

南華大學科技學院永續綠色科技碩士學位學程

碩士論文

Master Program of Green Technology for Sustainability

College of Science and Technology

Nanhua University

Master Thesis

應用智慧科技於溫室精緻農業之成效評估

Evaluation of the Benefits of Applying Smart

Technology to Greenhouse Farming

李俊旺

Chun-Wang Li

指導教授：林文賜 博士

Advisor: Wen-Tzu Lin, Ph.D.

中華民國 110 年 12 月

December 2021

南華大學
永續綠色科技碩士學位學程
碩士學位論文

應用智慧科技於溫室精緻農業之成效評估

Evaluation of the Benefits of Applying Smart
Technology to Greenhouse Farming

研究生：李俊旺

經考試合格特此證明

口試委員：蔡坤林

林昭憲

王昭

指導教授：王昭

系主任(所長)：洪耀明

口試日期：中華民國 110 年 12 月 10 日

謝誌

很高興終於完成碩士班的學位，對我而言，這是人生規畫中並沒有的插曲，從資格審核、資料的送審、聚積科技楊立昌董事長的推薦、洪耀明系主任及吳孟昆老師的協助，得以進入學程。

在研究過程當中，心裡的轉折有如三溫暖一般，數度遭遇瓶頸，甚至於有休學放棄的念頭，承蒙指導教授林文賜博士給予鼓勵，不厭其煩在課業上的指導與解惑，才能完成今日之論文，過程當中，還有要感謝陳淑敏、呂本安、陳順麗三位同學，若沒三位同學適時的給予幫忙、督促、相扶相持，根本不可能有今日之成果，有你們真好！

當然最感謝的還是我的家人，一年半的時間，每逢假日，犧牲老婆女兒的親子日，致力於研究與學業，也因有你們的支持，才有今日的動力，走過這一段，身心煎熬的日子，也相信經歷這段磨練的過程，更能激發韌性與抗壓，讓我在未來職場上更有競爭力、不退縮勇於挑戰及承擔。

中文摘要

全球暖化導致極端氣候，導致水資源不足、溫度變化大問題，使得傳統慣行農法經濟產值不穩定，加上從農人口減少及老化問題，使得農業產值日益低落，若能導入智慧科技於高經濟價值之農業，或能解決農業缺工，並提升農業產值。本研究係以農委會之推動「智慧農業 4.0」計畫為概念，以多年建置智慧溫室農場之實務經驗，將環境監測系統導入農場之溫室設施內，監測項目包括溫度、濕度、光照、雨滴感應、及土壤含水量等，並根據溫室內之監測數據，自動控制溫室內遮蔭電動窗及內循環扇，讓溫室能控制在植物生長所需之條件，並與傳統採用人力管理之溫室進行成本與成效比較。研究結果顯示，建置之智慧溫室農場，無論在節省人力成本、節省油資及能源電費、控制作物病蟲害、以及增加農產品產值等方面，在扣除農糧署補助金額，農民在自備款僅需 1~2 年內可持平並獲利，顯示本研究建置之智慧溫室農場，具備甚佳之可行性及實用性。

關鍵詞：智慧農業、溫室、物聯網

ABSTRACT

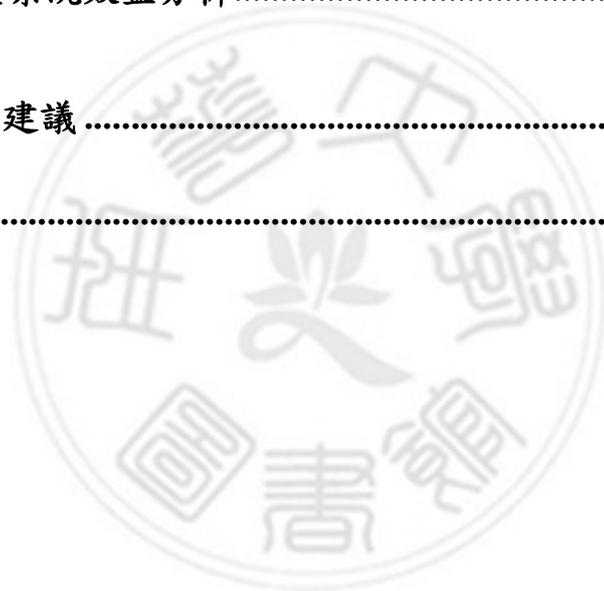
Global warming has led to extreme climate, resulting in insufficient water resources and large temperature changes, making the economic value of traditional farming practices unstable. If smart technology can be introduced to agriculture with high economic value, it may solve the shortage of agricultural labor and increase the value of agricultural production. This study is based on the concept of "Smart Agriculture 4.0" project of the Council of Agriculture. Based on years of practical experience in building smart greenhouse farms, the environmental monitoring system was introduced into the greenhouse facilities of the farm. The monitoring items include temperature, humidity, light, raindrop sensor, and soil moisture content, etc. Based on the monitoring data in the greenhouse, the electric shade windows and internal circulation fans in the greenhouse are automatically controlled, allowing the greenhouse to control the conditions required for plant growth and comparing the cost and effectiveness with the traditional human-managed greenhouse. The results of the study show that the smart greenhouse farms can save labor costs, save fuel, energy and electricity, control pests and diseases, and increase the value of agricultural products, etc. After deducting the subsidies from the Agriculture and Food Bureau, the farmers can make a profit in only one to two years. This study demonstrates the feasibility and practicality of the smart greenhouse farm.

Keywords: Smart agriculture, Greenhouse, Internet of Things (IoT)

目錄

謝誌.....	I
中文摘要.....	II
ABSTRACT.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VI
表目錄.....	VIII
第一章 緒論	1
1.1 研究緣起.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究架構.....	3
第二章 文獻回顧	5
2.1 農業議題相關研究.....	5
2.2 智慧農業系統相關研究.....	12
第三章 智慧農業系統架構	19
3.1 系統需求分析.....	19
3.2 系統程式開發.....	21

3.3	系統功能說明.....	25
3.4	智慧溫室環境設施及生產設備.....	28
第四章	結果與討論.....	36
4.1	智慧溫室系統建置成本.....	36
4.2	智慧溫室農場設計實例.....	38
4.3	智慧溫室系統效益分析.....	53
第五章	結論與建議.....	60
參考文獻	61



圖目錄

圖 1	研究架構圖	4
圖 2	智慧農業系統之機電整合技術	22
圖 3	IOT 技術於環境領域之監測應用	23
圖 4	環境場域之前端感測節點建置(1)	26
圖 5	環境場域之前端感測節點建置(2)	27
圖 6	環境場域之前端感測節點建置(3)	28
圖 7	溫室電動天窗	32
圖 8	微霧降溫系統	32
圖 9	溫室環控系統	33
圖 10	自動噴藥系統	33
圖 11	水養液供應系統	34
圖 12	自走懸吊桿式噴灑系統	34
圖 13	水質過濾系統	35
圖 14	栽培高架設施	35
圖 15	研究地區(智慧溫室農場)位置圖	38
圖 16	智慧溫室農場之外觀設計	41
圖 17	智慧溫室農場之內部設計	41

圖 18	智慧溫室之設備(1).....	42
圖 19	智慧溫室之設備(2).....	43
圖 20	智慧溫室之設備(3).....	44
圖 21	系統介面主頁及控制系統分流頁面	46
圖 22	系統運作頁面選項	47
圖 23	降溫風扇智能運作條件說明	48
圖 24	循環風扇智能運作條件說明	49
圖 25	內遮蔭智能運作條件說明	50
圖 26	滴灌智能運作條件說明	51
圖 27	智慧溫室之相關控制設備	52
圖 28	研究地區溫室之雲量統計資料	53
圖 29	研究地區溫室之平均溫度統計資料	54
圖 30	研究地區溫室之每日降水機率統計資料	54
圖 31	農民與智慧溫室農場之距離	56
圖 32	未建置智能系統種植效果	57
圖 33	已建置智能環控系統種植效果	58
圖 34	小黃瓜一年批發市場行情趨勢圖	59

表目錄

表 1 2021 年台灣之人口金字塔分布.....	20
表 2 研究地區之氣候資料表.....	39



第一章 緒論

1.1 研究緣起

目前地球正面臨著各種環境議題的挑戰，其中以地球暖化或氣候變遷為甚，尤其台灣地區近年來受極端氣候影響甚深，包括常見山區土石災害、洪災、或者超大豪降雨、高溫炎熱乾旱等。由於極端氣候之「極端」表示氣候數值超過以往處理的正常範圍，已達災害等級，其將會造成社會經濟衝擊、以及民眾生命財產的損失，其中以豪雨、高溫、乾旱等對農作物產量之減少最為明顯。此外，台灣長期以來為糧食的淨進口國，精食自給率為偏低，在氣候變遷的影響之下，糧食供應短缺及糧價上升將日趨嚴重且無可避免。

而台灣農村之人口結構問題包括人口老少及少子化等，已逐年浮現於需大量青壯年勞力之農業生產上。根據政府統計資料，青壯年人口(15-64 歲)因戰後嬰兒潮的關係，已在 2015 年達到最高峰，自 2016 年起已開始減少且朝向高齡化移動，而以農業為主的縣市，人口負成長更為明顯。如果從事農業之青壯年人力大幅短缺，不僅衝擊農業的生產力，亦會讓農業的生產成本偏高，不利於與外來產品競爭，因此強化農業之結構調整及科技研發創新有其必要，亦為未來發展之趨勢。

此外，聯合國在 2015 年提出永續發展目標 (Sustainable Development Goals, SDGs)，期望 2030 年可以達成，其目標共有 17 個

項目，兼顧經濟發展、社會進步與環境保護，透過世界各國一起努力可以邁向永續發展之路。其 17 項 SDGs 中，目標 2 為 Zero Hunger，亦即以永續農業為主軸，探討如何消除飢餓，實現糧食安全，改善營養狀況和促進永續農業，顯示農業的糧食生產為人類永續發展之重要指標。

近年來行政院農業發展委員會亦積極推動「智慧農業 4.0」的計畫，其定位為「智慧生產」及「數位服務」，從人、資源及產業三方面進行強化，目標為將農業從生產、行銷到消費市場系統化，在前端之溫室內裝設環境感測器、手機或平板智能裝置、物聯網 (Internet of Things, IoT)，以及連結後端之雲端伺服器蒐集巨量資料並加以分析，建構台灣地區之「智慧農業 4.0」。本研究透過導入智慧科技於溫室內，藉由環境感測器之監測數據，評估智慧科技之溫室與傳統人力管理之溫室的成本與成效比較，探討「智慧農業 4.0」之可行性及實用性。

1.2 研究目的

本研究係嘉義縣竹崎鄉之智慧溫室農場為研究樣區，探討導入智慧科技於溫室內之數據監測、各項成本及效益之比較，以實際案例探討「智慧農業 4.0」之可行性及實用性。本論文之研究目的如下：

