

國立政治大學商學院經營管理碩士學程

高階經營班碩士學位論文

物聯網應用於農業種植決策系統之研究

-以台灣甜玉米品質躍升計畫為例

Research on the application of the Internet of Things to the
agricultural planting decision-making system

-Taking Taiwan's sweet corn quality jump plan as an example

指導教授：詹文男 博士

尚孝純 博士

研究生：黃世貴 撰

中華民國 一一〇年 六月

摘要

本次研究的目的是主要為探討目前物聯網建置之感測單元用於農業的技術可行性，並設計田間感測模組連接物聯網資料收集之應用架構，來進行數據分析應用系統建置，同時使用專案計畫所獲得之資訊，透過數據收集來判斷生產之決策系統可行性，並提出建議方式及供給未來其他使用者之建置經驗。並探討以物聯網技術透過物聯網感測單元所獲得之數據，建構一套目前適合應用於農業的物種種植之決策系統技術，佈設於分散式玉米田間以此決策技術系統來精進農業生產技術。

本研究之研究目的主要為：

一、探討目前物聯網建置之感測單元用於農業的技術可行性，並設計田間感測模組連接物聯網資料收集之應用架構，來進行數據分析應用系統建置，同時使用專案計畫所獲得之資訊，透過數據收集來判斷生產之決策系統可行性。二、提出物聯網農業決策系統及數據來源方式之建議供給未來其他使用者之建置參考。

透過物聯網設施佈建，能否為農業生產決策系統發揮作物更大潛能，創造安全又便利的從農環境，吸引更多年輕人力投入，使臺灣農業邁向年輕化、有活力、高競爭力的精緻農業，提供穩定、生鮮、安全糧食。

以筆者多年在物聯網建置設備實務經驗，提供本研究在建置應用技術上一份實際的使用經驗，並透過實際的設備建置過程及數據收集的歷程，完成建置及收集農業田間運作資訊，並將此資訊提供至農業種植決策系統；透過此建置資訊資料進行農業種植決策系統規劃及設計建置，並以物聯網技術收集田間農業運作資訊，完成精進農業種植決策系統，提供規劃及建議方式，最為未來業界之參考。

關鍵詞: 物聯網、大數據、決策系統、智慧農業、田間感測

目 次

表次.....	iv
圖次.....	v
第一章 緒論.....	7
第一節 研究動機.....	7
第二節 研究目的.....	9
第三節 名詞解釋.....	11
第四節 研究範圍.....	14
第五節 論文結構與研究流程.....	18
第二章 文獻探討.....	19
第一節 智慧農業.....	19
第二節 物聯網技術.....	23
第三節 種植決策系統.....	24
第三章 研究方法.....	28
第一節 研究架構.....	28
第二節 研究構念.....	29
第三節 研究設計.....	30
第四節 研究工具.....	37
第四章 研究結果.....	47
第一節 個案說明.....	47
第二節 研究發現.....	55
第五章 結論與建議.....	75
第一節 結論.....	75

第二節 建議.....	77
第三節 研究限制.....	79
參考文獻.....	80



表次

表 1 常用各式植生指標定義.....	25
表 2 研究構念表.....	29
表 3 甜玉米種植 NDVI 分析模功能規格.....	32
表 4 甜玉米種植影像分析模組之功能規格.....	41
表 5 植株數量判釋結果.....	63
表 6 試驗田生育階段日數之比較.....	68
表 7 不同地區甜玉米生育性狀紀錄.....	68
表 8 金蜜在不同地區生育性狀紀錄.....	69
表 9 白美人在不同地區生育性狀紀錄.....	70
表 10 白美人在不同地區生育性狀紀錄.....	71
表 11 白美人在不同地區生育性狀紀錄.....	72
表 12 試驗田品質與產量性狀紀錄之比較.....	73
表 13 試驗田產量與良率紀錄.....	74

圖次

圖 1 IOT 裝置逐年成長情形	15
圖 2 農田 IOT 資料成長情形	16
圖 3 研究流程圖	18
圖 4 農業人均生產總額	20
圖 5 農企業目前採用之智慧化科技	21
圖 6 農企業未來三年將採用之智慧化科技	22
圖 7 研究架構	28
圖 8 智慧農業解決方案	31
圖 9 玉米田空拍地面站及航線規劃	32
圖 10 農業決策系統功能結構	33
圖 11 田間資料收集單元查詢操作流程	34
圖 12 種植決策系統設計首頁	35
圖 13 田間資料蒐集單元(氣象站及土壤站)資料	35
圖 14 田間感測單元數據趨勢圖	36
圖 15 田間感測單元比較儀錶板(Dashboard)	36
圖 16 田間土壤感測站外觀設計圖	39
圖 17 甜玉米種植影像分析模組系統架構圖	41
圖 18 觀察玉米的發芽率-雲林虎尾 RGB 影像及植裁判釋結果	43
圖 19 玉米生產個數計算實驗結果(部分)	44
圖 20 決策系統專家系統資訊模組-各場域即時數據綜合檢視畫面	45
圖 21 決策系統專家系統資訊模組-警戒值設定頁面	45
圖 22 決策系統專家系統資訊模組-作業履歷頁面	46
圖 23 場域分佈位置圖	48
圖 24 元長場域氣象站與土壤站分佈圖	49
圖 25 虎尾場域氣象站與土壤站分佈圖	49
圖 26 義竹場域氣象站與土壤站分佈圖	50
圖 27 各場域即時數據綜合檢視畫面	56
圖 28 種植決策模組警戒值設定頁面	57
圖 29 三種數值決策系統綜合分析圖-氣溫、土溫、葉齡	58
圖 30 兩種數值決策系統綜合分析圖-日射、葉齡	58
圖 31 虎尾 0201 號田 RGB 影像及植裁判釋結果	60

圖 32 虎尾 0201 號田 RGB 影像及植裁判釋結果.....	60
圖 33 玉米田抽葉時期 RGB 影像結果.....	61
圖 34 開花期 RGB 影像判讀結果.....	62
圖 35 植株數量判釋結果.....	63
圖 36 甜玉米生長階段與田間管理方式.....	66
圖 37 甜玉米生長階段圖，箭頭為計算葉齡方式.....	67



第一章 緒論

第一節 研究動機

一、 現今農業市場情形

台灣於 2018 年已經轉為高齡社會，預計在 2025 年即將進入超高齡社會，目前在台灣的農業生產人力也逐漸凋零，從事農業生產行業的農人也無法逐年負擔勞作及勞動，所幸青年回鄉行動計畫帶回來新的一批人力及新的想法。在回鄉計畫的青年中，希望能透過新的技術、新的思維、新的方法來使用新科技，來減輕或是降低農業生產的勞動、增加農產的生產效率、增加農產的銷售率。

二、 當前農業生產狀況

“靠天吃飯”是農夫傳統以來經營農業的方式，當氣候不佳發生氣候異常的時候，往往會造成收成不佳；或是氣候穩定時農作物產量穩定大豐收，造成產量爆發，以上兩種情形都會造成農作物價格崩盤等情形。若是可以在收穫前可以精準的判定本批次生產的品質、生產的產量、產出的時間點，便可以透過農產分級方式篩選出不同品質之農產品，再以事先進行之銷售模式來達成最佳銷售金額。

三、 科技導入新技術

近年來所發展的物聯網技術，透過全面感測器的佈設達成感測、低能源損耗穩定且長距離的傳輸模式，透過智慧的運算分析模式收集到田間生產數據，另外無人機運作所提供的光學感測模式及空中灑藥方式等方法，獲得新的田間數據來源。其他氣象數據來源可以透過中央氣象局所提供的各的日照數據，來協助提供當地端的氣象變化，以目前高速的計算機運作模式，進行數據運算統

技分析，導入分析模型，並以數據預測模式來達成物聯網智慧運算及分析數據應用之目的。

四、物聯網技術發展

隨著半導體技術的發展，新一代的傳感單元產生，以物聯網設備的方式進行大量數據的收集方式已經逐漸成形，透過數據的收集作為農產品之品質分析的證據，以證據來進行佐證農產品之生產品質，透過研究數據模型之方法達成精進農業種植決策系統之目標。

以筆者多年在物聯網建置設備實務經驗，提供本研究在建置應用技術上一份實際的使用經驗，並透過實際的設備建置過程及數據收集的歷程，完成建置及收集農業田間運作資訊，並將此資訊提供至農業種植決策系統；透過此建置資訊資料進行農業種植決策系統規劃及設計建置，並以物聯網技術收集田間農業運作資訊，完成精進農業種植決策系統，為本次研究之動機。

第二節 研究目的

本次研究的目的是主要為探討目前物聯網建置之感測單元用於農業的技術可行性，並設計田間感測模組連接物聯網資料收集之應用架構，來進行數據分析應用系統建置，同時使用專案計畫所獲得之資訊，透過數據收集來判斷生產之決策系統可行性，並提出建議方式及供給未來其他使用者之建置經驗。

探討以物聯網技術透過物聯網感測單元所獲得之數據，建構一套目前適合應用於農業的物種種植之決策系統技術，佈設於分散式玉米田間以此決策技術系統來精進農業生產技術。

本案例旨在研發適用於臺灣甜玉米之智慧農業服務方案，目前已掌握關鍵技術、經驗與專利，擬整合農業、地理、電機、資訊專業技術，建構能應用於大規模、土地零碎、各種品種之甜玉米農地的智慧農業服務方案，提供生產端自動記錄、資料整合、預測分析、品質定義等功能，解決甜玉米栽培品質與生產力有待提升、田間作業記錄精確度差、栽培技術進入障礙度高、無法深入了解消費需求與潛在通路等問題。

計畫分為農業感測器與監控硬體開發、甜玉米智慧應用系統開發、智慧甜玉米軟硬體整合與推廣之3大領域，藉由農業感測器與監控硬體、甜玉米智慧應用系統協助生產端能即時監控、自動調控、自動記錄、主動示警、歷史追蹤，同時協助生產端、專家學者蒐集與整合數萬個節點的資訊，包含：農地編號、感測器編號、土壤溫度、土壤濕度、葉綠素值、酸鹼值、氮磷鉀值、風速、風向、穗長、穗寬、穗徑、成熟度、甜度等資料，自動上傳於甜玉米種植決策支援模組，進行一連串的大數據分析，包含：農藥噴灑、肥料噴灑等判斷分析，產期、產量、病蟲害、品質等預測分析，圖形化與圖表化的分析結果提供生產

端、專家學者決策研究的依據。而甜玉米品質將會依大小、甜度、果皮厚度、水分、用途分成各等品級。

綜合上述，本研究之研究目的主要為：

- 一、探討目前物聯網建置之感測單元用於農業的技術可行性，並設計田間感測模組連接物聯網資料收集之應用架構，來進行數據分析應用系統建置，同時使用專案計畫所獲得之資訊，透過數據收集來判斷生產之決策系統可行性，
- 二、提出物聯網農業決策系統及數據來源方式之建議供給未來其他使用者之建置參考。

透過物聯網設施佈建，能否為農業生產決策系統發揮作物更大潛能，創造安全又便利的從農環境，吸引更多年輕人力投入，使臺灣農業邁向年輕化、有活力、高競爭力的精緻農業，提供穩定、生鮮、安全糧食。

第三節 名詞解釋

一、物聯網

引用維基百科的說明:物聯網（英語：Internet of Things，簡稱 IoT）是一種計算裝置、機械、數位機器相互關聯的系統，具備通用唯一辨識碼（UID），並具有通過網路傳輸數據的能力，無需人與人、或是人與裝置的互動。物聯網將現實世界數位化，應用範圍十分廣泛。物聯網可拉近分散的資料，統整物與物的數位資訊。物聯網的應用領域主要包括以下方面：運輸和物流、工業製造、健康醫療、智慧型環境（家庭、辦公、工廠）、個人和社會領域等。物聯網為受各界矚目的新興領域，但安全性是物聯網應用受到各界質疑的主要因素，主要的質疑在於物聯網技術正在快速發展中，但其中涉及的安全性挑戰，與可能需要的法規變更等，目前均相當欠缺。

上述需求針對物聯網設施產品之設計，就必須要有低功耗、高穩度性及高安全的相關產品設計需求，在本次研究中將針對田間物聯網感測單元設計有驗證之方式說明。

二、智慧農業

依據行政院農業委員會農業試驗所智慧農業專案小組網頁，介紹智慧農業，說明以現行產業生產模式為基礎，因應消費市場需求進行產銷規劃，生產管理上輔以省工省力機械設備、輔具及感測元件的研發應用，並結合跨領域之資通訊技術(ICT)、物聯網(IoT)、大數據(Big Data)分析、區塊鏈(Block Chain) 等前瞻技術導入，減輕農場作業負擔降低勞動力需求，提供農民更有效率的農場經營管理模式，生產符合消費者需求，安全、安心及可追溯的農產品。

智慧農業主要運用物聯網的概念與技術，在農場既有的實體物件如農機具、農業設施、土壤、作物等，導入感測元件(如：生物感測、環境感測及影像辨識等)，並結合無線通訊科技，將蒐集與擷取到的感測數據(如：溫溼度、光度、二氧化碳、土壤濕度、蟲害等)上傳至資料庫。更結合消費市場需求與商情資料蒐集，透過大數據資料探勘、整合及分析，將數據轉換為農業經營有用的資訊，提供農場管理者進行產銷規劃、生產管理及顧客服務等經營決策判斷參考，協助產銷過程的智慧監控，減輕農場作業負擔降低勞動力需求，建立更有效率的農場經營管理模式，生產符合消費者需求，安全、安心及可追溯的農產品。

三、低功耗廣域網路

引用維基百科，LPWAN (Low-Power Wide-Area Network，低功率廣域網路) 也稱為 LPWA (Low-Power Wide-Area)，或 LPN (Low-Power Network，低功率網路)，是一種用在物聯網(例如以電池為電源的感測器)，可以用低位元率進行長距離通訊的無線網路。低電量需求、低位元率與使用時機可以用來區分 LPWAN 與無線廣域網路，無線廣域網路被設計來連接企業或用戶，可以傳輸更多資料但也更耗能。LPWAN 每個頻道的傳輸速率介於 0.3 kbit/s 到 50 kbit/s 之間。

LPWAN 可以用來建立一個私有的無線感測網路，但也可以是一個第三方提供的服務或基礎設施，這使感測器的擁有者可以直接部署感測器，而不必投資經費於開道器的建設。

四、無人飛行載具

引用維基百科，無人航空載具(英語:unmanned aerial vehicle，縮寫:UAV) 或稱無人飛行器系統(unmanned aircraft system，縮寫:UAS)，俗稱無人飛機、

無人機、蜂型機 (drone)，廣義上為不需要駕駛員登機駕駛的各式遙控飛行器，在用途上通常分為軍用和民用。至於無人駕駛作戰飛機則是具備類似攻擊機的性能，而且成本低。

無人機通常使用遙控、導引或自動駕駛來控制。可在科學研究、場地探勘、軍事、休閒娛樂用途上使用。

內建或外掛照相機、攝影機的飛行載具常被俗稱為「空拍機」。無人機的全球市場在近年大幅增長，現已成為商業、政府和消費應用的重要工具。其能夠支持諸多領域的解決方案，廣泛應用於建築、石油、天然氣、能源、農業、救災等領域。



第四節 研究範圍

一、 農業感測器與監控硬體開發方案

應用於田間的土壤感測 Sensor 在智慧農業的應用領域將扮演越來越重要的角色，其目的是要能即時的收集土壤環境狀況，提供種植決策分析，並在土壤條件偏離設定的最佳條件時，能夠即時的將訊息反饋給中控中心，由系統經過土壤條件分析後，自動提供作業要求給現場作業人員，對可控的條件進行補償作業，如灌溉加濕、噴灑或停供農藥、補充或停止肥料供應以及計算不同區域的積溫及提供採收建議等。

如為大田間不可控的環境條件，如過度光照或日照不足、溫度過高或過低等，則可將環境資訊提供種植決策系統判斷，估算該區域的作物收成狀況或品質，讓農企業有充足的資訊做產能調配及產值預估。

二、 農業感測器智慧應用裝置用於農業種植決策系統

農業種植決策系統，顧名思義就是農業 IoT 的中央核心控制單元，將分散各地的感測器資訊，透過不同類型的傳輸裝置，集中到企業中央的 Server 內，透過軟體平台將零散的資料分類集中運算後，以內建功能製成圖表，並將結構化的資料送至專家系統進行分析，將決策指示送回中央資料整合模組，由此模組派送作業指示到現場工作人員。

