甘藍年栽培面積達 8,356 公頃以上，甘藍收穫每公頃人工費 84,367~105,648 元，其中收穫費用佔生產成本之 15.8~24.5%^[2]。人工採收不但生產成本居高不下，面對產區人力老化、缺工已嚴重影響產業發展。本計畫研製適合本地栽培之結球類蔬菜採收機，以提高採收效率、降低生產成本。已開發之採收機作業方式為單畦(2 行)採收，採收後的植株由輸送機向後上方輸送至處理作業平台，再利用人工處理後進行精揀裝箱(籃)。主要作業機組包括採收機組、平台作業機組及底盤，經測試採收速率約每小時 0.1 公頃。

關鍵詞：結球高苣、甘藍、採收機。

緒 論

結球類蔬菜在收穫方面，早期雖然有曳引機承載式收穫機的發展，但並未達到商品化階段。國內曾有台灣大學與桃園場合作發展曳引機附掛式甘藍收穫機，唯並未實用化。本場於 85 年度在農委會與農林廳經費補助與輔導下，從日本引進履帶式甘藍收穫機。由於其售價過高與機械作業能力不成正比，造成收穫費用大增致無法推廣應用^[1,3]。雲林縣麥寮果菜生產合作社 107 年自義大利引進「結球葉菜自走式採收機」，該機台由八名人員同時操作、分級及包裝。一天內採收一公頃高苣，人力需求僅為原本人工採收的四分之一。可避免人員長期彎腰採收所致職業傷害風險，也達到收穫不落塵，減少受污機會。但由於售價偏高，且作業性能未符合預期致未能廣泛使用^[5]。故目前結球類蔬菜主要還是仰賴人工採收，不但生產成本逐年墊高，日益短缺的農村勞力對採收作業的衝擊不斷加劇。且人工採收效率低直接影響栽培規模。因此唯有透過機械化採收才能真正解決產業所面臨的問題。為加速國內蔬菜收穫機械化的發展，本計畫針對結球類蔬菜(結球高苣、甘藍)進行機械採收技術之研發，使農友於短時間內有蔬菜收穫機可利用。

材料與方法

國內結球類蔬菜目前主要靠人工採收，採收時利用割刀割斷根莖處並剝除老葉後裝籃，再以貨車集運至加工廠進行包裝、儲運。由於完全仰賴人工，因此收穫量能受到採收人數、田區狀況所影響，加上僱工成本不斷上漲，機械化採收的訴求逐漸浮上檯面。本研究考慮本地栽培習慣及作業主要需求，研製結球類蔬菜採收作業機，將採收作業分為機械採收及人工精揀處理兩個部分。因此在採收機的規劃上以履帶式底盤承載採收機組及處理平台。採收作業時利用採收機組自畦間將菜球採收後，以揚升輸送機將菜球向上向後輸送至處理作業平台，再由分站平台兩側之作業人員進行精揀及裝籃，作業流程如圖 1 所示。為達成上述作業規劃結球高苣採收作業平台包括：採收機組、揚升輸送機組、處理作業平台、底盤。

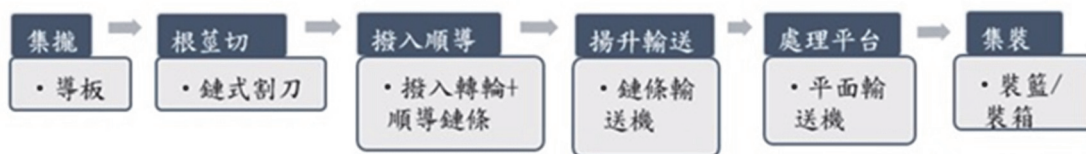


圖 1、採收作業流程

一、採收機組

甘藍、結球高苣在本地一般以一畦兩行方式種植，每 0.1 公頃約種植甘藍 3,000~4,000 株，結球高苣 5,000~7,000 株。種植密度高植株相連排列，因此以一次一畦規劃採收方式。採收部(圖 2)主要用於將高苣自根莖處切割進行採收，並於採收後導向揚升輸送機。機組前側配置導引板用以進行收攏及扶正植株，並將植株導向切刀進行切割。機組上方配置撥入轉輪，將切割後之菜球撥向輸送機。機組側面配置順導鏈條，協助將菜球向後推送。切割方式採用連續式切割刀片進行鋸切，切割刀片由油壓馬達驅動，以 120 cm/s 之切速對根莖部快速鋸切。採收部採上下浮動設計，採收機組可沿畦面高度自動調整切割位置。

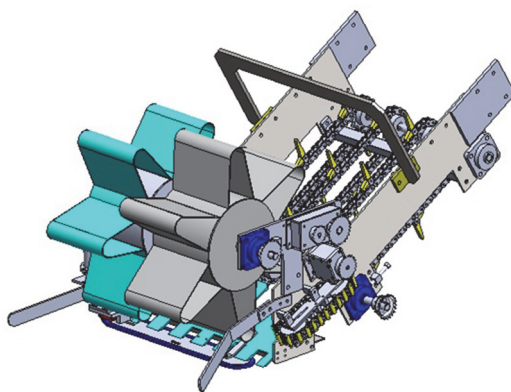


圖 2、採收機組

二、揚升輸送機組

結球類蔬菜種植密度高，採收後必須有配合高效率的輸送，才能使動線不致發生堵塞。輸送機組採兩段式設計，如圖 3，分別為傾斜角度 30°之第一段輸送組及傾斜角度 60°之第二段輸送組。透過輸送機組能將採收後之菜球揚升約 2 m，使之落於處理平台上供作業人員精揀、裝籃。輸送鏈條上配置扶料爪，防止輸送過程中阻塞及翻滾。輸送鏈條間採鏤空設計，在輸送過程中能自動將殘葉排出。

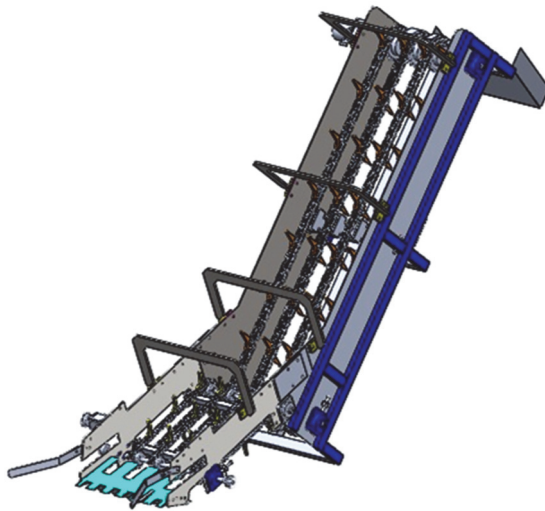


圖 3、輸送機組

三、處理作業平台

主要組成爲平面皮帶輸送機，由油壓馬達進行驅動。作業時平台兩側配置作業人員，利用人工在作業平台上直接挑揀合格品棄置不良品，能簡化後續處理作業。作業人員無需彎腰作業因此能大幅改善作業辛勞度。

四、底盤

考慮田區畦作特性及為縮短開發時程，以現有履帶搬運車底盤做為載具，增加機台牽引力及避免陷入。該底盤履帶額定馬力 23 hp；履帶寬度 180 mm；軸距 1250 mm；載台高度 580 mm。經實際田間測試確實具有低沉陷性及行駛驅動力，因此在越畦及頭地轉彎均有優異的性能。

結果與討論

結球蔬菜採收機包括：採收機組、揚升輸送機組、處理作業平台、底盤。作業時履帶行走於畦面上，每次採收一畦 2 行，如圖 4、5。由於採收部偏在機台左側，因此採收時需以逆時針方向繞行採收。萵苣機械採收後輸送至處理平台，人工在作業平台上直接精揀合格品棄置不良品及外包葉，可改善後續分及包裝效率。未來可在作業平台上增設遮陽裝置及座椅能大幅改善作業辛勞度。



圖 4、結球萵苣採收作業



圖 5、甘藍採收作業

結 論

目前結球類蔬菜採收均靠人工為之，農業人力老化使缺工的問題更為嚴峻，人工成本不斷墊高對產業發展造成障礙。利用機械採收具有更高的效率可大幅降低人力的需求，進而降低生產成本。採取一畦兩行之採收設計符合國內栽培習慣，且機械採收具有不落地採收的特性，可改善衛生條件及維護品質形象，相較於人工採收更具進步性。本採收機經由田間試驗及設計改善，仍有部份問題尚待改善，但透過實際的採收測試及逐次改善，已具備機械採收之功能。試驗結果顯示，目前採收速率約每小時 0.1 公頃。

誌 謝

本文感謝行政院農業委員會「結球萵苣採收作業平臺之研製」計畫經費支持，其編號為 107 農科-7.4.3-南-N2。計畫執行期間承蒙鄭明賢、梁紹發、王志榮、周奕廷先生協助試驗，一併致上衷心謝忱！

參考文獻

1. 施清田、鄭榮瑞、鍾瑞永、樂家敏。2000。二行式甘藍收穫機之研製。台南區農業改良場研究彙報 37:71-75。
2. 鄭榮瑞、施清田、鍾瑞永。1998。甘藍機械收穫技術。臺南區農業專訊第 24 期。
3. 鄭榮瑞、施清田、盧子淵。1997。甘藍收穫機引進試用。農機研究發展與示範推廣報告(下冊): 13~17。南投: 台灣省政府農林廳台北: 中華農機學會。
4. 謝明憲、蔡淳瑩、李美慧。2015。臺灣外銷結球萵苣產業競爭優勢。臺南區農業專訊第 92 期。
5. 謝明憲、林經緯、郭明池、沉葆雄、郭淑芬、黃裕峰。2018。智慧管理與省工機械在結球萵苣生產效率之應用。台南區農業專訊第 106 期。

文心蘭省工搬運與摺箱機具之研發應用

張金元、田雲生

行政院農業委員會臺中區農業改良場 助理研究員、副研究員

摘 要

文心蘭為重要外銷切花，為建構安全的場域及省工作業模式，因應缺工、高齡化及減少勞動作業傷害的發生，本場協助花農進行切花栽培與採收後機械化輔助作業。本研究研發文心蘭栽培省工搬運與摺箱機具，摺箱機可由傳統 8 個人工步驟簡化為 5 個全面機械化步驟，減去手動摺箱的動作 8 成，降低 6 成肌力應用，以及應用軌道式省工搬運裝置，每單趟可節省時間及勞動力支出 1 成。

關鍵詞：文心蘭、省工機具、摺箱機、軌道搬運車

緒 論

文心蘭是臺灣重要的外銷切花之一，市占高居全球第一，出口外銷日本，占當地市場的 9 成⁽³⁾。依據臺灣區花卉輸出業同業公會調查資料顯示，2019 年 1 月至 12 月臺灣出口到日本的文心蘭為 2,211 萬枝，而近 6 年由 2014 年至 2019 年臺灣文心蘭輸日的歷年平均數量為 2,398 萬枝，惟每年的數量則由 2,746 萬枝遞減至最低 2,210 萬枝⁽¹⁾。為建構穩定的品質、產量與作業模式，在面臨農業勞力人口不足的現況，研發及應用相關省工裝置，以提升文心蘭產業作業效率，進而降低生產成本等營運因素。本研究以搬運與裝箱作業兩大作業主軸，分別研發與導入電動自走式軌道搬運車與外銷用紙箱摺箱機予產業應用。

文心蘭鮮切花主要產區在臺中，即使擁有全球第一的市占表現，臺灣文心蘭產業仍得提前部署採取省工化、智能化生產作業，以強化穩定的品質與產量，打造永續的競爭力。其中，花卉園的工作量大，切花採收後需把握時間進行選別、搬運、分級、預措、除葉、整理、捆把、紙包與裝箱等一連貫複雜的處理作業，為能在有限時間內如期運輸交貨，部分工作項目會利用閒暇時間預先備妥，如摺箱工作，人員須先摺立紙箱備用，為克服傳統人工摺立紙箱費時、耗工的問題，本研究研發一種可摺立平版型紙箱的機械結構；又者，文心蘭盆苗、鮮切花、老株等搬運作業，是花卉園中勞力負擔大的工作項目，為減輕人員搬運及行走勞力負擔，利用電動軌道車協助物品搬運工作，建構安全的場域及作業模式，並減少勞動作業傷害。

材料與方法

研發文心蘭設施栽培管理所需之省工機具，包括：(一)摺箱機：一片式瓦楞紙版摺箱機具，協助農友進行摺箱工作。(二)軌道式搬運系統：行走於非水泥路面之軌道式電動主機與附掛拖車。省工機具開發說明如下：

一、文心蘭平版型紙箱之摺箱機設計開發與應用

文心蘭切花包裝所使用的紙箱為一片紙版，全展開時尺寸為長 1,460 mm、寬 727 mm、厚 3 mm，如圖 1，摺立為長方形立體紙箱時為長 1,092 mm、寬 246 mm、高 86 mm，如圖 2。設計一摺箱機械，協助由一張紙版凹摺成型為立體箱盒。



圖 1、外銷用一片式瓦楞紙版



圖 2、摺成型為立體箱盒

二、文心蘭園軌道式省工搬運裝置設計開發與應用

文心蘭園利用溫室或簡易黑網室與床架作為切花生產之栽培場域，栽培園區分為碎石或水泥地面，如圖 3，並使用碎石或水苔樹皮等作為盆苗栽培介質，配合自動灑水系統進行全園栽培作業。設計一軌道式電動主機與附掛拖車，協助碎石栽培場域省工搬運用。



圖 3、簡易黑網文心蘭園碎石路面栽培場域

結果與討論

一、研發文心蘭切花用平版型紙箱之摺箱機

因紙箱是長方箱體結構，傳統人工摺箱作業需採取站立姿態，才有充足的工作活動距離，且在紙箱的長向兩側進行單邊摺立作業，使得人員需要不時橫向移動改變重心進行凹摺動作，同時需要運用到手部、肩部、腳部及腰部等多處肢體部位，屬為全身性、技術性的勞動工作；同時，需以雙手在不同方向摺箱，需訓練熟悉後才能加快摺箱速度；摺箱工作多在園區工作之餘進行摺箱囤放，導致人員工時延長，不利的作業環境，容易導致勞動傷害的發生。

研發可摺立平版型紙箱的摺箱機，首先分析人工摺箱的動作流程，找尋機械化摺箱的分階段方法，作為機械結構及自動控制設計的參考依據。人工摺箱的分解動作，分別為①摺箱前側長邊、②摺箱後側長邊、③摺雙插耳(左側)、④摺短邊(左側)、⑤摺卡樺(左側)、⑥摺雙插耳(右側)、⑦摺短邊(右側)、⑧摺紙卡樺(右側)，共 8 個動作，如圖 4。

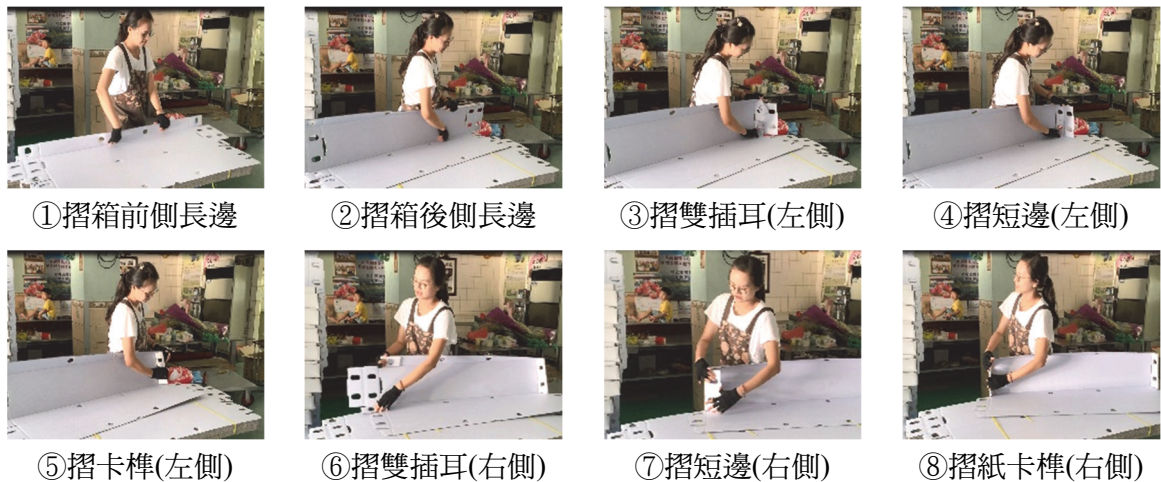


圖 4、人工摺箱 8 個分解動作

紙箱摺立的關鍵動作分為兩項，一為摺立長邊及短邊，一為較困難的動作為③⑥摺雙插耳、⑤⑧摺卡樺，為使卡樺能有效配合雙插耳插入固定，自動摺箱的紙箱成型機機構設計為採用 5 個步驟的凹摺作業，分別為①吸附及固定紙板、②摺立兩側的短邊及雙插耳、③摺立前後側的長邊、插入兩側的雙插耳、④凹摺兩側短邊的箱耳、⑤插入紙卡樺等 5 段作業步驟。摺箱機由氣壓缸、吸力盤、可程式控制器、板金及台身等設計組合而成，利用自動控制及氣壓元件達到紙箱摺立的功能，使摺箱作業可機械化協助，促進農產業逐步邁向機械化、流程化的生產改善。

二、應用文心蘭平版型紙箱之摺箱機

傳統人工摺箱需以雙手在不同方向摺箱，且需不時橫向移動改變重心向紙版兩側摺立紙箱，應用摺箱機後的使用效益，人工僅需採站立姿態將紙箱放入機具內，啟動機器後自動完成摺箱作業，大幅減少作業動作。