- 一、 將智慧科技導入溫室內，藉由環境感測器之監測數據，探討智慧科技之溫室與傳統人力管理之溫室的成效。

二、以研究者實作之智慧科技溫室案例，為探討「智慧農業 4.0」之可行性及實用性。

1.3 研究架構

本研究可分成五章，其內容如圖 1，各章簡述如下：

第一章為緒論，說明研究緣起及研究目的，並簡述論文架構。

第二章為文獻回顧，內容包含傳統農業、設施農業、永續農業及智慧農業之文獻回顧與整理，綜合整理相關文獻及說明智慧農業的應用，進一步探討智慧農業之實例成效。

第三章為研究方法與材料，以嘉義縣竹崎鄉之智慧溫室農場為樣區，並以探討智慧科技系統，包括溫室設計、環境感測器、手機或平板智能裝置、物聯網 (Internet of Things, IoT)，以及如何連結後端之雲端伺服器蒐集巨量資料等，作為後續探討智慧農業成效之用。

第四章為結果與討論，探討應用智慧科技於溫室內，包括裝設環境感測器、手機或平板智能裝置、物聯網，以及連結後端之雲端伺服器蒐集巨量資料並加以分析，據以探討智慧農業成效及農業永續相關之議題。

第五章為結論與建議，主要將第一章至第四章之文獻、方法及結果歸納摘要，並提出研究過程中遭遇困難及解決方式，以作為後續研究智慧農業之參考。

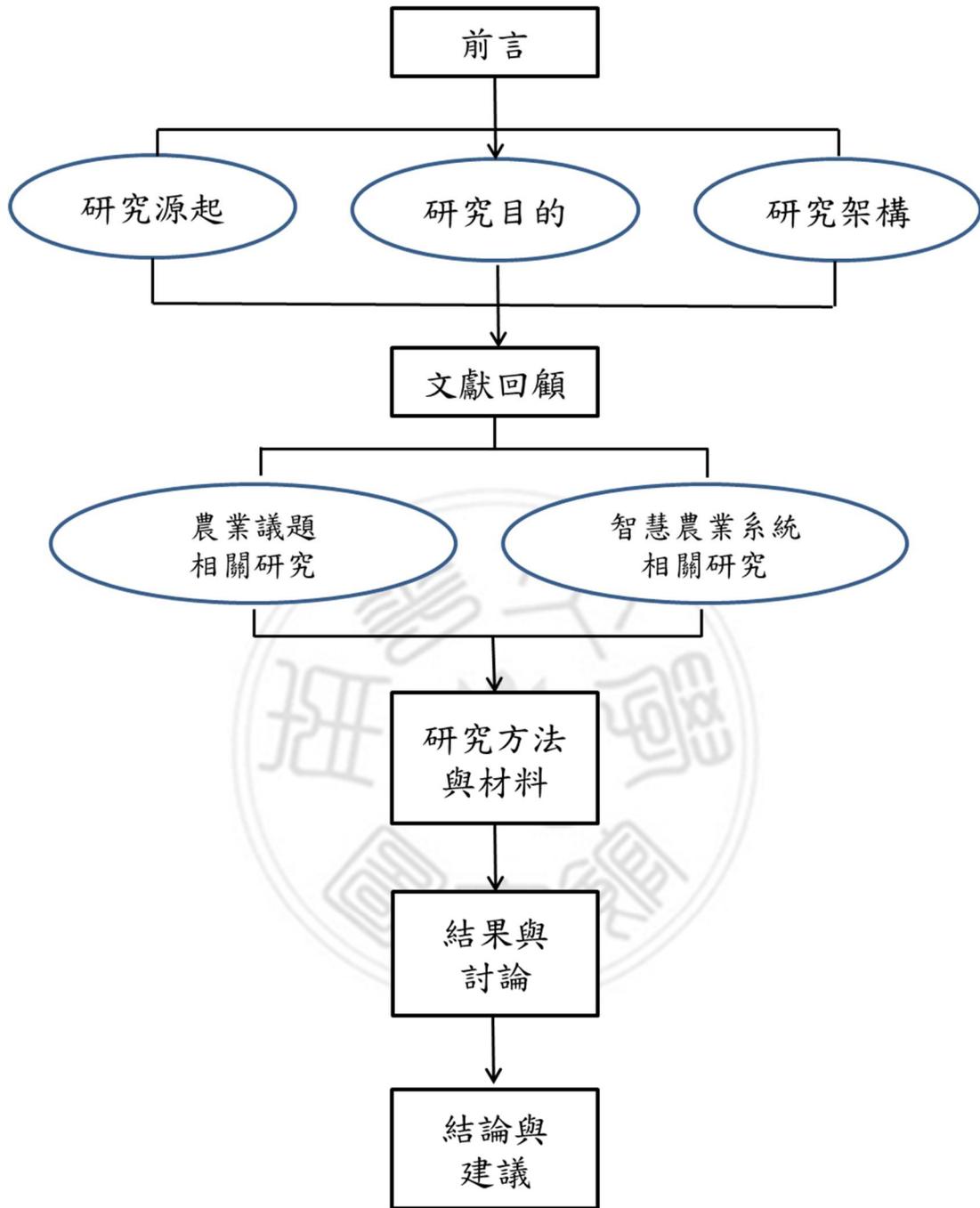


圖 1 研究架構圖

第二章 文獻回顧

本章節優先以「農業議題相關研究」及「智慧農業系統相關研究」之相關文獻為重點蒐集及彙整對象，進行統整歸納。

2.1 農業議題相關研究

莊純琪等(2008)指出本世紀全球面對農業相關問題有人口增加及糧食不足。其透過與農業相關之全球關注議題及因應對策進行分析與探討，包括(1)環境的惡化：溫室效應惡化與全球暖化、環境污染；(2)天然資源的減少：能源短缺、水產養殖與海洋漁獲量、水資源；(3)人口增加與糧食短缺問題。而 IPCC/UN(聯合國之跨政府氣候變化專家小組)則在氣候變遷報告中提出警告，溫度不斷上升造成炎熱、或乾旱、以及超大豪雨等現象，對農業發展影響很大。隨著全球人口不斷的增加，造成糧食供需失衡，威脅人類生存問題。

隨著全球人口不斷增加與不當的土地資源開發及能源使用，造成臭氧層破壞及地球加速暖化，進入 21 世紀後，人口、糧食、能源及水資源等問題將日趨嚴重；所以地球環境保護已成為當今全球關注的重要議題。聯合國等國際組織也極力推動相關國際公約，並積極呼籲全球重視此議題及投入研究工作。因此，維持地球長期生態平衡又能兼顧人類發展需要的「永續發展」策略，已經成為當前世界思潮的主流。如何因應環境

及生態保護對競爭力的影響，是國家必須面對的新挑戰(台灣農業科技發展策略規劃報告書，2003)。

而農業的發展又與環境及民生有著密切的關係，加上人口不斷的增加及石油價格不斷的創新高，穀物（如玉米）用來提煉天然能源（如酒精）已是個明顯的趨勢，因此將產生糧食供應排擠的現象。由此可知，環境所造成不可抗拒的影響將是牽動著未來農業發展的重要關鍵因素，尤其對作物的生產影響甚大，連帶著引發糧食安全問題。如何在此嚴峻的考驗下，找出屬於台灣可發展的利基與因應之道，是當務之急，因此政府應邀集相關單位與專家共同來思考全球環境變遷之台灣農業發展因應對策；在長程上可積極推動農業科技前瞻計畫，應用系統性方法以展望科學、技術、經濟、環境與社會的長期發展，為台灣的農業發展開闢出一條康莊大道(台灣農業生技產業發展策略規劃報告書，2006)。

王蕙婷(2019)指出隨著人口成長預期，糧食需求將繼續大幅成長，同時又因地球溫室效應、氣候異常等因素，使得糧食生產充滿不確定性，各國糧食安全存量問題已經在全球備受關注。對於位在亞熱帶氣候的臺灣，長久以來都因為夏季高溫、潮濕、多颱風以及冬季寒流來襲等氣候特性，有著嚴重的病蟲害、災損、寒害等問題，如今更面臨全球氣候變遷、極端氣候加劇的憂患。藉由發展適合臺灣之「智慧環控溫室系統」的創新科技，可降低氣候風險，解決臺灣的農業困境，並找到新的

農業契機。其以「成本效益分析法」比較「金字塔型溫室」與「傳統農業設施」，即包含「金字塔型智慧環控全密閉溫室」、「WTG Venlo 型智慧環控全密閉溫室」、「VTP 力霸山型塑膠布半密閉溫室」、「LT 水平網室」、與「露天滴灌種植」等五組項目投資方案之成本效益淨現值，進一步以農委會在 2017 年所提出的「五年設施型農業推動方案」為主軸，探討如何在農業設施之設計上來解決現有農業關鍵問題：包含氣候暖化與病蟲害叢生、農業災損頻繁、一般溫室結構不良、環境污染惡性循環、耕地不足食安危機、青農永續傳承問題等，並提出「效益極大化」之最適策略建議。總括來說，「金字塔型智慧環控全密閉溫室」不僅是在本文中所有情境模擬下之可行性分析均為可以投資之農業設施型態，更是在所有農業設施型態比較項目中 B/C 益本比均為最高，可以優先投資以取得效益極大化之農業設施型態。

黃小綺(2014)從傳統農業轉型有機農牧業經營策略歷程之個案研究，指出在了解台灣近年來傳統農業的產業背景後，以本研究傳統農戶轉行有機農業將面臨生產報酬率下降的問題，試圖以第一農戶個案，經歷傳統農業轉型傳統牧業，再轉型為有機農牧業的歷程，整理出提高產業附加價值之可行性作法。

葉郁盈(2019)以六級產業化觀點探討台灣農業困境，其指出台灣自古以來便以農業作為經濟基礎，然而受到世界貿易組織的衝擊後，國內一級

農產業便開始面臨許多挑戰，例如從事農業人口高齡化、進口農產品替代、飲食西化及精緻化等問題，因此如何提升農產業經濟發展以及提升一級產業的附加價值，便成為我國制定相關應對政策的一大課題。然而，受到世界貿易組織影響不僅有台灣，日本以及韓國農業也面臨龐大的壓力，於此，日本今村奈良臣教授提出「六級產業化」觀點，透過一級產業、二級產業及三級產業結合的綜合發展，利用當地資源創造新的附加價值，其有系統性的規劃、法令以及資金援助下，成為振興日本農業及活絡農村地區的重要政策之一。而台灣為轉圜農業困境，農政單位提出將農業與觀光結合的方式，衍生出休閒農業藉此吸引消費者前來遊憩消費，而休閒農場為其中轉型策略之一，然而因多數農業轉型休閒農場時，多面臨到缺乏規劃長遠性、相關管理措施配套不足，在農民晉升為經營業者時，因不擅多角化經營，而使得多數休閒農場旅遊內容單一、缺乏文化內涵等問題，且目前台灣農業亦存在農業困境之問題。藉由六級產業化觀點與模式，來探討台灣農業困境轉型休閒農場之歷程，並透過日本及韓國相關六級產業化案例進行分析，應用於台灣休閒農場與農業困境，透過專家訪談及文獻分析法，訪談相關接觸六級產業化專家，探悉台灣農業困境轉型休閒農場問題。研究結果發現，1.目前台灣實行六級產業化現況多為一、二、三級產業各自發展居多，仍需要媒合的平台進行推動；2.農業困境轉型休閒農場後則主要帶動三級產業，台灣農業困境仍缺法有效的改善；3.除休閒農業外，