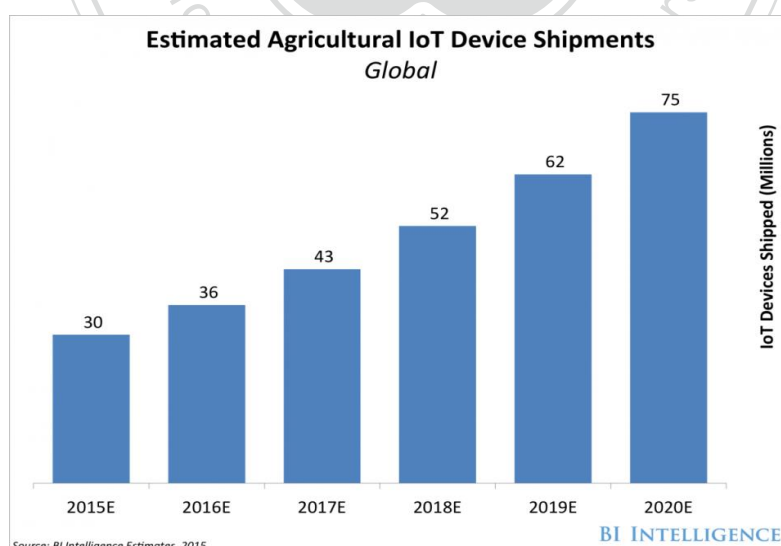
農業種植決策系統可以運作在企業的私有雲上或是現場邊緣運算單元，並透過感測器網絡收集來自四面八方的訊息。一旦從傳感器收集數據並集中到存儲系統上，以幫助用戶理解的方式組織信息就變得非常重要。“策劃”(Curating)這些數據的活動通常涉及使用資料庫軟體，依據現場佈設感測單元的複雜度，選擇適當運算單元進行資料收集，並由於實際需求來搭配選擇運算單元，此專

案我們將以工業級邊緣運算單元作為中央資料整合模組的硬體平台。透過農業種植決策系統的研究，測試驗證資料傳輸之可靠度，以達成數據資料收集之目的。

三、軟硬體整合與推動決策系統

多數人都耳熟能詳，聯合國農糧組織預測在 2050 年，人類需提升 70% 的糧食產能以因應人口的膨脹。也因此，透過物聯網實現的智能農業在 2010 年後也開始日漸蓬勃發展，這當然也是拜手持式裝置快速成長之賜。

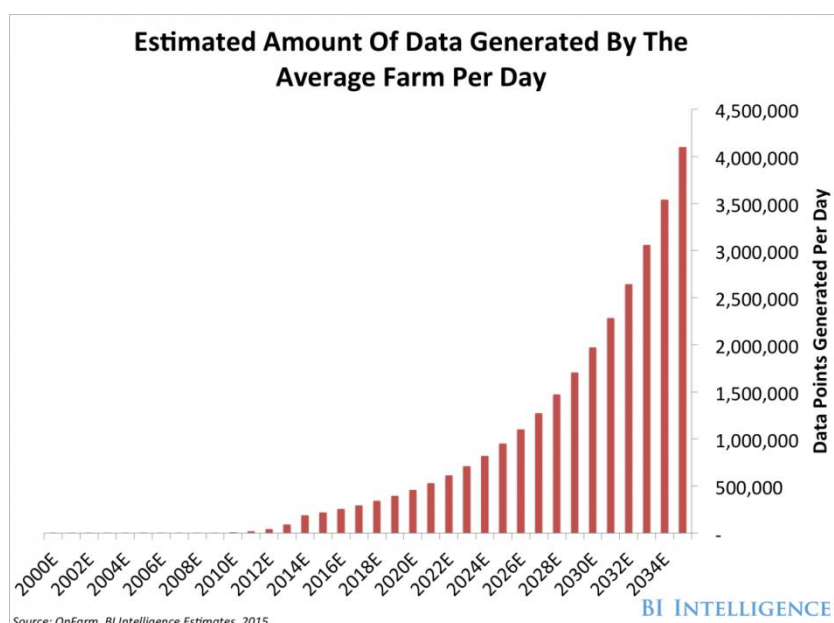
在歐美，透過 ICT 協助提升作物產值、產能的方案相當多，一般稱之為精準農業(Precision Farming)或智能農業(Smart Farming)，主要的硬體發展著重在物聯網(IoT)、農業感測器(Agriculture Sensor)以及農用無人機(Farming Drones)，配合大數據的分析運算架構，使得產量得到明顯的提升、費用明顯的下降。Business Insider 預測，全球在農田中裝設的 IoT 裝置，將由 2015 年的 3000 萬個，增長到 2020 年的 7500 萬個，年成長率越 20%，如圖 1:



資料來源:BI Intelligence Estimates 2015

圖 1 IOT 裝置逐年成長情形

在此同時，OnFarm(美國的農業物聯網平台商)也預期，一個一般的農田(指的是美國的大型農場)，每日產出的資料點數，將由 2014 年的 190,000 點，激增到 2050 年的 4.1 百萬點，呈指數的成長。如圖 2:



資料來源: 資料來源:BI Intellogence Estimates 2015

圖 2 農田 IOT 資料成長情形

為處理此龐大的數據，相應而生的農業大數據運算平台與控制介面也如雨後春筍般地出現。多數此類的公司(大都為新創公司)都發展了硬體(感測器與傳輸裝置)與專屬軟體(監控與決策輔助 UI)。如美國的 Farmobile, OnFarm Systems, CROPX, FARMX 等。不過因為歐美的農業型態與台灣差異相當大，他們動輒為幾百或上千公頃的大型農田，高度仰賴自動化機械，有效的噴灑灌溉也為他們最重視的課題，所開發的系統與台灣的實際應用情況不同。

這幾年在台灣也有大量的科技企業或新創公司開始投入智慧農業的領域，如國興資訊、凌誠科技、金子進科技、尚茂智能、台達(主要聚焦植物工廠)等，但多數公司的方案都不甚完整，尚難提供軟硬體兼具，且可彈性規劃應用介面及深度運算的智慧農業方案。

日本及中國則有較具規模的公司發展成熟度較高的整體性產品，如日本的富士通、豐田、NEC、Vegetalia 等，中國則有托普物聯網、大北農、中農富通、安徽朗坤、瑞雪環球等。市場百花齊放，各有各的專精。但是以台灣本地的需求來看，以上的方案提供者有幾個問題：

1. 日系產品價格高昂，中國產品則品質不明
2. 多數方案的軟體都是封閉式，並需透過雲端分析，將田間資訊全部上傳到業者資料庫中進行分析
3. 因應不同場域、作物、農企業型態，方案必須具備非常大的彈性調整空間，這是一般軟體提供者很難達到的
4. 物聯網時代，要以一家企業垂直整合提出產業，特別是農業的應用方案，要能真正符合需求是非常困難的。

就以上觀點看來，以市場近期進行推動物聯網事業時所採取的方式概略有以下幾種方案：

1. 組成生態圈，將產業上、中、下游的業者整合，共同以所專精的技術組合成為該產業的應用方案
2. 提供硬體的基礎架構產品供方案配置
3. 提供 PaaS 平台供生態圈夥伴快速應用，架構出該產業的應用解決方案

透過這樣的概念與上述提之方案，希望透過此計畫能與台灣的農企業、學術單位、無人機公司合作，進行軟硬體資訊整合，共同打造屬於台灣的智慧農業整合方案，開發農業決策系統，將 Know How 保留在台灣的產業生態圈內，也進一步在國際的智慧農業熱潮中踏出屬於台灣的一步。

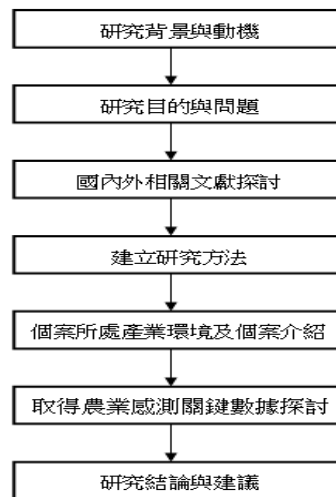
第五節 論文結構與研究流程

一、論文章節架構:

本研究內容共分為五章，第一章闡述研究背景、研究動機，以及所欲探討的研究問題與目的、名詞釋義及研究範圍等；第二章將就研究問題相關的國內外文獻進行蒐集與探討；第三章主要說明本研究的研究架構，與所採用的研究設計、研究對象與工具及資料蒐集方式；第四章針對個案所處產業及個案案例做說明，並進行研究結果的分析與討論；第五章提出結論與建議。

二、研究流程

本研究依據農業實際生產之契作玉米田為實驗案場，以實際需求設置資料收集流程，並實際設計架設物聯網感測農業種植決策系統，其設計規劃設計研究如圖 3。



資料來源:本研究

圖 3 研究流程圖

第二章 文獻探討

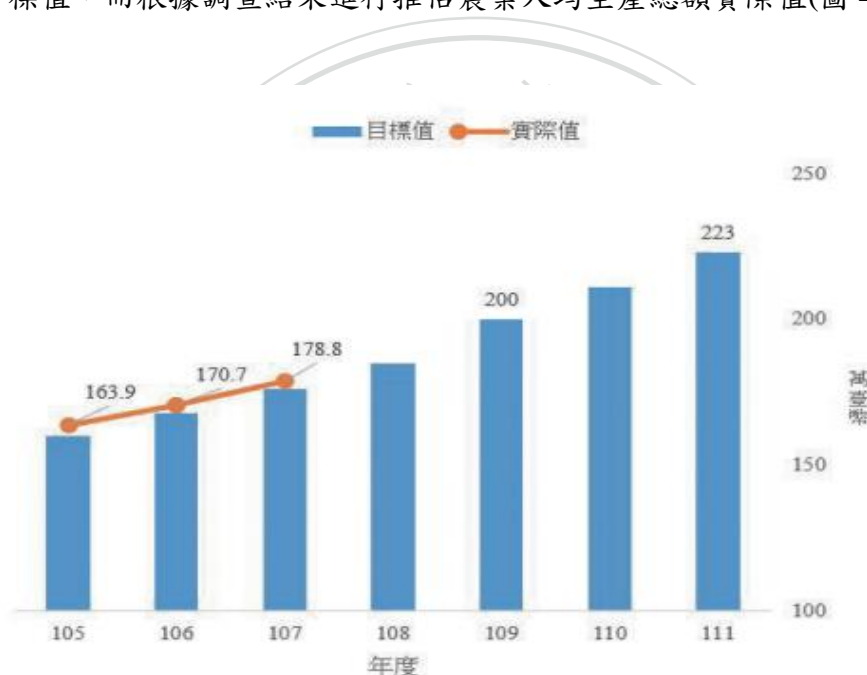
第一節 智慧農業

依據農業生技農業季刊 第五十七期 臺灣內農企業智慧農業發展現況調查，在全球 2050 年預估將有 75-105 億人口，糧食需求將面臨增加 1 倍的壓力，又臺灣農業需求為基礎之糧食自給率 2017 年僅為 32.28%，在氣候變遷導致極端的氣候日趨嚴重的困境下，糧食供應短缺與糧價上升恐怕無可避免。近年來更由於農村人口的老化與少子化之影響，從事農業人力大幅短缺，對農業生產力受到相當大的衝擊。

臺灣農業由個別的種植項目來看具相當競爭力，但是若從整體人力、自然的條件、產業等之層面來看，便會失去競爭能力。以農業人力來看，未來十年將有近 11 萬名農民因高齡老化而退場，再加上目前青年族群從事農業的比例低且來不及補上，採收季節發生缺工狀況將變成常態。再以天然條件來說，颱風加上極端氣候所帶來的狂風與超大豪雨及極端氣候，導致農民損失慘重，在缺水季也先減少農業的供水，使得農業水資源不足。

最後，由產業的觀點來看，臺灣農業以「小農」為主，在耕地有限的情況下如要穩定供貨實在力有所逮。除了上面提到的因素影響到農作物的收成與利潤，近年來消費者對食安重視的程度，讓以小農為主體的臺灣農業面臨更艱鉅的發展挑戰。過去臺灣經濟發展是以農業支持工業的發展，如今工業已經成熟，應反過來助攻農業發展。這個支持即是透過工業資訊技術如雲端、大數據分析、物聯網應用、智慧化機械、感測器等智慧科技應用在農業，協助小農能降低因人口老化、勞動力不足、極端氣候對產業帶來的衝擊，進而升級成「新農民」的智慧農業。

為掌握我國智慧農業發展相關產業廠商之營運現況、產業類型、科技需求、與未來投資動向等，並做為規劃相關政策與產值目標之參考，行政院農業委員會委託台灣經濟研究院生物科技產業研究中心在 104-107 年進行產業調查，統計分析我國農企業智慧農業發展的現況並推估農業人均生產總額：智慧農業科技計畫乃屬行政院生產力 4.0 方案的農業生產力推動策略，生產力乃指農企業或農業科技公司的員工生產力（公司產值/員工人數），是針對企業體初級生產原料的投入、生物資材的投入、生產製造及販售服務等所產生的營業額訂定目標值，而根據調查結果進行推估農業人均生產總額實際值(圖 4)。



資料來源：依台灣經濟研究院生物科技產業研究中心104~107年度智慧農業相關產業廠商調查結果進行推估。

資料來源：農業生技農業季刊 57 期

圖 4 農業人均生產總額

依據調查，目前公司目前採用的智慧化科技以電子商務最多(26.3%)，其次為感測或是監測系統 (21%) 及知識管理需求、企業資源的規劃 (19.8%) (圖 5)。

目前採用之智慧化科技	107統計佔比	106統計佔比
1.感測或監測系統	21.00%	23.90%
2.影像辨識系統	6.60%	7.30%
3.全球衛星定位系統、地理資訊系統、遙測	4.10%	3.90%
4.無線射頻辨識系統	4.90%	5.40%
5.大數據/巨量資料分析	13.60%	10.40%
6.知識管理、企業資源規劃	19.80%	22.40%
7.電子商務	26.30%	27.00%
8.即時推播	3.70%	4.20%
9.溯源系統	15.60%	15.40%
10.虛實融合系統、物聯網	4.90%	5.40%
11.自動化機械與輔具	17.30%	21.60%
12.高通量篩選或定序	4.50%	4.20%
13.無人機	1.20%	-
14.區塊鏈	1.60%	-
15.其他	1.20%	0.80%

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心106-107年5月至9月調查及台灣經濟研究院生物科技產業研究中心統計分析。

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心106-107年5月至9月調查及台灣經濟研究院生物科技產業中心統計分析(農業生技農業季刊 57期)

圖 5 農企業目前採用之智慧化科技

依據分析資料公司未來三年將採用的智慧化科技為大數據 / 巨量資料分析(37.0%)，其次為電子商務、自動化機械及輔具(26.7%)。比照目前及未來各企業採用之智慧化應用科技，我國智慧農業相關業者未來主要發展項目為大數據/巨量資料分析（目前採用占 13.6%、未來三年將採用占 37%）、自動化機械與輔具（目前採用占 17.3%、未來三年將採用占 26.7%）等技術（圖 6）。

未來三年將採用之智慧化科技	107統計佔比	106統計佔比
1.感測或監測系統	26.30%	20.80%
2.影像辨識系統	14.00%	12.00%
3.全球衛星定位系統、地理資訊系統、遙測	7.40%	5.00%
4.無線射頻辨識系統	8.20%	6.60%
5.大數據/巨量資料分析	37.00%	32.80%
6.知識管理、企業資源規劃	24.30%	24.30%
7.電子商務	27.60%	30.10%
8.即時推播	9.50%	10.80%
9.溯源系統	11.90%	14.30%
10.虛實融合系統、物聯網	9.10%	12.00%
11.自動化機械與輔具	26.70%	23.90%
12.高通量篩選或定序	6.60%	7.30%
13.無人機	8.20%	-
14.區塊鏈	7.40%	-
15.其他	1.20%	1.20%

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心106-107年5月至9月調查及台灣經濟研究院生物科技產業研究中心統計分析。

資料來源：農業生技農業季刊 57 期
圖 6 農企業未來三年將採用之智慧化科技

由上述調查資料的顯示，近年農企業之智慧化發展傾向於將資料進行數位化，並建立相關需求資料庫，此外，自動化機械與輔具器具之開發及應用亦為主要發展項目，未來可以針對智慧農業產業化的特定需求提供特定領域之廠商名單、廠商智慧化科技技術投資動向等，並可藉由需求來深入訪查進一步了解產業實際的需求，作為政策調整或擬訂之參考。