摺箱機因可同時摺立紙箱兩側的動作，由人員的 8 個手工步驟簡化為 5 個機械化步驟，進行全機械化；熟練的人工摺箱速度為每只紙箱 7-15 秒區間，每小時約可摺立 240-514 個紙箱，惟人員無法全時間快速摺箱，摺箱平均每小時為 300 個；若為不熟悉摺箱動作的人員，摺立一個紙箱達 15 秒以上時間，且摺立紙箱需經過一定時間的訓練，才能有快速的熟練動作，研發完成之摺箱機如圖 5。



圖 5、研發之文心蘭平版型紙箱摺箱機

機械摺立紙箱的時間約 9-10 秒，每小時約 360-400 只，並包括 1 名人力投放料作業。而傳統手工摺箱過程中所運用上身之肩頸、手指及手腕等處，透過摺箱機的協助，人員僅需要提供紙版，由機械自動摺箱，因此可以減去手動摺箱的動作達 80% 以上，進而降低 60% 以上肌力應用，僅剩取放箱的動作；又摺箱工作多在園區工作之餘預先摺箱，導致人員工時延長，不利的作業環境，容易導致勞動傷害的發生，透過摺箱機的應用，可達到省工與安全作業的優勢。惟摺箱機需要由人工取料投料，目前已進行全自動化摺箱機的設計開發作業，未來將可朝向全自動化摺箱作業。本項摺箱機的研發成果已獲得新型專利-平版型紙箱之摺立結構：證號 M601722⁽²⁾，如有技轉意願業者可洽詢本場。

三、研發文心蘭園軌道式省工搬運裝置

軌道車動力來源採用直流 DC 24V、500W 的電動馬達，搭配 2 組電動車專用的蓄電池；車輪採用 4 輪式，行走於管徑 6 分或 1 吋之鍍鋅鋁管軌道上，軌道鐵輪間距為 55 cm；車體尺寸為長 80 cm、寬 60 cm、高 110 cm；傳動系統採 4 輪傳動，馬達藉由鏈輪傳遞動力至前

輪，再由前輪傳遞至後輪；變速檔位分為前進、後退兩檔，行走速度應用變頻器達成無段變速，車輛最快行走速度為 13 m/min；煞車系統應用電磁式煞車。載運拖車為軌道式電動主機之附掛裝置，無附掛時可以人力推行於軌道上，拖車尺寸為長 240 cm、寬 60 cm、高 30 cm，單座搬運拖車可載運面積為 1.44 m²，並可新增串接拖車。

四、應用文心蘭園軌道式省工搬運裝置

在花卉園鋪設鋁管軌道，軌道用鋁管串接，兩軌間無須橫向補強鐵管，鋪設容易快速；軌道車行走速度採用變頻器及遙控裝置，使用變頻器旋鈕調整行走速度，以及安裝遙控器達遠距操控功能，可因應採摘切花或搬運盆苗等不同作業需求，調整軌道車輛的速度，使人機操作配搭更為順暢。

人員操作省工機具作業分析，經試驗結果顯示，在花卉園搬運盆苗時，依據作業的內容如採收選花過程中，軌道車慢速行走功能，可減少人員需要不時寸動移行車輛位置，使放置切花或盆苗的效率提升，及避免人員重複往復行走移動，減少移動負重的距離。合理的操作方法，使人和機器的配合更加協調，以充分發揮人和機器的效率，作業情況如圖 6、圖 7。

作業效率提升試驗顯示，傳統人力手推拖車與軌道式搬運裝置在人力負重 100 kg 或無負重情形下，人力在負重每單趟(10 m)延長作業時間 1.6 sec，約耗費時間及勞動力為 11.8%，且因負重越大將更加延長時間及勞累程度；軌道式搬運系統則無明顯搬運時間差異，因此可較傳統人力搬運更為省時省力達 1 成以上。此外本機採用慢速馬達搭配齒輪傳動系統，可載運重量達 500 kg 物品，亦可適用於其他作物別應用。



圖 6、隨車採花或搬運植栽作業情形



圖 7、慢速移動隨車採栽搬運作業情形

結 論

農村人口外流及老化等產業困境，在農忙時期缺工情形嚴重，為協助產業突破困境，研發及應用相關省工裝置協助作業，以有效節省花卉園管理的人力與建構安全工作場域。本場研發文心蘭平版型紙箱之摺箱機、軌道式省工搬運裝置等成果推廣予花農應用，期藉由農業機械與自動化設備之研發與導入，提升農業生產作業效率，強化人工投入與產出效率，紓緩國內農業缺工問題，使農產業永續經營。

誌 謝

感謝農委會支持省工農機具研發計畫與支應研究經費，以及試驗改良場所農機研究同仁協助試驗及整理數據資料，特致謝忱。

參考文獻

1. 台灣區花卉輸出業同業公會。2020。台灣切花輸日及出口年度統計表(2020年6月)。
2. 張金元、田雲生。2020。平版型紙箱之摺立結構。中華民國發明專利第 M601722 號。
3. 戴廷恩。2020。文心蘭切花設施栽培及產業鏈升級研究。文心蘭切花設施栽培及產業鏈升級研討會。農業委員會農業試驗所。台中霧峰。

百香果取漿機之研發與應用

邱相文¹、林建志²

¹農業試驗所農業工程組 ²農業試驗所農業工程組

摘 要

百香果取漿方式除利用人力將果殼切開並挖取其中果漿方式外，尚有利用機器輾壓破裂果殼後再以離心方式分離果殼與果漿方式。業界為了增加取漿效率，通常會採用機器作業方式來榨取百香果果漿。然而機器輾壓破裂鮮果的取漿方式，通常會發生果漿與果殼滲出組織液、碎屑的摻雜狀況，造成果漿品質的劣化；另外榨出的果漿也會與果皮碰觸沾黏，恐會遭到果皮上所殘餘的藥劑汙染，因而產生食品安全上的疑慮。因此，為維持現榨果漿與後端加工產品的品質與風味，業者大部分還是採用人工方式進行取漿。然而，人工作業需耗費大量人力與時間，且效能太低，常常無法及時進行百香果的處理而造成產業的損失。為解決百香果產業所面臨的取漿瓶頸，農業試驗所研發自動化百香果果漿抽取設備以提供產業利用。本機利用開孔機構先對果殼開孔，再應用取漿探管的正負壓氣旋作用進行果殼內部果囊的衝擊與果漿之抽吸，此種作業方式可完全避免果漿遭受果殼組織液或果皮表面的藥劑汙染，並維持果漿之品質、衛生與安全。本機各部機構作用利用程式化控制系統進行調控，核心技術之果漿抽吸作業機構可以依產業需求調整抽吸作業次數，依據試驗結果顯示，進行 1 次抽吸作業的百香果平均取漿率可達 93.3%，2 次抽吸作業的百香果平均取漿率則可達 97.8%。本技術以「百香果漿抽取設備與方法」名稱已獲得智慧財產局發明專利，並已辦理技術移轉授權廠商進行商品機之生產，以提供百香果產業利用。

關鍵詞：百香果、果漿抽取、真空吸取、氣旋交互作用

緒 論

被譽為「果汁之王」的百香果富含維生素 A、C、鎂、磷、鐵、鋅等營養成分，以及超過 130 種以上的芳香物質，除了鮮果食用之外，也是各種初級加工品的重要原料^[1]。目前，台灣百香果栽種面積約為 809 公頃，產量約 2 萬 5 千公噸，產值高達 14 億。近年來，台灣手搖飲市場飛速成長，能增進茶飲口味變化的百香果原汁需求量也隨之大增。

過去農產品加工廠所使用的百香果榨汁機械，大部分使用類似活塞方式上下擠壓作用，將百香果果殼直接壓破擠扁而讓果漿滲漏出，再利用類似脫水機的離心作用將果殼內部的殘餘果漿脫離出來進行收集，機械形式外觀如圖 1 所示。



圖 1、傳統的壓榨式取漿機械，因會造成果皮藥劑污染果漿而多廢棄不用

但是，使用這種類型的機械容易造成果殼組織液的滲出而與果漿混雜，再者榨出的果漿幾乎都沾染在果殼表面，導致果漿品質不佳並衍生食品衛生安全疑慮，目前產業界在供應手搖飲店家所需的現榨原汁，已不再採用這種機械進行榨取，轉回改用人工進行挖取。所以，目前百香果產業所供應的果漿原料仍然大部分是來自手工挖取為主，以符合後端飲品使用及加工品利用的品質要求，人工作業情形如圖 2 所示。惟此種取漿作業方法需要耗費大量人力與時間的投入，造成人力成本的大幅提高，另外由於目前農業缺工問題嚴重，無形中更加劇產業的發展困境。因此，在百香果產業發展的需要上，亟需發展省工自動化、符合品質與安全衛生的新一代高效能百香果果漿抽取機械，以解決目前百香果產業所面臨的發展瓶頸與困境^[3,5]。



圖 2、手工取漿方式耗費大量人力且不符合食品安全規範，無法符合冷鏈加工品質標準

材料與方法

農業試驗所為解決目前百香果產業發展所面臨的取漿作業技術瓶頸，研發自動化百香果取漿機械，規劃設計利用分度盤原理進行百香果各程序作業的轉盤輸送，目前先採用人工進料方式進行作業，後續將改良利用連續輸送帶方式進行自動化供料。本機設計規畫機械結構發展包含果粒輸送轉盤、果殼開孔機構、果漿抽吸機構、果殼退料機構、果漿儲存裝置、氣壓動力源與控制系統等，氣壓動力源包含有正壓的空氣壓縮機和產生負壓的真空幫浦，所使用的電壓為 220V^[2,4,6-9]。

本機設計均以 2 組作業單元進行設備之規劃，其中包括果殼開孔、果漿抽吸及果殼退料等機構單元，果漿抽取主要作用原理係利用抽取探管先進入開孔後的果粒內部，然後再利用正負壓氣流進行果漿的抽吸作用。果漿抽取試驗發現，影響果漿抽取的效果的影響因子有高壓氣旋的壓力大小、真空吸力之負壓值大小、氣旋作用時間及氣旋循環作用次數，其中最重要的關鍵影響因素為高壓氣旋的壓力及果漿氣旋交互作用次數。為探討本機最佳化取漿作業操作條件，本研究分別以不同的吸漿作用次數進行抽漿試驗，並以調查不同抽漿次數後的果漿殘留重量來進行取漿效率的計算評估。

結果與討論

一、主要機械構造與作業方法及性能

(一) 機械系統構造介紹

本機主要機械結構包含果粒輸送轉盤、果殼開孔機構、果漿抽吸機構、果殼退料機構、果漿儲存裝置、氣壓動力源與控制系統等架構所組成，整體機械結構如圖 3 所示。氣壓動力源包含有正壓的空氣壓縮機和產生負壓的真空幫浦，所使用的電壓為 220V。



圖 3、百香果取漿機械主要各部結構與取漿作業程序所對應的機構位置

(二) 各部機構作用方式

1. 果粒輸送轉盤之進料與輸送作業方式

輸送轉盤利用分度盤原理進行 6 個作業分度的程序作業設計，百香果目前採用人工進料方式進行，在果粒輸送轉盤上目前裝設有 12 個果料固定夾持爪座，當轉盤旋轉至正面時每次可以在固定夾持爪座上進行 2 個果粒的批次式進料，並隨著輸送轉盤的順時針旋轉方向，依次分別進行進料、果殼開孔、果漿抽取與果殼退料等程序，其輸送轉盤機構配置與百香果餵料情形如圖 4 所示。



圖 4、百香果取漿機械之果料轉盤機構與其所對應的各部作業作用位置圖

2. 果殼開孔機構與作用方法

目前裝配有 2 組開孔裝置，當百香果經由果料輸送轉盤定位輸送至開孔裝置下方時，開孔鑽頭會依照所設定的速度與行程向下滑動及旋轉，鑽頭內部裝置有開孔刀可以進行堅硬果殼的表皮開孔，其作用情形如圖 5 所示。當開孔鑽頭碰觸到百香果表皮時，可透過開孔刀的旋轉作用將果殼表皮切開一個圓孔，開孔刀所切割下來的碎屑與果皮會透過開孔鑽頭內的負壓吸附，因此可以防止果皮切割碎屑掉落果實內部造成汙染而影響果漿安全品質與衛生。當果皮開孔完成之後，開孔鑽頭便會往上升起，並於轉盤將開孔後的百香果轉送至下個位置時，開孔鑽頭便會將先前吸附的圓形果皮與碎屑往外吹出，如此即完成整個開孔作業行程。

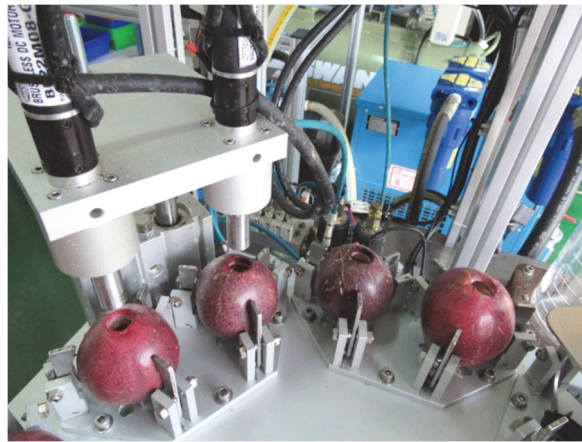


圖 5、利用開孔鑽頭之開孔刀進行果殼的表皮開孔之情形

3. 果漿抽吸機構與作用方法

本機構搭配開孔裝置數目亦裝置 2 組果漿抽吸探管，果漿抽取探管系為雙層不同管徑的鋼管套疊而成，內層鋼管作用為抽吸百香果內部之果漿汁液與胚膜上之種囊用，抽吸鋼管末端與真空幫浦連接產生負壓吸力；外層套管後端與空氣壓縮機連接用以產生高壓氣旋，外層套管前端並裝置有封口套環進行果殼開孔處與套管間隙之密閉。當果料輸送轉盤將開孔後的百香果定位輸送至抽取裝置下方時，果漿抽吸探管便會依設定的行程距離緩慢下降，先由抽吸探管進行百香果內部進行果漿之抽吸，當外層套管封口套環壓住頂端開口進行密閉後，便會由外層套管環狀細孔中產生高壓氣旋，衝擊百香果內部的種囊使其與內部胚模脫離並吹送至停留於底部抽吸探管吸口而完全被吸取乾淨，並將抽取後的果漿輸送到低溫裝置內儲存，其作業情形如圖 6 所示。百香果內部的果漿汁液與種囊透過抽吸裝置套管的正負壓力交互作用而與胚模脫離，本裝置可以依據百香果不同品種及成熟度特性與產業效率的需求，調整正負壓值大小、探管吹吸交互作用的進出循環次數與作用時間等設定。



圖 6、百香果果漿抽吸機構以正負高壓氣旋交互作用進行果漿抽吸之情形

4. 果殼退料機構

經過抽漿後的空果殼利用輸送轉盤的輸送至退料機構位置，推料機構透過下方的三支頂桿將百香果頂起而掉落至收集桶進行收集。

5. 操作控制介面

控制系統平台使用人機介面方式進行操作參數的調控設定，目前可進行調整的程式設定包括果漿抽吸次數設定、高壓氣旋起始作用時間、真空吸力作業起始時間、開孔機構吹氣時間與作業次數等。

二、果漿抽吸性能探討

為探討本機最佳化取漿作業條件，以不同的吸漿作用次數進行抽漿試驗，並以調查不同抽漿次數後的果漿殘留重量來進行取漿率的計算。試驗結果顯示抽吸 1 次的果漿抽取重量平均達到總果漿重量的 93.3% (如圖 7)，抽吸 2 次的果漿抽取重量平均達到總果漿重量的 97.8% (如圖 8)，抽吸 3 次的果漿抽取重量平均達到總果漿重量的 99.2%，經各次的殘留重量統計分析結果顯示，第 2 次與第 3 次的殘留重量已無統計上的顯著差異($p < 95\%$)。因此，經由試驗結果可以得知，抽吸 2 次可以得到最佳的抽吸效果與機械效率，惟若以產業實際利用須達更高的抽吸效率，則本研究建議抽吸 1 次便可達到極佳的抽吸效率與經濟利益。



圖 7、經過正負氣旋交互作用抽吸 1 次的果漿殘留情形

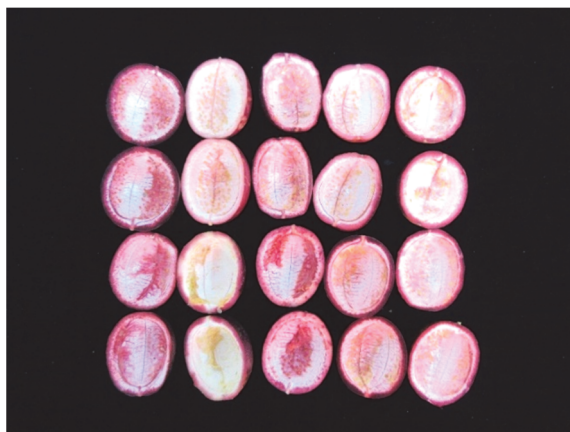


圖 8、經過正負氣旋交互作用抽吸 2 次的果漿殘留情形

結 論

由於目前農業人力結構的變化，農業勞動力問題日益嚴峻，農村人口的快速老化，農場缺乏工作承接者，再加上部分農事工作無法機械化等因素，各農產業經營者紛紛反映有普遍缺工與工資昂貴等經營問題，對農牧業經營影響甚鉅。百香果產業在發展上亦面臨著上述的問題，特別在加工處理方面，更需要投入大量人力進行果漿的挖取作業，無形之中也提高了產業的經營成本。所幸，本機的研製開發可以補足產業發展的技術缺口，適時的提供了百香果產業一套可資利用的高效能作業機械，可以提升百香果產業省工機械化作業程度，降低產業對人力投入的高度需求限制。另外，將冷鏈技術的處理環節導入取漿機械的運作，更可提升百香果果漿的後續加工品質以符合食品安全衛生的規範與標準，增加百香果產業的經濟收益與產值。根據試驗結果，本機性能以 1 次抽吸作業的果漿平均取漿率已達 93.3%，2 次抽吸作業的平均取漿率則更高達 97.8%，因此，以產業利用而言，抽吸 1 次便可達到極佳的抽吸效率與經濟利益。本技術以「百香果漿抽取設備與方法」名稱已獲得智慧財產局發明專利，並已辦理技術移轉授權廠商進行商品機之生產，供百香果產業利用。

參考文獻

1. 古鎮興。2011. 百香果果殼活性成分初探。國立嘉義大學生化科學研究所，碩士論文。
2. 江榮傑。2004. 機電整合設計應用專利集。全華科技圖書股份有限公司。
3. 陳靖儒。2006. 百香果貯藏技術之研究。國立中興大學園藝學系，碩士論文。
4. 張濟川、金德聞。2003. 機構學。新文京開發出版有限公司。
5. 舒瓊冰。2013. ‘台農一號’百香果果實之生長及發育和後熟溫度及掉落處裡對品質之影響。國立中興大學園藝學系，碩士論文。
6. 盧福明。1986. 農產加工工程學。國立編譯館主編茂昌圖書有限公司。
7. Joseph Edward Shigley. 1995. Theory of Machines and Mechanisms, 2/e. McGraw-Hill Book Company.
8. Ray. C. Johnson. 1978. Mechanical Design Synthesis - Creative Design and Optimization, Second Edition, Robert E. Driger Publishing Company, Huntington, New York.
9. Wilson., Sadler, 1993. Kinematics and Dynamics of Machinery, 2/e, Harper Collins College publishers.