台灣亦存在多種形式的農業轉型六級產業化模式，例如農業組織、合作社、傳統農業轉型等，藉由其發展模式分析發現，發展六級產業化勢必透過組織的方式才可達到有效的推動。

吳宜玲(2019) 研究農業創新服務模式之商業模式，指出由於近年氣候暖化、農業人口老化、缺乏農作勞動力、資金不足、生產規模小等問題，使農業工作者更加期盼透過智慧化農業生產，優化農產品、提高生產效率，並提供產品溯源機制，建構智慧農業。智慧農業的發展將會改變傳統農業商業模式，在導入智慧農業技術後，此篇研究將針對農業創新服務模式與傳統農業商業模式作比較與分析，並提供後續智慧農業發展建議。蜂巢數據科技於 2015 年成立，早期經營資料科學社群，舉辦大數據分析與資料科學研討活動，聚集跨領域人才及創新應用探討。後續以接專案的方式，透過與農委會的合作，開啟農業科技大數據應用的創新模式，目前主要產品為提供智慧農業服務。將利用 Canvas 商業模式分析個案公司如何翻轉傳統農業，為台灣農業帶來發展新契機。

謝銀連(2019)係探討高科技農業鮮綠公司經營策略。相對於許多傳統農業，鮮綠公司高品質種子、農業契作與高科技種植的優勢。而此時台灣農業面臨轉型，政府鼓勵農業精緻化與高科技化，其施行成效攸關未來台灣傳統農業是否能穩健轉型與發展。探討科技農業永續經營之道，其以雲林縣的鮮綠公司為例來分析高科技農業經營策略，並探討鮮綠公

司之 S W O T 採用訪談法之質性研究，分別以雲林縣的鮮綠公司董事長為深度訪談對象。訪談內容主要針對台灣高科技農業經營策略、面臨問題與未來改進方向，以利提供產業政策修訂之建議。研究結果顯示：鮮綠公司在實施初期確實有遇到相當之挑戰。但由於鮮綠公司目標市場為都會區消費者，並經由垂直整合種植產業鏈，發展契作與品牌，友善種植無農藥化與農業科技暨精緻化，最後能發展出自己競爭優勢。最後並提出台灣農業政策未來改進方向，以供政府政策修訂之建議。

張耀城(2019)以泰國為例，探討農業之魚菜共生經營模式。研究指出魚菜共生是一種新興技術，為美國所發明，但卻盛行於在水資源嚴重不足、土壤貧瘠、環保意念高的澳洲。即使他初期耗費成本較高，但相較於傳統農業有以下優點：節省土地，單位出產量高、省水、品質安全、收益高。隨著人口成長越來越快速，糧食產量也是一大隱憂，倘若能好好善用該項技術，相信對糧食需求都能有偌大的幫助。其研究採深度訪談法，利用商業模式九大要素分別列出魚菜共生相關問題，並採訪產業相關人士，最後再提出個案研究與分析，並與自己的案例去做探討比對，提出魚菜共生經營模式之雛形。透過研究可得出魚菜共生為永續的系統，因應未來可能引發的糧食危機，魚菜共生技術為可應對之道。除此之外，應建立自動化設備、減少人力成本，可增加收益。也可以多角化經營，開發市場可能的潛在商機。並且結合當地自然條件，發展差異化商機，

這些都是經營魚菜共生系統必須考量的。

張雪碧(2002)從有機農業教育之角度探討，國內由政府組織與非營利組織所辦理的有機農業教育訓練執行情況，瞭解與比較兩者辦理的成效，方法上以 2001 年由各組織針對已從事或有意投入有機農業栽培者，所舉辦的教育訓練班為資料蒐集對象，涉及的主要觀察對象為計劃執行者、授課講師與參訓學員。應用 CIPP 評估模式，本文分別由環境、投入、過程與成果評估來衡量教育訓練辦理的成效，並透過文件分析、問卷調查與深入訪談，進行資料的蒐集。研究發現指出計劃執行者之機構網絡類型、計劃辦理資歷、專業知識、經費、人力、活動宣傳、計劃評估、成果報告等方面，均呈現差異的情形，政府組織於可用資源較非營利組織豐沛，但非營利組織運用的方式較為彈性、多元。講師方面，僅有少數因素呈現差異情形，而學員的背景資料、參訓經費、學習動機與學習成效亦因組織類型不同而有區別。日後欲辦理教育訓練，應重視學員的背景差異與強化學習動機，此外，辦理教育訓練時，計劃執行人員亦需特別著重投入評估部份的設計與相關資源的運用。

2.2 智慧農業系統相關研究

所謂的智慧農業，可從行政院農業委員會推動之「智慧農業 4.0」計畫看出端倪。其被定位為「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，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(台灣農業科技發展策略規劃報告書，2003)。

歐陽逸(2021)將嵌入式系統應用於無人自走式菜苗種植車，由於農業是一個勞力密集的傳統產業，隨著時代變遷越來越多人不願從事農業，導致農業人力大量匱乏。因此，世界各地皆開始推廣農業自動化解決人

力嚴重不足的問題。傳統農業在移植栽種菜苗時，農民需彎下腰將一顆一顆菜苗挖洞種植，這種方式不僅相當費力且效率極差。本論文透過自行開發的機械手臂結合傳統種植器及馬達做成自動式的種植機，達成機器自動種植菜苗降低人力成本。其研究之核心控制器採用 NI myRIO 嵌入式系統作為主控制器。系統架構分為手臂端和動力端。機械手臂將菜苗放入種植器後，電動缸將種植器插入土中。種植器將菜苗放入土洞後，電動缸往上抽離土面回到原始高度。上述動作結束後，動力端帶動車子前進種植下一顆菜苗。研究中改善兩個問題，農業人力大量匱乏及農民勞動傷害。研發的無人自走式菜苗種植車能減少人力需求降低人事成本。同時，改善長期彎腰造成的腰部疼痛問題，提升大多數人務農之意願。

黃立偉(2021)淺析智慧農業發展之趨勢，透過研究探討智慧農業之可行性。其認為農業是一個國家的基礎產業，是國家發展的根本產業，是國民經濟的立足點。“農業強不強，農村美不美，農民富不富，決定著全面小康社會的成色和社會主義現代化的質量。與一些發達國家地廣人稀的狀況不同，農業的發展是根本，決定著國家的總體發展狀況。台灣在傳統農業生產過程中，造成了土地污染、農產品安全得不到保障等問題，如何解決這些問題成了一大挑戰。農業作為第一產業有其不可替代的實際意義，透過借鑑他國農業歷史經驗，從而整理出大方向對策研究參考。

黃勝發(2021)設計智慧農業之環境監控系統，係將種植環境設置在室內，藉由資訊技術來種植，透過感測器(DHT11, DHT22, Moisture Sensor, Relay, Photoresistor, Bluetooth)與手機的應用程式一起使用，接收感測數據與下達指令與傳統農業比較，監控與調整的技術有極大的差別。透過應用程式來監控與紀錄環境數據，再與設備相結合，即可建立一套監控環境的系統，並利用網路的遠端操作設備，可以調整出適合作物的生長環境，還能透過記錄先前的數據來輔助作物的生長。以盆栽代替作物為主體，分成兩組實驗系統同時進行並記錄，第一組系統為透過比較兩個不同照顧方法進行比較，第一個照顧方法為人為照料作物的生長，用傳統方法來照料與記錄數據，第二個照顧方法以無線監控及感測器來照料作物，用感測器與手機等設備達到無線照料。最後，將使用最適合的外在條件種植作物，最佳參數為莧菜溫度 24~28°C、土壤濕度 51~60%、光線強度 900~945Ω。第二組實驗為透過田口法，將外在因子(溫度、土壤濕度、光線強度及澆水量)分為三個水準，更進一步的控制作物的生長條件，最後將數據統整後透過變異數分析及信心水準判斷表，所得的小白菜最佳化狀態為溫度 24~27°C、土壤濕度 54~57%、光線強度 916~930Ω、澆水量 20ml。

陳昱辰(2020)開發萵苣立體水培架之在線離子監測和自動補液系統，由於隨著全球氣候的極端變化，傳統農業面臨更嚴厲的環境挑戰，農產

品產量與品質的管控越來越困難，風險也日漸提升，植物工廠與設施園藝，因此隨之興起，植物工廠之優勢，在於可控制光、養分等因子，產期調控性也更高，配合市場需求可隨時改變種植品種和生產數量，自動化、智慧化的生產模式，將是未來農業展的重點項目。本論文藉由將在線監測與自動補液系統觀念導入植物工廠中，養液調節與生長數據有更精確的參數計算及管控，提高計畫性生產和循環經濟操作模式的成功率，研究中以奶油萵苣為主要研究對象，以 LabVIEW 圖控系統及 Arduino Uno 開發板接收水耕系統水溫、EC、pH、溶氧量(DO)感測器及氧化還原電位(ORP)感測器訊號，並於養液調槽中加入鉀離子、鈣離子、硝酸根離子選擇電極感測器及臭氧滅菌裝置，建立循環式水培在線監控與自動補液系統。觀察每期養液中鉀、鈣與硝酸根離子消耗量約為 40ppm、46ppm 與 660ppm，自動補液系統中鉀、鈣與硝酸根離子補液量，設定為 126ppm、143ppm 與 444ppm，鉀、鈣與硝酸根離子補液時間則設定為 72、68 與 140 秒，結果發現對於四次實驗植株生長期都在正常值範圍內，但第四次實驗發現有葉燒情形，在養液濃度數據量測與自動補液時均呈現起伏震盪現象，pH 值在調整後維持在 5 至 6.5 之間，均在正常範圍內。觀察對照組與實驗組的生長數據，在加入系統後的整體植株生長數據平均大於對照組，證明該系統能有效依植物生長階段調控所需營養成份，相較於傳統僅監測 pH 與 EC 值變化之人工補液模式，可避免生長期後期才

發現所需營養元素不足的問題，通過臭氧抑制生菌、在線監控與自動補液系統可使養液調控，變成可輪作多期才需全面更新養液，且臭氧可增加水中溶氧量，使萵苣生長更加快速，並可提高植物工廠產量。