展望未來，我國智慧農業方案推動將達成提升農業人均生產總額，由 103 年 145 萬元於 109 年增加到 200 萬元，並促成至少 10 件以上廠商或產業團體投資、技轉案件 80 件以上、投資金額與技轉金共至少 1 億元、業者投入智慧農業創新研發業科計畫金額達成超過 1 億元、農漁畜業者投入執行業界參與計畫金額達成超過 2 億元，亦將成立至少 10 個示範智農合作聯盟，建立契作小農與農企業夥伴合作關係。我國智慧農業發展是以臺灣農業本土化特質為基礎，將臺灣農業朝向智慧化與國際化發展，達成農業產業升級與提升生產力之總體的目標。

第二節 物聯網技術

物聯網 (IoT) 和大數據是有關商業，工業和其他應用程序 (包括農業) 的兩個熱門話題。物聯網 (IoT) 這個術語是在 1999 年創造的，它指的是連接到 Internet 設備的世界，這是收集，集中和管理大量大數據的方法 (Gubbi 等，2013)。大數據還指對這些信息進行分析以產生有用的結果 (John，2014 年)。

物聯網和大數據背後的主要驅動力是收集和分析有關消費者行為的數據，以了解人們購買什麼以及為什麼購買。例如，購物者在雜貨店和其他零售店使用的會員卡。使用這些卡，零售商及其供應商可以確定哪些客戶購買了哪些產品，然後可以使用此信息來增加銷售額和利潤。商業和政府部門正在展示如何使用物聯網和大數據來改善運營，但是如何才能將這些概念的盈利能力擴展到農業和其他相關工業部門？

大數據是企業分析的新規範，並且在許多行業中普遍存在。當數據的數量，速度和種類超出當前 IT 系統提取，存儲，分析或進行其他處理的能力時，數據將變得很大。大數據通常傳達的是個人感知的信息量大於預期的觀點，並且可能表達理解和利用的難題 (Provost & Fawcet，2013 年)。

數據輸入最初來自有限人員的測量，觀察和手動數據輸入，但是今天的大多數數據是由傳感器自動生成的，隨著越來越多的報告功能，現場傳感器的趨勢越來越智能，繼續物聯網技術將發展到智能化中。農業發展。一旦收集到了這種迅速擴展的數據流，就需要對其進行集中和管理，這些術語將在本文的後面進行詳細說明。然後必須對策展的數據進行可視化和分析，以改善操作，這一過程也將得到擴展。

第三節 種植決策系統

一、常態化差異植生指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)

近年來隨著人口老化以及缺少農業勞動力，環保意識抬頭及諸多議題之產生，讓精準智慧農業需求增加且被重視；遙測技術儀器是精準智慧農業之施作有一項技術是必要，而不可或缺；植物生長需要太陽光的照射，當太陽光照射於植物、土壤、水面等表面皆會產生吸收、穿透與反射等 3 種共伴之反應。

而遙測技術儀器就是利用光電感測單元紀錄植物、土壤、水面等物體表面光譜反射強度變化；其中反射光譜範圍可由遠紅外光區、中紅外光區、近紅外光區、可見光區、與紫外光區；因此植物之生長健康狀態情形、準確施肥與噴藥、病蟲害之監測、農田之採收產量預測與管理，皆可由植物、土壤、水面等物體表面反射光譜強度變化來加以推估預測與施作。

植物的植被葉片等呈現出之綠色、紅色、黃色、褐色等變化，是因為隨植物組織內部葉綠素、類胡蘿蔔素與花青素含量與比例的不同，可呈現不同顏色變化；這些葉綠素、類胡蘿蔔素與花青素之色素會對太陽光之光譜反應出不同反射率；葉綠素對近紅外光會產生大量反射，但是對紅光與藍光光譜區之太陽光會造成大量吸收；因此利用植物葉片之表面、環境土壤與水之反射光譜相對應的比值關係，可以分辨植物健康的狀態、果實成熟度比例、植物含水量多寡、植物營養素之含量等應用；這些藉由光譜特徵來估測植被外觀表面之反射光譜相對應的比值關係就是植生關鍵之指標。

利用這種轉換關係可以消除植物生長環境差異所造成光譜感測值之誤差，更能準確估測該植物生長狀態；簡單的植生指標演算法計算，可以針對智慧農業工作者提供簡單有效、經濟的工具來測量植株作物表面的植被與環境狀態影響，提供農場的植被動態、植物物種隨時間之變化、生物量生產量、非破

壤性之樹林冠層衰老狀態和壓力的無損測量方式、土壤濕度情形、農場場地條件和表現、耕地範圍之變化、估算農作物生產數量、土地覆蓋植被的分類、外來種植物監視狀況或隔離情形、植物光合作用的活動與葉面積指標之測量等。植生指標是採用兩個或多個可見光與近紅外波長範圍內的目標物來偵測表面反射率組合運算，以增強植被某一個特徵或細節。植物中的水分、色素、碳、氮等參數變化，會對植被特徵光譜產生出影響。1969 年以來，農業專家與研究學者所發表之文獻歸納出部份常用各式植生指標定義如表 1 所示

表 1 常用各式植生指標定義

植生指標	公式·工作參考波長·應用
NDVI 常態化差異植生指標	$\frac{R_{NIR} - R_{red}}{R_{NIR} + R_{red}}$ Red 680 nm · 705 nm NIR 750 nm · 850 nm 應用於葉子覆蓋和植物健康的通用指標
EVI (增強植被指標)	$\frac{2.5 * (R_{NIR} - R_{red})}{(R_{NIR} + 6 * R_{red} - 7.5 * R_{blue} + 1)}$ Red 680 nm · 705 nm ; NIR 750 nm · 850 nm Blue 450 nm 使用額外藍光波長的光來校正 NDVI 的不準確性
WBI (水帶指標)	$\frac{R_{(NIR970nm)}}{R_{(NIR900nm)}}$ NIR 900 nm · 970 nm 應用於植被葉層壓力分析與生產力分析
GRVI (綠色比率植被指標)	$\frac{R_{green} - R_{red}}{R_{green} + R_{red}}$ Green 500 – 570 nm ; Red 620 – 700 nm 應用於植被和地表季節變化之間的關係
RVI (紅光比植生指標)	$\frac{R_{red}}{R_{NIR}}$ NIR 750 nm · 850 nm ; Red 680 nm, 705 nm 高密度植被覆蓋下綠色生物量的估計和監測
SRVI (簡易比植生指標)	$\frac{R_{NIR}}{R_{red}}$ NIR 850 nm ; Red 675 nm 應用於區分植被受壓力和非受壓力區域
NDRE (歸一化差異紅邊指標)	$\frac{R_{NIR} - R_{rededge}}{R_{NIR} + R_{rededge}}$ Red 600 – 700 nm ; NIR 780 nm 估測葉片中葉綠素含量對土壤背景影響敏感的指標。只能在紅邊帶可用時使用
NPCI (常態化葉綠素差異植生指標)	$\frac{R_{680} - R_{570}}{R_{680} + R_{570}}$ 使用 680 nm ; 570 nm 估測植物氮含量
PRI (光化學反應指標)	$\frac{R_{531} - R_{570}}{R_{531} + R_{570}}$ 使用 531 nm · 570 nm · 測量植物對外在環境壓力的反應

資料來源:科儀新知 220 期 108.9

常態化差異植生指數 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 為近紅外光的輻射值與可見光輻射值之差除以其和，計算方式容易，且能包含清楚植物判釋資訊，是一種測量植物生長之良好指標，除可監測植物生長之面積變化外，更可監測植物生長品質，可充分反應出植物生理特性，運用該指數進行植物與綠地的監測，具有高度的精確性。

二、決策支援系統

引用維基百科，決策支援系統 (Decision Support Systems，簡稱 DSS)，是協助進行商業級或組織級決策活動的資訊系統。DSS 一般面向中高層面管理，服務於組織機構內部管理、操作和規劃級的決策，幫助決策者對快速變化並且很難提前確定的問題進行決策，通常是非結構化 (Non-structured) 和半結構化

(Semi-structured) 的決策問題。決策支援系統既可以是完全自動化決策，也可以是完全人工決策，或者兩者兼有。

決策支援系統是由以下的子系統所構成

1) 資料管理子系統

資料管理子系統包括資料庫，其為了解決某些情況的問題而包含相關的資料，並且由所謂的資料庫管理系統軟體來擔任管理工作。

2) 模式管理子系統

一套軟體套裝程式包含財務、統計、或其他提供系統分析能力的計量模式，以及適當的軟體管理。此種軟體經常被稱為模式庫管理系統。

3) 知識為基管理子系統

此子系統能夠支援任何子系統，或扮演獨立單元的角色。它提供智慧以增加決策者自己原有的智慧。它能夠與組織的知識庫作內部連接。

4) 使用者介面子系統

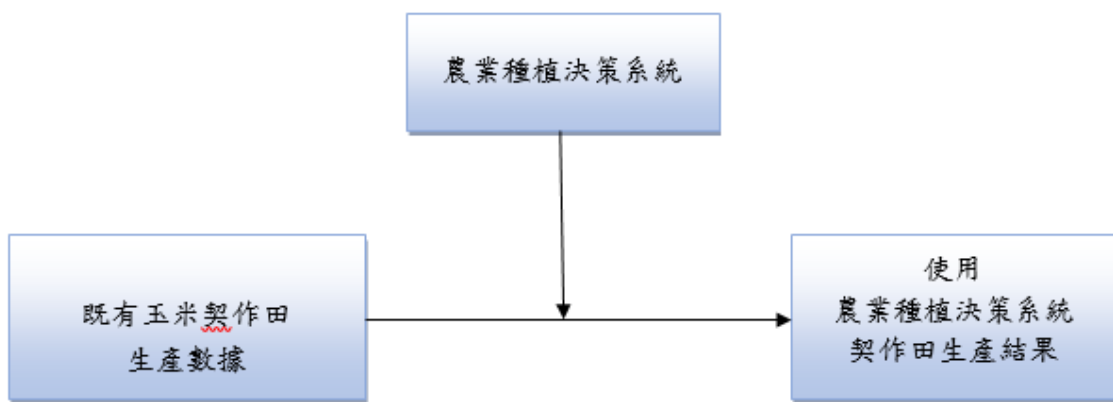
使用者經由此子系統與 DSS 溝通並給予命令。使用者被認為是系統一部份。學者聲稱有些 DSS 的獨特貢獻是來自於電腦及決策者間的密集式互動。

隨著物聯網 (IoT)，信息和通信的不斷發展農業，溫室和農業領域的技術 (ICT) 和自動化控制系統 (ACS) 水產養殖場管理發生了翻天覆地的變化。引入智能監控和跟蹤從農作物生產，加工，運輸到銷售的全過程和其他程序可以有效克服複雜多變的氣候的影響，地理限制，自然災害，病蟲害和其他改善作物的因素產量，生長過程和生產質量。利用社交媒體幫助農民促進將其產品提供給消費者進行直接銷售和精準營銷。

第三章 研究方法

第一節 研究架構

本研究主要為探討物聯網之田間環境數據及田間 NDVI 影像數據，與農業專案研究數據與農業專家系統間變數變化，進而針對決策系統所造成之影響。研究架構內容如圖 7 所示。



資料來源:本研究

圖 7 研究架構

第二節 研究構念

本研究構念為使用實際契作玉米田之種植數據資料，來進行分析比較農業種植決策系統所影響之生產數據。研究構念如表 2。

表 2 研究構念表

構念	定義	說明
既有玉米契作田 生產數據	傳統玉米契作田 種植數據內容	影響生產數據內容
農業種植決策系統	感測技術方案	1. 田間資料收集單元 2. NDVI 影像資料蒐集單元 3. 農業種植決策方案
使用 農業種植決策系統 之玉米契作田生產結果	關鍵種植參數內容	1. 比較分析關鍵數據 2. 獲得生產數據之結果

資料來源:本研究

第三節 研究設計

一、 田間資料蒐集單元

應用於田間的土壤感測 Sensor 在智慧農業的應用領域將扮演越來越重要的角色，其目的是要能即時的收集土壤環境狀況，提供種植決策分析，並在土壤條件偏離設定的最佳條件時，能夠即時的將訊息反饋給控制中心，由系統經過土壤條件分析後，自動提供作業要求給現場作業人員，對可控的條件進行補償作業，如灌溉加濕、噴灑或停供農藥、補充或停止肥料供應以及計算不同區域的積溫提供採收建議等。如為大田間不可控的環境條件，如過度光照或日照不足、溫度過高或過低等，則可將環境資訊提供種植決策系統判斷，估算該區域的作物收成狀況或品質，讓農企業有充足的資訊做產能調配及產值預估。

有鑒於以上的要求，一個田間土壤感測站應該具有以下條件：

- 1) 具有獨立電池，可讓農企業管理者彈性調整其監測位置。
- 2) 電池需具有至少 3 個月以上的供電能力(以玉米一季一穫為基準)。
- 3) 具有通訊傳輸裝置，可將收集到的土壤資訊即時傳送回控制中心。
- 4) 可透過系統對其做定位。
- 5) 系統需具有高度的防水、防塵、耐熱、抗腐蝕、耐撞擊之保護。
- 6) 具備一般土壤基礎特性之感測器，包含土壤溫度、濕度及導電度。

我們初步的設計規劃即按照以上的需求進行，在田間分散裝設土壤感測站，將上述收集到的感測值透過 LPWAN 傳輸給方圓 5 公里內的田間氣象站(田間氣象站具備日射量、空氣溫溼度、風速風向及定時進行田間攝影等感測器，並會收集 5 公里範圍內的土壤感測站資訊，一起透過 4G 網路傳回中控室 Server 進行處理)。但該個案執行期間，得到農業專家的建議，告知田間氣象站所量測到的空氣溫濕度因其佈點數量不多，且通常位於較空曠之地帶，量測到的值與直接影響到植物生長的作物冠層溫度可能有所差異，因此建議我們可在緊鄰植

株的土壤感測站設置能調整溫溼度感測器探頭高度的裝置，讓作業人員可隨作物成長隨時調整探頭高度與冠層等高，精準量測作物冠層溫濕度，所取得的感測值可更具代表性。基於此建議，我們在土壤感測站增加設計項目，把可伸縮的冠層溫濕度計納入設計規劃中。

此外，在與該個案研發人員的討論中，我們亦得知，雖然 LPWAN 的涵蓋範圍可達方圓五公里，亦即一隻氣象站周圍五公里內的土壤感測站都可透過傳輸裝置將訊息即時回傳至氣象站，但由於鮮綠的契作田分布實在太分散，田與田間的距離往往很容易就超過 5 公里。對這些零散的田如果都架設氣象站收資料，並透過 4G 傳送資訊回控制中心，所需負擔的 4G 傳輸成本過高。為符合鮮綠的需求，我們另外設計了離線式的土壤感測站，同樣具備電池、土壤溫度、濕度、EC 值以及冠層溫濕度計，但傳輸裝置則改成 data logger，不即時傳輸信號，而由該個案的研究人員每週或每二週至離線土壤站，透過 USB port 將所收集的資訊透過手機集中控 APP 回傳至控制中心。這個離線土壤感測站的規劃，是要讓個案研究人員保持彈性，不受通訊距離束縛。同時，由於此種特殊需求往往離氣象站距離甚遠，因此我們在離線土壤感測站亦加入日射計的選項，可量測該地區的日射量。以上的離線與即時通訊土壤感測站之使用，可視現場契作的需求進行搭配使用，應用系統架構說明如:圖 8



資料來源:本研究

圖 8 智慧農業解決方案

二、 NDVI 影像資料蒐集單元

現有之無人機機種為主體，搭載定位定向模組、多光譜儀或高光譜儀進行空拍，並開發軟體進行分析。針對甜玉米種植影像分析模組開發，目前已進行分析模組開發之功能規劃，並且逐步實現各功能之開發。本項工作將透過影像處理、深度學習及數據處理等技術，提供植栽面積計算、植栽種植辨識功能、個數計算功能、植栽密度計算功能、植栽健康狀況功能、噴灑量或噴灑落點分析功能，亦與農田生長影像空拍之任務規劃需密切配合，進行規劃使用。本個案採用實際製作玉米田，進行無人機影像 NDVI 分析模組：資料地點(虎尾 0696 號田)，如圖 9。NDVI 需求感測影像甜玉米種植 NDVI 分析模功能規格如表 3。