往復旋轉削皮機械之研發

黃柏昇

行政院農業委員會桃園區農業改良場

摘 要

桶柑為北部地區之重要作物。為因應桶柑產銷失衡問題，農友及產銷班反映桶柑加工機械化之需求。由於桶柑外果皮、中果皮及果肉各有不同的加工應用方式及需求，為將桶柑此三個部位透過機械化削皮方式分開，本研究設計一往復削皮之方法並予以實現。經實測透過往復機械削皮之方法，可於一次置放桶柑於削皮機之情形下，透過往復削皮分別削去桶柑的外果皮及中果皮，於往復削皮完成後，外果皮、中果皮及果肉可分開收存供後續不同加工流程利用。

關鍵詞：桶柑、果皮、加工

前 言

桶柑為北部地區重要作物，新竹以北年產量為 28,078 公噸，占全國產量約 52%。為因應桶柑產銷失衡問題，農友及產銷班反映有將桶柑加工機械化之需求，並希望能開發果汁應用如冰棒等加工品。桶柑表皮可壓榨精油；白瓢富含檸檬苦素及其他機能性成分，具開發為保健產品之潛能；果肉可進行榨汁做成果汁、果醬、冰品或是其他農產品。為了進行桶柑全果加工利用，有必要將桶柑果皮、白瓢、果肉三者透過削皮機械分離，使桶柑的這三個不同部位分別進行不同的加工應用。

陳皮是桶柑表皮的一種製品，是重要中藥材，也可以做烹調用的香料。本草綱目記載：「陳皮：療嘔噦反胃，時吐清水，痰痞咳瘧，大便閉塞，婦人乳癰。入食料，解魚腥毒」。以往均係透過將桶柑的表皮以人工取下再曬乾，惟人工去皮費時費力，若開發旋轉削皮機械，將可應用機械削皮代替人工加快作業。

再由於桶柑的外果皮(表皮)與中果皮(白瓢)有不同的加工品應用需求，因此，去皮時即應將外果皮與中果皮分離，但以往以人工剝皮欲將桶柑之外果皮與中果皮分開，耗時費力。期望透過旋轉削皮機械的設計，可將桶柑之外果皮與中果皮分開，以因應不同加工農產品之需求。

材料與方法

一、材料

(一) 旋轉削皮機

本研究使用原本做為鳳梨削皮使用之旋轉削皮機進行改製及調校^[1]，以適用於桶柑削皮使用。該機原為高雄區農業改良場產學合作計畫所研發，經實地測試可完成鳳梨削皮；透過將鳳梨去頭尾後將鳳梨中心置放於底部旋轉軸中心，並將上固定拉桿放下固定於鳳梨上方，按下啟動按鈕，鳳梨即開始旋轉，此時削皮刀會伸出接觸鳳梨，使鳳梨進行削皮作業，而削皮刀從上往下緩緩移動，待削皮刀從上移動到底部時，即完成一顆鳳梨削皮之動作。

(二) 可程式控制器及觸控人機介面

可程式控制器控制削皮機的各项元件作動，透過按鈕的輸入信號傳送到可程式控制器，可程式控制器再據以控制旋轉軸馬達轉動，以及削皮刀的升降與前後移動，以進行削皮作業。透過觸控人機介面，可更精確數位化控制削皮機的削皮刀升降速度及旋轉軸旋轉速度。

二、方法

(一) 往復削皮構想

基於需要將桶柑的外果皮(表皮)、中果皮(白瓢)及果肉 3 者分開以發揮桶柑全果利用之效益。設計將原本只從上往下移動的削皮刀，透過程式設計修改，將削皮刀的行程改為往復移動；意即於待削皮農產品於旋轉軸上旋轉時，削皮刀的第 1 個行程從上往下削皮，完成外果皮(表皮)削皮作業，再由下往上進行第 2 次削皮，此時完成中果皮(白瓢)削皮作業。如此即可達成只需人工放置 1 次果實並固定，機械自動進行兩次削皮，並分別將外果皮及中果皮剷除。

(二) 往復削皮程式設計

透過可程式控制器程式設計調整，並搭配人機介面設計，於人機介面上設計 3 種削皮行程作動方式，分別是：「單行程」、「手動雙行程」、「自動雙行程」。操作者可透過人機介面之觸控螢幕切換此 3 種削皮行程作動方式。「單行程」係指削皮刀只從上往下進行單向削皮行程，適用於僅須完成 1 次削皮之情形。「手動雙行程」係指削皮刀從上往下完成 1 次削皮行程後，削皮刀會在行程的下死點暫停，操作人員此時可將剷除的外果皮撥入外果皮收集槽後，再按下啟動按鈕進行第 2 個削皮行程，即從下往上之削皮行程，即可完成中果皮之削皮動作。「自動雙行程」係指削皮刀進行從上往下削皮的第 1 個行程後，到達下死點隨即自動進行第 2 個削皮行程，即從下往上之中果皮削皮行程；自動雙行程模式可縮短整體操作時間，但可能會有將第 1 次行程剷除的外果皮與第 2 次行程剷除的中果皮混在一起的問題。

結果與討論

一、人機介面畫面

所設計之可切換模式往復削皮之人機介面觸控螢幕如圖 1 所示，使用者可透過觸控的方式，於人機介面觸控螢幕上切換「單行程」、「手動雙行程」、「自動雙行程」；即使用者可選擇機械是否往復削皮，以及第 1 個往復削皮行程完成後是否需操作者確認後再繼續第 2 個削皮行程。另透過人機介面觸控螢幕，使用者可精確數位化控制削皮刀上升下降移動的速度及待削農產品旋轉的速度。使用者不僅可透過調整削皮刀與抵擋片的間隙決定削皮厚度，亦可透過調整削皮刀移動的速度及待削農產品旋轉的速度來調整削皮厚度；經實地削皮測試可得知削皮刀移動速度與農產品削皮厚度成反比，意即削皮刀移動越慢，農產品削皮厚度越厚，反之亦然。而農產品旋轉速度與削皮厚度成正比，意即農產品旋轉速度越快，削皮厚度則越厚，反之亦然。



圖 1、本研究設計之人機介面觸控螢幕

二、往復削皮情形

經過實際削皮測試，透過往復削皮的方法，確實可將桶柑進行兩次的削皮，並且於第 1 次削皮行程削下外果皮，第 2 次削皮行程削下中果皮，完成一次置放待削農產品並固定，即可將外果皮及中果皮分開削除。惟若使用自動雙行程方式往復削皮，則第 1 次削皮行程削下的外果皮會和第 2 次削皮行程削去的中果皮重疊在一起，需要等削皮完成後再用人工將削下的外果皮與削下的中果皮分離。但經實地測試經驗，由於兩者會重疊而不會混雜在一起，因此人工可輕易將兩者分離而不會花太多時間，並不影響整體工作效率。惟本機目前 1 批次僅能進行 1 顆農產品削皮，工作效率有待提升，臺南區農業改良場所研發之芒果削皮機採 1 批次 4 顆芒果削皮^[2]，未來本機可朝類似該機 1 次多顆削皮方式進行改製。使用本機削皮後之情形如圖 2、3、4 所示。

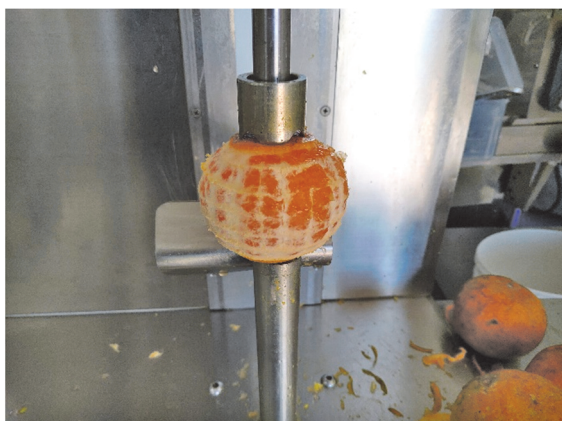


圖 2、使用本機完成往復削皮後之桶柑



圖 3、使用本機削下的桶柑外果皮情形



圖 4、使用本機削下的桶柑中果皮情形

結 論

本研究透過設計與改製，將原本適用鳳梨削皮之旋轉削皮機改製為適用於桶柑之旋轉削皮機，並透過人機介面設計與可程式控制器程式改寫，實現可數位化控制削皮參數，達成削皮參數精準化，並能透過觸控式人機介面螢幕進行往復削皮之模式切換。經實測，透過此方式調整及改製後實機削皮測試，可完成桶柑往復式削皮，於外果皮及中果皮分開削皮後，可由操作人員輕易將削下的外果皮及削下的中果皮分開，並置入不同的收集槽供後續加工使用。

參考文獻

1. 黃柏昇、潘光月、邱馨標、顏克安、賴威激。2017。鳳梨削皮機之研究改良。高雄區農業改良場 106 年度年報:69。
2. 李健。2019。批次式芒果削皮商品機研發。臺南區農業改良場 108 年年報:49。

A Novel Semiautomatic Flesh Peeling and Seed Removing Mechanism for Dried Longan

Cheng-Han Li¹, Yu-Ting Hsu¹, Chun-Hung Hsieh² and Ching-Wei Cheng^{3*}

¹Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University, Taiwan

²Department of Information Management, National Taichung University of Science and Technology

³College of Intelligence, National Taichung University of Science and Technology, Taiwan

* Correspondence: cwcheng@nutc.edu.tw

Abstract

Longans, which are produced in tropical countries, are rich in nutrients and high in commercial value. To extend their shelf life, fresh longans are roasted to dry them out. For the convenience of cooking applications, the dried longan pulp is peeled and seeded beforehand. Presently, this is done manually; thus, this research aims to automate this process. A cutting tool with a serrated bending angle is used to cut the dried longan pulp, and then the longan is fixed by a lifting mechanism. The pulp is breached with a cutting tool and this breach is pushed up against a 6 mm hole in the silicone soft plate of the lifting mechanism to separate out the seed by squeezing. Commercially available dried longans are used in this experiment. The cutting surface width of the cutter designed in this study is 20 mm, and the serration bending angle is 30°. This cutter operates at a speed of 29 cm/s on dried longan pulp, attaining a success rate of 85%. The lifting mechanism also presented in this study fixes the dried longan and uses a squeezing motion to separate the flesh from the seed with a silicone soft plate. Here, a lifting speed of 28 mm/s achieves the highest rate of success at peeling, and the success rate of pulp-and-seed separation can reach 86.7%.

Key words: Dried longan, Lifting mechanism, Silicone soft plate

Introduction

Longan (*Dimocarpus longan* Lour), an evergreen tree belonging to the Sapindus family, is grown as a commercial fruit crop^[1,2]. Longan fruit is rich in nutrition and commercial value and is produced in tropical countries, especially Thailand and China^[2,3]. To extend its shelf life and facilitate storage, longan is usually processed. Typically, it is dried out through baking; dried longan can be stored for a longer time and made into canned food, wines, or jams. Presently, the separation of the

seeds and pulp of dried longan is still done manually by workers. The longan pulp contains high sugar content; after being dried in hot air, the pulp is caramelized and highly viscous. The shape of the fruit is irregular, complicating the process of seed removing. During manual seeding, the longan is typically heated beforehand. A knife is used to cut a hole in the pulp, and the seeds are removed. The operational process is slow and requires a lot of human resources. Because of changes in the rural population structure (particularly the aging of the population engaged in agriculture), human resources have been greatly reduced, and manual separation of the seed and the pulp may incur food hygiene and safety concerns. If machines can replace artificial longan deseeding operations, they can effectively reduce costs and improve production efficiency, food hygiene, lack of human resources, and other issues.

This study aims to design a set of semiautomatic dried longan pulp peeling machines using a suitable cutter. The relationship between the shape and the speed of the cutter and the dried longan cutting success rate is also discussed. A lifting mechanism is designed using a silicone soft board to complete the seed removing operation. The dried longan is extruded through this board to peel the pulp and remove the seeds. The best speed and success rate of this process were found. The semiautomatic machine designed in this study can serve as a reference for future research on dried longan processing machinery.

Materials and Methods

I. Dried Longan Sample

Mature longan can be conical, heart-shaped, spherical, or other shapes. Some varieties have a significantly longer appearance on one side. After the drying process, the fruit's appearance will become wrinkled and rough. The dried longan's shape will be irregular, such that its flesh will be close to the inner core and appear approximately spherical or oval. Commercially available dried longan was used as our experimental material in this study. All experimental samples were stored under refrigeration. Before use, they were placed at room temperature to regain moisture, before being heated to 60.0 °C in an oven to reduce the pulp's viscosity. The dried longan was used to test the flesh peeling and seed removing machine developed in this study. The average diameter of longan samples (pulp containing seeds) was 17.20 mm and that of dried longan seeds was 14.95 mm.

II. Experimental Equipment

The cutting tool of the dried longan pulp peeling machine is driven by a motor driver (VNH2SP30) and a direct current (DC) motor (JGB37-550) that has the maximum power of 60 W.

The lifting mechanism for the peeling of the pulp and removal of seeds is controlled by a stepping motor driver (AZD-CD, Oriental Motor Co., Ltd., Taiwan) and a stepping motor (AZM66AC-TS7.2, Oriental Motor Co., Ltd.). Once in position, the lifting mechanism is used to clamp, fix, and squeeze the dried longan, and a silicone soft board is used to peel the pulp and remove the seeds. The DC motor is controlled using an Arduino UNO controller. The positions of the stepping motor and lifting mechanism are controlled using a computer programming interface. The power consumption of the semiautomatic flesh peeling and seed removing machine is approximately 480 W. The soft board is 50 × 50 mm in size and is made of C-25 silicone (Asia Silicone Chemical Materials Co., Ltd., Taichung, Taiwan) with the tensile strength of 50 kg/cm², elongation of 750%, and hardness of 25 HA.

III. Semiautomatic Dried Longan Pulp Peeling Machine

The semiautomatic dried longan pulp peeling and seed removing machine is based on aluminum extrusion. A stepping motor drives the eccentric shaft turntable in Figure 1a. The stepping motor's control can accurately clamp the dried longan. When the eccentric shaft turntable motor rotates upward, the dried longan-fixing jaws will open. At this time, the dried longan is placed on the pedestal. The eccentric shaft turntable is turned downward, and the jaws will clamp the dried longan. After the dried longan is fixed, the DC motor starts to drive the cutting tool's reciprocating link to cut the pulp. Because of the limited size of this machine, the longan pulp has been cut, and a silicone soft plate is installed along the aluminum extrusion groove, as shown in Figure 1a,b. To peel the pulp, the eccentric shaft turntable is turned up to the top, the dried longan in the holder is cut and squeezed with the silicone soft plate, and the longan seeds will pass through the hole. The longan pulp and seeds will then be separated; finally, the longan pulp remains under the silicone soft board, and its seeds will be placed on the top through the hole in the soft board, as shown in Figure 2.

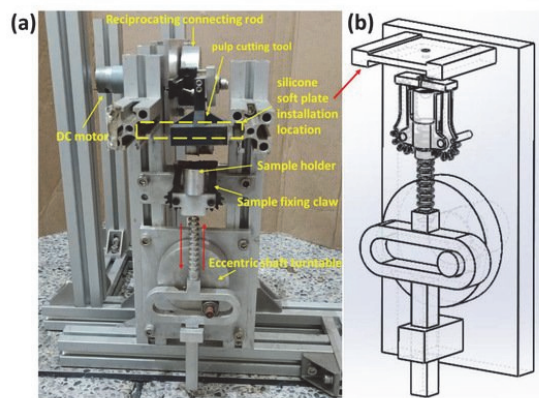


Figure 1. (a) Semiautomatic dried longan peeling machine. (b) Schematic of the installation position of the silicone soft board for peeling.

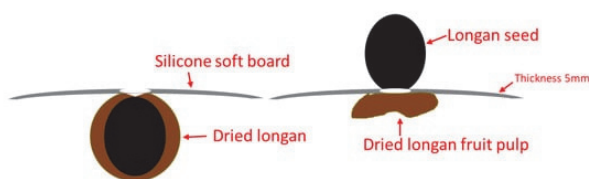


Figure 2. After the dried longan is cut, the hole cut in the pulp and the silicone soft board are squeezed against each other. The seeds and the flesh will separate; the pulp will stay under the silicone soft plate while the longan seeds will be extruded to the other side.