黃英豪(2020)結合行動裝置應用程式設計於智慧農場之物聯網系統，其認為隨著物聯網技術的蓬勃發展，物聯網應用也愈來愈多、應用的領域也愈來愈廣。如今舉凡小至門鎖防盜系統，大至工廠裡供應鏈上的大數據分析與應用，皆是物聯網對我們周遭生活上帶來的改變，涵蓋範圍十分廣泛。在農業領域的應用上，物聯網最普遍的應用是在農場的溫室中佈置許多的感測器來蒐集資料並且透過物聯網的技術將這些資料上傳至雲端的資料庫上，而資料庫的資料即可進一步用於分析或者是相關應用，從而解決傳統農業的問題。透過實作的行動裝置應用程式，使用者可以確認感測器是否有上線到雲端的資料庫上，而且使用者可以新增多個溫室，把上線的感測器分配到各個溫室中，也可以自由得對感測器進行拖曳，從而控制各個感測器在溫室內的相對位置，而各個感測器可以設定警報上限以及下限，如果觸發警報，使用者能夠使用 MQTT 的方式對設備傳遞控制訊息，對已發生的問題做及時的處理，降低農場的損失。

蘇裕棠(2017)探討智慧型科技農場之規劃與建置，其認為將先進科技運用於農業上，為現代化農業的未來方向。因此其研究科技農場要如

何建置，從建材選擇、線路規劃、硬體規劃、軟體整合、開發一套農場環境控制器，最後建置出一座現代化科技農場，且進行植物量產，在開發控制器中，使用多種感測器來偵測目前環境，再依據回傳的環境數值，透過模糊控制理論來控制農場環境，未來可以連接手機與平板，連線到環境控制器，來監控農場的各項數值與控制。建置小型模型來模擬各種情況，比較有/無模糊控制之差異，溫度系統這部分，從實驗結果發現與無模糊控制在耗電量相差 15%，在 CO₂ 系統部分，與無模糊控制來的精準，可以維持環境中最佳的 CO₂ 濃度，最後在水溫系統，透過致冷晶片控制水溫，可減少硬體設置，耗電量與無模糊控制相差 18%，顯示各系統的節能與環境穩定之優點。

林煜勳(2021)探討整合物聯網技術於小型農業溫室之應用，其認為解決農業生產的關鍵就是在於技術創新，而物聯網技術 (Internet of Things, IoT) 在農業應用的解決方案將能夠改善許多國家農業面臨的問題。為了能改善農業中作物生長所需的氣候及空氣溫濕度條件，其使用聯發科技公司所出產的 LinkIt 7697 嵌入式物聯網開發板做為核心，搭配空氣溫溼度感測器、土壤濕度感測器及光線感測器模組，量測與記錄小型農業溫室中的環境，並監控灑水系統、循環風扇、照明設備與熱泵裝置等環境驅動裝置。透過 LinkIt 7697 內建無線網路 (WiFi) 模組上傳監控數據與設備狀態至雲端伺服器，結合物聯網雲端儲存空間，將各種

感測模組量測的數值與環境控制裝置的起閉狀態上傳至雲端儲存空間記錄，使得使用者可在遠端透過智慧型手機或是電腦隨時監控農場整體環境狀態，也可以在遠端啟動各項環境控制裝置。相較以往傳統農業作業模式，務農者舉凡大小事務都須至現場親力親為，若是應用農業物聯網改善生產模式，即可簡省大量人力、物力與時間成本，即時觀測與控制溫室的環境狀態，能精確掌控農作物的生長環境，進而提高作物品質。



第三章 智慧農業系統架構

3.1 系統需求分析

全球人口數量逐年增加，糧食需求將面臨倍增的壓力。臺灣為糧食進口國，以熱量為基礎的糧食自給率相對偏低，同時在氣候變遷趨勢所致極端氣候日趨嚴重的困境下，糧食供應短缺及糧價上升無可避免，再加上近年來農村人口老化及少子化的影響，從事農業人力大幅短缺，農業生產力受到相當衝擊；且受限於我國自然環境限制，農業生產成本偏高，較難與國際競爭，若擬提升農業生產力，就必須強化產業結構調整及科技研發創新。

台灣在 2021 年之人口金字塔分布如表 1，少年人口數量為 3,009,880 人，佔總人口數之 12.62%，勞動年齡人口數量為 16,887,741 人，佔總人口數之 70.79%，老年人口數量為 3,957,387 人，佔總人口數之 16.59%。若僅以老年人口從事農業工作，長期而言，一定會造成糧食供應短缺。勞動年齡人口會在 2038 年少於總人口數的 60%。老年人口數會在 2033 年超過少年人口數的兩倍。總人口數在 2029 年達到最高點 24,012,114。在 2065 年，老年人口佔台灣人口的 38.28%，人口老化問題嚴重。

表 1 2021 年台灣之人口金字塔分布

年齡層	人口數	百分比
少年人口	3,009,880	12.62%
勞動年齡人口	16,887,741	70.79%
老年人口	3,957,387	16.59%
總人口	23,855,008	100%

智慧農業的運用，農民可即時掌控內外環境的變化，減少不確定風險，進而有效監控管理自己的農地。農民的收入穩定、作業負擔減輕，更能降低人力需求，可解決因農村人口老化及少子化的缺工問題。縱觀世界各國無不為勞動力不足努力尋求解決之道，尤其農業是治國根本，更為各國所重視，應該好好經營維護。我們須探究年輕人為何無意願投入農業，究竟是因為工作辛苦，還是薪資報酬不如預期？解決農業日漸萎縮的對策，即是吸引年輕人返鄉，使台灣農業後繼有人。若要解決青年學子從農意願低迷的現況，破除對農業的刻板印象的任務極具重要性。因此引進智慧科技於農業，加上政府能大力輔助，讓年輕的農民勇於創新引用，進而吸引更多青少年願意留在農業領域。

對於農民來說，若僅懂得如何種植是不夠的，農業生產技術固然重要，但管理技能(行銷、研發、財務、人資)及資訊科技的運用不能被忽視。務

農的人除種植技術外，更需有各領域的整合能力，才能將農場經營的有條有理，但並非全部農民都能如此得心應手，每日光是基礎農忙之瑣事就十分繁瑣及惱人。以一個溫室種植的農民為例，溫室並非只有種植的工作，周邊的設備(養液、滴灌、遮陰、排風機)等等設備，皆與內外環境(溫度、濕度、光照)緊緊相扣，農民需無時無刻去注意天氣變化，耗時耗力，但若將複雜的工作留給系統進行整合，農民可將全部心力專注於農業生產上，提升農產品之數量及品質。

3.2 系統程式開發

由於農業田間場域環境的差異以及監測對象與需求的多樣性，因此利用機電整合技術將物聯網 (IoT) 技術與資通訊／無線感測器網路 (ICT/WSN) 技術之結合，以模組化設計為核心技術發展模式，可進一步開發適用於田間遠距無線監測系統的「多樣性環境感測物聯網平臺」，如圖 2。



圖 2 智慧農業系統之機電整合技術

此平臺由「感知層」、「資料匯集層」、「網路層」與「資料分析層」等不同面向之技術所整合而成，適用於各類監測應用，如圖 3。而平臺各層之說明如下：

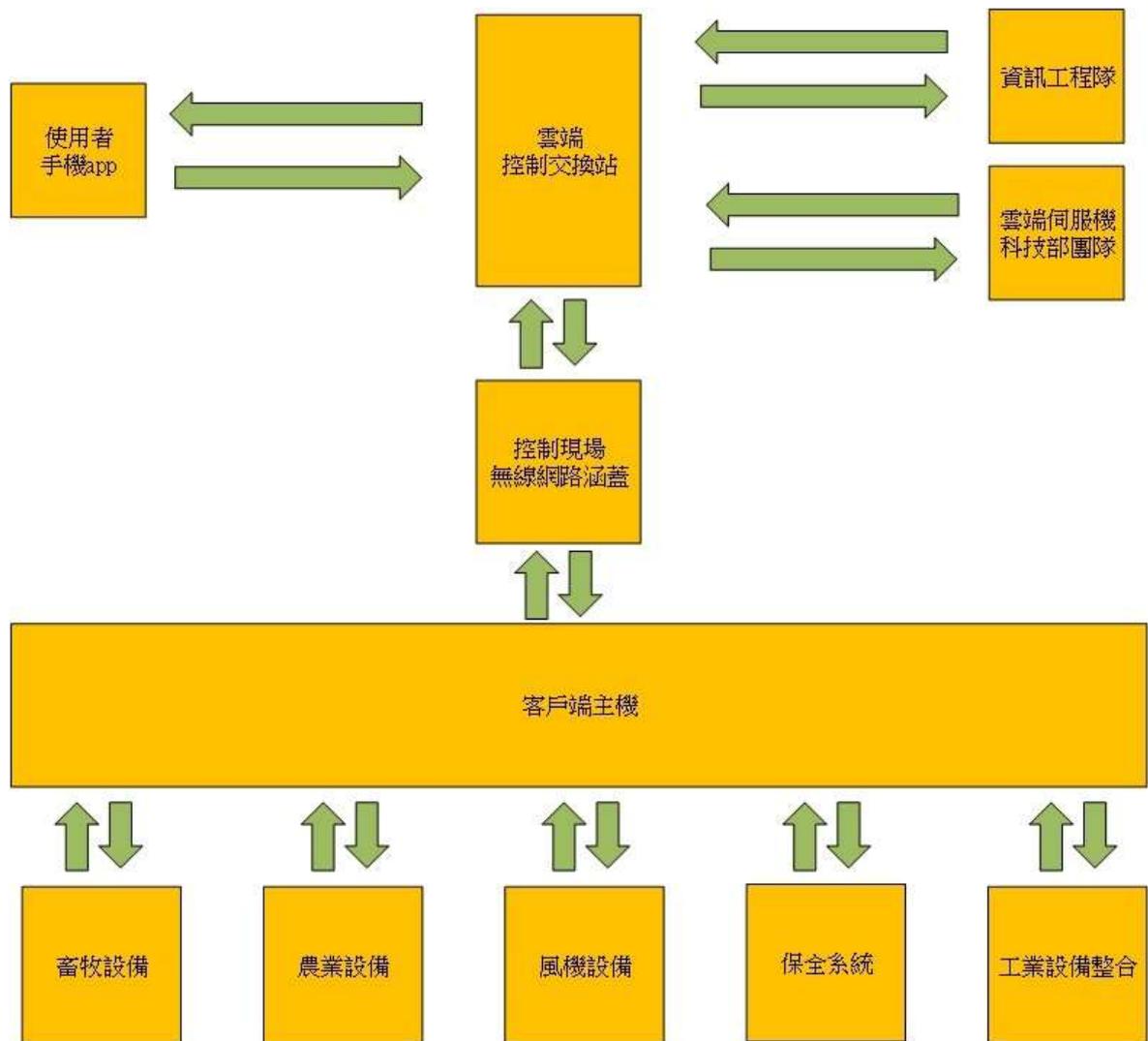


圖 3 Iot 技術於環境領域之監測應用

一、感知層

多樣性環境感測物聯網平臺前端的感知層係由各類傳感器所組成，可依照監測項目之需求而組合不同的感測器模組並搭載無線通訊晶片，可大量地感測田間原始資料。感知層負責感測數據，大致可分為物理參數、化學參數、或生物參數三大感測類型。感測器可將外界