資料來源：本研究

圖 9 玉米田空拍地面站及航線規劃

表 3 甜玉米種植 NDVI 分析模功能規格

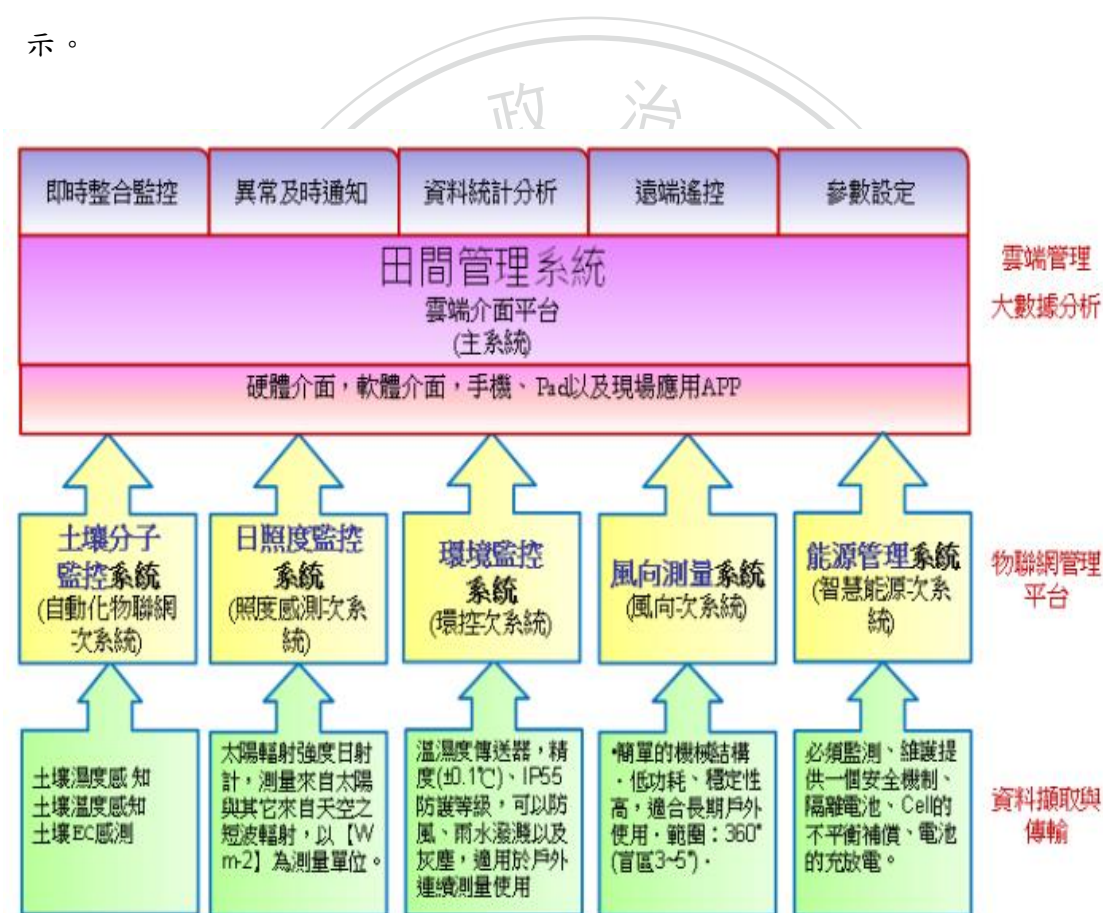
項目	規格
輸入圖檔格式	TIFF、JPEG、BMP
輸出報表格式	CSV
輸入圖檔解析度(GSD)	2 公分
植栽個數、面積及密度輸出	數值顯示。且以熱區圖 JPEG 檔顯示密度。
植栽健康狀況功能輸出	TIFF、JPG。預設為灰階值，可因應使用者設定。
噴灑落點分析輸出	建議用 600dpi 掃描後輸入。 CSV 檔(包含落滴大小及平均、覆蓋百分比及平均)

資料來源：本研究

三、 農業種植決策方案

1. 功能結構圖

此模組是以 A 公司開發的 PaaS 平台 – WebAccess/SCADA 為基礎開發的，其主要特色是具有極大的彈性可連結各類物聯網裝置接收數據、可支援多種標準的行業通訊協定即驅動程式、內建大量圖形化工具及儀表板可縮減系統整合商的應用軟體開發時間並輕易達成各種客製化需求，功能結構如圖 10 所示。



資料來源:本研究

圖 10 農業決策系統功能結構

資料傳遞的方式由土壤站收集到，感測器得到的資料，利用物聯網技術傳到氣象站，由此站進行轉發利用電信業者的無線傳輸技術，將資料回傳到 F 公

司總部戰情室的伺服器，由伺服器資料收集及備存，提供即時數據於電視牆，亦可利用手機連線端看儀表板(dash board) 訊息。

2. 模擬操作流程

將田間資料蒐集單元的數據彙集於戰情室的伺服器，作業人員也將作業紀錄及生長資訊彙集於資料庫，將檔案轉換成大數據分析報表，統一呈現於數據平台，並與專業人員及專家顧問一同分析評估。整個分析數據將列為歷史經驗資料，爾後發生相似數據時，可即時決策通告栽種人員進行補強措施，維持作物豐收穩定成長。資料查詢之方式如圖 11，呈現之儀表板數據

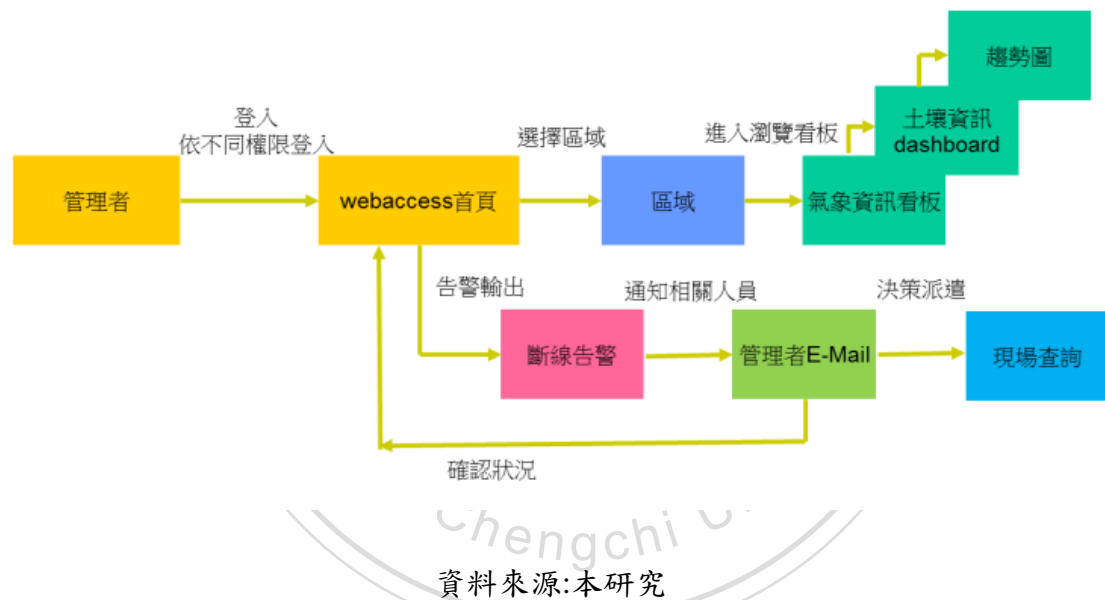


圖 11 田間資料收集單元查詢操作流程

3. 介面設計

1) 首頁以農業清新頁面及台灣地圖當作入口網站，點選地點雲林或嘉義，將可進入檢視田間的即時數值，如圖 12。



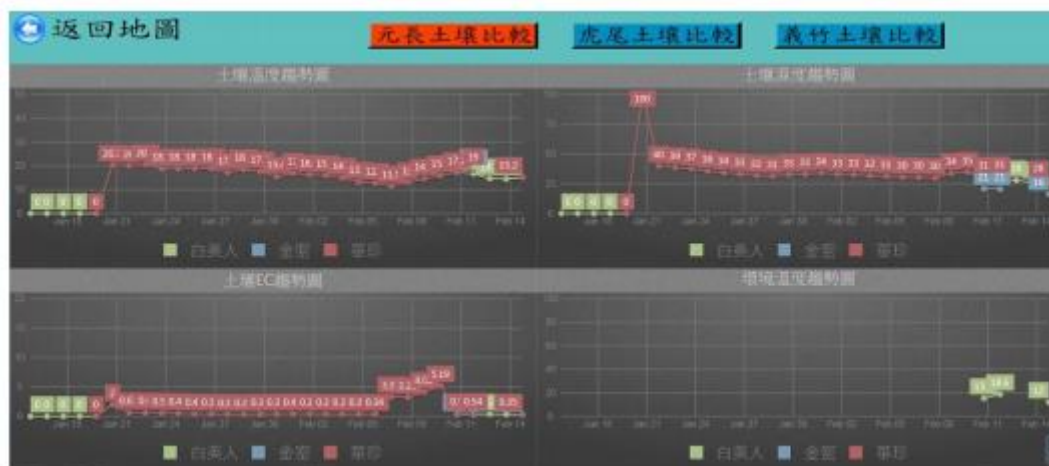
資料來源:本研究
圖 12 種植決策系統設計首頁

2) 透過田間資料蒐集單元，可以呈現田間氣象站及土壤站的即時訊息如圖 13



資料來源:本研究
圖 13 田間資料蒐集單元(氣象站及土壤站)資料

3) 田間感測單元土壤站的畫面，可進入觀看土壤溫度/濕度及 EC 趨勢圖



資料來源:本研究
圖 14 田間感測單元數據趨勢圖

4) 各田間感測單元，可以瀏覽各資料的比較，以儀錶板(Dashboard)呈現，如圖 15。



資料來源:本研究
圖 15 田間感測單元比較儀錶板(Dashboard)

第四節 研究工具

一、 田間資料蒐集單元

進行田間氣候感測站之技術需求盤點，依據試驗內容，我們在該個案試驗中規劃了三個微氣候區域(元長、虎尾、義竹)，每個區域設置一支氣象站、三支連線型土壤感測站以及三支更具彈性的離線型土壤感測站(惟無法提供即時數據，需定期至田間收集數據)，每個區域分別有白美人、夏強、華珍等三種玉米各兩塊田，以用於對照，讓實驗結果更完整。各個感測器的環境耐受力、感測靈敏度與校正方式，傳輸設備的功能需求與耐受力，都加以測試並持續修正中。詳細規格如下。

按照個案的需求，規劃出三版田間土壤感測站之設計規劃書與實體，並已於田間架設九支土壤觀測站。第一版規劃為小型土壤站，高度約 60 公分，僅含土壤溫度、濕度及導電度 Sensor。經過農業專家之建議，我們將之改版，加入可伸縮式的冠層溫溼度量測機構，並添加一組空氣溫濕度計以做冠層溫溼度量測。此版透過 LPWAN 即時傳輸資料的土壤觀測站於前期已架設六支，經後續討論確認最終版本提供 3 組氣象站及 9 組連線型土壤感測站。另由研究人員所提供的特殊需求，我們準備了第三版的土壤感測站，取消無線傳輸的功能，以離線型資料紀錄器取代。其用意在於鮮綠農田過度分散，研究人員如有臨時需求需記錄較偏遠(離氣象站傳輸中樞 2 公里傳輸距離外)地帶的農田，可使用此離線感測器彈性架設，並於每塊田地栽種週期後擷取資料並上傳決策平台系統，供管理人員進行大數據分析。此版感測站預備架設 9 組，內容含有土壤三合一監測及冠層溫溼度偵測。

因應現場需求設計應用於田間的土壤感測 Sensor 在智慧農業的應用領域將扮演越來越重要的角色，其目的是要能即時的收集土壤環境狀況，提供種

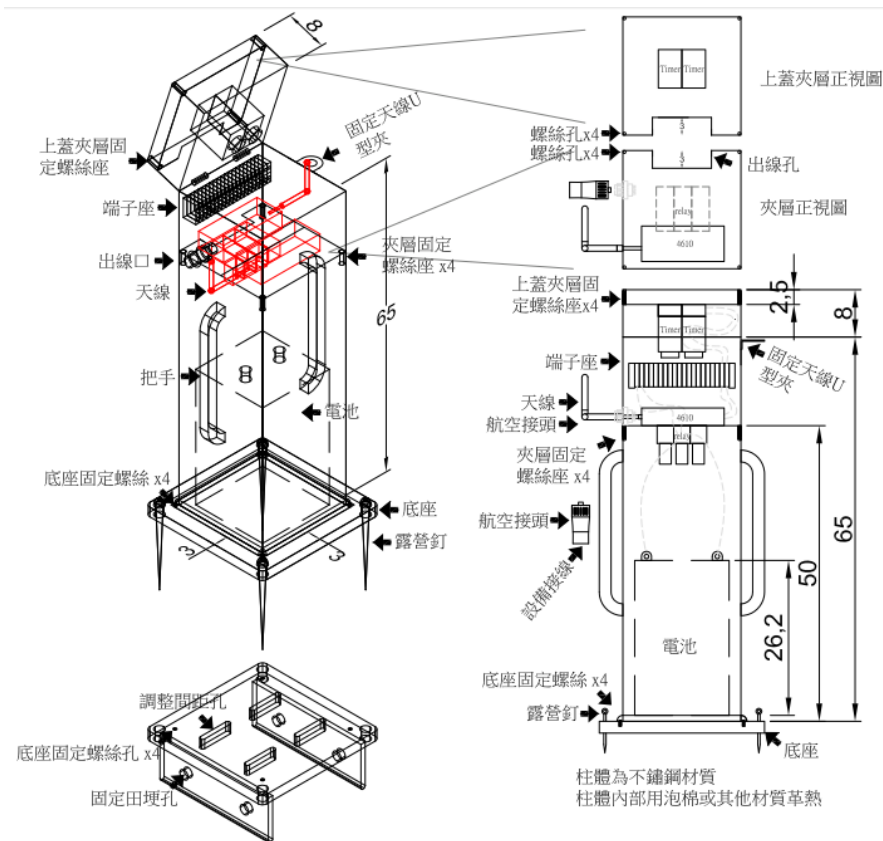
植決策分析，並在土壤條件偏離設定的最佳條件時，能夠即時的將訊息即時呈現於中央控制平台，由系統經過土壤條件分析後，自動提供作業要求給現場作業人員，對可控的條件進行補償作業，如灌溉加濕、噴灑或停供農藥、補充或停止肥料供應以及計算不同區域的積溫提供採收建議等。如為大田間不可控的環境條件，如過度光照或日照不足、溫度過高或過低等，則可將環境資訊提供種植決策系統判斷，估算該區域的作物收成狀況或品質，讓農企業有充足的資訊做產能調配及產值預估。

有鑒於以上的要求，每個區域需要一座氣象站應該具有以下條件：

1. 作為該區域的資料回傳中樞站，並具有斷線資料續存機制。
2. 具備該區域主要大氣環境因子感測，如日射量、雨量計、環境溫/濕度、風速風向感測等。
3. 氣象站需具備無線通訊功能與座落在田地內的土壤感測器建立即時傳訊連結。
4. 具防盜機制，箱體開啟時中央管理平台可即時通知並作相對應處理。

每個田間連線型土壤感測站需具備以下條件(如圖 16)：

1. 具有獨立供電系統，可讓農業管理者彈性調整其監測位置。
2. 電池需具有三個月以上的供電能力(以玉米一季一穫為基準)。
3. 具有通訊傳輸裝置，可將收集到的土壤資訊即時傳送回中控中心。
4. 系統需具有高度的防水、防塵、耐熱、抗腐蝕、耐撞擊之保護。
5. 具備一般土壤基礎特性之感測器，包含土壤溫度、濕度及導電度。
6. 增加冠層溫濕度感測，以反應葉叢積熱影響。
7. 具備易於移動管理，隨插即用機制，以簡化田間管理者安裝程序。



資料來源:本研究

圖 16 田間土壤感測站外觀設計圖

我們經過溝通協調討論的設計規劃即按照以上的需求進行，在田間分散裝設土壤感測站，將連線型田間感測模組收集到的感測值透過物聯網技術 LPWAN 傳輸給方圓 2 公里內的田間氣象站，透過 4G 網路傳回中控室 Server 進行資料即時呈現及大數據分析處理。計畫執行期間，得到專家指點教導，提醒告知田間氣象站所量測到的空氣溫濕度因其佈點數量不多，且通常位於較空曠之地帶，量測到的值與直接影響到植物生長的作物冠層溫度可能有所差異，因此建議我們可在緊鄰植株的土壤感測站設置能調整溫溼度感測器探頭高度的裝置，讓作業人員可隨作物成長隨時調整探頭高度與冠層等高，精準量測作物冠層溫濕度，所取得的感測值可更具代表性。基於此建議，我們在連線型土壤感測站增加設計項目，把可伸縮的冠層溫濕度計納入設計規劃中。