IV. Design of the Dried Longan Pulp Cutting Tool

For manual longan peeling, the larger the hole in the pulp, the easier it is to remove the seeds. In this study, a longan cutting tool was designed, and the bending angle and width of the knife's cutting surface were changed, as shown in Figure 3. A knife drive mechanism was designed to perform a hole cutting test on the dried longan pulp. The formation and separation of chips in the cutting process are due to the material being subjected to the maximum shear stress; thus, we analyze it using shear-stress theory. When the tool and the cutting workpiece move relative to each other, the material is cut by shear force. This cutting surface is called a shear surface. For larger shear angles, the chip layer is thinner, resulting in smaller friction. The required cutting force is also smaller. By contrast, smaller shear angles make the chip layer thicker, resulting in larger friction. The cutting force is relatively large. Thus, this study designed a cutting tool for dried longan pulp.

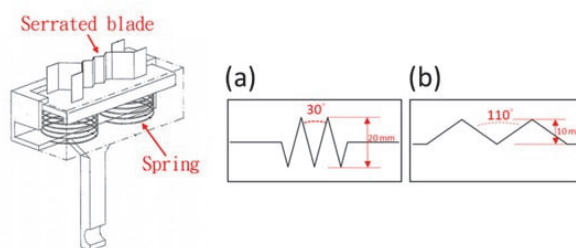


Figure 3. A schematic of a cutting tool for dried longan pulp. (a) A cutter with the blade width of 20 mm and 30° serrated bending angle. (b) A cutter with the blade width of 10 mm and 110° serrated bending angle.

Our cutting tool is made of a spring and aluminum foil, as shown in Figure 3. To prevent the longan seeds from being squeezed excessively by the cutter during the pressing process, the spring is used as an extrusion buffer and helps to make the knife edge fit more closely with the longan pulp.

In this study, two types of knives were made for testing. For the first, the cutting surface width is 20 mm, and the serration bending angle is 30°; for the second, the cutting surface width is 10 mm, and the serration bending angle is 110°. Figure 3 shows the comparison of the two knives. At the same cutting speed, different knives' specifications are tested to find the most suitable for cutting dried longan pulp.

V. Dried Longan Pulp Peeling and Seed Removing Mechanisms

The pulp peeling and seed removing mechanisms are designed based on a wine opener's linkage mechanism. The main structure fixes the aluminum extruder on the aluminum plate. When the stepping motor rotates, it will drive the eccentric shaft disk. The eccentric shaft turntable will drive the row of teeth on the lifting mechanism to synchronously drive the ratchet to open and close the clamping arm. The eccentricity of the shaft on the turntable is 34.3 mm, and the maximum displacement stroke is 68.6 mm. There is a material holder above the lifting rod and a ball socket in this holder in which to place the dried longan. The side of the lifting rod is equipped with a row of teeth to drive the clamping arm. This arm's lower end has a semicircular ratchet for gear meshing transmission. The upper end of the clamping arm is equipped with clamping jaws to clamp and fix the dried longan. After the dried longan is clamped and fixed, a hole is cut in its pulp to remove its seed. Given that the dried longan's average height is approximately 16.8 mm, the clamping height is set to 11.2 mm to stop the longan from turning during the opening process, as shown in Figure 4a. Two-thirds of the dried longan's average length must pass through the silicone soft board to achieve good peeling. Considering that the thickness of the silicone soft board is 5 mm, the mechanism's stroke is at least 16.2 mm, and the total mechanical stroke of the peeling operation is at least 27.4 mm, as shown in Figure 4a.

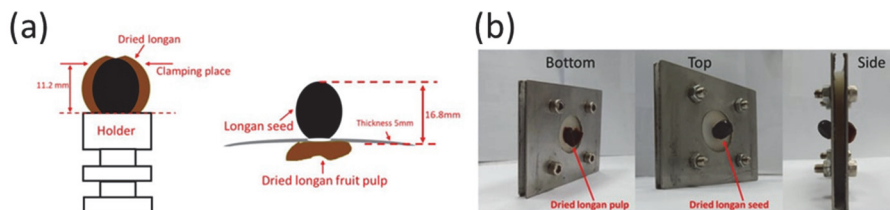


Figure 4. (a) Schematic of the dried longan's clamping position. (b) After squeezing the dried longan through the 6 mm hole of the silicone soft board, the pulp and seed are separated. The dried longan pulp will be below the plate while the seed will be above.

After the hole is cut, the eccentric shaft turntable is driven by the stepping motor, driving the lifting rod upward. Simultaneously, the row of teeth synchronously drives the clamping arm's ratchet wheel to rotate downward, the clamping arms open, and the material base is shifted upward. The dried longan in the material holder is lifted by the lifting mechanism. The average diameter of the dried longan is 17.2 mm. The dried longan and the silicone soft plate are squeezed with a 6 mm through-hole silicone soft plate. This plate will deform, and its elasticity will be used to remove the dried longan pulp along the seed's surface. The longan seeds will be separated from the pulp through the hole in the plate and emerge on the other side, as shown in Figure 4b.

Results and Discussion

I. Success Rate of Cutting with the Designed Machine

Longan pulp cutting knives will affect hole size, affecting the success of subsequent peeling and seeding operations. In cutting the longan pulp, the dried seeds may be broken because of an uneven force applied by the cutter. The pulp also has a high sugar content, making it sticky. If the longan seeds are broken and shredded, they will stick to the pulp and seeding cannot be carried out. Figure 5 shows the definition of success and failure in this context. The hole cut in the dried longan pulp by the knife either (a) succeeds or (b) fails. If a hole is successfully cut in the dried longan pulp using the knife, the seed is clearly visible, as shown in Figure 5a; otherwise, it is not visible, as shown in Figure 5b.

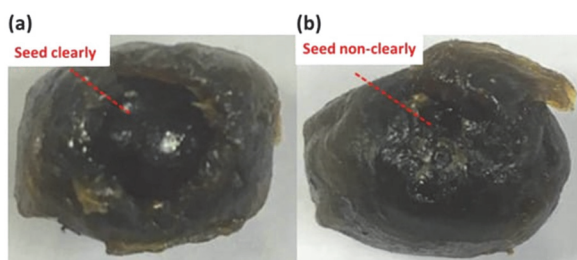


Figure 5. The hole cut in the dried longan pulp: (a) successfully; (b) fails.

Two different cutting tools were designed in this research, as described in Section 2.3 and shown in Figure 3. A DC motor drives the longan pulp cutting tool. This tool's speed is set to 508 mm/s, and 60 dried longans are used for the test. Table 1 shows the test results. The average width of the longan pulp breach formed by the cutter with a cutting surface width of 20 mm and a serrated bending angle of 30° is 7.4 mm; the success rate is 85%, and the seed breakage rate is 11.7%. For the cutter with a cutting surface width of 10 mm and a serrated bending angle of 110°, the average breach width is 5.5 mm, the success rate is 63.3%, and the seed breakage rate is 31.5%.

Table 1. Cutting tool test results for dried longan.

| | Average width of the breach (mm) | Cutting success rate (%) | Seed damage rate (%) |
|--|----------------------------------|--------------------------|----------------------|
| Blade width is 20 mm; Serrated bending angle is 30° | 7.4 | 85.0 (51/60) | 11.7 (7/60) |
| Blade width is 10 mm; Serrated bending angle is 110° | 5.5 | 63.3 (38/60) | 31.7 (19/60) |

The cutting range of the cutter with a 30° serrated bending angle is larger than that of the one with a 110° serrated bending angle. The former tool sticks easily to the pulp, but this does not affect the pulp opening operation. The 30°-serrated-bending-angle tool cuts holes with a high success rate and avoids breaking longan seeds. Experience with manual pulp peeling and seed removing shows that larger breaches in the pulp allow the smooth surface of the longan seeds to be clearly seen, enabling the pulp to be easily peeled and the seed to be removed. Therefore, the 30°-serrated knife was used in follow-up experiments.

II. Success Rate of the Cutting Tool with Operating Speed

The Arduino UNO controller adjusts the longan pulp cutter’s speed through pulse width modulation (PWM) to adjust the DC motor’s power supply voltage. The greater the PWM duty cycle, the faster the DC motor’s speed and the greater the force of the cutter. A cutter with a width of 20 mm and a 30° serrated bending angle was used to find the optimal cutting speed for dried longan pulp. The tests were carried out at speeds of 292.0, 330.0, 380.0 and 508.0 mm/s. Each speed was tested with 60 dried longans. Figure 6 shows the results.

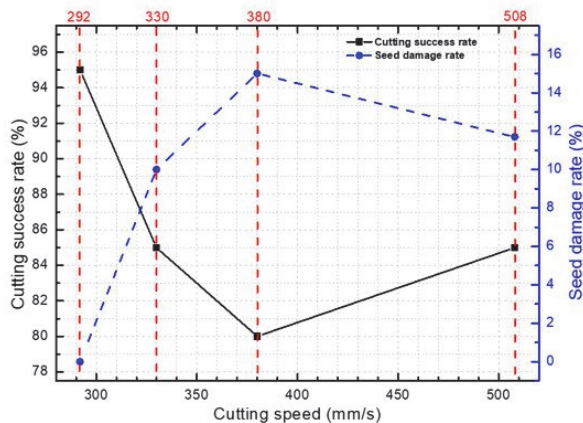


Figure 6. Success rates of the tool with a width of 20 mm and a sawtooth bending angle of 30° at various cutting speeds.

When the cutting speed is 292.0 mm/s, the average width of the breach is approximately 7.5 mm and the success rate is approximately 95.0% (57/60). The test sample has no broken seeds. When the cutting speed is 330.0 mm/s, the breach's average width is approximately 7.3 mm, the success rate is approximately 85.0% (51/60), and the seed breaking rate is approximately 10.0% (6/60). When the cutting speed is 380.0 mm/s, the average width of the breach is approximately 7.5 mm, and the cutting success rate is approximately 80.0% (48/60), with a seed breakage rate of 15.0% (9/60). When the cutting speed is 508.0 mm/s, the average width of the breach is approximately 7.4 mm, the success rate is approximately 85.0% (51/60), and the seed breakage rate is approximately 11.7% (7/60). The test results suggest that reducing the cutting speed helps to increase the cutting success rate and reduce the seed breakage rate. A cutting speed of 292.0 mm/s yields the highest success rate without causing longan seed breakage.

III. Test Analysis of Peeling Dried Longan Pulp

A stepping motor is used to drive the lifting and clamping mechanism. The dried longan pulp is cut with a serrated cutter with a bending angle of 30° at a speed of 292 mm/s. The lifting mechanism pushes the dried longan upward against the 6 mm hole in the C-25 silicone soft plate such that the seed is separated, as shown in Figure 2.

The lifting mechanism's upward pushing speed is varied, and the relationship between this speed and the peeling success rate is analyzed. Tests are performed using 60 longans per group, and complete separation of the dried longan pulp and seed is defined as the successful peeling of the pulp. If the longan seeds have residual pulp, are broken due to pushing or cannot be separated from the pulp, the experiment is classified as a failure.

As shown in Figure 7, when the pushing speed is 70.0 mm/s, the peeling success rate is approximately 66.7% (40/60) and the failure rate is approximately 33.3% (20/60). The pulp peeling processes of 20 dried longans failed. Of these, 12 failed because pulp remained on the seeds, two failed because the seeds were broken, and six seeds did not smoothly pass through the silicone plate. When the pushing speed is 56.0 mm/s, the peeling success rate is 70.0% (42/60) and the failure rate is approximately 30.0% (18/60). Of the failures, 12 seeds had pulp remaining, two were broken, and four could not pass through the silicone soft board. When the pushing speed is 42.0 mm/s, the peeling success rate is 80.0% (48/60) and the failure rate is 20.0% (12/60). Of the failures, six seeds had pulp remaining, two were crushed, and four did not pass through the plate. For a pushing speed of 28.0 mm/s, the peeling success rate is approximately 86.7% (52/60) and the failure rate is 13.3% (8/60). Of the failures, four seeds had pulp remaining, two were broken, and two did not pass through the plate. For a pushing speed of 14.0 mm/s, the peeling success rate is approximately 86.7% (52/60)

and the failure rate is approximately 13.3% (8/60). No samples failed because they did not pass through the soft silicone plate; however, six seeds had pulp remaining, and two were broken because of pushing.

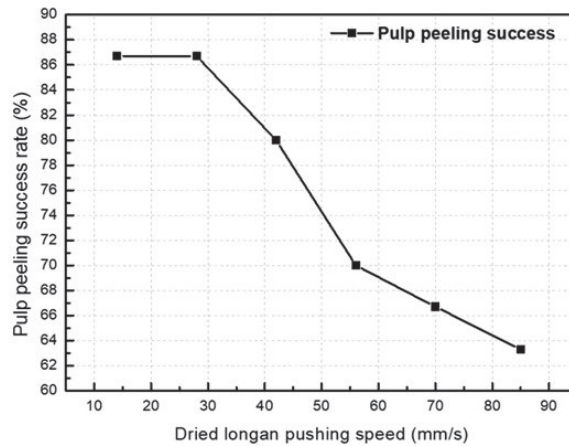


Figure 7. Pulp peeling success rate vs. pushing speed of the longan against the soft silicone plate.

The experiment shows that reducing the pushing speed will help to improve pulp peeling success rate. The dried longan may fall off the holder when passing through the plate if the lifting speed is too fast. Because there is not enough time for the seed to pass through the holes, some will fail to be removed. The dried longan peeling and seeding operation is equally successful at 28 and 14 mm/s; therefore, a speed of 28 mm/s is preferable for efficiency.

Based on our results, we recommend using a tool with a cutting surface width of 20 mm and a sawtooth bending angle of 30° to breach the pulp at a speed of 292.0 mm/s. After cutting, the dried longan should be squeezed with a silicone soft plate at a speed of 28 mm/s for seed removing. Another 100 dried longan samples were prepared for testing to verify the mechanical stability. The peeling success rate was found to be 86.0%, with a failure rate of 14%. Of the failures, three seeds had pulp remaining and 11 seeds failed to pass through the plate. After the dried longan pulp was cut, if the dried longan seeds were broken or unable to be seen clearly, as shown in Figure 7, then it was judged that the cut had failed. After cutting, the dried longan and silicone soft plate could not pass through the through hole in the silicone soft plate, with residual pulp on the seed surface and dried longan seed breaks judged as failed peel.

Conclusions

This study shows that the use of serrated tools can increase the success rate of breaching dried longan pulp while decreasing the rate of seed breakage. The cutting tool's surface width is 20.0 mm, and its bending angle is 30°. The use of a C-25 silicone soft plate with high elongation and high tensile strength can increase the success rate of pulp peeling and seed removing and extend the service lifetime of the pulp peeling parts. Reducing the cutting speed can increase the success rate. The optimal cutting speed is 292.0 mm/s, yielding a success rate of approximately 85%, which is the best among the samples. Reducing the pushing speed helps to increase the success rate of pulp peeling and seed removing. The optimal pushing speed is 28.0 mm/s, yielding a success rate of approximately 86.7%, which is the highest among the tests.

Acknowledgments

The authors thank the Agriculture and Food Agency, Council of Agriculture, Executive Yuan of the Republic of China for financially supporting.

This article originated from the “A Novel Semiautomatic Flesh Peeling and Seed Removing Mechanism for Dried Longan. *Agriculture* 2021, *11*, 48. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010048>”

References

1. Chen, Y.; Sun, J.; Lin, H.; Lin, M.; Lin, Y.; Wang, H.; Hung, Y.-C. Salicylic acid treatment suppresses *Phomopsis longanae* Chi-induced disease development of postharvest longan fruit by modulating membrane lipid metabolism. *Postharvest Biol. Technol.* 2020, *164*, 111168.
2. Jiang, Y.; Zhang, Z.; Joyce, D.C.; Ketsa, S. Postharvest biology and handling of longan fruit (*Dimocarpus longan* Lour.). *Postharvest Biol. Technol.* 2002, *26*, 241-252.
3. Lin, Y.; Lin, Y.; Lin, Y.; Lin, M.; Chen, Y.; Wang, H.; Lin, H. A novel chitosan alleviates pulp breakdown of harvested longan fruit by suppressing disassembly of cell wall polysaccharides. *Carbohydr. Polym.* 2019, *217*, 126-134.