之類比訊號轉換為可感知之電氣量或電參量(如：電壓、電流、阻抗、頻率)，經訊號處理後傳送至邏輯電路或中央處理單元進行處理。舉例來說，實體物件可進行識別與定位，或利用感測器量測物理、化學或生理參數。利用物聯網技術建立的智慧農業應用，物理量的溫度或照度，則是相當重要的參數。

二、資料匯集層

資料匯集層則負責如何安排各感測器有秩序且快速地回傳資料，具有避免封包碰撞、有效分配路由與延長網路壽命等傳輸機制。可適應於各種場域環境限制之不同類型的資料匯集技術與硬體系統，其中資料匯集層可分為工業用電腦、單晶片系統、以及嵌入式系統。

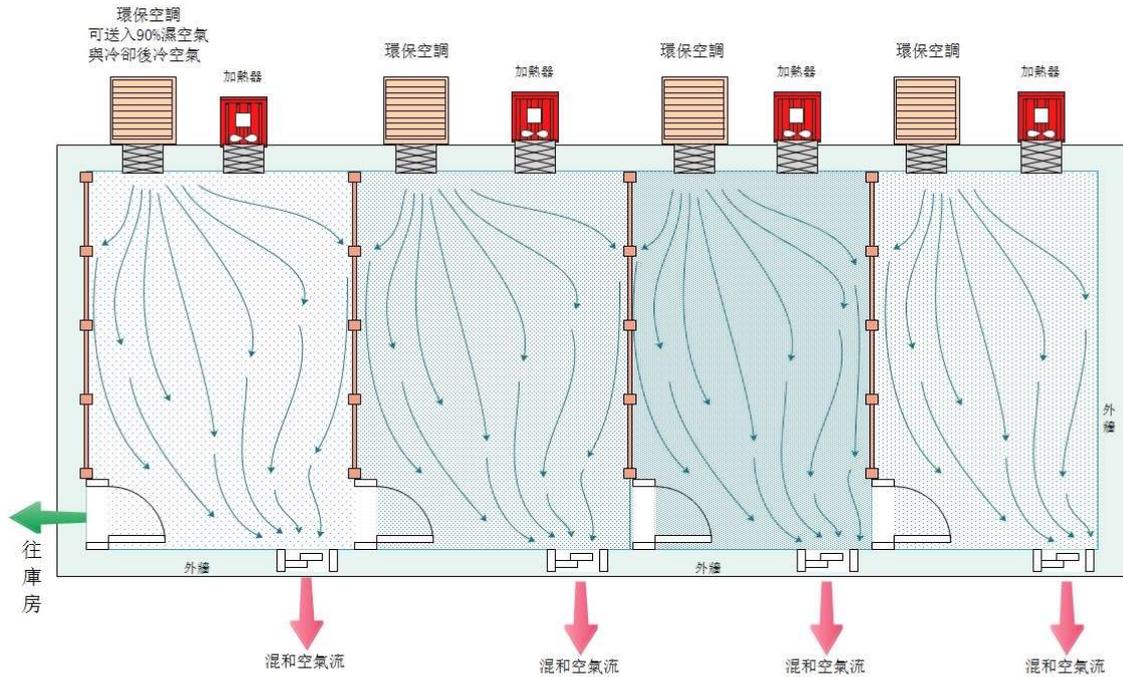
資料匯集閘道器主要由工業用電腦、基站節點、GSM 模組以及其他週邊設備組成。工業用電腦所使用硬體設備比一般市售桌上型電腦更為耐候，較適合長期放置於野外。基站節點負責傳送與接收，可透過傳輸模組來管理、收集感測器節點的資料負責。GSM 模組則是將所收集的資料透過手機模組經由 GSM 系統傳送到遠端主控平臺。此外，監測系統亦可採用來作為閘道器之核心處理器。透過第一層的無線傳輸，在收集到感測節點之後，再透過 3G/4G 或是 Wi-Fi 進行第二層傳輸，將匯集之境參數上傳至雲端資料庫，進行後續分析與處理。

三、網路層

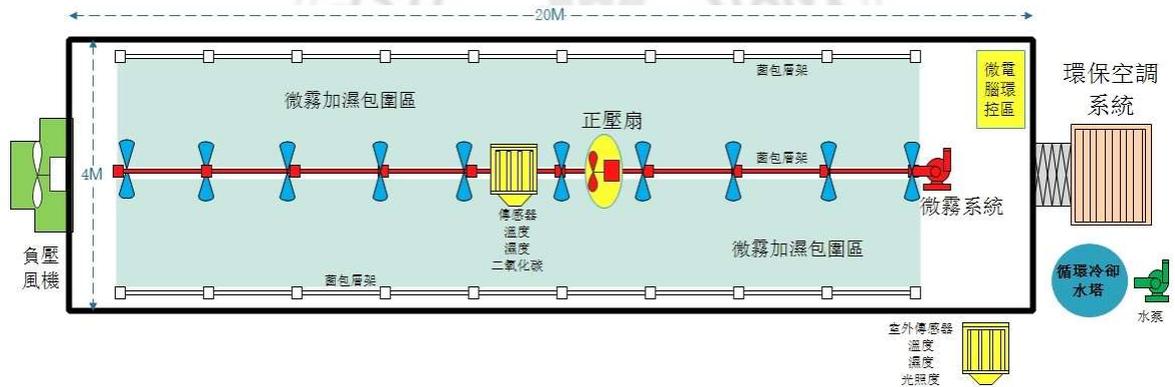
此多樣性環境感測物聯網平臺的網路層擔任將前端感測區域之感測資料回傳至資料分析層之間的媒介，舉例來說，由感知層將所量測到的數據可利用藍芽或 Wi-Fi 通訊協定進行數據傳輸，抑或將應用層指令傳輸至感知層。實體物件可利用各種無線通訊協定進行資訊交換，其中 Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, 與 LoRa 是 IoT 系統中常用的無線通信協定。此平臺可依不同傳輸距離開發並整合市面上常見之通訊協定（GSM、4G、Wi-Fi 與藍牙等）。

3.3 系統功能說明

透過於環境場域建置數個前端感測節點，前端感測節點負責收集作物環境參數，例如：環境溫度、環境濕度、日照度、土壤溫度、土壤濕度、土壤電導度、土壤酸鹼度，可有效收集環境場域之環境參數變化情況。而這些監測數據將透過通訊模組由前端感測節點傳至資料匯集層，再傳至雲端管理平臺，進行長期監測數據儲存，以利後續數據分析之用(圖 4~圖 6)。



圖名	製圖	日期
魚池鄉繁殖區上視圖(庫板區)通風與加熱系統	思達節能科技	2020/03/25



圖名	製圖	日期
台東埤仔鄉繁殖場環境控制顯示圖	思達節能科技	2020/06/13

圖 4 環境場域之前端感測節點建置(1)

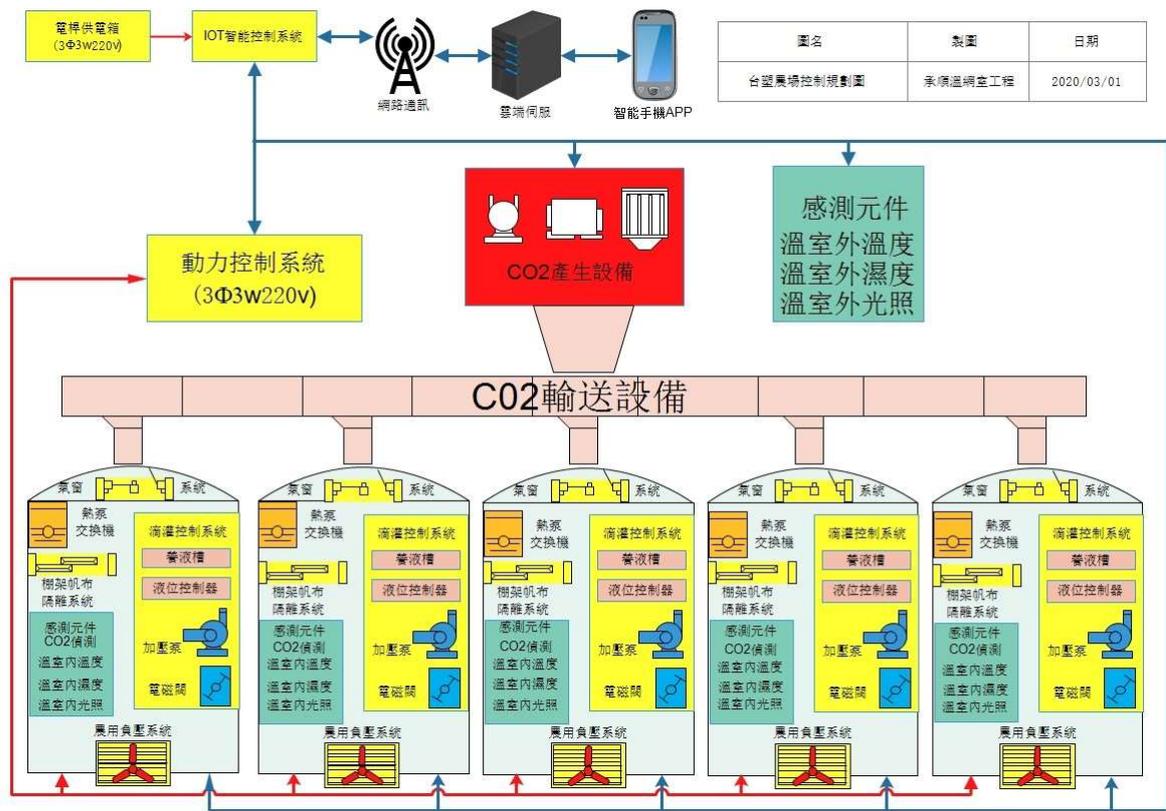


圖 5 環境場域之前端感測節點建置(2)