此外，在與研發人員的討論中，我們亦得知欲與連線型土壤感測站 做對照比較或畸零田地的感測。所以離線土壤感測站的規畫，是要讓研究人員保持彈性，不受通訊距離束縛。同時，由於此種特殊需求往往離氣象站距離甚遠，因此我們在以上的離線與即時通訊土壤感測站之使用，可視需求進行搭配。



二、 影像資料蒐集單元

無人機進行空拍之後的影像，包含 RGB 及 Red Edge、Red、NIR、Green 四波段之影像，藉由其空間資訊(GPS 位置、指向資訊)進行拼接後，將產生完整的田塊影像，並輸入至甜玉米種植影像分析模組萃取其農田資訊，系統架構圖如圖 17 所示，甜玉米種植影像分析模組的功能規格請見表 4。

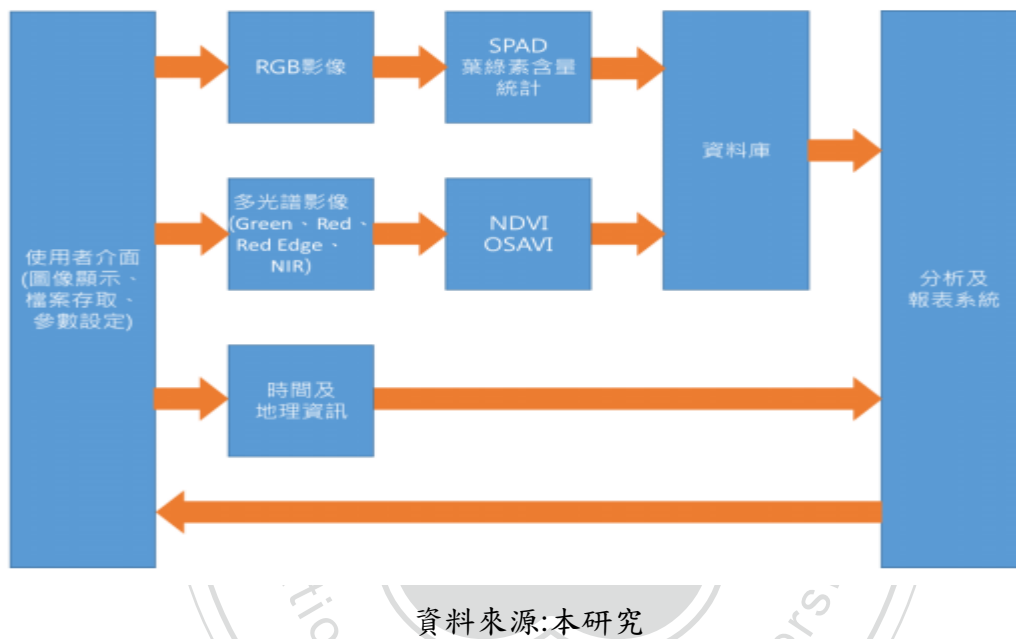


圖 17 甜玉米種植影像分析模組系統架構圖

表 4 甜玉米種植影像分析模組之功能規格

項目	規格
輸入圖檔格式	TIFF、JPEG、BMP
輸出報表格式	CSV
輸入圖檔解析度(GSD)	2 公分
植栽個數、面積及密度輸出	數值顯示。且以熱區圖 JPEG 檔顯示密度。
植栽健康狀況功能輸出	TIFF、JPG。預設為灰階值，可因應使用者設定。
噴灑落點分析輸出	建議用 600dpi 掃描後輸入。 CSV 檔(包含落滴大小及平均、覆蓋百分比及平均)

資料來源:本研究

各功能開發測試結果包含：

- 1.使用者介面：此項工作為資料庫之建立，並且提供使用者介面。
- 2.植栽辨識及個數計算：藉由之前的玉米田空拍影像，團隊進行與玉米植栽個數辨識功能開發，根據玉米不同生長階段而有不同的判識項目。

A.幼苗時期：幼苗時期的重點主要在觀察玉米的發芽率，影像判識結果請參考圖 18。

B.抽葉時期：此時期的玉米植株逐漸長出較大之葉片，目前所空拍的玉米田，鄰近之植株葉面有相互遮蓋之現象，因此要透過型態辨識植株個數難度極高。

C.開花時期：雖然上述時期的玉米植株因葉片相互遮蓋難以辨識，但此時期之雄花抽穗，其白色花穗及放射狀之特徵，反而提供了計算植株個數相當方便的條件，分析過程如圖 19 所示。

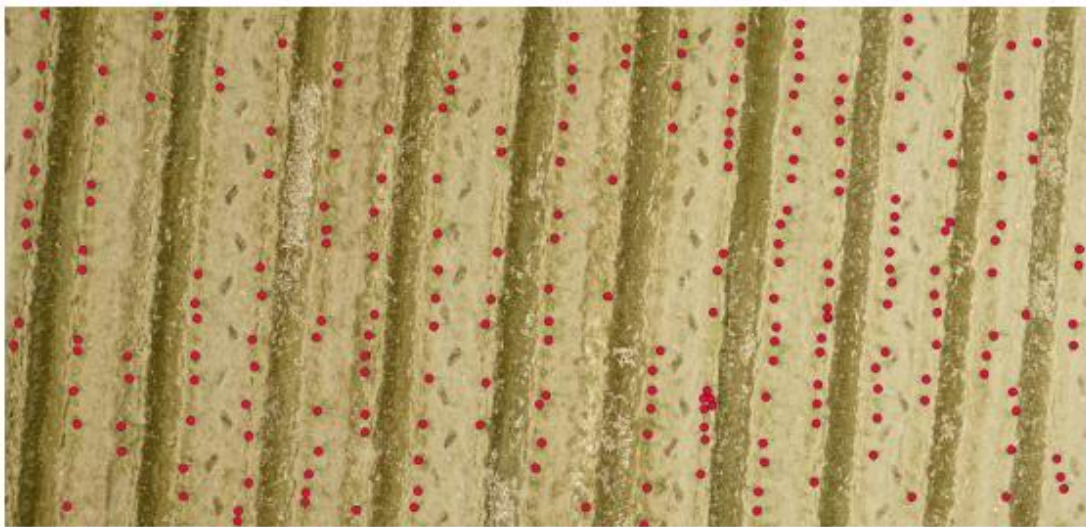
D.總體生長週期辨識結果比較：上述在幼苗時期及開花時期之植栽個數，應可互相比較，或是在不同時期的影像結果比較，了解彼此差異，或是同一田塊但不同部分的生長差異。

- 3.植栽面積計算及密度計算：在執行航拍及農藥噴灑任務之前，團隊皆需針對每塊田地進行範圍調查，並建立其座標資料。

- 4.植栽健康狀況功能：此功能主要為多光譜植生指數計算及葉色統計。多光譜植生指數計算目前已完成 NDVI 指數及 OSAVI 指數兩种植生指數之計算，並保留相關空間及介面以擴充其他植生指數之計算功能。

5.噴灑量或噴灑落點分析功能：此項工作主要用於無人機噴灑效果評估，將試紙或水敏紙夾於葉片或田中。因沾染藥劑部分會變色，透過影像分析將可推算出藥滴大小、藥滴量、覆蓋面積。

6.巨量影像資料批次處理：本項功能旨在加速處理巨量影像資料，以生成上述資訊。由於目前一塊面積 2 分的田塊其多光譜影像及 RGB 影像總資料量約 7GB，若要進行大面積農田調查，資料量勢必相當可觀。因此團隊透過批次處理的指令，在前端過濾失效檔案，評估影像品質，並且讓系統自動生成所需影像資訊。在拼接方面已可進行批次處理，先事先將影像即其定位資訊整理對齊之後，透過一次的設定之後，即可批次進行拼接。



資料來源:本研究

圖 18 觀察玉米的發芽率-雲林虎尾 RGB 影像及植裁判釋結果



資料來源:本研究

圖 19 玉米生產個數計算實驗結果(部分)

三、 決策系統專家系統

此平台為決策系統專家系統資訊整合，重要訊息皆可完整呈現在單一畫面上，使管理者能清楚獲得即時資訊，掌握狀態進行下一步決策分析，系統架構請參考圖 20。決策系統專家系統模組提供玉米種植環境的即時資訊監控，並將所得資訊經過運算(如瞬間日照強度及累積照度、瞬時溫度及積溫、各因子的趨勢線等)，彙整當日數據後上傳至種植決策系統做進一步分析。模組內所紀錄及呈現的因子包含：空氣溫溼度、日照值、雨量、風速風向、冠層溫溼度、土壤溫度、含水量及導電度，這些數據都是與作物成長有最密切關係的環境因子，相關介面可參考圖 21。在預警通知的功能上，管理軟體有呈現上下限值的設定，具權限的管理人員才可操作該頁面，因為作物在每個生長過程中有不一樣要注意的警戒值，所以提供給業者方便隨時做上下限告警值之彈性調整。若達到警戒值，會傳出 email 通知相關人員，讓該人員第一時間可安排改善事項，介面如圖 22 所示。



資料來源:本研究

圖 20 決策系統專家系統資訊模組-各場域即時數據綜合檢視畫面

Location	Station	環境溫度	上限	下限	土壤溫度	上限	下限	土壤濕度	上限	下限	土壤EC	上限	下限
元長	觀察站	28.1	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
	夏強	-	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
	白美	-	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
	華珍	-	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
虎尾	觀察站	29.0	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
	夏強	27.3	38.0	18.0	31.2	36.0	18.0	31.2	75.0	15.0	0.24	75.0	15.0
	白美	27.6	38.0	18.0	31.1	36.0	18.0	31.1	75.0	15.0	0.23	75.0	15.0
	華珍	-	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
嘉義	觀察站	28.9	38.0	18.0	-	36.0	18.0	-	75.0	15.0	-	75.0	15.0
	夏強	28.8	38.0	18.0	34.7	36.0	18.0	34.7	75.0	15.0	0.12	75.0	15.0
	白美	28.8	38.0	18.0	35.1	36.0	18.0	35.1	75.0	15.0	0.10	75.0	15.0
	華珍	28.6	38.0	18.0	34.2	36.0	18.0	34.2	75.0	15.0	0.17	75.0	15.0

資料來源:本研究

圖 21 決策系統專家系統資訊模組-警戒值設定頁面



資料來源:本研究

圖 22 決策系統專家系統資訊模組-作業履歷頁面



第四章 研究結果

第一節 個案說明

一、 個案實際情形

本個案透過 F 公司選擇多個契作戶之玉米田作為實驗場域，在未導入田間感測模組之前，F 公司無法得知契作戶該其種植的實際經過情形，也無法得知契作玉米田的產出時間，每期契作田的產出結果往往只能猜測進行，並無田間佐證資料來進行決策調度修改契作田產生過程品質的進度。

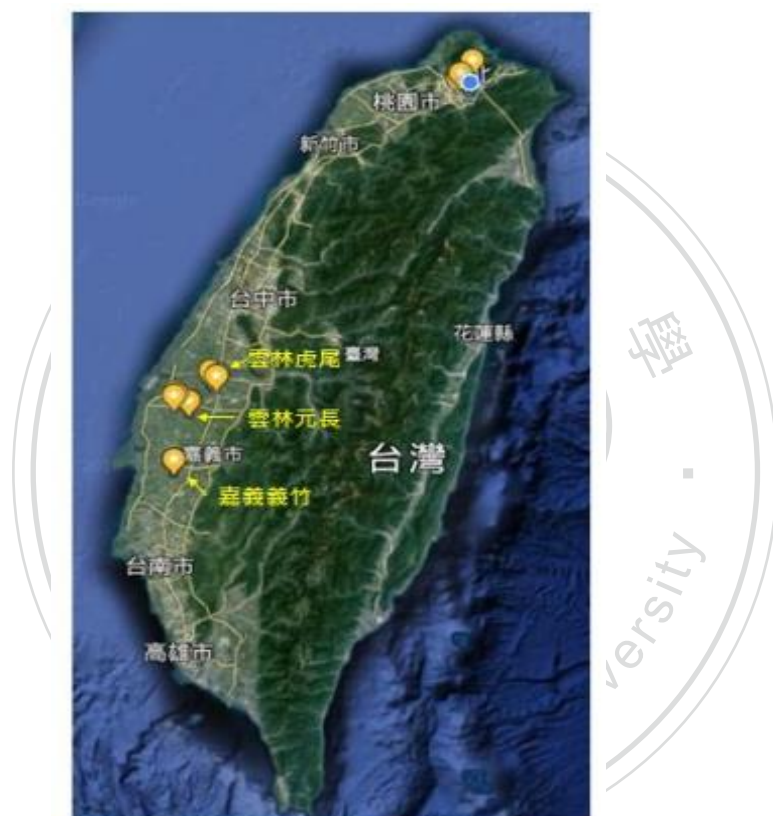
實驗之契作田規劃(圖 23)建置了三個微氣候區域，我們設置田間氣象站的目的，是做一個方圓約五公里半徑的小區域微氣候監控中心，量測該區域的日射量、雨量、風速、風向以及空氣溫溼度，做為區域微氣候、田間作業與作物長勢的綜合分析基礎。同時，在區域內的各個田塊的土壤環境參數以及作物成長後的冠層內部溫濕度，則需透過設置在周遭的土壤感測站分別收集，以氣象站為資料傳輸中心，各土壤站收集的資料以遠距低功耗協定上傳至氣象站，氣象站集中本身的環境感測器數據與各土壤站的資料後，統一透過 4G LTE 回傳至中控中心，將土壤的溫、濕、EC 值、冠層溫度、以及微環境的空氣溫濕度、日照度、風速風向、雨量等資訊，與田間作業系統所收集到的灌溉、施肥、噴灑農藥、除穗、除草等作業，搭配葉綠素含量。

檢測與收成品質數據，進行統合分析，建立玉米成長之最佳數據模型，用以預測產量品質、做為田間作業指引以及提升產值的輔助工具。

每個區域設置一支氣象站(元長如圖 24、虎尾如圖 25、義竹如圖 26)、三支連線型土壤感測站以及三支更具彈性的離線型土壤感測站(惟無法提供即時數據，需定期至田間收集數據)，每個區域分別有白美人、夏強、華珍等三種玉米各兩塊田，以用於對照，讓實驗結果更完整。

各個感測器的環境耐受力、感測靈敏度與校正方式，傳輸設備的功能需求與耐受力及可靠度驗證。藉由田間資料收集單元自動記錄環境因子，搭配田間栽培操作與作物生長階段的數據紀錄，透過農業種植決策系統的運算，以智慧

化的方式分析各項條件參數，進而調整栽培期程與品種和契作農地的選擇，協助鮮綠改善生產管理流程，節省生產成品，提升玉米的品質與產量。



資料來源:本研究

圖 23 場域分佈位置圖



資料來源:本研究

圖 24 元長場域氣象站與土壤站分佈圖



資料來源:本研究

圖 25 虎尾場域氣象站與土壤站分佈圖



圖-1

資料來源:本研究

圖 26 義竹場域氣象站與土壤站分佈圖

二、 個案面臨問題

食用玉米是世界三大糧食之一，目前業界的品質單以外觀為主，生產端並無農業快篩機制:農產品所生產的品質會因環境、品種及植栽方式而造成差異，近年來民眾隨著生活品質的提升，對於農產品的需求，逐漸往安全、營養、美味等方向進行，然而，農產產品的品質多以外觀區分等級，如形狀、大小、病蟲害等相關因素，但生產端未能掌握農業快篩技術及機制，導致無法滿足民眾

需求，更無法協助生產端將農業產品推向精緻化進而達成提升商譽或收益目標。

食用玉米是許多國家的主要農作物之一，也是台灣代表性的雜糧食物之一，根據台灣農委會的統計，民國 104 年國內食用玉米植栽面積 1.2 萬公頃，佔總雜糧面積 13%。食用玉米依據種植品種可以區分為甜玉米、糯玉米及白玉米，民國 104 年產值達到 1,918,738 千元，成長率達 15%，甜玉米可以供鮮食、加工製罐、脫粒冷凍，糯玉米及白玉米則以鮮食或是烘培為主，其中，以甜玉米因乳熟期含糖量高，質地脆嫩、風味佳且營養豐富，最受消費者的喜愛。

甜玉米的食用風味會以籽粒糖含量與果皮厚度的影響為主，但是目前台灣甜玉米的品質多以外觀區分等級，在少數的農業企業機構會在產品上標註成分與熱量，對於食味品質尚缺乏最重要的籽粒糖含量及果皮厚度，野味完整定義成分含量，包含：乾物質、澱粉、蛋白質等含量，此外，台灣同產品生產端並未建立農業快篩機制，無法有效管控農藥殘留量，為消費者的食品進行安全把關。