協作式採茶智慧載具

顏炳郎 許修瑜 賴暘倫 陳柏綸 詹翔宇

國立台灣大學 生物機電工程學系

摘要

採茶缺工問題嚴重，加上採茶季節集中造成需工時間大量重疊，因此缺工、搶工成為茶葉生產的重要課題。本論文開發智慧型協作式載具作為省工農機，搭配現有雙人採茶機具，可順利在茶園中與茶農協作採茶。透過導入感測技術感測周遭環境，進行茶道間自主導航與自主避障；採用人機協同控制介面，降低農人採收負擔，實現高效率茶葉收集與省力省工。

關鍵詞：省工機械、Labor Saving Machinery、智慧農業機械、Intelligent Agricultural Machinery、茶葉採收、Tea Harvesting。

緒論

茶葉採收在每年十月至隔年五月之間，採茶缺工問題嚴重，一方面因為工人不足，一方面因為採茶工逐漸老化，需工時間重疊，因此缺工、搶工成為茶葉生產的重要課題。延誤了採收茶葉精華期，茶葉因老化，造成品質與價格大幅下跌，影響茶葉經濟產值。機械採茶在高山茶區地勢陡峭使用不易，使用單人機採長時間手持造成手部肌肉疲勞，採收面高低不齊影響茶菁品質^[1]。本計畫以開發茶葉之省工農機即以解決上述問題為核心，通過導入智慧型機械，降低人力需求並降低採收難度，以達到省力省工之效益，並減少老化等社會問題所造成之經濟影響。

在過去二十年間，大量機器人等智慧輔助技術導入農業應用中，如果實採收^[2,3]、授粉^[4,5]等等，藉由機器自動或半自動進行大量重複性工作，以降低農人工作量。然而，對茶園或果園這種開放性空間，其栽培條件非常複雜，空間也很狹窄，自主運作機器人無法很好地運行。加上有文獻載明^[6]，在機械採收過程中，採收位置的微小差異對茶葉的產量和質量會有很大影響。因此，獨自工作的採茶機器人可能不是合適的有效方法，通過農民與智慧機械合作的半自動機器人可能是更好的選擇，因此有提出 side-by-side 的移動載具控制模式^[7]，來適應複雜農業環境的採收作業。

本文提出一種人機協作智慧採茶機械，其上裝載茶葉切割刀具，在茶園中和操作者並排行走，由操作者引導茶葉採收。智慧採收機會偵測自身對共同採收者之相對位置，對行進速度進行調整，而可以確保智慧採收機一直維持在農人身側；同時採收機亦具備自主導航功能，可以偵測所行進之茶道兩端之狀況，避免過度接近左右茶樹，對兩者造成損害。

材料與方法

本論文開發之茶葉採收機械之系統架構圖如圖 1 所示，係一配備光學感測器之輕型履帶載具。履帶車之具備卓越之越野能力，能順利通過茶園地面之突起或坑洞；透過可程控電動馬達驅動，可完成各種移動軌跡。車上裝載刀具固定支架，搭配市面上常用之各種雙人採茶刀具，以方便拆卸以及穩固為特點，並可通過機構調整刀具之升降與方位，以配合茶樹生長狀況進行不同高度之採收。

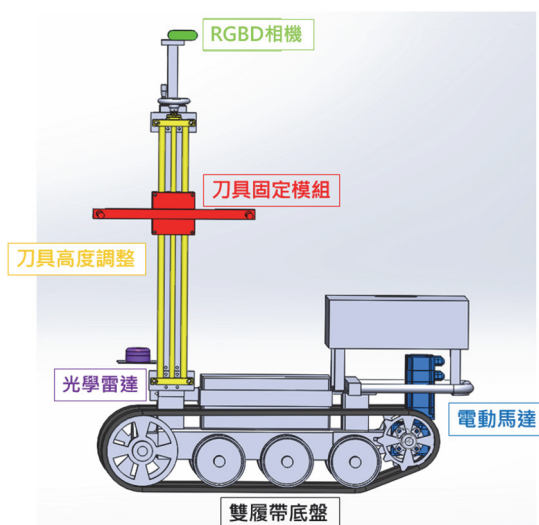


圖 1、智慧茶葉採收機械系統架構圖

智慧茶葉採收機械配備兩種光學感測器：光學雷達(LiDAR) (RPLIDAR A3, Slamtec Co., Ltd., China)及 RGB-D 相機(RealSense D435, Intel Inc., USA)。前者係使用雷射光對周遭掃描，辨識半徑 25 米內之障礙物；當採收車在茶園中行進時，即可通過雷射建置出茶樹的位置，確保載具在茶園的路徑上運行，並可對環境中出現之障礙物進行避障。而 RGB-D 相機則用於追蹤操作者身上的標誌，提供操作者位置及深度資訊。本論文採用之標誌辨識使用 ROS 系統的 ar_track_alvar 套件^[8]，包含多個 AR 標籤，並使用 Alvar 標籤識別方法，通過自適應閾值處理不同的光照條件，提供穩定的姿態估計。

智慧茶葉採收系統之最大特色在於採取人機協同之運作方式，由操作者於採收過程作為主導，指揮機器人完成其餘的基礎工作。通過感測器讀取操作者身上之標記，智慧採收系統會評估操作者姿態及兩者間距離，進而採取不同之作動方式，整體人機協同策略如圖 2 所示：

1. 機器加速：當操作者領先機器時，機器會予以加速，以趕上操作者的腳步。
2. 機器與人等速前進：當操作者和機器之兩座標軸保持平行方向，並且兩者間距保持在範圍內，機器保持等速前進。

3. 人落後，機器等待：當操作者落後機器，機器會停下等待，等人繼續移動至平行機器，便繼續移動。

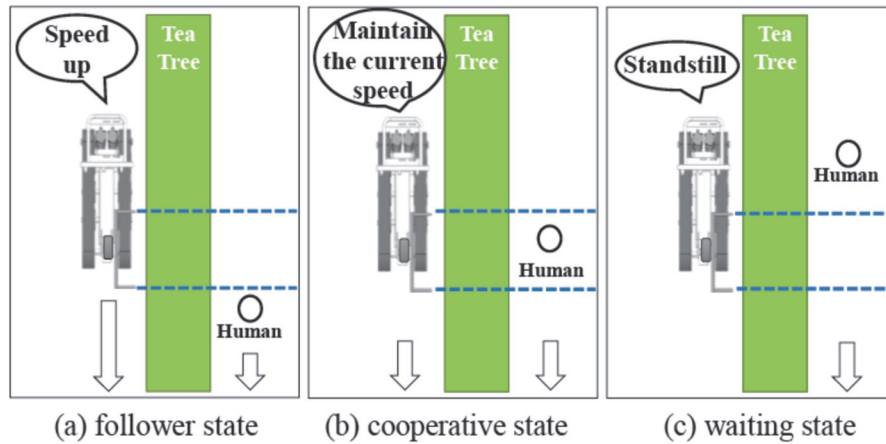


圖 2、智慧茶葉採收系統人機協同運作策略

結果與討論

本論文所開發之協作式採茶智慧載具在茶葉改良場進行田間試驗，由操作員和智慧採收機械分別在相鄰的兩茶道中，對中間的茶樹進行採收。實驗開始時，上述兩者從同一水平線上出發，採收前方 3 米的茶樹。

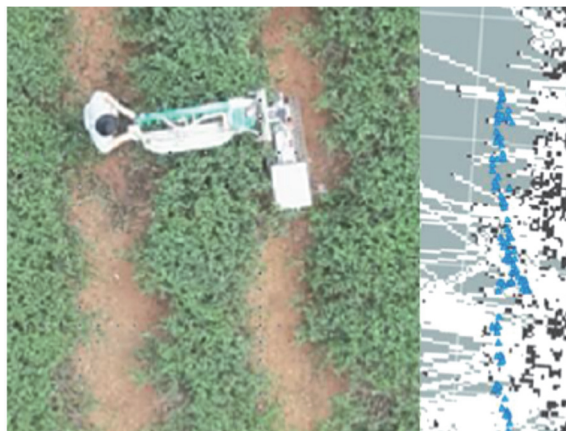


圖 3、智慧茶葉採收系統田野試驗

圖 3 為此實驗進行的環境，根據障礙物分布，智慧採收機械會即時計算出一條分隔茶道和茶樹的邊界，使用佔用網格圖(occupancy-grid map)所建立的界線是一致的，且不受路徑上茶樹枝葉末稍和雜草的影響。採收機械的軌跡比操作員的行走軌跡更為平滑，而這一點同

樣可以透過圖 4 的位置時間分布圖得出。採收機械在整個採收過程中，一直配合著操作者的位置運行；只有當使用者落後時($t=4,7,13-17,23$ 秒)，採收機械會停下等待操作者前進外，整個沒有很明確的卡頓現象(即速度值為 0)，從而減少運作過程中不必要的振動從圖 5 的速度變化圖中，可以看到實驗過程中，採收機械的速度約在 0.3 到 0.6m/s，近乎同步於操作者的實際步行速度，可以提供良好的茶葉採摘效果。

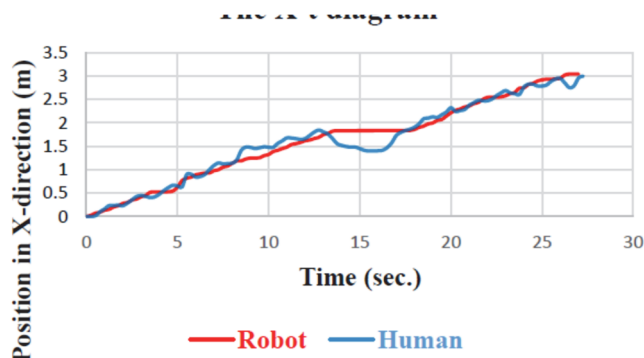


圖 4、操作員和智慧採收機械的位置時間分布圖

圖 5 展示了智慧採收機械自動前進和作動及調整細節。在圖 5 (A)和(B)分別繪製了在採收過程中採收機械的右邊車身到右虛擬邊界間的最短距離 d_R 及左邊車身到左虛擬邊界間的最短距離 d_L 。兩者的允許值(d_{min})為 0.1 米，一旦當 d_L 和 d_R 小於 d_{min} 時，即認定採收機械和虛擬邊界有交疊傾向，系統即需修改路徑以使其返回虛擬邊界之間的區域；也就是說， d_R 和 d_L 的值將立即上升回大於 0.1 米。

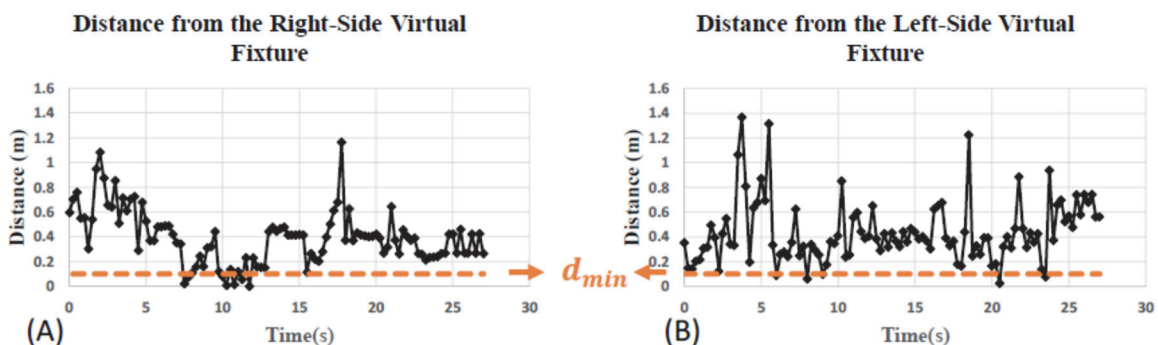


圖 5、智慧採收機械和虛擬邊界的距離

為了評估智慧採收機械減輕負荷的效果，我們首先測量了兩個農民使用一台 15 公斤傳統雙人採茶機進行採收作業時的負載，如表 1 所示：使用智慧採收機械取代輔助操作者後，主要操作者的平均負荷下降了 85%以上。

表 1、雙人採茶機進行採負載比較

| | 傳統雙人採收(Kgw) | 使用智慧載具採收(Kgw) |
|-------|-------------|---------------|
| 主要操作者 | 6 ± 1.8 | 0.8 ± 0.4 |
| 輔助操作者 | 9 ± 1.8 | N/A |

結 論

本研究提出之協同式茶葉採收智慧載具，可在茶園開放及多變的環境中，偵測障礙物自主導航；並同時對操作者的行進進行估測，使得智慧載具與操作者維持一致之行進速度，與操作者協同進行茶葉採收作業，整個收穫過程完全掌控於操作者手中。相較於原本二人共同採收模式，協作採收直接降低一半人力；而且實驗顯示，使用智慧機械進行作業時，所花費之負擔更小，有效提高茶葉採收之效率與產能，提供目前缺工問題嚴峻的產業環境下的極佳解決方案。

誌 謝

本研究由農委會計畫編號 109 農科-14.2.1-糧-Z2(3)與科技部計畫編號 MOST 109-2221-E-002 -082 -MY2 經費支持。

參考文獻

1. Y. Han *et al.* "Developing situations of tea plucking machine," *Engineering*, vol. 6, no. 6, pp. 268-273, 2014.
2. H. Yaguchi *et al.* "Development of an autonomous tomato harvesting robot with rotational plucking gripper," in Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst., 2016, pp. 652-657.
3. A. Silwal *et al.* "Design, integration, and field evaluation of a robotic apple harvester," *J.Field Robot.*, vol. 34, no. 6, pp. 1140-1159, 2017
4. J. Barnett *et al.* "Robotic Pollination-Targeting kiwifruit flowers for commercial application." *PA17 International Tri-Conference for Precision Agriculture*. 2017.
5. J. Strader *et al.* "Flower Interaction Subsystem for a Precision Pollination Robot." *arXiv preprint arXiv:1906.09294* (2019).

6. T. NAKANO, “Influences of Plucking Position on Yield and Quality of Tea in Mechanically-Plucked Tea Bush,” *Chagyo Kenkyu Hokoku (Tea Research Journal)*, 1998(86), pp.11-17, 1998
7. Yang-Lun Lai, Po-Lun Chen, and Ping-Lang Yen, “A Human-Robot Cooperative Vehicle for Tea Plucking”, 2020 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT’20), pp. 217-222, 2020.
8. S. Niekum, and I.I. Saito, “Ar track alvar ros package,” URL http://wiki.ros.org/ar_track_alvar 3, no. 4.

應用卷積神經網路與雙目視覺於 番茄機器人採摘之研究

黃柏喻

國立中興大學 生物產業機電學系

摘要

本研究將機器學習方式導入至牛番茄採收，以期能達到省時、省工的目的並以更精確的方式減少人為上的誤差。將針對溫室內番茄進行成熟度與位置的辨識，此研究包含兩個部分：影像擷取與物體偵測模型之建立、三維位置計算。第一部分將於溫室內進行不同時間取像並使用物體偵測進行成熟果實的辨識；第二部分將雙目視覺計算辨識到的成熟果實相對位置，並對其結果進行校正，最後計算手臂移動所需的六軸資訊。本研究在偵測成熟果實的準確率與召回率均高於 95%，立體空間位置誤差平均為 0.5 cm，且果實實際大小與邊界框大小的 R^2 高於 0.9，該採摘系統所進行的採摘一回流程僅需耗時 25 秒。

關鍵詞：牛番茄、物體偵測、深度學習、雙目視覺、機械手臂、採收。

緒論

設施蔬果栽培特質為投入的資本較高，如設施需具備光源、溫溼度等環境變數的調整，確保栽培蔬果的品質，因此在設施中栽培之蔬果售價、品質均會高於一般露天栽培者，使設施栽培者收益會有較高的收益。目前農村勞力缺乏與老化問題十分普遍，設施蔬菜栽培也不例外。不過大型固定設施因現成結構之存在，所以可以配合許多機械化裝置，以減少重複性操作或較粗重勞力工作，將可節省勞力，提高工作舒適躡。

過往已有許多水果採收機器人的研究，使用 3-D 攝影機進行取像並進行採收^[1]。在影像擷取上有許多設備能進行不同方面的資料取得，如彩色攝影機、光譜攝影機、熱影像攝影機等^[2]。本研究將使用雙目視覺攝影機，拍攝的影像為 RGB 的彩色影像，並以計算視差取得 RGB-D 的彩色與深度影像。

對於水果採收判斷成熟果實的影像前處理有使用 HSI^[3,4]或色彩平衡^[5]等方式，將果實從背景中分離，使用邊緣演算法進行果實外觀的詮釋^[6]。得到的詮釋資料再使用支持向量機 (support vector machine, SVM)或人工神經網路(Artificial Neural Network, ANN)進行非線性運算^[2,7,8]。近年來新的深度學習演算法在影像辨識上有很好的成功率，因此有相當多的人用來辨識水果的定位與成熟度^[9,10,11,12]。

材料與方法

一、Depth Camera

為達成水果採收的目的，機械手臂在移動上不僅只有平面上的移動，而是一個三維的立體空間，平面上的位置能由一般的 RGB 攝影機計算出來，但攝影機距離目標的深度使用單一攝影機不易計算出來，若單一攝影機搭配滑軌進行線性移動，則要考慮馬達與滑軌設備，在校準上會有誤差。

本研究選擇使用 ZED mini 雙目視覺攝影機，此攝影機透過 USB 3.0 Type-C 介面與電腦連接，拍攝影像的解析度為 1280 x 720，三維深度感測距離為 0.15 m-12 m。

在深度計算部分，本研究應用 Mask R-CNN^[13]推論的邊界框使用 ZED 官方的函式庫進行三維位置的計算，如圖 1 所示，其深度攝影機之三維空間資訊，X 方向為左鏡頭中心向右鏡頭的方向；Y 方向為垂直於左鏡頭之 X 方向向下延伸；Z 方向則是垂直於左鏡頭 XY 平面向前延伸。

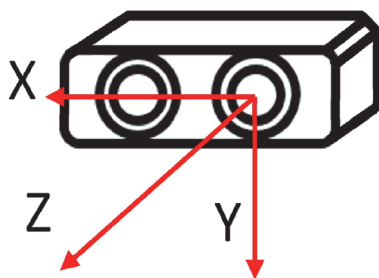


圖 1、VGG Image Annotator 操作介面

二、系統架構

本研究設計一番茄採收設備裝設於一行走載具上，包含深度攝影機、秤重設備、中控主機、機械手臂、採收爪具等。本研究將影像擷取、物件偵測、雙眼立體視覺等技術結合，擷取一張良好的影像後使用物件偵測模型分析，將處理完後之資訊計算其三維立體空間之座標，將其轉換至手臂坐標系，以完成番茄採收之目的。

三、訓練資料集建立

在影像中，以人工完成將要偵測的物件進行樣本標記的工作，再將影像本身與標記完成的資料輸入神經網路進行訓練，利用 Mask R-CNN 將判斷的結果與實際的結果進行計算誤差，根據其誤差值反過來修正演算法內部的參數。然而機器學習受到輸入資料的影響很大，未被訓練過的影像很容易出現誤偵測或沒找到目標的情況，於是為了評估一模型的訓練成效，在收集到的資料上會分為訓練集(training dataset)與驗證資料集(validation dataset)。