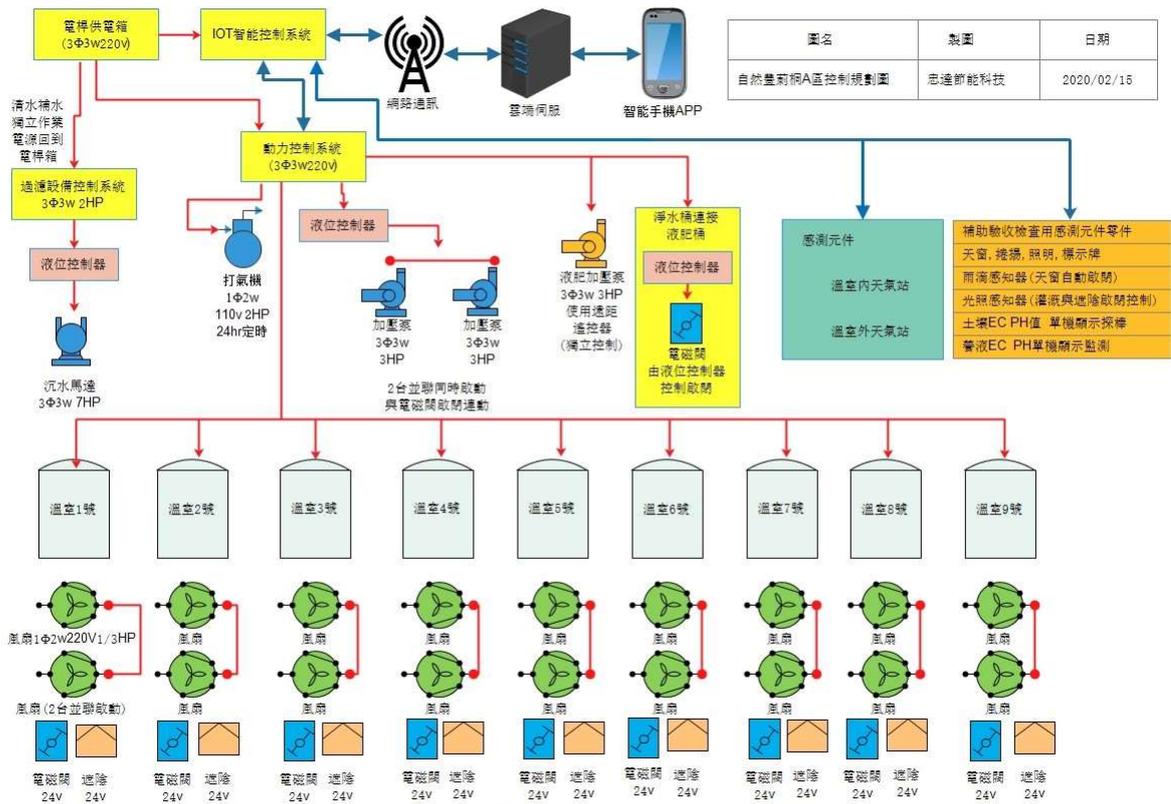


圖 6 環境場域之前端感測節點建置(3)

3.4 智慧溫室環境設施及生產設備

智慧溫室設施是農委會近年來大力推動「智慧農業 4.0」的重點項目之一。其除對一般的溫室設施補助之外，也提供溫室內所需之相關科技系統補助。而開發系統關鍵為因應農糧署溫室設施環境控制設備多元化的補助方案，企業須提升市場競爭優勢，因而產生開發智慧農場系統思維，協助農友獲得較高效益與獲利。本研究探討之智慧溫室設施係以農委會有補助之系統為主，包括溫室電動天窗、微霧降溫系統、溫室環控系統、自動噴藥系統、水養液供應系統、自走懸吊桿式噴灑系統、水質過濾系統

系統、栽培高架設施等，其外觀及說明如圖 7~圖 14。其說明如下：

1. 溫室電動天窗

(1)規格：鷗翼式、捲揚式天窗。

(2)功能說明：設置於溫室頂部，利用自然通風原理，加速釋出溫室內熱空氣，減少溫室內熱氣的累積，有利於靜風時熱氣排出。

2. 微霧降溫系統

(1)規格：包括 A.塑膠管路、金屬管路，以及 B.配套設備含主機、管路、噴嘴、電動(磁)閥與控制系統等。

(2)功能說明：噴霧降溫技術是利用高壓幫浦，將水滴以細霧方式送至空氣中，水滴在蒸發過程中吸收空氣的熱量，降低空氣溫度。

3. 溫室環控系統

(1)規格：A.含監控控制系統介面及軟體、溫室內部環境監控及外部環境監測。B.包括顯示器介面、3 種以上(含)環境控制 (如側邊捲揚、內循環風扇、微霧、遮蔭…等)、監控紀錄及溫室內部與外部環境感測器等。

(2)功能說明：透過環控系統，建構農業設施生產物聯網，促進智慧農業設施內、外部環境監測與自動調控溫室環境。

4. 自動噴藥系統

(1)規格：含安裝於溫網室噴藥管路，依控制方式區分手動控制及電腦控制。

(2)功能說明：透過控制系統啟動裝設於溫網室內管路噴藥設備，有助於克服噴藥人力缺乏問題，且藥液噴灑較均勻，病蟲害防治效果較傳統人工高壓噴藥方式佳。

5. 水養液供應系統

(1)規格：含控制系統介面及軟體，水養液管理（pH 和 EC 監控），具依日輻射、土壤水分等監測值控制灌溉功能。

(2)功能說明：水養液供應系統是將水和養分混合供給作物，結合施肥和灌溉的施用方式，有助於定時、定量、分區及依監測值自動灌溉。

6. 自走懸吊桿式噴灑系統

(1)規格：含懸吊軌道、行走架、噴桿、噴頭、管路、馬達與傳動機構、高壓幫浦及控制系統等。

(2)功能說明：將費時費事且無法定量之灌溉工作，使用自走懸吊桿式噴灑系統可提高給水量的穩定度及均勻度，其控制系統可設定噴灑速度及定時噴灑。

7. 水質過濾系統系統

(1)規格：含砂濾及軟水設備，軟水造水能力需可達日產 50 噸以上，軟水儲槽需 10 噸以上。

(2)功能說明：砂濾原理主要利用石英砂去除水中懸浮物，達到過濾目的。軟水原理是利用陽離子交換樹脂，將鈣和鎂從水中交換出來，達到水質軟化，有助避免灌溉管路堵塞。

8. 栽培高架設施

(1)規格：具固定基座、支架等設施結構，區分固定式及移動式（接合基座之床面可移動者）。

(2)功能說明：使用床架或層架離地栽培作物，可方便農務操作、結合介質栽培及水養液自動供應，有助於避免土傳病害發生，常應用於種苗、瓜果類蔬菜及花卉栽培。

溫室電動天窗



規格：

包括鷗翼式、捲揚式天窗

功能說明：

設置於溫室頂部，利用自然通風原理，加速釋出溫室內熱空氣，減少溫室內熱氣的累積，有利於靜風時熱氣排出。

最高補助額度：

依每座天窗大小核算補助經費，

550元/平方公尺。

(每 0.1 公頃最高補助 13.2 萬元)

圖 7 溫室電動天窗

微霧降溫系統



塑膠管路



金屬管路

規格：

- 1.包括塑膠管路、金屬管路。
- 2.配套設備含主機、管路、噴嘴、電動(磁)閥與控制系統等。

功能說明：

噴霧降溫技術是利用高壓幫浦，將水滴以細霧方式送至空氣中，水滴在蒸發過程中吸收空氣的熱量，降低空氣溫度。

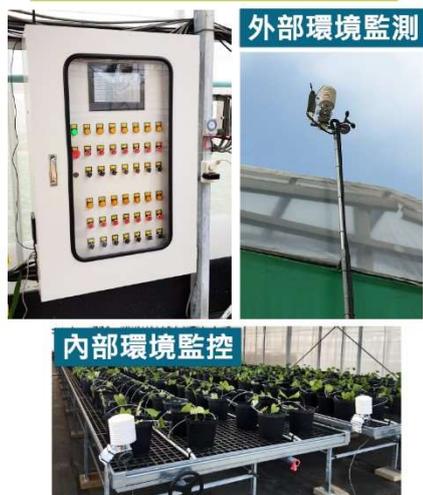
最高補助額度：

塑膠管路 3.75 萬元/0.1 公頃

金屬管路 12 萬元/0.1 公頃

圖 8 微霧降溫系統

溫室環控系統



規格：

- 1.含監控控制系統介面及軟體、溫室內部環境監控及外部環境監測。
- 2.包括顯示器介面、3種以上(含)環境控制(如側邊捲揚、內循環風扇、微霧、遮蔭...等)、監控紀錄及溫室內部與外部環境感測器等。

功能說明：

透過環控系統，建構農業設施生產物聯網，促進智慧農業設施內、外部環境監測與自動調控溫室環境。

最高補助額度：

15萬元/組

圖 9 溫室環控系統

自動噴藥系統



電腦
控制
系統



規格：

含安裝於溫網室噴藥管路，依控制方式區分手動控制及電腦控制。

功能說明：

透過控制系統啟動裝設於溫網室內管路噴藥設備，有助於克服噴藥人力缺乏問題，且藥液噴灑較均勻，病蟲害防治效果較傳統人工高壓噴藥方式佳。

最高補助額度：

手動控制系統 3.75萬元/0.1公頃
電腦控制系統 6萬元/0.1公頃

圖 10 自動噴藥系統

水養液供應系統



規格：

含控制系統介面及軟體，水養液管理（pH和EC監控），具依日輻射、土壤水分等監測值控制灌溉功能。

功能說明：

水養液供應系統是將水和養分混合供給作物，結合施肥和灌溉的施用方式，有助於定時、定量、分區及依監測值自動灌溉。

最高補助額度：

10.5萬元/組

圖 11 水養液供應系統

自走懸吊桿式噴灑系統



規格：

含懸吊軌道、行走架、噴桿、噴頭、管路、馬達與傳動機構、高壓幫浦及控制系統等。

功能說明：

將費時費事且無法定量之灌溉工作，使用自走懸吊桿式噴灑系統可提高給水量的穩定度及均勻度，其控制系統可設定噴灑速度及定時噴灑。

最高補助額度：

5萬元/組

圖 12 自走懸吊桿式噴灑系統

水質過濾系統



規格：

含砂濾及軟水設備，軟水造水能力需可達日產50噸以上，軟水儲槽需10噸以上。

功能說明：

砂濾原理主要利用石英砂去除水中懸浮物，達到過濾目的。軟水原理是利用陽離子交換樹脂，將鈣和鎂從水中交換出來，達到水質軟化，有助避免灌溉管路堵塞。

最高補助額度：

22.5萬元/組

圖 13 水質過濾系統

栽培高架設施



規格

具固定基座、支架等設施結構，區分固定式及移動式（接合基座之床面可移動者）。

功能說明：

使用床架或層架離地栽培作物，可方便農務操作、結合介質栽培及水養液自動供應，有助於避免土傳病害發生，常應用於種苗、瓜果類蔬菜及花卉栽培。

最高補助額度：

固定式 12 萬元/0.1 公頃

移動式 16.5 萬元/0.1 公頃

圖 14 栽培高架設施

第四章 結果與討論

4.1 智慧溫室系統建置成本

智慧溫室系統建置成本包括雲端 IOT 智能控制系統、感測器、傳感模組、控制介面、雲端平台建立、系統建置、動力控制箱含分電盤組、變頻控制器、系統電源纜線及安裝工資，整體之建置費用為 375,000 元。而各部份說明如下：