三、 農地環境嚴苛，物聯網產品及技術協助進行智慧農業升級

農業科技議題一直以來均受到全球的高度關注，根據美國農業投資平台 AgFunder 2016 年報告，農業科技投資額在近期兩年內快速攀升，2015 年投資達到 46 億美金，其中，以農業電商、灌溉給水、精準農業等三大領域最受矚目。近年，國內外有許多廠商可提供所謂的農業物聯網服務，幫助契作農民監測土壤、水分及氣候，如氣溫、濕度、水分含量、PH、EC、光照強度等因子，並提供 APP 讓契作農民即時監控田間狀態，也有不少具備理工背景的青農使用市售電子材料拼湊出高性價比的農場監控設備，再加上新的管理與商業模式，從過去較為鬆散的農會組織、合作社及產銷班的生產模式轉向大型農企模式。透過 SOP 的管理制度、穩定的產銷管道及高規格的行銷手法，提供質與量的穩

定生產模式。但是該所使用的設備是否具備可靠度、通訊穩定度、技術使用難易度、數據準確度、預測精準度等問題的產生。

在設備可靠度的問題，目前台灣農企要管理十家百家以上的契作農民，管理一到百個的農地，其範圍廣大且零碎，無論是投入國外費用驚人的監控管理系統，或是投入農場監控系統設備，靠著契作農民手動輸入 APP、定時巡檢，無法有效掌握生產狀態及各批次農產品的品質，且大多農地皆為戶外栽培，其感測設備將暴露於嚴苛環境下，設備的可靠度及感測精準度都呈現不足狀態；另外在通訊穩定度的問題，目前無線傳輸技術所使用的 Wi-Fi 傳輸距離有限且耗能大，使用低功耗的方式如藍芽或是 Zigbee 則不是距離過短或是容易受到訊號的干擾，穩定性不佳。若使用 4G 通訊傳輸，則昂貴的通訊費用又讓人卻步，這也是目前進行資料採集傳輸費用所遇到的瓶頸。

最近幾年，相關科技產業相繼投入農業科技方案，但多數所研發出來的產品與服務，少有深入至現場生產端及進行長期研究與驗證，無法滿足生產端的需求，如何貼近生產端的需求解決生產端的痛點；在預測精準度方式，目前物聯網之感測設備僅能達到即時監測、自動調整、主動警示與歷史追溯之功能，此方案僅能稱之為農業自動化方案，與大數據分析後進行最佳化處置、提供產值、產量預測並做為農業企業決策的理想目標，仍有相當大的差距。

四、 全球先進國家的農業多已經走向精緻化與智慧化

目前全球先進國家的農業多已經走向精緻化與智慧化，包含美國、日本、以色列、法國、荷蘭等國家，早已經使用先進的溫室設備來栽種花卉蔬果、其中的農作物也包含短期作物，是在一個可以控制的環境，進行即時監控、精準管理、溯源追蹤管理、遠程控制及相關農作生長情形，來達成一個農業生產的目的，目前在國內外，以蘭花作為主要代表，業者均以溫室來進行蘭花栽培，

其所需之生長條件可以採用人為方式進行控制，達到如工廠運作方式的生產，該數量及出貨時間均能掌控。但是相對來說露天農業生產，因無溫室可以進行環境控制，所產生較多的變數及變因較多樣且廣泛，往往在相同的控制條件下，其生產結果有相當大的差異，而無法達成所需之品質及產量。目前在國內外，如美國、澳洲、日本等地，也正在大力研究如何利用 ICT 與 IOT 等科技技術運用在大田農業現場，將傳統露天栽培方式，轉向集約化、精準化、智能化、數據化。目前在台灣大田的栽培正在起步中。

五、 農業生產決策資訊整合促進農業產業升級

目前農業產業中仍有相關的瓶頸需待克服，如產量不均、品質不均、人力老化、自動化效率不足、農藥肥料施用之有效利用率、農藥肥料人工施用暴露中毒的風險等問題，期望能以物聯網技術進行軟硬體資料整合，並以 F 公司玉米田為試驗場域，進行無人機系統噴灑技術及影像感測單元資料收集加上田間無線傳感料收集單元進行主要資料收集，以智慧工具結合數據分析、甜玉米栽培 SOP 流程及農業專家智慧建立專家決策系統，並輔以品質實驗室在生產、品質分級與農藥安全使用規劃與實驗，建立不同季節、耕地栽培生產 SOP 流程模式，強化不同客戶群需求來進行分級，期望能進軍高價市場，提高玉米的生產質與量。透過生產決策系統的建立，延續國內市場優異表現續往國際市場發展。

本研究為研發一種適用於台灣甜玉米之智慧農業服務方案，以 F 公司之分散式玉米田做為研發場域，串聯物聯網、智慧運算、數據分析。提供生產端一個適用大規模、農地零碎、各種品質規格與栽培標準作業程序，同時也提供生產端與專家學者一個決策與研究的巨量分析平台

已根據台灣實際的玉米契作模式，完成 LPWAN 與無線感測裝置與液態農藥肥料噴灑無人機(以下簡稱農噴裝置)之開發與實測修正。LPWAN 可將感測

站收集到的土壤感測值傳送到距離 2 公里內的氣象站，並依據現場地形、灌溉點進行調整，針對傳輸成本、傳輸路徑、傳輸速度進行最佳化演算，取得最適合架設的環境。農噴裝置也經由多次噴灑實驗，建立可商業化的甜玉米農噴及空拍 SOP，並通過農藥殘留檢測，證實可以達到人工噴霧的 3~10 倍效率。

透過田間物聯網感測單元的實際開發設計及建置，建置收集建立台灣大規模商業契作模式的甜玉米生產資料庫，有別於學研單位所建立的小面積甜玉米試驗田，所獲得之蒐集數據更能夠貼近農業物種產業的應用面，並將學術理論具體應用到實際生產端，修正調整為農業企業可以接收的運轉模式，並在該案 2 年的試驗期間建立專屬於 F 公司的玉米栽培規範，並建立台灣第一個甜玉米之專屬品質分級實驗室，透過制定不同品種的甜玉米品味標準，結合測量儀器端的數據，使用精準化的方式控管甜玉米的生長條件，使得 F 公司可以讓無甜玉米植栽經驗的契作戶快速學習到栽培技術，節省甜玉米品種種植摸索的時間，可以提高整體契作品質的穩定度，快速增加通路拓展契作產能。

在農業生產決策系統建置過程中，除了透過田間感測模組進行田間植栽數據採集外另外透過田間作業生長管理 APP 及無人機影像 NDVI 分析模組，整合於 F 公司之戰情中心，使得田間管理員及營運中心透過可視化圖表與空拍影像快速掌握各契作田區的概略情況，以此提高契作田間巡查效率。

第二節 研究發現

透過種植決策系統資訊進行氣象分析、玉米生長、田間影像及契作戶執行效率，來預測該契作戶最佳收穫期，由本案例實際生產的契作田，依據農業專家建議需收集的田間資訊開發以下之物聯網感測單元及所獲得之數據即進行農業決策參數如下：

一、 田間資料蒐集單元

盤點目前市售三個主要的 LPWAN 的技術分析，目前應用面最廣的有 NB-IOT、Sigfox 及 LoRaWAN 等三種方案，整合以上三者優缺點比較。

1. NB-IOT 採用電信級的網路設計，由電信業者架設服務基地台，服務品質有保障，因其建置單位較高與消費者有關的大規模應用較為合適。
2. Sigfox 適合大範圍低價應用，其使用特色為傳輸速率低、傳輸範圍廣泛的特點，適合用在大範圍環境的監控，但該技術每天資料傳輸量有上限，所以僅以基礎訊息為主，不能傳輸大量複雜的資訊。
3. LoRaWAN 封閉型應用有潛力，LoRaWAN 其傳輸距離雖不如 Sigfox，但其相對擁有較高的傳輸頻寬。

相較於電信商所提供的 LoRaWAN，亦有業者提供私有 LoRa 方案。私有方案的開發限於 Semtech 單一晶片廠商的規格限制，及 LoRa 協會的會員限制，導致開發成本高於其他 LPWAN。本個案 F 公司採用德州儀器(TI)所提供的無線通訊晶片、此晶片整合無線通訊與微處理器兩項功能，可大幅降低開發成本、硬體成本、耗電、PCB 體積，且提供高達 50kbps 的通訊速度，遠高於 LoRa 的 100bps-300bps(遠距離低功耗情況下)。相較於 LoRa 可以更有效率的方式進

行田間資訊的傳送。就 LPWAN 技術的盤點結果，因應農業監控的需求，將私有網路的 LPWAN 進行系統開發，一則免除通信費用，二則可讓農企業的田間資訊能自行保有，不透過電信營運商產生外露資訊的風險。透過實際案場佈建及調整規劃獲得數據進行數據資料整合。

田間資料收集單元提供玉米種植環境的即時資訊監控，並將所得資訊經過運算(如瞬間日照強度及累積照度、瞬時溫度及積溫、各因子的趨勢線等)，彙整當日數據後上傳至種植決策系統做進一步分析。模組內所紀錄及呈現的因子包含：空氣溫溼度、日照值、雨量、風速風向、冠層溫溼度、土壤溫度、含水量及導電度，這些數據都是與作物成長有最密切關係的環境因子，相關介面可參考圖 21。在預警通知的功能上，管理軟體有呈現上下限值的設定，具權限的管理人員才可操作該頁面，因為作物在每個生長過程中有不一樣要注意的警戒值，無法設為固定，所以提供給業者方便隨時做上下限告警值之彈性調整。若達到警戒值，會傳出 email 通知相關人員，讓該人員第一時間可安排改善事項，介面如圖 27 所示。目前提供的功能已可初步滿足作業人員對現場資料的即時掌控需求，並能將數據回傳給種植決策系統做進一步分析。



資料來源:本研究

圖 27 各場域即時數據綜合檢視畫面

元長	環境溫度	上限	土壤溫度	上限	土壤溫度	上限	土壤EC	上限
氣象站	28.1	36.0	-	36.0	-	75.0	-	75.0
夏強	-	36.0	-	36.0	-	75.0	-	75.0
白美	-	36.0	-	36.0	-	75.0	-	75.0
華珍	-	36.0	-	36.0	-	75.0	-	75.0
虎尾	環境溫度	土壤溫度	土壤溫度	土壤EC				
氣象站	29.0	36.0	31.2	0.24				
夏強	27.3	36.0	31.2	0.24				
白美	27.6	36.0	31.1	0.23				
華珍	-	36.0	-	-				
嘉義	環境溫度	土壤溫度	土壤溫度	土壤EC				
氣象站	28.9	36.0	34.7	0.12				
夏強	28.8	36.0	34.7	0.12				
白美	28.8	36.0	35.1	0.10				
華珍	28.6	36.0	34.2	0.17				

資料來源:本研究

圖 28 種植決策模組警戒值設定頁面

田間感測單元將以以下幾個方式呈現

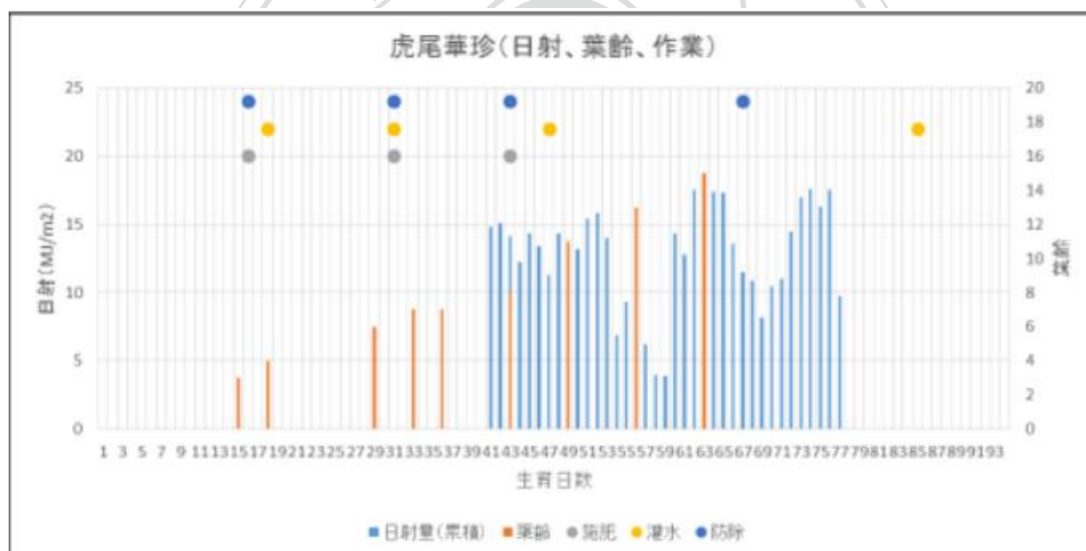
1. 各區域即時影像及環境因子監控畫面
2. 與田間作業時間軸重疊之歷史曲線分析畫面

氣象站及土壤站所收集到的資料每天存成日報表供數據分析者拿取，經過數據匯入成立歷史資料對比圖，可取得相關數值分析。如圖 29 種植決策系統綜合分析圖-氣溫、土溫、葉齡、圖 30 種植決策系統綜合分析圖-日射、葉齡



資料來源:本研究

圖 29 三種數值決策系統綜合分析圖-氣溫、土溫、葉齡



資料來源:本研究

圖 30 兩種數值決策系統綜合分析圖-日射、葉齡

3. 結論

此甜玉米種植決策支援模組，結合田間感測模組與無線傳輸技術，彙整甜玉米栽培之各項參數資訊，建立資料庫並持續更新，長此以往可累積專屬之數據庫，並逐年提高預測趨勢之準確度，藉由此智慧化技術之導入，將有效協助改善栽種排程與品質管理，達到快速、省工之精準農業之成效。

二、 NDVI 影像資料蒐集單元

1. 使用者介面：

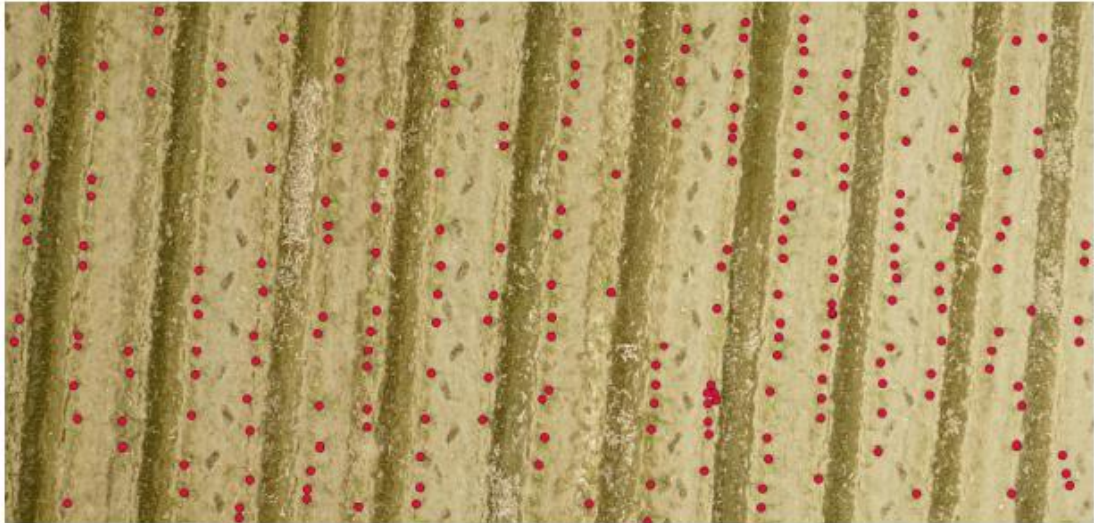
此項工作為資料庫之建立，並且提供使用者介面。透過各項的 check box 讓使用者點選特定日期、特定田塊、特定影像，後面的資訊欄位輸出對應的農田資訊，包含 A. 多光譜植生指數、B. 植栽個數辨識結果、C. 影像對位功能、D. 農田田塊及定植資訊、E. 簡易時序比較。此功能目前透過軟體視窗開發，但為考量使用方便性，擬逐步移至雲端，並透過網頁介面呈現。

2. 植栽辨識及個數計算：

藉由之前的玉米田空拍影像，團隊進行與玉米植栽個數辨識功能開發。主要透過像素及型態的分析，並以支持向量機 SVM (Support Vector Machine) 嘗試進行植栽個體的辨識。由於玉米在各生長階段的型態及農田影像不一，團隊依其特性，分析得到以下幾點較可行之作法：