本研究將由深度攝影機取得的 255 張影像進行訓練與驗證資料的分類，將 205 張影像歸類為訓練集資料，50 張影像歸類為驗證集資料，彼此不相重複，且為了增加資料量，在輸入神經網路之前會進行左右翻轉的動作，能使數據量增為 2 倍。

四、樣本標記

本研究使用 VGG Image Annotator(VIA)^[14]進行成熟樣本的標記。

VIA 為輕量型卻功能豐富的人工標記程式，在網頁瀏覽器上便能輕易進行標記的工作，且能輸出不同的資料格式提供使用者使用。

VIA 的輸出標記資料格式選用 json(JavaScript Object Notation)，標記完成的資料包括影像檔案名稱、影像大小、標記框形式集其資訊、標記類別等資料。本研究將經 VIA 標記完成的資料再轉換成 Microsoft common objects in context(MS COCO)資料格式輸入神經網路。

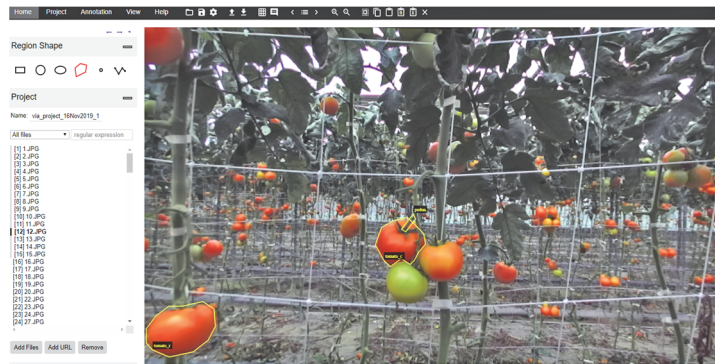


圖 2、VGG Image Annotator 操作介面

考慮到實際番茄生長狀況不一，在其生長過程中受到其他果實的推擠、網子的遮擋、枝幹的遮擋等情況，未必是每一顆成熟的番茄皆能進行採摘，故在此本研究將目標分為三類：成熟且無遮擋番茄(Full)、成熟但被遮擋的番茄(Covered)、番茄梗(Peduncle)。

如圖 2 所示，中間的成熟番茄被下方未成熟的綠色番茄遮擋，便對分類為遮擋的番茄，並對其梗進行標記；左下即是成熟且無遮擋番茄，沒有對其標記梗的原因為，當人類都不能確認其目標確實位置時便不對其進行標記。

五、Mask R-CNN 參數設定

本研究模型使用 ResNet-101 在 COCO 訓練過的預訓練模型(pre-trained model)進行遷移式學習(transfer learning)，COCO 資料集有 80 個分類與數萬張的影像，預訓練模型即是使用此數據集先行進行訓練，因 COCO 的數據集數量龐大且種類多元，故預訓練模型已經有各種類別的資訊，且抓取特徵的能力強大；未來在不同研究領域下，只要套用此模型，再加上自

已準備要應用的場合進行最後的訓練，將模型轉化成所需的專用模型即可，如此便能節省在開發不同領域時，訓練完整模型的時間。

本研究將訓練分為三個階段，如表 3-5 所示。第一階段使用 0.001 學習率，僅訓練 RPN、分類與 mask 層；第二階段使用 0.001 學習率，訓練 ResNet 第 4 部分之後；第三階段則是以 0.0001 學習率訓練全部的網路。

訓練過程將會記錄訓練資料集與驗資料集的整體誤差、RPN 誤差、mask 層誤差等。提供最後模型選擇的指標之一。

表 1、訓練階段資料表

| Stage | Epoch | LR | Layers |
|-------|---------|--------|-----------------------|
| 1 | 1-40 | 0.001 | heads |
| 2 | 40-120 | 0.001 | ResNet Stage 4 and up |
| 3 | 120-160 | 0.0001 | all |

六、機械手臂定位控制

本研究使用手臂為協作型機械手臂 UR-5，其特點為有六軸轉動機構，分別為 x、y、z、Rx、Ry、Rz，XYZ 由深度攝影機提供，剩下三個資訊 Rx、Ry、Rz 為旋轉向量，利用角度的變化再經由羅德里格旋轉公式去計算實際的旋轉向量，得出下列公式：

$$x = \frac{r_{32} - r_{23}}{2\sin\theta} \times \theta \quad (1)$$

$$y = \frac{r_{13} - r_{31}}{2\sin\theta} \times \theta \quad (2)$$

$$z = \frac{r_{21} - r_{12}}{2\sin\theta} \times \theta \quad (3)$$

根據上述計算結果表示，只要能擁有角度資訊便能使用羅德里格旋轉公式將旋轉矩陣轉換至旋轉向量供機械手臂使用；因此本研究將影像分為四個區塊，共九個頂點，以手動方式移動機械手臂末端至前述頂點，記錄其腕關節 3 所架設之二指夾爪正面面對果實的三個腕關節分別的旋轉角度。紀錄完的頂點使用雙線性插值取得目標點的旋轉角度，最後使用轉換式計算機械手臂腕關節所需的旋轉向量之值。

結果與討論

一、Object Detection

本研究使用 Mask RCNN，backbone 選用 Resnet101 的 COCO pre-trained model，learning rate 設定 0.001，使用隨機梯度坡降法 (SGD)，輸入圖片大小為 1024 x 704，訓練 160 epochs。

總影像數量為 255 張，隨機挑選 205 張作為訓練樣本，剩餘 50 張作為驗證樣本，使用 VIA 進行多邊形框選標註，在全部照片中共有 1538 顆有標註之番茄。

為了評估模型的成效與閾值的選擇，使用下列公式進行計算：

$$\text{Precision} = TP / (TP + FP) \quad (4)$$

$$\text{Recall} = TP / (TP + FN) \quad (5)$$

$$\text{IoU} = \text{Intersection} / \text{Union} \quad (6)$$

TP 為正確判斷的數量，FP 為錯誤判斷的數量，FN 為沒判斷到的數量。

Intersection over Union(IoU)為辨識的邊界框與實際框的重疊比率。

使用 Mask R-CNN 訓練的目標物分為：完整的番茄、被遮擋的番茄、梗。如圖 3 所示，驗正樣本在 IoU@90 情況下，即 IoU 大於 0.9 判斷為正確，小於 0.9 則為錯誤判斷，mAP 為 1.0，在 IoU@95 下才有失敗，此時訓練結果 Precision 為 98.6%，Recall 為 98.6%，圖 4 則為 IoU@95 時，三個分類的 AP。

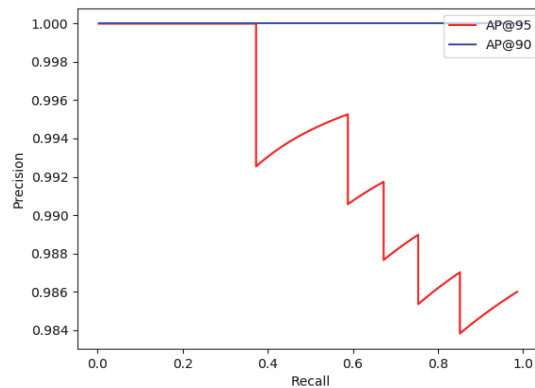


圖 3、Precision-recall curves of two IoUs.

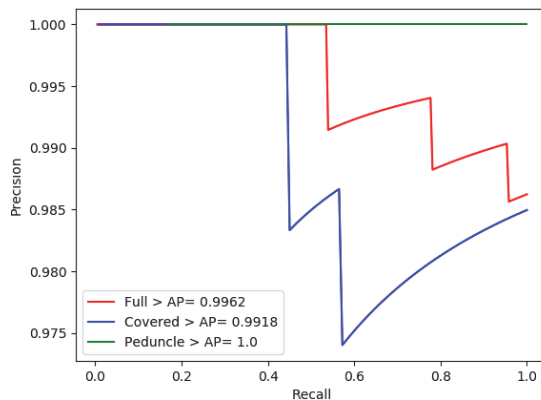


圖 4、Precision-recall curves of three classes.

二、深度攝影機位置計算

本研究使用 ZED mini 雙目視覺深度攝影機作為研究材料，其深度可計算範圍為 0.15-12 m 間，在本研究的場域攝影機裝設於自走載具上，攝影機至番瓜果實距離約為 0.4-0.7 m 間，因此對深度攝影機計算之三維空間資訊與實際位置進行比對與計算誤差。如表 2 所示，最大誤差為 1.85 cm，平均誤差約為 0.53 cm；XY 方向的最大誤差為 1.14 cm，平均為 0.48 cm，深度 Z 方面最大誤差為 1.86 cm，平均誤差為 0.67 cm。

表 2、深度攝影機三維空間計算與實際位置比較

| (cm) | Prediction | | | Measurement | | |
|------|------------|--------|-------|-------------|--------|-------|
| | X | Y | Z | X | Y | Z |
| 1 | -1.52 | -13.14 | 48.08 | -2.00 | -12.00 | 48.00 |
| 2 | -5.17 | -11.46 | 56.07 | -5.50 | -11.00 | 56.00 |
| 3 | 8.46 | -7.93 | 49.80 | 8.00 | -8.00 | 50.50 |
| 4 | 14.64 | -10.57 | 64.35 | 14.00 | -10.50 | 62.50 |

三、機械手臂定位控制結果

本研究為取得旋轉向量之值，使用角度轉換成弧度，建構一旋轉矩陣並以此矩陣轉換至旋轉向量；因此需要量測其 2 x 2 網格的頂點角度值，在記錄數值時發現在 50 cm、55 cm、60 cm 間，機械手臂腕部 3 個關節的旋轉角度在相同頂點下變化性不大，因此本實驗使用 55 cm 的深度紀錄頂點的數值，如表 3 所示。

表 3、腕關節於頂點旋轉角度表

| 頂點位置 | 1 | | | 2 | | | 3 | | | |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 腕關節 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | |
| 頂點 位置 | 1 | 89.31 | 43.12 | 86.10 | 95.37 | 47.19 | 100.84 | 90.04 | 44.08 | 90.06 |
| | 2 | 89.09 | 43.32 | 94.08 | 92.70 | 45.41 | 91.94 | 93.32 | 43.26 | 97.04 |
| | 3 | 92.11 | 44.20 | 93.93 | 91.37 | 46.25 | 94.87 | 88.65 | 48.95 | 93.26 |

根據上表即可以雙線性插值取得影像中任意點的機械手臂腕關節需轉動的角度值，最後計算出轉換成旋轉像量的數值後，便能以此 6 個值傳送至機械手臂並驅動機械手臂至該定點，根據上表即可以雙線性插值取得影像中任意點的機械手臂腕關節需轉動的角度值。

結 論

本研究整合物件偵測網路與深度攝影機的運用，建立一成熟番茄果實位置定位與預估其大小。物件偵測網路使用具有高精確度的 Mask R-CNN 搭配 ResNet 網路進行成熟果實的檢測，其像素級別的檢測能很好的對被遮擋的物體進行預測，對於農業上來說有很好的應用空間。

本研究對該番茄採摘系統進行採摘試驗，經試驗結果顯示在距離為 50 與 60 公分時，在可採取的上方範圍會有採取位置偏移的情況，但仍可進行採摘的動作。本研究從影像擷取、影像偵測、果實採摘至秤重的一回流程總耗時為 25 秒。使用的機械手臂使用的是商用手臂，以實際應用來看，該機器手臂 UR-5 的價格過於高昂，建議未來改採用自製的機械手臂來替代。

誌 謝

本研究由科技部計畫編號 MOST 109-2321-B-002-052 經費支持。

參考文獻

1. Quan, Q., Lanlan, T., Xiaojun, Q., Kai, J., & Qingchun, F. (2017, April). Selecting candidate regions of clustered tomato fruits under complex greenhouse scenes using RGB-D data. In 2017 3rd International Conference on Control, Automation and Robotics (ICCAR) (pp. 389-393). IEEE.
2. Gongal, A., Amatya, S., Karkee, M., Zhang, Q., & Lewis, K. (2015). Sensors and systems for fruit detection and localization: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 116, 8-19.
3. Hayashi, S., Shigematsu, K., Yamamoto, S., Kobayashi, K., Kohno, Y., Kamata, J., & Kurita, M. (2010). Evaluation of a strawberry-harvesting robot in a field test. *Biosystems engineering*, 105(2), 160-171.
4. Ji, W., Zhao, D., Cheng, F., Xu, B., Zhang, Y., & Wang, J. (2012). Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot. *Computers & Electrical Engineering*, 38(5), 1186-1195.
5. Nguyen, T. T., Vandevoorde, K., Wouters, N., Kayacan, E., De Baerdemaeker, J. G., & Saeys, W. (2016). Detection of red and bicoloured apples on tree with an RGB-D camera. *Biosystems Engineering*, 146, 33-44.
6. Bulanon, D. M., Kataoka, T., Ota, Y., & Hiroma, T. (2002). AE—automation and emerging technologies: a segmentation algorithm for the automatic recognition of Fuji apples at harvest. *Biosystems Engineering*, 83(4), 405-412.
7. Xiong, J., R. Lin, Z. Liu, Z. He, L. Tang, Z. Yang and X. Zou. 2018. The recognition of litchi

- clusters and the calculation of picking point in a nocturnal natural environment. *Biosystems Engineering* 166: 44-57.
8. Yossy, E., J. Pranata, T. Wijaya, H. Hermawan and W. Budiharto. 2017. Mango Fruit Sortation System using Neural Network and Computer Vision. *Procedia Computer Science*, 116, 596-603.
 9. Bargoti, S., & Underwood, J. P. (2017). Image segmentation for fruit detection and yield estimation in apple orchards. *Journal of Field Robotics*, 34(6), 1039-1060.
 10. Rahnemoonfar, M., & Sheppard, C. (2017). Deep count: fruit counting based on deep simulated learning. *Sensors*, 17(4), 905.
 11. Wang, C., Zou, X., Tang, Y., Luo, L., & Feng, W. (2016). Localisation of litchi in an unstructured environment using binocular stereo vision. *Biosystems Engineering*, 145, 39-51.
 12. Yu, Y., Zhang, K., Yang, L., & Zhang, D. (2019). Fruit detection for strawberry harvesting robot in non-structural environment based on Mask-RCNN. *Computers and Electronics in Agriculture*, 163, 104846.
 13. He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. 2017. Mask r-cnn. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*: 2961-2969.
 14. Dutta, A., & Zisserman, A. 2019. The VIA annotation software for images, audio and video. In *Proceedings of the 27th ACM International Conference on Multimedia*: 2276-2279.

外骨骼搬運服之省力功效評估

Dang Khanh Linh Le、趙淑真、王獻民、林韋至

國立中山大學機械與機電工程學系 研究生、研究助理、研究生、副教授

摘要

本研究以小果番茄園的分裝搬運作業為實驗場域，將外骨骼搬運服導入，協助農民搬運裝盒成箱的小果番茄，此外並分別量測與分析穿戴外骨骼搬運服前後，背部背闊肌、豎脊肌，及手臂前三角肌的肌電訊號，評估外骨骼服在搬運過程中的省力功效差異。我們將該搬運工作分為(1)抬舉、(2)負重步行、(3)放置，以及(4)未負重步行共四種過程。在搬運作業中，(1)抬舉過程是肌力消耗最主高的動作，由數據顯示，在外骨骼搬運服的輔助下，在進行抬舉動作時，可有效降低 77.9%背闊肌、60.5%豎脊肌、40.2%前三角肌的肌肉消耗。而在進行(3)放置動作時，也可節省約 70.1%背闊肌、54.4%豎脊肌、36.0%前三角肌的肌肉消耗。在(2)負重步行過程中，因為主要使用的肌肉為手臂的前三角肌，而此肌肉的省力值可提高為 52.7%。而在(4)未負重步行時，由於無任何外加負荷，所以並無明顯的省力功效產生。最後，由量測的結果證明，我們認為此外骨骼搬運服在荷重搬運時可提供良好的省力效果，未來有很高的潛力大量的導入相關的工作場域中。

關鍵詞：外骨骼服、搬運工作、省力功效、肌電訊號

緒論

由國際勞工組織(International Labour Organization, ILO)曾經提出的數據顯示，農業是職業疾病發生率相當高的一個產業^[1]。而在農民的職業病中，有 93%是與職業性肌肉骨骼疾病(WMSDs)有關^[2]。台灣勞動部轄下的勞動及職業安全衛生研究所，在 2018 年的果農的職業衛生狀況調查報告中指出，在 110 位受訪果農中，高達 83.6%自訴出現有 WMSDs 的症狀，而發生 WMSDs 機率最高的身體部位有 5 個，分別為：下背和腰為 64.1%、膝蓋為 44.6%、肩膀為 40.2%、脖子為 37.0%，以及手和手腕的 37.0%^[3]。由此數據可知，果農發生 WMSDs 的部位很高比率皆集中在背部與上肢，因此如能減緩長期和大量集中使用背部及上肢兩處的肌力，將可有效的降低農民罹患 WMSDs 的風險^[4]。

如何有效降低背部及上肢等身體部位罹患 WMSDs 的職業風險，有諸多方法已陸續被提出，例如採用正確的姿勢與動作、改善作業環境、以機械設備取代人力作業，或是結合輔助機具的運用等等，皆能有效的降低肢體的負擔及勞動傷害。其中，將輔助機具運用在生產工作上，國際上已有數個導入的實例，主要是讓生產人員穿戴外骨骼服，透過外骨骼服上的動

力輔助構件，產生額外的輔助力量，對特定的姿勢或運動供身體支撐或保護，降低穿戴者工作時的肌肉活動負荷^[4]。例如，一企業將上肢外骨骼輔助服(Exoskeleton)導入其汽車組裝生產線上，在穿戴後，可協助裝配員減低長期舉臂安裝零件時的肌力消耗，以及人體的職業傷害風險。此外，亦有許多研究文獻針對外骨骼的功能性做探討，測試數據顯示，穿戴上肢及背部外骨骼可減緩肌力消耗。如抬舉飼料包、撿拾雞蛋及修剪鋸木等多種農事作業中，使用背部外骨骼服(Laevo V2.5)10 至 20 分鐘，可以減少消耗 65%的豎脊肌的肌肉消耗^[5]。相同地，汽車裝配人員在穿戴上肢外骨骼(Lavitare AIRFRAME™)後，在執行抬手過肩工作時，可以降低 34%的三角肌中位數肌肉活動^[6]。所以透過外骨骼降低罹患背部及上肢部位的 WMSDs 風險，是一種具有很高潛力的工具與模式。