1. 雲端 IOT 智能控制系統：包括控制箱體(農畜牧專用防水型)、農畜牧專用防水型高防護系列主機、天窗控制迴路(分 4 區控制 400KG*4)、遮陰控制迴路(分 2 區控制 500KG*2)、循環風扇控制迴路(16 台分 2 區控制)、負壓控制迴路(6 台變頻控制)。
2. 感測器：多功能監測站(溫溼度、CO₂、光照度)、室外中型天氣站(溫溼度、CO₂、光照度及風速)、雨滴感應控制系統(雨滴感應)、土壤監測器(監測土壤)、感測器傳輸線組(傳輸線)。
3. 傳感模組：4G 網路 IP(防水型)、傳感器運算緩衝模組(數據運算與上傳緩衝)。
4. 控制介面：遠端觸控液晶顯示屏(可攜式觸控液晶顯示屏)。
5. 雲端平台建立：多功能智慧雲端設備控制、環境偵測與裝置連動(含數據警報功能)、多功智慧型農舍設備雲端連動排程功能、APP 雲端新增功能免費更新、多帳號操作功能、歷史操作紀錄查詢。

6. 系統建置：主控系統客製製圖、電控箱系統整合、各式傳感器建置、網路系統建置、雲端平台整合建立及整體功能檢測與調整。
7. 動力控制箱含分電盤組(需搭配 IOT 主機驅動)：控制箱體農畜牧專用防水型(含 1 組匯流排電源供應)、主電源保護(AC 220V 100A)、天窗控制迴路(分 4 區控制)、遮陰控制迴路(分 2 區控制)、循環風扇控制迴路(分 2 區控制 40A)、負壓控制迴路。
8. 變頻控制器：負壓風扇專用(省電 30%)。
9. 系統電源纜線：負壓、循環、天窗及捲揚(佈線設備纜線)。
10. 安裝工資：系統工資(安裝工資)。

4.2 智慧溫室農場設計實例

本研究以位於嘉義縣竹崎鄉民和國中慈輝分校旁之智慧溫室設計為案例進行探討及分析。此智慧溫室農場之位置如圖 15，約位於嘉義市之東側，緊臨嘉義市、番路鄉、民雄鄉及中埔鄉，其面積大小約為 1 分地 (300 坪)左右，係以智慧溫室農場概念進行設計，該農場之氣象資料、智慧溫室之外觀及內部設計、以及連結系統介面說明如下：



圖 15 研究地區(智慧溫室農場)位置圖

(1)氣候資料

本研究之氣候資料來源為中央氣象局網站，由於研究地區之溫室農

場位於嘉義縣竹崎鄉，因此選用鄰近中央氣象局之嘉義測站，其近十年之氣候統計資料如表 2。月平均之降雨量在 21.5 mm 至 443.8 mm 之間，通常秋冬季每年 10 月至隔年 4 月降雨量偏低，月平均雨量大都低於 100mm，每年 5 月逐漸進入雨季及颱風季節，在 6、7、8 月之降雨量達到最大，每年之平均降雨量為 1821.6mm。月平均氣溫為 23.6 度，因研究地區位於台灣南部其平均氣溫較高，最低為 1 月之 16.8 度 C、最高為 7 月之 28.9 度 C，因該溫室農場處於嘉義平原鄰近山區，其月平均氣溫則會較平地為低。相對濕度之月平均值為 78.8%，全年皆在 76% 以上，最小為 12 月之 76.8%，最大為 8-9 月之 80.1%。而日照時數之全年統計為 2068 小時，最短之日照時數為 2 月之 139.7 小時，最長為 7 月之 206.4 小時。

表 2 研究地區之氣候資料表

月份	降雨量 (mm)	氣溫 (度C)	相對濕度 (%)	日照時數 (H)
一月	27.5	16.8	77.9	161.4
二月	44.9	17.7	79.3	139.7
三月	53.0	20.2	79.3	157.9
四月	86.6	23.5	79.8	157.0
五月	170.0	26.3	79.9	175.5

六月	318.6	28.3	77.5	186.6
七月	387.4	28.9	77.2	206.4
八月	443.8	28.4	80.1	182.2
九月	212.3	27.4	80.1	186.2
十月	30.2	24.9	78.9	197.0
十一月	21.5	22.0	78.7	158.9
十二月	25.8	18.4	76.8	159.2
合計	1821.6	23.6	78.8	2068
統計期間	1991~2020	1991~2020	1991~2020	1991~2020

*資料來源為中央氣象局網站；研究地區係採用鄰近之嘉義測站。

(2) 智慧溫室之設計及基本設備

本研究選定之智慧溫室農場，其外觀及內部設計如圖 16~圖 17，以及基本設備包括降溫風扇、室外小型氣象站、電動天窗、內循環風扇、光控內遮蔭、自動養液系統、離地栽植滴灌系統、環控系統主機箱、控制器分流、自動控制電磁閥等，如圖 18~圖 20。



圖 16 智慧溫室農場之外觀設計



圖 17 智慧溫室農場之內部設計



降溫風扇



降溫風扇



室外小型氣象站

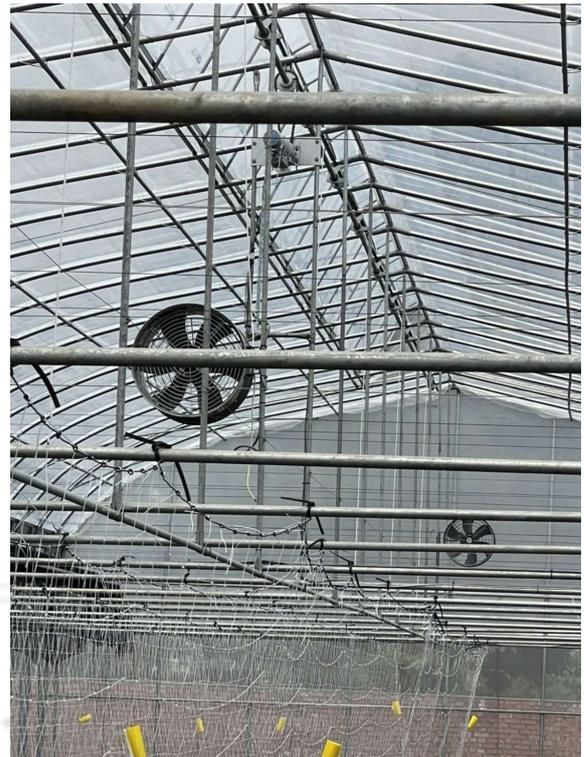


離地栽植滴灌系統

圖 18 智慧溫室之設備(1)



電動天窗



內循環風扇



光控內遮蔭



自動養液系統

圖 19 智慧溫室之設備(2)



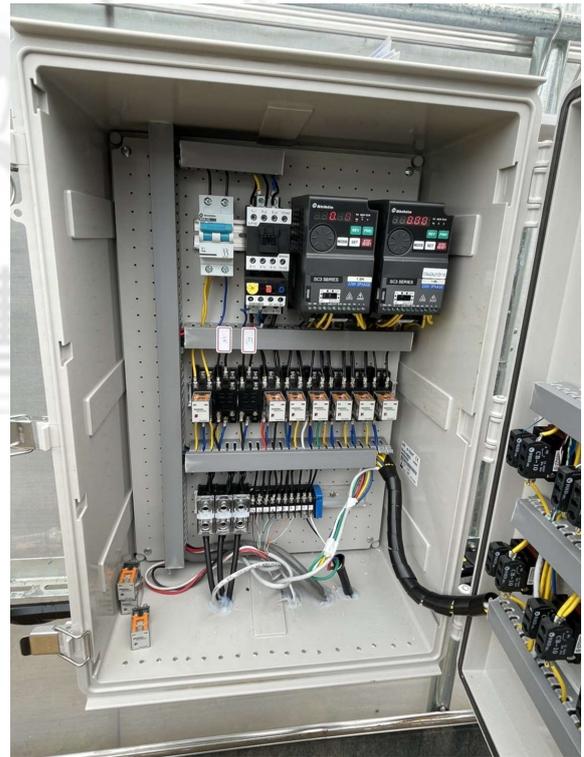
環控系統主機箱



控制器分流



控制器分流



自動控制電磁閥

圖 20 智慧溫室之設備(3)

(3)系統介面連結及應用

本研究之智慧溫室控制可透過手機或平板進行連結及操控，顯示系統主頁(經過 4G 網卡雲端連結手機、平板)、控制系統分流頁面(可模組化系統整合顯示頁面)、系統運作頁面選項(點擊選項即可經手機頁面透過雲端操作系統)、降溫風扇智能運作條件(以溫度大於或小於設定，或以時間定時設定，適時啟動降溫風扇，並可配合天窗開啟)、循環風扇智能運作條件(溫室內建 CO₂ 感應偵測器，設定大於或小於 PPM 或時間設定適當開啟運作，讓室內含氧量及含碳量中和)、內遮蔭智能運作條件(溫室內建光譜儀偵測流明度，以流明度大於或小於或時間定時自動啟動開啟或關閉)、滴灌智能運作條件說明(經偵測系統測出土壤溫度濕度、養液 PH 值、養液 EC，再由農作物所需之溫濕度，適當補充水分，可連接養液系統適當補充養液)、以及智慧溫室之相關控制設備，如圖 21~圖 27。基本上，本系統可顯示溫室之室內外氣候資料、植栽養液狀況及土壤現況，讓生產者可以依據自身經驗針對農作物進行評估及即時調整。



圖 21 系統介面主頁及控制系統分流頁面



說明：點擊選項即可經手機頁面透過雲端操作系統。

圖 22 系統運作頁面選項



說明：以溫度大於或小於設定，或以時間定時設定，適時啟動降溫風扇，並可配合天窗開啟。

條件說明

降溫風扇

感測器 **條件**

室內溫度 大於

30

中繼器 **開/關**

變頻負壓風機 On

開始時間 **結束時間**

上午10:00 下午2:00

星期:

一 二 三 四 五 六

日

條件動啟/關閉

Off

圖 23 降溫風扇智能運作條件說明



說明：溫室內建 CO2 感應偵測器，設定大於或小於 PPM 或時間設定適當開啟運作，讓室內含氧量及含碳量中和。(一般正常室外約 400-500PPM、室內超過 800PPM 就偏高、超過 1000PPM 需啟動循環風扇，以利植物光合作用生長)

條件說明

感測器	條件
室內CO2 <input type="button" value="v"/>	大於 <input type="button" value="v"/>
<input type="text" value="1000"/>	
中繼器	開/關
正壓風機 <input type="button" value="v"/>	<input checked="" type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/>
開始時間	結束時間
<input type="text" value="上午10:00"/>	<input type="text" value="下午2:00"/>
星期:	
<input type="checkbox"/> 一	<input type="checkbox"/> 二
<input type="checkbox"/> 三	<input type="checkbox"/> 四
<input type="checkbox"/> 五	<input type="checkbox"/> 六
<input type="checkbox"/> 日	
條件動啟/關閉	<input type="button" value="確定送出"/>
<input type="checkbox"/> Off	

圖 24 循環風扇智能運作條件說明



說明：溫室內建光譜儀偵測流明度，以流明度大於或小於或時間定時自動啟動開啟或關閉。(一般正常流明度為一萬至一萬五，若超過兩萬自動啟動內遮蔭或是以時間定時正中午時段關閉 3-5 小時)