1) 幼苗時期：

幼苗時期的重點主要在觀察玉米的發芽率。在目前以 GSD 2cm 空拍 RGB 影像之下，因為葉綠色與週遭土壤顏色容易分辨，因此相當容易透過電腦視覺觀察其發芽之處，如圖 31。若以 NDVI 影像進行解析，亦可觀察到其植栽 NDVI 值與週遭有明顯差異。透過雜訊過濾，並且以型態大小分佈進行分類，可辨識植栽個數。另一方面，團隊透過 CNN 之模型訓練分辨玉米發芽和雜草之差異，但因玉米發芽時與長條狀雜草頗為相似，目前成功辨識率約只有 40%。但若與圓葉型雜草辨識，成功率目前可達 70%。如圖 32，這樣的田塊影像較複雜，辨識率則較低。



資料來源:本研究

圖 31 虎尾 0201 號田 RGB 影像及植裁判釋結果



資料來源:本研究

圖 32 虎尾 0201 號田 RGB 影像及植裁判釋結果

2) 抽葉時期：

此時期的玉米植株逐漸長出較大之葉片，目前所空拍的玉米田，鄰近之植株葉面有相互遮蓋之現象，因此要透過型態辨識植株個數難度極高，如圖圖 33。此時期之影像分析重點，應改為觀察其葉色值、NDVI 值之總成、變異量。並以此依據和田間調查相互比較。



資料來源:本研究

圖 33 玉米田抽葉時期 RGB 影像結果

3) 開花時期：

雖然上述時期的玉米植株因葉片相互遮蓋難以辨識，但此時期之雄花抽穗，其白色花穗及放射狀之特徵，反而提供了計算植株個數相當方便的條件。且此階段之花穗少有交互遮蓋的現象，週遭多為綠色。團隊以 RGB 影像，萃取白色花穗之放射狀中心為特徵進行辨識，如圖 34，提供了此生長階段植株估計的途徑可有效分辨已開花之玉米植株個數。目前以第二季 10 號田進行判釋，結果如下表 5。後續可再調整參數，讓不同視角或是更多型態的玉米花穗被辨識成功。但與農戶比對實際數值(大約栽種 7950 株)，差異仍大(判釋數值僅約為 59.77%)。

研判可能原因包含：1. 判釋模型參數或方法仍不足 2. 拍照時間點不一定各種子皆已萌芽或開花。後續將再觀察，由小面積地面記錄資料來和空拍判結果比對。



資料來源：本研究

圖 34 開花期 RGB 影像判讀結果

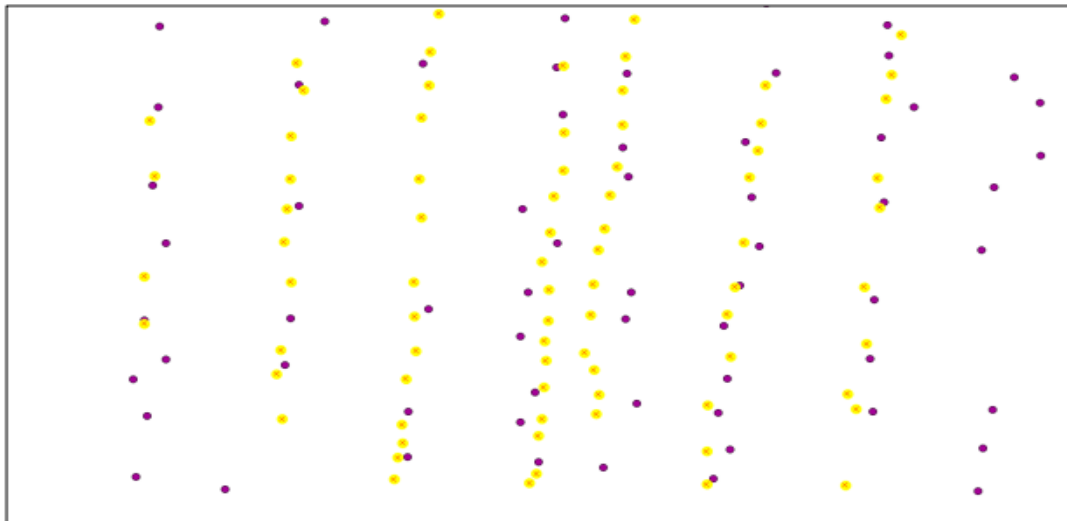
表 5 植株數量判釋結果

影像日期	判釋 1	判釋 2	判釋 3	判釋 4
3/28	4327	4811	4677	4597
5/16	4634	4752	4817	4803

資料來源:本研究

A. 總體生長週期辨識結果比較：

上述在幼苗時期及開花時期之植栽個數，應可互相比較，或是在不同時期的影像結果比較，了解彼此差異，或是同一田塊但不同部分的生長差異。此部分工作在現階段尚未展開，但由於上述的植栽辨識結果可產出其座標位置，後續將開發此項比較的結果呈現方式。目前雖個數判釋結果仍待加強並釐清，但此項比較工作已進行疊圖比較，但數值及誤差統計仍待持續修正，如圖 35 10 號田 3 月 28 日(紫色)與 5 月 16 日(黃色)。



資料來源:本研究

圖 35 植株數量判釋結果

3. 結論:

甜玉米種植影像分析模組已實現各種功能，但有些功能仍有提升的空間。另一方面，也在每次航拍記錄相關缺失，提升航拍品質，減少後續處理的調整時間。在 NAVI 檢測模式下，可以收集到玉米契作田實際開花數量，透過開花數量判斷，用以判斷實際結果數量，來判斷未來實際產能。



三、 種植決策成果

1. 試驗內容

試驗材料為溫帶品種以水果玉米之白美人，黃甜玉米軟殼品種為金蜜、硬殼品種為華珍，此三種甜玉米為本案例在產量及面積及品質較為廣泛極高價值之品種，觀測其不同品種在不同場域對於環境因子之影響本季產量及品質之表現。

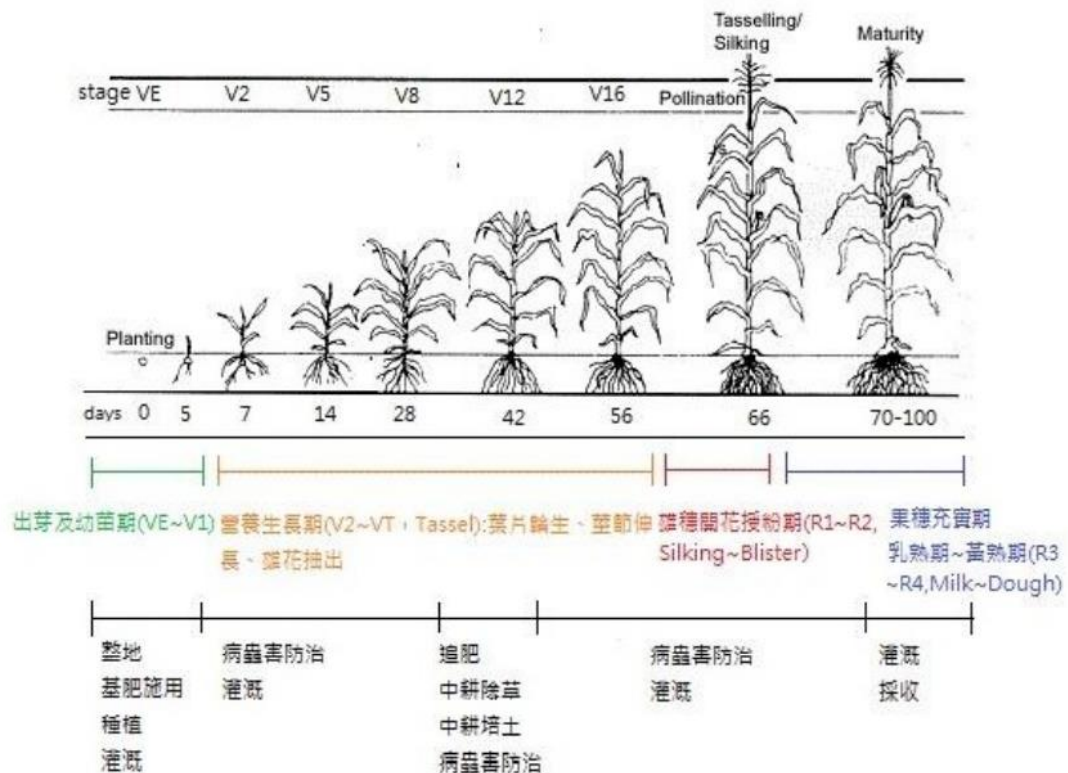
栽培品種為:白美人(水果玉米)、金蜜、華珍，作為本季試驗品種田間調查，在生育性狀、生育階段、產量性狀、產量及品質等數據已做初步統計分析。在生育階段之比較結果，金蜜與白美人在各生長階段最為相近，相較於華珍差異較大。在不同地區甜玉米生育性狀紀錄之比較，金蜜在不同地區生育性狀比較之結果，在 R1 到 R2 籽粒形成階段中，葉綠素值會呈現上升狀態，在 GDD(積溫)方面，三個地區從種植到採收所累積的生育積溫皆為相近。

白美人在不同地區生育性狀比較之結果，葉綠素值從 R1(生育階段性狀調查) 至 R2(生育階段性狀調查) 皆有上升，到 R3(生育階段性狀調查) 時都有下降之情況。華珍在不同地區生育性狀比較之結果，虎尾地區(57 天)在 R1 時期比土庫(76 天)和元長(71 天)快，但生育積溫是相近的，在葉綠素值方面，從 R2 至 R4 皆有上升之情形，其原因可能為過程中施肥導致數值上升。在產量性狀之結果所示，虎尾地區種植白美人及金蜜之外觀品質較佳，元長區種植華珍之外觀品質較佳。金蜜品種在元長地區在每分地平均採收量及 A 級良率的表現最佳。白美人品種元長區在每分地平均採收量較佳，A 級良率土庫區較佳，華珍品種每分地平均採收量以土庫區較佳，A 級良率以虎尾較佳。

2. 生育階段性狀調查說明

在甜玉米各品種生長至收穫期間進行相關性調查，其注重於雄穗開花期 (tasseling, VT)、吐絲授粉期 (silking, R1)、籽粒形成期 (blister, R2)、籽粒糊熟期 (milky, R3)、籽粒成熟期 (dough, R4)，如圖 36 所示。

- 1) 葉齡：播種後到第一片葉長出記錄到雄花抽出為止，如附圖 37 所示。
- 2) 葉色：在生育調查期間，同時進行葉色分析，測定儀器為 Minolta SPAD-502 Chlorophyll meter。
- 3) 株高：從甜玉米基部土壤表面至雄花頂部之高度。
- 4) 穗位高：從甜玉米基部土壤表面至結穗之節位高度。



資料來源：本研究

圖 36 甜玉米生長階段與田間管理方式



葉齡 (V1, V2, V3~VT)
 株高 (plant height: cm)
 穗位高 (ear height: cm)
 葉色 (SPAD 值)



資料來源:本研究

圖 37 甜玉米生長階段圖，箭頭為計算葉齡方式

3. 生產結果

1) 生育階段性狀調查

在第 1 季試驗田生育階段天數比較結果如表 6 所示，從種植到 R1 階段三個品種分別為金蜜平均日數為 59.33 天，白美人平均天數為 59.67 天，華珍平均天數為 68 天，R2 階段分別為金蜜平均日數為 65 天，白美人平均天數為 69.67 天，華珍平均天數為 81.67 天，R3 階段分別為金蜜平均日數為 79.67 天，白美人平均天數為 76 天，華珍平均天數為 93.67 天，R4 階段分別為金蜜平均日數為 88.33 天，白美人平均天數為 83.33 天，華珍平均天數為 100.67 天，到採收階段分別為金蜜平均日數為 95 天，白美人平均天數為 88.33 天，華珍平均天數為 105.67 天；在各階段天數中金蜜與白美人最為相近，而相較於華珍差異較大。在不同地區甜玉米生育性狀紀錄之比較如表 7。

表 6 試驗田生育階段日數之比較

單位：天

Season \ Stage	第 1 季		
	金蜜	白美人	華珍
R1	59.33±12.1	59.67±4.16	68±9.85
R2	65±13	69.67±1.53	81.67±7.37
R3	79.67±9.61	76±2	93.67±11.5
R4	88.33±12.1	83.33±1.53	100.67±12.01
Harvest	95±16.46	88.33±5.86	105.67±11.37

* mean±SD, n=3

資料來源：本研究

表 7 不同地區甜玉米生育性狀紀錄

地區/品種	生育階段	生育日數	SAPD	GDD
元長／金蜜	R1	55	58.48±2.96	762.25
	R2	58	58.61±2.26	785.2
	R3	71	58.09±2.26	879.65
	R4	79	61.45±2.13	950.35
	Harvest	86	-	1034.4
虎尾／金蜜	R1	50	54.83±3.61	721.9
	R2	57	52.19±4.42	793.15
	R3	78	52.15±1.84	966.45
	R4	84	52.73±3.78	1022.8
	Harvest	85	-	1031.35
土庫／金蜜	R1	73	53.65±2.69	756.45
	R2	80	57.96±2.34	794.55
	R3	90	58.19±2.51	885.85
	R4	102	56.23±3.75	918.7
	Harvest	114	-	1023.35

* mean±SD, n=10, “-” 未測得。

資料來源：本研究

金蜜在不同地區生育性狀比較之結果如表 8 所示，在 R1 吐絲授粉到 R2 籽粒形成階段中，其葉綠素值會呈現上升狀態，在各生長階段，土庫地區的生育天數相較高於元長及虎尾地區，而在 GDD(積溫)方面，三個地區從種植到採收所累積的生育積溫皆為相近。

表 8 金蜜在不同地區生育性狀紀錄

地區/品種	生育階段	生育日數	SAPD	GDD
元長／金蜜	R1	55	58.48±2.96	762.25
	R2	58	58.61±2.26	785.2
	R3	71	58.09±2.26	879.65
	R4	79	61.45±2.13	950.35
	Harvest	86	-	1034.4
虎尾／金蜜	R1	50	54.83±3.61	721.9
	R2	57	52.19±4.42	793.15
	R3	78	52.15±1.84	966.45
	R4	84	52.73±3.78	1022.8
	Harvest	85	-	1031.35
土庫／金蜜	R1	73	53.65±2.69	756.45
	R2	80	57.96±2.34	794.55
	R3	90	58.19±2.51	885.85
	R4	102	56.23±3.75	918.7
	Harvest	114	-	1023.35

* mean±SD, n=10, “-” 未測得。

資料來源:本研究

白美人在不同地區生育性狀比較之結果如表 9 所示，虎尾地區從種植到採收的生育天數及 GDD 皆高於土庫及元長地區；白美人在葉綠素值之結果，從 R1 至 R2 皆有上升，到 R3 時都有下降之情況，其原因可能為甜玉米從吐絲授粉(R1)時至籽粒形成(R2)過程中，因施肥之因素，氮肥之影響導致葉綠素值上升。

表 9 白美人在不同地區生育性狀紀錄

地區/品種	生育階段	生育日數	SAPD	GDD
元長／白美人	R1	61	41.07±6.63	699.4
	R2	68	44.33±5.92	762.85
	R3	74	Nd	817.55
	R4	82	42.45±4.78	870.05
	Harvest	84	-	874.2
虎尾／白美人	R1	55	38.04±2.43	666.5
	R2	71	41.6±4	812.35
	R3	78	39.36±4.39	862.45
	R4	85	42.67±4.05	901.85
	Harvest	95	-	996.5
土庫／白美人	R1	63	42.42±5.58	718.45
	R2	70	49.42±3.25	784.3
	R3	76	48.43±3.97	840.3
	R4	83	47.14±4.36	890.35
	Harvest	86	-	898

* mean±SD, n=10

“-“ 未測得

資料來源:本研究

華珍在不同地區生育性狀比較之結果如表 10 所示，因氣象資料尚未更新，土庫華珍的積溫無法統計，在生育階段之比較上，虎尾地區(57 天) 在 R1 時期比土庫(76 天)和元長(71 天)快許多，但所累積的生育積溫是相近的，在葉綠素值方面，從 R2 至 R4 皆有上升之情形，其原因可能為過程中施肥導致數值上升。