在眾多的農務作業中，搬運是最為常見，且體力消耗較高的工作項目，目前台灣大部分的農民還是依賴人力搬運的模式為主，雖然搬運工時不長，但由於搬運所需的肌力耗損相當大，再長期的累積後，因此也使得 WMSDs 發生的頻率大幅的提升。因此本研究規劃將一外骨骼搬運服導入農事搬運作業上，並評估驗證其對上肢與背部肌肉活動時的省力功效，協助農民降低搬運所帶來的體力消耗，以及有效的降低罹患 WMSDs 風險。

實驗設計與量測

一、省力功效量測步驟

本研究主要以小果番茄園的分裝搬運作業為實驗場域，一般而言，農民在採收完小果蕃茄後，大多於分裝區進行挑選和裝盒成箱，每箱共有十小盒小果番茄，平均每箱重量約為 6 公斤，在裝箱完成後，大多依靠人力由分裝區搬運至集貨區，等待出貨，而分裝區至集貨區距離約 5 公尺。由於小果番茄產季長達半年，幾乎每日皆需採收、分裝和搬運，而長時且繁重的搬運作業，很容易造成農民發生下背痛的職業傷害。因此，本研究將把外骨骼搬運服應用於小果番茄園的分裝搬運作業中，減少上敘的問題發生。首先，模擬農民在分裝區，將小番茄搬運至集貨場的來回動作，由測試者以穿戴、未穿戴外骨骼搬運服，各自執行搬運作業 8 次，並量測穿戴外骨骼服前、後的肌肉活動差異，實驗量測則依據 SENIAM 的協議內容進行^[7]，量測上肢肌肉的最大自主收縮(MVC)，及背部肌肉的參考自主收縮(RVC)，量化外骨骼支撐背部與上肢肌肉的效果，測試外骨骼搬運服對於降低背部肌肉活動的效果，搬運模擬作業如圖 1 所示。試驗步驟如下：

1. 抬舉：測試者彎腰將 6 公斤重的水果箱，從地面抬舉至站立姿態。
2. 負重步行：測試者抬舉 6 公斤重的水果箱，從分裝區搬運至集貨場。
3. 放置：測試者將 6 公斤重的水果箱，由站立姿態放置於地面。
4. 未負重步行：測試者從集貨場徒手步行至分裝區。



圖 1、搬運模擬作業圖。圖(a)至(d)步驟為未穿戴外骨骼省力服進行搬運作業，圖(a)為抬舉動作、圖(b)為負重步行、圖(c)則為放置中物、圖(d)為未負重步行；圖(e)至(h)步驟為穿戴外骨骼，分別測試抬舉、負重步行、放下、未負重步行進行搬運作業

二、外骨骼搬運服介紹

本研究所使用的外骨骼搬運服，外觀如圖 2 所示，主要由機構式的上肢和動力式的腰部輔助元件所構成，而穿戴方式與一般的背包穿脫方式無異，步驟簡單、快速。此搬運服的上肢手臂輔助部分設有一無動力的彈力裝置，當穿戴者抬舉物品時，透過彈力協助抬舉上臂。而在搬運服的腰部動力輔助元件，如圖二(c)所示，則由兩伺服馬達機構所組成，在穿戴者彎腰抬舉物品時，提供適時的回彈與支撐力，進而降低搬運時背部肌肉的肌力消耗。在腰部的支撐力提供，本實驗並未選擇扭矩感測自主驅動的模式，或乾式 EMG 感測器驅動模式，而是以穿戴者自主開關驅動的模式進行，如圖二(d)所示，穿戴者可以透過手套內藏的壓力感測器為開關，當進行搬運作業時，手指觸碰物品產生一壓力訊號後，腰部兩側的伺服馬達即可被驅動，並帶動固定於大腿上的連接桿，進而提供額外的輔助力協助抬升，以及穿戴者回復站立姿態。



圖 2、本文所使用的外骨骼搬運服：(a)前視圖；(b)左視圖；(c)馬達裝置圖；(d)手指壓力感測器開關手套

三、省力值量測與數據分析

本研究使用的肌電訊號量測儀為藍芽無線生理回饋儀(NeXus 10, Mind Media BV, Nederland), 將電極貼附於試測者肌肉部位的皮膚表層後, 即可收集與記錄背部及上肢肌肉收縮時所產生的肌電訊號(EMG), 並根據 SENIAM 的規範^[7], 在表面電極貼附前, 需先將量測肌肉表面的毛髮清除, 再以酒精棉片清潔皮膚, 減少雜訊訊號的產生。每個表面電極相距 20mm, 並分別固定於背闊肌、豎脊肌與前三角肌部位, 接地電極則放置在第 7 頸椎(C7)上, 接收的訊號會則會利用 80-250 Hz 的濾波器進行濾波。最後, 所量測到的 EMG 訊號均會使用 Bio Trace 軟體(V2018A1, Mind Media BV, Nederland)做數據處理與分析。為了比較穿戴外骨骼搬運服前後的差異, 本研究將前三角肌的 EMG 數值, 以最大自主收縮百分比(%MVC)的方式進行標準化, 而背部背闊肌、豎脊肌的 EMG 數值分析, 則以自主收縮百分比(%RVC)的方式進行標準化計算, 取幅度機率密度函數(APDF)的第 10、50 和 90, 並分別定義為靜態、中位數和峰值的肌肉活動^[5]。

結果與討論

圖三顯示模擬試測者穿戴外骨骼服前、後時, 進行小果蕃茄搬運作業之肌電訊號量測值, 圖三(a)為穿戴前、後之背闊肌與豎脊肌肌電訊號。如果以藍色線代表的沒穿戴外骨骼服背闊肌肌電訊號為例, 與灰色線代表的穿戴外骨骼服背闊肌肌電訊號相比較, 圖中顯示在抬舉(1)水果箱動作時, 在外骨骼服的協助下, 藍色與灰色峰值有明顯的差異。同樣地, 在放置動作(3)時, 肌電訊號也有顯著的差異。而圖三(b)則為穿戴前、後之上臂前三角肌肌電訊號, 在進行負重步行動作(2)時, 代表沒穿戴外骨骼服的藍色線, 在使用外骨骼服的協助下, 橘色線的前三角肌肌力消耗亦有明顯的降低。

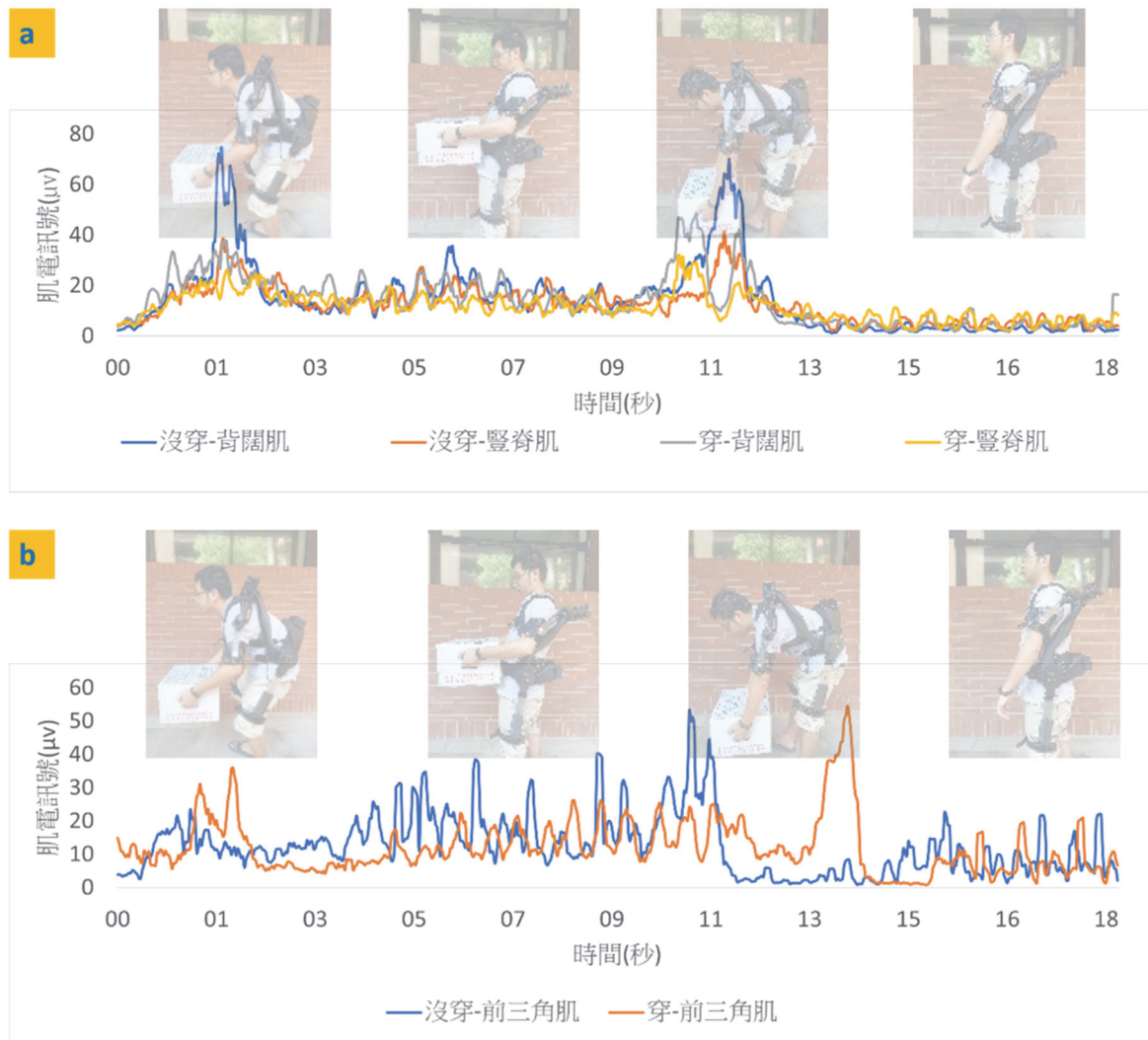


圖 3、外骨骼搬運服穿戴前、後之肌電訊號量測值：(a)背闊肌與豎脊肌之肌電訊號;(b)上臂前三角肌之肌電訊號

圖 4 (a)-(c)則為抬舉動作(1)時，穿戴外骨骼搬運服前、後的省力功效圖。在搬運抬舉(1)動作時，以中位數(50th)數值相互比較，外骨骼搬運服可以協助降低約 77.9%背闊肌、60.5%豎脊肌、40.2%前三角肌的肌力消耗。而圖 5 (a)-(c)則顯示，一樣以中位數(50th)的數值做比較，在進行放置動作(3)時，在穿戴外骨骼搬運服後，則可節省 70.1%的背闊肌、54.4%的豎脊肌和 36.0%的前三角肌肌肉消耗。由於進行彎腰搬運和置放動作時，主要的肌力消耗為背部肌肉，因此，由上述數據可知，此外骨骼搬運服可提供輔助力，協助穿戴者在進行彎腰動作後，有效的回復至站立姿勢，並且在進行重物放置時，也可提供支撐力，降低由站立到彎腰時，背部肌肉的肌力消耗。

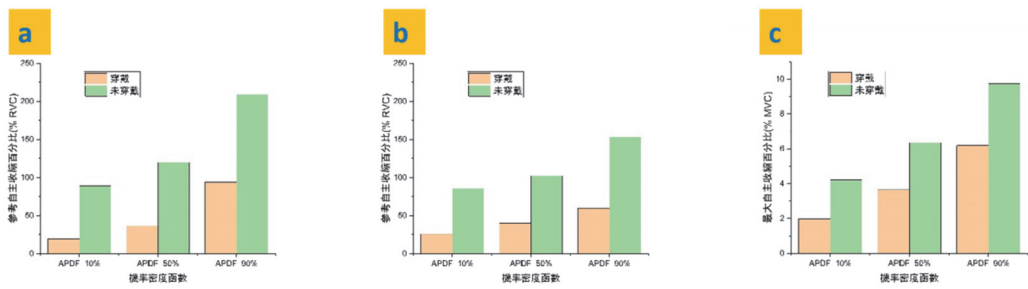


圖 4、穿戴外骨骼搬運服進行抬舉動作(1)之省力功效值：(a)背闊肌之省力功效；(b)豎脊肌之省力功效；(c)前三角肌之省力功效

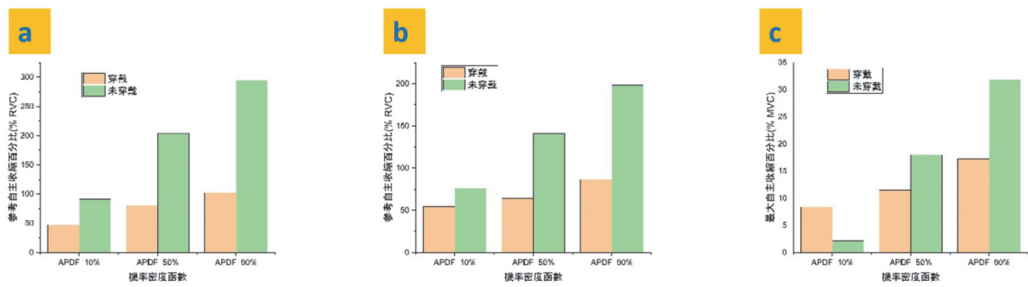


圖 5、穿戴外骨骼搬運服進行放置動作(3)之省力功效值：(a)背闊肌之省力功效；(b)豎脊肌之省力功效；(c)前三角肌之省力功效

圖 6 (a)-(c)為穿戴外骨骼搬運服前、後，進行負重步行動作(2)時，背闊肌、豎脊肌、前三角肌的肌力消耗省力功效圖。試測者在穿戴外骨骼服進行重物搬運時，由於主要是利用手臂的肌力進行重物的搬持，所以最大的肌力消耗會發生在手臂的前三角肌，因未大幅的使用到背闊肌和豎脊肌，所以腰部輔助動力裝置在協助該兩肌肉的省力功效上並不明顯，僅有約 11.6%和 10.5%。相反的，由於上肢手臂輔助彈力裝置的協助，手臂前三角肌的肌力消耗則可降至 52.7%。

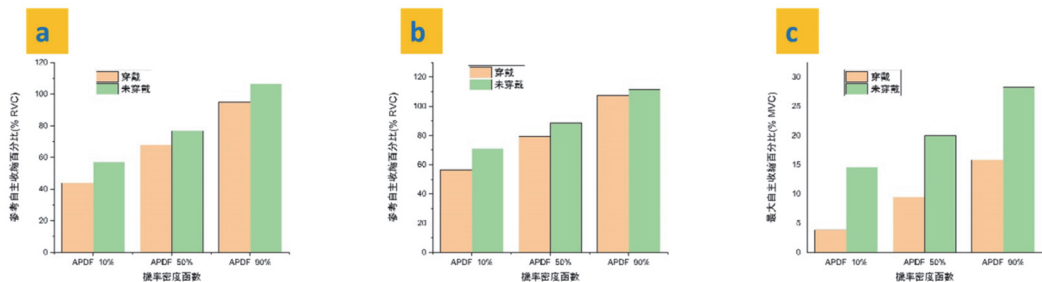


圖 6、穿戴外骨骼搬運服進行負重步行動作(2)之省力功效值：(a)背闊肌之省力功效；(b)豎脊肌之省力功效；(c)前三角肌之省力功效

在完成動作(1)、(2)、(3)動作後，當測試者進行未負重步行(4)動作時，在穿戴外骨骼服後，僅發生節省約 10%的背闊肌消耗，但出乎意料的，竟然造成豎脊肌和前三角肌的出力增加，增加的比率分別為 56.2%和 19.0%。由於在進行未負重步行(4)動作時，並無任何外加荷重，理論上不應發生出力增加的現象。因此為探究此狀況發生的原因，吾人將上肢手臂輔助彈力裝置和腰部的輔助馬達裝置分拆，重新量測個別之省力功效值。發現在分拆此兩裝置個別量測後，該兩肌肉出力增加的現象獲得明顯的改善。因此我們推測此現象的發生，有可能是因為兩機構的組裝與連結部分，設計並不完善，自由度不足，在整合一起後，反而造成穿戴者在自由行走的動作時，增加阻礙，造成額外的肌力消耗。但由負重步行動作(2)所分析出的數據，我們並未發現此現象的發生，背闊肌和豎脊肌皆呈現節省肌力消耗的結果，因此，此部分仍待後續更深入的研究與探討，未來也可將其列為本研究的研究重點之一。