表 10 白美人在不同地區生育性狀紀錄

地區/品種	生育階段	生育日數	SAPD	GDD
元長／華珍	R1	71	57.42±4.26	780.25
	R2	79	39.65±3.62	832.75
	R3	94	42.6±3.42	949.25
	R4	100	44.56±4.64	978.4
	Harvest	109	-	1004.15
虎尾／華珍	R1	57	44.69±3.18	763.2
	R2	76	48.68±3.9	926.9
	R3	82	52.1±2.8	983.25
	R4	89	50.21±7.01	1033.35
	Harvest	93	-	1046
土庫／華珍	R1	76	54.45±2.08	710.65
	R2	90	36.41±4.88	757.35
	R3	105	43.92±3.69	882.75
	R4	113	47.28±4.49	-
	Harvest	115	-	-

* mean±SD, n=10

“-“ 未測得

資料來源:本研究

2) 品質與產量紀錄之比較

在試驗田三個品種產量性狀之比較，如表 11 所示，白美人在不同地區性狀之比較，在去葉每穗重，虎尾地區 219.5g 高於元長地區 198.72g，平均每行粒數元長區 32.94 高於虎尾區 30.65，甜度之比較虎尾地區 16 度高於元長區 13.47 度；金蜜在不同地區性狀之比較，在帶葉鮮重之比較，虎尾地區 330.64g 高於土庫地區 272.17g，而平均每行粒數虎尾地區 36.53 高於土庫地區 33.73，果穗長度元長及虎尾區高於土庫區，穗徑之比較土庫區較粗於虎尾及元長區，在果皮硬度之比較，元長及虎尾區較佳；華珍在不同地區性狀之比較，在帶葉/去葉鮮重元長及虎尾區高於土庫區，在甜度方面之比較，元長及土庫區高於虎尾地區，硬度方面之比較，元長區優於土庫區。在產量性狀之結果所示，虎尾地區種植白美人及金蜜之外觀品質較佳，元長區種植華珍之外觀品質較佳。

表 11 白美人在不同地區生育性狀紀錄

地區/品種	生育階段	生育日數	SAPD	GDD
元長／白美人	R1	61	41.07±6.63	699.4
	R2	68	44.33±5.92	762.85
	R3	74	Nd	817.55
	R4	82	42.45±4.78	870.05
	Harvest	84	-	874.2
虎尾／白美人	R1	55	38.04±2.43	666.5
	R2	71	41.6±4	812.35
	R3	78	39.36±4.39	862.45
	R4	85	42.67±4.05	901.85
	Harvest	95	-	996.5
土庫／白美人	R1	63	42.42±5.58	718.45
	R2	70	49.42±3.25	784.3
	R3	76	48.43±3.97	840.3
	R4	83	47.14±4.36	890.35
	Harvest	86	-	898

* mean±SD, n=10

“-“ 未測得

資料來源:本研究

3) 收穫產量及良率之比較

在本季試驗田栽培及產量紀錄之結果如表 12 所示，金蜜品種在元長地區的每分地平均採收量 1531kg 和 A 級良率 87.71% 為表現最佳，白美人品種元長區在每分地平均採收量 1100kg 較佳，A 級良率土庫區較佳，華珍品種每分地平均採收量以土庫區 1605.26kg 較佳，A 級良率以虎尾較佳。

表 12 試驗田品質與產量性狀紀錄之比較

品種	種植地區	帶葉每穗重(g)	去葉每穗重(g)	行數	平均每行粒數	果穗長(cm)	穗徑(cm)	穗寬(cm)	甜度(Brix)	果皮硬度(g)	外觀品評(分)
白美人	元長	289.76a	198.72b	14.07a	32.94a	18.82a	1.05a	4.43b	13.47b	664.9a	3.95a
	虎尾	301.45a	219.5a	15.8a	30.65b	18.35a	1a	4.75a	16a	840.7a	3.8a
	土庫	300.46a	210ab	15.8a	31.26ab	18.68a	0.96a	4.49b	13.89b	823.6a	3.5a
金蜜	元長	299.75ab	218.57a	16a	34.67ab	19.85a	0.87a	4.26a	13.9a	786.78a	3.35a
	虎尾	330.64a	241.81a	17.4a	36.53a	19.74a	0.85ab	4.46a	15.01a	821.11a	3.55a
	土庫	272.17b	222.63a	16.3a	33.73b	18.69b	1b	4.49a	14.69a	1065.19b	3.05a
華珍	元長	314.09a	216.67a	12.6ab	36.37a	17.55a	1.02a	4.67a	13.65a	780.9a	3.91a
	虎尾	301.38a	193.53ab	12b	38.48a	17.99a	1.82a	4.26b	12.32b	821.8ab	3.16a
	土庫	271.15b	188.52b	13.4a	31.37b	15.42b	0.99a	4.24b	13.6a	885.9b	3.75a

*LSD Test, Number of sweet corn in each group is 15, Significant at P<0.05.

資料來源:本研究

表 13 試驗田產量與良率紀錄

地區	品種	種植面積 (分)	總採收量(kg)	每分地採收量 (kg)	A 級良率(%)
金蜜	元長	4.2	6430	1531	87.71
	虎尾	3	2560	1031.4	76
	土庫	1.9	2074	1091.58	57.47
白美人	元長	1.5	1650	1100	46
	虎尾	3.8	3200	842.11	75
	土庫	3.8	5260	895.55	76.48
華珍	元長	1.9	2590	1363.16	82.59
	虎尾	3.5	5040	1440	92.10
	土庫	1.9	3050	1605.26	78.69

資料來源:本研究

4. 結論

本計畫在栽培過程中，因遇到低溫和東北季風之因素，導致生育階段及採收時間受到影響，在產量及品質數據上的呈現較不完整；在田間資料收集方面，農民作業紀錄較為困難，收集相關資訊不易，但已找到方法改善，增加田間種植感測單元，並增加相關收集數據，並以 GDD(積溫)數據結合農業區域歷史資料數據，來進行預期產能收成日，確保種植成效。

第五章 結論與建議

第一節 結論

經研究，其目的結果如下：

一、探討目前物聯網建置之感測單元用於農業的技術可行性，並設計田間感測模組連接物聯網資料收集之應用架構，來進行數據分析應用系統建置，同時使用專案計畫所獲得之資訊，透過數據收集來判斷生產之決策系統可行性。

本次研究農業種植決策系統，是藉由田間感測模組自動記錄環境因子，搭配田間栽培操作與作物生長階段的數據紀錄，透過平台的運算，以智慧化的方式分析各項條件參數，進而調整栽培期程與品種和契作農地的選擇，協助改善生產管理流程，節省生產成品，提升玉米的品質與產量。

本個案委託契作農民領袖，再由農民領袖協助管理其他小農，以甜玉米契作生產作業方式栽培甜玉米進行場域試驗。契約內容明訂甜玉米之品規標準要求，且由農業的田間管理員提供玉米栽培相關建議，協助將各農戶的栽培方式進行統一管控。並提供相關紙本表單與田間管理 APP 給契作農戶使用，契作農戶需要定期回報田間的作業內容，包含肥料與農藥的施用時間、種類、用量等，並透過 APP 紀錄玉米植株的生長狀況與照片。F 公司藉此得以快速掌握各契作田區的即時栽培情況，並累積資料庫以滾動式修正方式提高預測準確度，搭配田間環境監測系統，可提前發布預警，提供契作農戶相關的協助，亦有助於 F 公司農業進行產量管控與排程規劃。

二、提出物聯網農業決策系統及數據來源方式之建議供給未來其他使用者之建置參考。

農業種植決策系統記錄主要是環境條件包含氣象資訊、土壤資訊，主要藉由安置在 F 公司農業契作試驗田中的感測器自動回傳至決策支援系統的資料庫，包含：空氣溫度、空氣濕度、日射量、降雨量、風向、風速、土壤溫度、土壤濕度、土壤 EC 值。空拍影像分析則是由每週進行航拍，完成影像拼接後以多光譜植生指數參照作物生長紀錄進行比對，並進行 RGB 可見光的植栽分析、影像對位及色彩校正、農田影像時序比對分析等。

農地管理則是由田間管理員先登錄本季試驗田區的場域資訊，包含玉米品種、栽培資訊、土壤分析數據(整地後播種前取土樣送至農試所進行分析)、基肥施用記錄，另外在栽培期間，透過田間管理 APP 詳實記載田間作業，如肥料施用量、施用種類、施用時間、病蟲害防治作業、中耕、除草、灌溉及收穫，另外每週進行兩次田間作物的生長調查，包含葉齡、SPAD 值、株高、穗位高、生育階段、病蟲害情況、生長障礙等。以上資訊皆會彙整到農業種植決策系統的資料庫，進而透過決策支援系統做出後續的圖表分析。

此智慧農業的運作模式若能確切落實，並與專家系統作密切的配合，即時導入專家建議，預期能夠達到精準農業、提高品質的效益。藉由智慧農業創新科技的投入與大規模生產，發揮作物更大潛能，創造安全又便利的從農環境，吸引更多年輕人力投入，使臺灣農業邁向年輕化、有活力、高競爭力的精緻農業，提供穩定、生鮮、安全糧食。

第二節 建議

一、 實務建議

本案例田間感測模組總計建置 9 組、氣象感測站共 3 組以及離線型氣象土壤感測器共 9 組等，透過交叉比對方式驗證系統資料傳輸之穩定性，設計採用 LPWAN 方式進行資料傳輸，發現資料傳輸過程中，實際執行過程，由於無線感測器的訊號傳輸易受到遮蔽物與電塔的干擾，研發工程師已針對天線進行改造以加強訊號，訊號穩定度有顯著提升，傳輸頻道干擾造成資料漏失，透過軟體調整，區分通訊傳輸分頻方式，達成穩定傳輸之目的。未來 5G 連接方式可透過氣象感測站通訊模組升級方式，增加通訊模組功能連接影像數據模組，上傳現場影像資料，增加影像 AI 數據分析功能。

無人機現階段搭配栽培時程，進行田間影像拍攝作業，拍攝頻率每週至少一次，後續反射光譜及影像分析等可透過軟體影像進行提升。甜玉米種植影像分析模組已實現各種功能，但有些功能仍有提升的空間。

決策系統上可匯集整合性的智慧農業相關數據，並能夠發出告警通知，如土壤水分過低時建議澆水的自動即時 mail。未來將依照本案例中的分析模式持續累進，並參考專家意見進行修正調整，期待能達到智慧化農業的品質躍升成效。

二、 未來研究建議

本案例所開發之農業種植決策系統，已經持續累積試驗資料以增進育地的準確度，陸續新增更多元的輸入參數，如試驗田地區的土壤地質分類、每穗粒數、整穗乾重等參數，或是結合其他環境因子模擬模型，用來提升農業種植決策系統的完整可靠性。透過資料模組化的結構來增加物聯網感測單元建置，在

持續累積試驗資料與增加輸入運算參數過程中，尋找提供穩定預測結果所必須輸入的運算參數，取得預測結果與輸入參數的最佳化效率比，以降低智慧農業生產統的建立與營運成本，增加農契田的管理效率，並做為決策系統模組後續商業化的重要參考依據。

針對仍在開發的農業種植決策系統，包括選擇契作農戶、預估田玉米外觀品質與修正營銷策略等需求。關於栽培前，選擇契作農戶，目前已經收集多年契作農戶的生產相關資訊，包括種植區域與面積、總產量、單位面積產量、外觀品質良率等，將以上生產紀錄，由個別的經濟效益影響給予加權評分，並結合時間序列與栽培地區，建議具有最佳經濟潛力之契作農戶。在栽培階段中，採用現今累積之環境因子與甜玉米外觀資料，分析衝擊性最強烈之環境因子，以線性回歸分析環境參數與外觀品質的動態關聯性，並模擬最終田玉米品質的變化，作為後續調整產銷策略的輔助。最終，於栽培結束後，基於台灣、新加坡各大銷售通路收集的分析資料，了解客群差異性，依據不同客群進行分眾行銷，強化F公司銷售市場定位，並由預測甜玉米的產量與品質，提前安排冷凍倉儲或調度貨源，串接國內外甜玉米產銷鏈，以維持穩定且高品質的供貨。

第三節 研究限制

農業種植決策系統，在本案例中除了要能夠接收現場的即時訊息讓決策者及作業人員快速掌握場域狀況外，更重要是要能夠整合不同來源的資訊，擷取與成長或採收的可控作業(如施肥、灌溉、疏苗、採收等)與環境因子(如土壤溫度、濕度、EC、積溫、NDVI 圖等)做整合分析，讓決策者判斷並下達指令。

在田間感測模組、無人機應用、農業種植決策整合之下，經過一年半的試驗，透過多筆農民栽培習慣行為的紀錄，挑選產量或是品質較佳的農民栽培方式，做相互比對，並參考甜玉米栽培文獻，將農民的經驗結合甜玉米栽培紀錄資料，整合出水果玉米、黃甜玉米(軟殼甜、硬殼甜)的栽培流程。

分析田間感測模組得到田間微氣象即時資訊，此資訊有效助於田間管理，對於甜玉米產量敏感的氣溫監測也有助於產季與品質的預估，此農業種植決策系統具有田間預警的效果，以減少田間操作，如水分管理，對於產量的衝擊，對於環境因子的監控也可以幫助農產契作田預估玉米產量品質以達市場銷售配合功效。

本案例若能增加資料收集之時間，由一年半加長至三到五年，進行甜玉米生產階段與收穫期的模擬預測，獲得有效的生產預測模型，提供農業種植決策系統決策參數，以便給予田間管理員更加穩健的決策支援建議。

參考文獻

1. 行政院農業委員會農業試驗所智慧農業專案小組，智慧農業說明 ((<https://www.intelligentagri.com.tw/xmdoc/cont?xsmsid=0J164373919378174143>)
2. 余祈暉。2017。國際智慧農業發展策略。台灣經濟研究月刊 第 40 卷第 3 期: 21-30。
3. 低功耗廣域網路說明，引用維基百科
<https://zh.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
4. 物聯網名詞解釋說明，引用維基百科
(<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%89%A9%E8%81%94%E7%BD%91>)
5. 陳駿季、楊智凱。2017。推動智慧農業—翻轉臺灣農業。國土及公共治理季刊 第 5 卷第 4 期: 104-111。
6. 植生指標之單／雙影像模組發展 科儀新知 220 期 108.9 廖泰杉著。
7. 無人飛行載具說明，引用維基百科，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%A1%E4%BA%BA%E8%88%AA%E7%A9%BA%E8%BC%89%E5%85%B7>
8. 楊智凱、施瑩艷、楊舒涵。2016。以智慧科技邁向臺灣農業 4.0 時代。農政與農情 289：6-11。
9. 楊織郡。2017。科技革新打造智慧農業-專訪農業委員會科技處處長張致盛。國際 農業科技新知 No.75: 4-8。
10. Advantech Technical Writers (2013). IoT and Big Data Combine Forces. Advantech Technical Whitepaper.
11. Andrew Meola (2016). Why IoT, big data & smart farming are the future of agriculture. Business Insider:
<http://www.businessinsider.com/internet-of-things-smart-agriculture-2016-10>
12. Ankur Pariyani, PhD; Ulku G. Oktem, PhD; Deborah L. Grubbe, PE.(2013).Process Risk Assessment Uses Big Data., Control Engineering:<http://www.controleng.com/single-article/process-risk-assessment-uses-big-data/632b3ce8d25102b9ab558b3833cc5885.html>

13. Carlson, Toby N., and David A. Ripley. "On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index." *Remote sensing of Environment* 62.3 (1997): 241-252.
14. Faiçal, Bruno S., et al. "Exploiting Evolution on UAV Control Rules for Spraying Pesticides on Crop Fields." *International Conference on Engineering Applications of Neural Networks*. Springer International Publishing, 2014.
15. Faiçal, Bruno S., et al. "Fine-Tuning of UAV Control Rules for Spraying Pesticides on Crop Fields: An Approach for Dynamic Environments." *International Journal on Artificial Intelligence Tools* 25.01 (2016): 1660003.
16. Gay, Alan P., et al. "Developing unmanned aerial vehicles for local and flexible environmental and agricultural monitoring." *Proceedings of RSPSoc 2009 Annual Conference*. RSPSoc. 2009.
17. Goncalves, Leandro Bertini Lara, et al. "Influence of mobility models in precision spray aided by wireless sensor networks." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 574. No. 1. IOP Publishing, 2015.
18. Greg McMillan and Stan Weiner (2010). *Drowning in Data, Starving for Information-2. Control*:
<http://www.controlglobal.com/articles/2010/AutomationData1003.html>
19. Huang, Yanbo, and Krishna Reddy. "Unmanned aerial vehicle: A unique platform for low-altitude remote sensing for crop management." *Meeting Proceedings*. Vol. 1. 2015.
20. Joe Feeley (2013). 'Internet of Things' Becomes Internet of Everything. *Control Design*:
<http://www.controldesign.com/articles/2013/feeley-gigabytes-how-quaint.html>