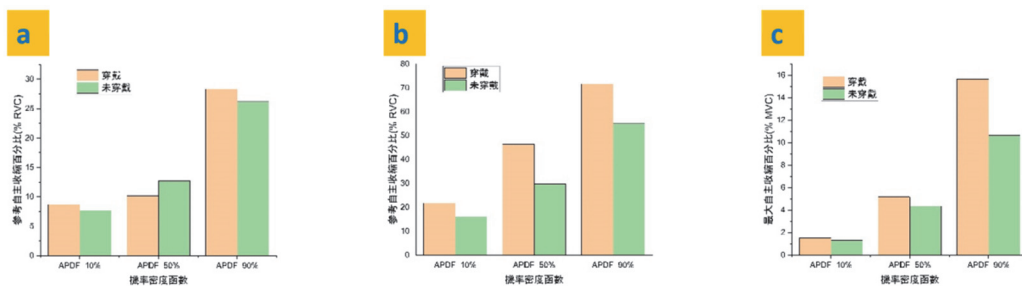


圖 7、穿戴外骨骼搬運服進行未負重步行(4)動作之省力功效值：(a)背闊肌背闊肌之省力功效; (b)豎脊肌背闊肌之省力功效; (c)前三角肌背闊肌之省力功效

結 論

綜合以上的研究數據，此外骨骼搬運服在進行搬運抬舉(1)、負重步行(2)、重物放置(3)等三種不同作業時，可以提供上臂及背部肌肉輔助力量，協助降低在搬運時肌力的消耗。以進行抬舉(1)動作時為例，可降低 77.9%的背闊肌、60.5%豎脊肌和前三角肌 40.2%的肌肉負荷；當進行負重步行(2)動作時，前三角肌的肌力消耗，則可節省 52.7%。因此，我們認為此外骨骼搬運服在不同的搬運動作時，可以分別提供不同肌肉部位輔助力量的功能。所以吾人相信此外骨骼搬運服應有很高的應用潛力，外來農民可以使用於農事作業中，減輕他們在農事作業中的肌力消耗，亦能降低農民罹患 WMSDs 的風險，進而提升工作後的生活品質。

誌 謝

作者要感謝這項研究得到了中華民國農業委員會的支持[項目編號 109AS-11.3.1-ST-a1 和 110AS-8.3.1-ST-a1]。

參考文獻

1. Howells R. The Robens Report. *Ind Law J (Lond)*. 1972;1:185-196.
2. Bernard C, Tourne M. Musculoskeletal disorders in agriculture. *Rev Prat*. 2007;57(11 Suppl): 45-50.
3. 勞動部勞動及職業安全衛生研究所；"農作物栽培業從業人員職業衛生狀況調查研究—以果樹栽培為例"；108；何雨芳、賴嘉祥
4. De Looze MP, Bosch T, Krause F, Stadler KS, O'Sullivan LW. Exoskeletons for industrial application and their potential effects on physical work load. *Ergonomics*. 2016;59(5):671-681.
5. Thamsuwan O, Milosavljevic S, Srinivasan D, Trask C. Potential exoskeleton uses for reducing low back muscular activity during farm tasks. *American Journal of Industrial Medicine*. 2020;63(11):1017-1028.
6. Iranzo S, Piedrabuena A, Iordanov D, Martinez-Iranzo U, Belda-Lois J-M. Ergonomics assessment of passive upper-limb exoskeletons in an automotive assembly plant. *Applied ergonomics*. 2020;87:103120.
7. Hermens HJ, Freriks B, Disselhorst-Klug C, Rau G. Development of recommendations for SEMG sensors and sensor placement procedures. *Journal of electromyography Kinesiology*. 2000;10(5):361-374.

電動農機未來發展展望

李汪盛

行政院農業委員會桃園區農業改良場

前 言

隨著環保法規的日益嚴格，以內燃機為動力的農機勢必需付出更高的成本以進行燃燒廢氣排放的管控。已有許多國家宣布 5-20 年內將禁售燃油車，顯示內燃機將逐步被淘汰，農機電動化已無可迴避，必須加速思考因應。

近 10 年來，電池能量密度及壽命均大幅提升，但價格卻大幅下降；電池取代燃油動力已成為經濟可行，這提供了研發電動農機極佳的時間點。農機電動化需整合電機、機械、控制、物聯網及人工智慧等相關技術，為先進國家農機的發展趨勢；台灣在此方面具備極佳的技術優勢，透過電動農機的開發可大幅提升農機產業競爭力，加速產業升級，拓展海外市場。

農業機械設備已被列入「中國製造 2025」的 10 大重點產業領域；以目前中國在感測器、人工智慧、雲端計算及預測分析等新技術的發展，相關技術如快速整合應用於電動農機的開發勢必會擠壓台灣農機的生存空間，特別是在具競爭性的新南向國家，台灣將逐漸喪失優勢，因此必須加速農機電動化技術的研發。

國內/外電動農機研發概況

近年來環保意識抬頭，歐盟針對農業機械之廢氣排放量進行嚴格把關，農業機械廠商逐漸財團化，導致許多大型農業機械更加集中於這些企業中，如曳引機、聯合收穫機、插秧機等農業機械，使得中小型農機廠商缺乏關鍵技術及大量資金，面臨被併購的嚴峻考驗，進而影響全球農業機械整個市場需求量的變化。目前全球主要的農業機械為田間機械(曳引機、耕耘機等)、管理機械(中耕管理機、噴霧機、割草機等)、灌溉系統、收穫機械(蔬菜收穫機、聯合收穫機等)，以及收穫後機械(乾燥機、選別機等)等，這些農機具的選擇和使用頻率，往往取決於作物的栽培方式、種植環境以及生產規模。我國農業機械的發展受限於市場規模，開發機種主要以農作通用機械為主，例如整地、中耕、除草、育苗、移栽、播種、噴霧、施肥、乾燥及搬運等中小型農業機械。大型農業機械如曳引機、插秧機、聯合收穫機、雜糧及特作專用機等機械大部分仰賴進口。

電動車是以車載電源為動力，用電機驅動車輪行駛的車輛。電動汽車根據電動車電力供給方式及所占的比例不同，可分為純電動汽車(Battery electric vehicle, BEV)、油電混合動力 HEV (Hybrid electric vehicle)、插電式混合動力汽車(Plug-in hybrid electric vehicle, PHEV)與增

程式電動車(Range extender electric vehicle, REEV)等類型。電動車主要零組件包括電池系統、驅動系統及車身及底盤等部分，電動車成本中電池系統占比最高約 40-50%，其次為驅動系統約 15-20%，車身及底盤約 16-18%。

電池是影響電動車價格及續航力之關鍵核心，電動機電池要求大電流，主要以鋰電池與鉛酸電池為主，可分為不可充電式一次性電池與可充電式二次性電池，考量經濟效率及環保問題，可充電式電池較為普遍。鋰電池依正極材料不同，可分成鋰鈷電池、鋰錳電池、鋰鎳電池及磷酸鐵鋰電池等幾種，負極則以石墨為主。鋰鈷電池應用於手機、筆記型電腦等電子產品；鋰錳電池常用於電動螺絲起子、電動扳手等電動手工具；鋰鎳電池安全性不佳，目前使用比例極少；磷酸鐵鋰電池電容量大、使用穩定性高，應用於電動車等電動交通工具。

國外農機廠商電動農機開發主要以曳引機為主，如 KUBOTA 公司、Celestial E-mobility、Monarch Tractor 及強鹿(John Deere)等公司均以開發鋰離子電池為動力之曳引機為主要研發機種；而國內電動農機研發主要以小型農業機械為主如中耕鋤草機、小葉菜散裝收穫機、甜椒採收機器人系統、折疊式電動中耕機、電動履帶新型高空作業車及履帶式電動智能跟隨農地搬運機等，分述如下：

嘉義大學 2011 年開發電動中耕鋤草機(圖 1)，以功率 3kW 電壓 48V 之直流無刷馬達 1 個、12V 深循環電池 4 個以及自行組裝的電路系統為動力源，取代原有汽油引擎，以固定行走速度 0.48 m/s 鋤草平均深度為 3cm，掉頭轉彎時間為 4.0s，鋤草深度及轉彎時間符合據經濟部中央標準局訂定之國家標準規範，惟直線作業速度偏慢，未達規定 0.5m/s 以上標準。



圖 1、嘉義大學 2011 年開發之電動中耕鋤草機

桃園區農業改良場 2015 年開發小葉菜散裝收穫機可用於莧菜及甘藷菜收穫(圖 2)，採用電動馬達，可以排除汽油引擎排出的廢氣，不落地收穫方式，做到食安，本機一人操作，行走速度 0.1-0.15 公尺/秒，目前人工採收效率，每 0.1 公頃需要 96 人工時，機械採收每 0.1 公頃需時 16~32 人工時，是人工的 3-6 倍，損傷率 5%以下。可以用來節省人力。

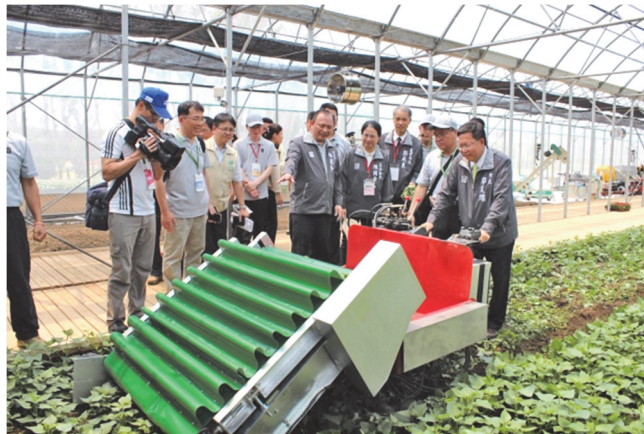


圖 2、桃園區農業改良場開發之小葉菜散裝收穫機

宜蘭大學 2015 年開發折疊式電動中耕機(圖 3)，電動中耕機總重量 48kg，搭配 60Ah 鋰鐵電池進行翻土作業實驗，充滿電後平均持續作業時間 77min，平均連續作業面積約 1850m²。使用普羅尼制動測功計測定耕耘軸輸出扭力值約 9kg-m，計算電動中耕機動力效率最高為 66.7%。在相同的作業面積下，電動中耕機的能源成本是汽油機的 10.9%，CO₂ 排放量僅汽油機的 30.4%，因此電動中耕機較傳統式引擎中耕機具有節能減碳之優勢。

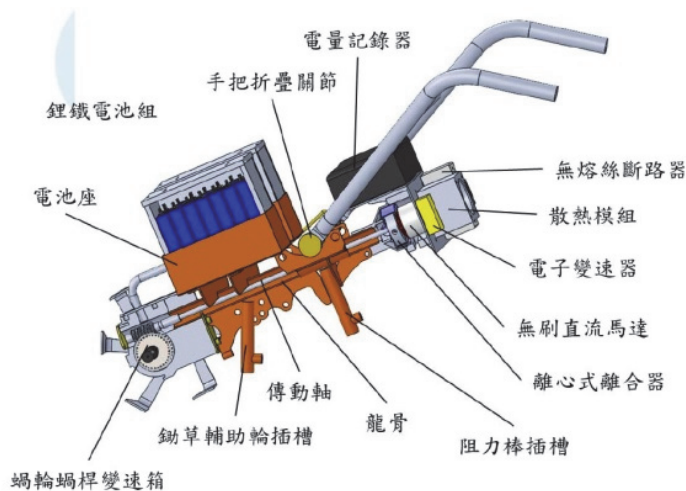


圖 3、宜蘭大學開發之折疊式電動中耕機

宜蘭大學 2017 年開發設施內甜椒採收機器人系統(圖 4)，機器人載台由四輪電動升降平台車所改裝，搭載市售六軸機器手臂、機器視覺與採摘爪具，可於設施內行道間進行自主式行走。機器視覺部分以兩部彩色攝影機擷取影像，程式進行影像處理判斷甜椒座標。實際甜椒果實採摘試驗之結果顯示，42 顆的試驗樣本中採收失敗 8 顆，成功率為 81%，其中爪具定位成功率為 88.1%，機器視覺判斷成功率為 100%。



圖 4、宜蘭大學開發之設施內甜椒採收機器人系統

臺南區農業改良場 2020 年開發電動履帶新型高空作業車(圖 5)，可應用於採收、整枝修剪及疏梢等田間操作，以電動馬達為動力源，高空作業車在操作移動上更加靈活簡便，並可使用遙控操作，搬運或跨越危險坡地時人員可不需乘坐其上，讓果園高空作業也能享有自動駕駛般的輕鬆與便利。作業車左右兩邊履帶由兩顆獨立電動馬達驅動，相較於傳統汽油動力式機型具有無油臭、可原地迴轉及因動力輸出平順而減少搖晃等優點，操作控制部分無需切換排檔，新型果園高空作業車在負載 120 公斤、舉升高度 2.8 米且傾斜角度 20° 以內的操作情況下，可保證其姿態安全；在充飽電力的情況下，不包含停歇時間，可連續行走 4 小時以上，本技術已經技術移轉郡野實業有限公司。



圖 5、臺南區農業改良場開發之電動履帶新型高空作業車

高雄區農業改良場 2020 年研發履帶式電動智能跟隨農地搬運機(圖 6)，運用屏東科技大學機械工程系副教授林宜弘的視覺辨識系統技術，讓搬運車無須遙控，就能自動跟隨在操作者 1 公尺距離；若是行進中車身意外發生碰撞，還設有安全開關會自動停止前進。此搬運機負重最高 200 公斤，滿載負重下可連續操作 2 小時。



圖 6、高雄區農業改良場開發之履帶式電動智能跟隨農地搬運機

台中區農業改良場 2021 年開發文心蘭電動自走式省工搬運裝置，搬運作業過程中，車輛卸貨後空車往返，以距離 10 公尺作測試，人力手推拖車與軌道式搬運車的平均行走時間，分別為 13.5 秒、75.5 秒，兩者速度差異達 5.6 倍。當負重 100 公斤時，人力手推拖車與軌道式搬運車的平均行走時間分別為 15.1 秒及 71.2 秒，可發現人力手推拖車在負重情況下，每趟行走時間將延長 11.8%，顯示，當負重越大，作業時間隨之延長；而軌道式搬運系統則無明顯時間差異，較傳統人力搬運更省時省力，減少作業辛勞，改善勞動作業環境。



圖 7、台中區農業改良場開發之文心蘭電動自走式省工搬運裝置

國內電動農機研發技術缺口分析及未來發展展望

綜整目前國內電動農機研發主要針對小型農業機械為主，電動農機所需的重要零組件如電池及馬達等均採用現有商品直接應用，並未針對農機使用特性進行優化。現行馬達為高轉速低扭力裝置，農業上主要應用於割草機、吹葉機及鏈鋸等高轉速機械，無法應用於需高扭力作業之農機，如曳引機、中耕機、管理機及噴霧機等，馬達勢必將成為電動農機發展的技術瓶頸；再者，目前農機採用電池系統均未進行最佳化充放電管理，電池使用壽命普遍不長，另外電池的安全性亦是電動農機開發的重點考量項目。

國內電動農機未來發展展望

臺灣進口品項主要為大型且較為複雜農業機械，如曳引機、收穫及脫粒聯合機、插秧機等，出口品項則以田間小型農業機械及收穫後處理機械為主，包括噴霧機、割草機、收割機及乾燥機等。臺灣農業機械產業以中小企業規模為多，以及臺灣的小農經營型態，相較於研發及生產成本較高的大型複雜農業機械，更傾向出口小型客製化農業機械。鑒於台灣農機產業型態，電動農機未來發展建議可朝高扭力直流馬達、相關控制系統及開發電池充放電智能管理系統等方向進行設計及製造，針對田間及溫網室用電動中小型農機、人機輔助、智慧化及無人化電動農機等機械進行開發，以解決目前台灣電動馬達、儲能及電力管理系統應用於農機開發之技術缺口，並滿足國內農機應用及國外農機出口需求，分述如下：

1. 開發 25 馬力以下高扭力直流馬達及相關控制系統：開發農用馬達與智慧化控制系統，進行馬達模型建立與分析模擬、結構設計製作，並進行馬達控制器設計製作及韌體開發，優化馬達扭力與性能。
2. 開發電池充放電智能管理系統：導入太陽能與新式電池等永續節能概念導入充電系統、電池替換操作模式與機構設計製作，開發電動農機智慧型電池充放電管理系統，精確判定殘留電量、延長電池壽命之農用充放電管理系統開發。
3. 開發田間及溫網室用電動中小型農機：設施蔬菜栽培為北部地區重要栽培方式，受限於設施面積，開發滿足國內及外銷需求可於設施內使用 25 馬力以下中小型農業機械，如電動曳引機及相關附掛式農機具、中耕、除草、育苗、移栽、播種、噴霧、施肥、乾燥及搬運等電動農業機械。
4. 開發電動人機輔具：台灣的農業發展面臨高齡化的困境，女性農民人口近年來亦有激增趨勢。開發出使用場域廣及作業高靈活度的穿戴式輔具供務農人員使用降低高齡務農人員或女性在農作物採收與搬運時的體力負荷以提高生產力，將成為重要研究課題。
5. 開發智慧化及無人化電動農機：智慧化及無人化電動農機開發是國際趨勢，自駕車技術的開發引領目前汽車產業的創新與發展，未來農機的發展自然不能漠視此趨勢；因此如何鼓勵國內農機企業籌組聯盟與整合並與學研界共同投入較高研發成本之智慧化及無人化未來農機開發，更顯重要。

五、參考文獻

1. 言車社。2021。混動不算新能源車了，油電混動，插電混動究竟怎麼選？。網址：
<https://ppfocus.com/0/edfc22bea.html>。
2. 李健、張汶肇。2020。建立電動履帶式高空作業車安全姿態模型。臺南區農業專訊 112：
17-19。
3. 張金元、田雲生、詹庭筑。2021。文心蘭電動自走式省工搬運裝置。臺中區農業專訊 112：
1-3。
4. 郭泰均。2015。折疊式電動中耕機之設計與研究。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學生物機
電工程學系。
5. 游昇俯。2021。省工好幫手自動跟隨電動搬運車窄身更適合溫網室使用，網址：
<https://www.agriharvest.tw/archives/53512>。
6. 楊智凱。2018。農業機械產業發展趨勢與人才職能需求研析。農政與農情 309：81-86。
7. 鄭允誠。2011。台灣中小型農機耗能調查及中耕鋤草機電動化評估與研製。碩士論文。嘉
義：國立嘉義大學生物機電工程學系。
8. 鐘立雯。2017。設施內甜椒採收機器人系統整合之研究。碩士論文。宜蘭：國立宜蘭大學
生物機電工程學系。