條件說明

內遮蔭

感測器 條件

室內光照 大於

20000

中繼器 開/關

遮蔭系統 On

開始時間 結束時間

上午10:00 下午2:00

星期:

一 二 三 四 五 六

日

條件動啟/關閉

Off

圖 25 內遮蔭智能運作條件說明



說明：經偵測系統測出土壤溫度濕度、養液 PH 值、養液 EC，再由農作物所需之溫濕度，適當補充水分，可連接養液系統適當補充養液。

條件說明

滴灌

感測器	條件				
土壤濕度 <input type="button" value="v"/>	小於 <input type="button" value="v"/>				
50					
中繼器	開/關				
滴灌水泵 <input type="button" value="v"/>	<input checked="" type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/>				
開始時間	結束時間				
上午12:00	下午12:00				
星期:					
一	二	三	四	五	六
日					
條件動啟/關閉					確定送出
<input type="checkbox"/> Off					

圖 26 滴灌智能運作條件說明



室內氣象站：內建溫度、濕度、光照、二氧化碳、土壤溫濕度 PH、EC 偵測器。



室外氣象站：內建雨滴感知器、風速、溫度、濕度、光照、二氧化碳偵測器。



說明：控制箱可切換手動操作或切換手機智能雲端操作。



說明：電腦主機板 4G 分享站、電池閥電腦雲端自動控制。

圖 27 智慧溫室之相關控制設備

4.3 智慧溫室系統效益分析

依據農委會對智慧溫室建置之補助，茲將農民建置成本、補助款及自付款分析如下，並探討各項之效益評估：

1. 建置成本 375,000 元
2. 補助款 150,000 元
3. 自付款 225,000 元

(一)人力成本分析

依本研究之智慧溫室農場的環境及氣候資料，其每年平均下雨天數 110 天，溫度、雲量及每日降雨機率如圖 28~圖 30，經由智能系統管理農場，農戶可一年節省來回農場操控機電 120 趟，平均換算可節省人力約 40 工作天。

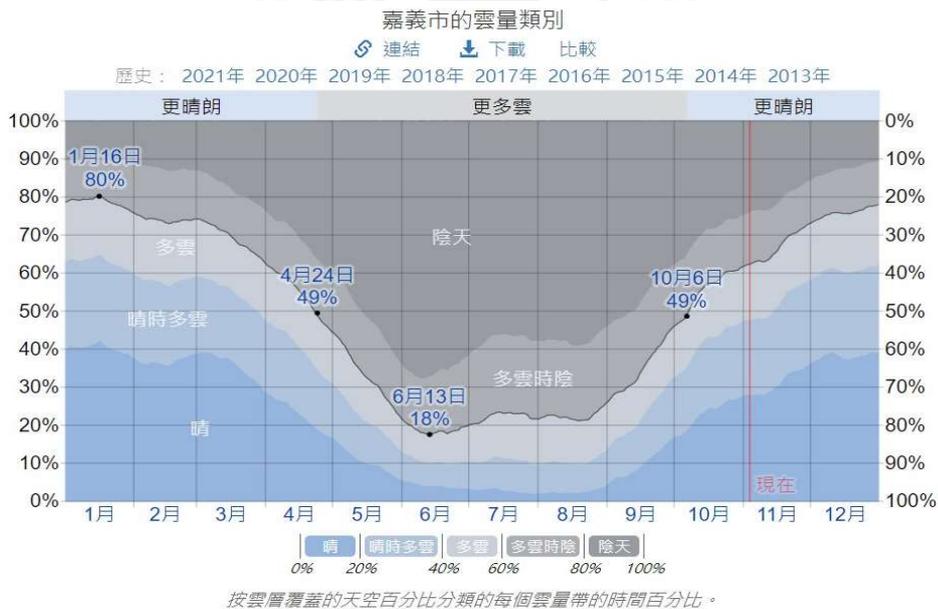


圖 28 研究地區溫室之雲量統計資料

熱季從 5月27日至 10月3日持續 4.3 個月，平均每日高溫在 31°C 以上。嘉義市一年中最熱的月份是 7月，平均高溫為 33°C，平均低溫為 26°C。
涼季從 12月12日至 3月5日持續 2.8 個月，平均每日高溫在 24°C 以下。嘉義市一年中最冷的月份是 1月，平均低溫為 13°C，平均高溫為 22°C。

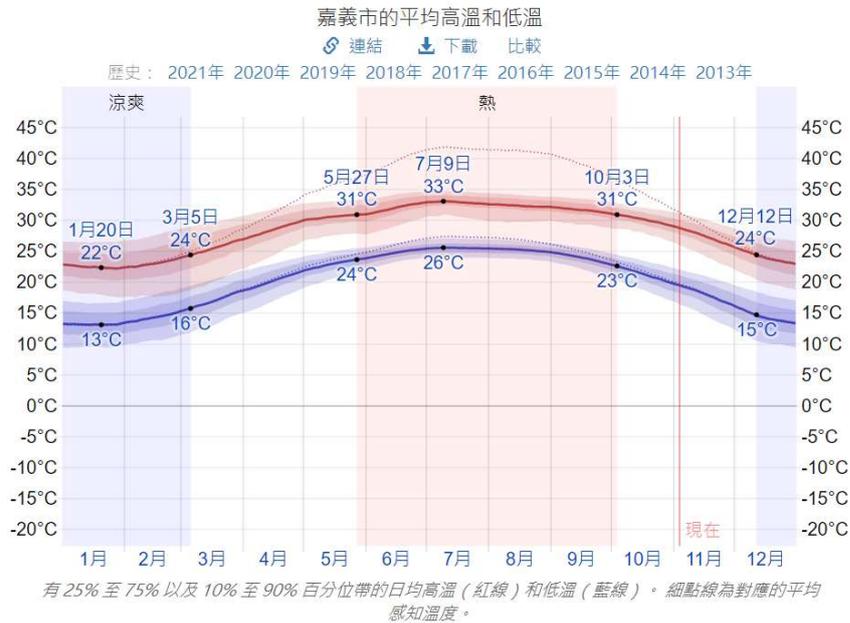


圖 29 研究地區溫室之平均溫度統計資料

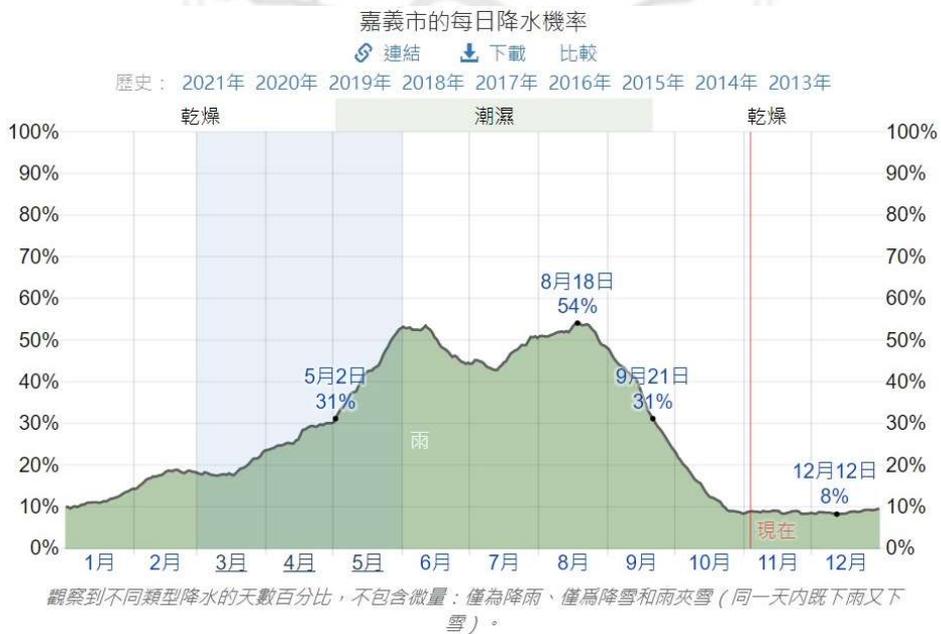


圖 30 研究地區溫室之每日降水機率統計資料

(二) 節省能源

在節省油資部份，由於農場與農戶住家距離 20 公里(圖 31)，因此

節省油資計算如下：

年跑 120 趟 X20 公里=400 公里

汽油每公升平均約跑 12 公里

油耗 400 公里÷12 公里=200 公升

油價每公升約 30 元

200 公升 X30 元=6000 元

在節省電費部份，係以 109 年 7 月(建置前)及 110 年 7 月(建置後)之電費進行計算，其結果如下：

109 年 7 月未建置智能環控系統 電費 11105 元 用電量 2568 度

110 年 7 月已建置智能環控系統 電費 5045 元 用電量 1735 度

相較比對節省 電費 6060 元 用電量 883 度

每年 6 次電費 6060X6=36360 元



圖 31 農民與智慧溫室農場之距離

(三) 農產品產值增加效益

本研究係以農民種植之小黃瓜為例，未建置智能系統之種植效果及已建置智能環控系統之種植效果，其病蟲害控制、農產品之優劣比較結果如圖 32~圖 33。而產值係依小黃瓜 0.1 公頃 1 季產量約 6000 公斤 年產 3 季計算如下：

人工管理	0.1 公頃	優級品 4200 公斤
		次級品 1800 公斤
智慧系統管理	0.1 公頃	優級品 5000 公斤
		次級品 1000 公斤

每季優級品約多出 800 公斤 X3 季=2400 公斤

年平均公告價 1 公斤 37 元(依據批發市場行情趨勢圖如圖 34)

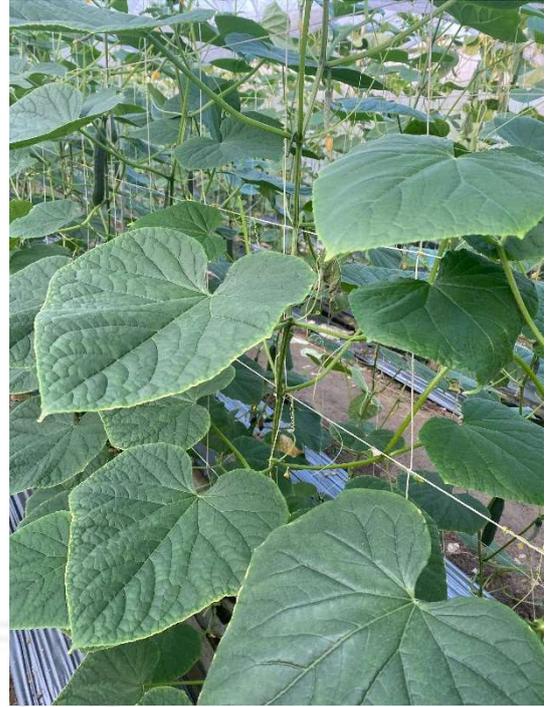
2400 公斤 X37 元=88800 元



優級品

次級品

圖 32 未建置智能系統種植效果



優級品

次級品

圖 33 已建置智能環控系統種植效果

每日趨勢圖(一年以來)

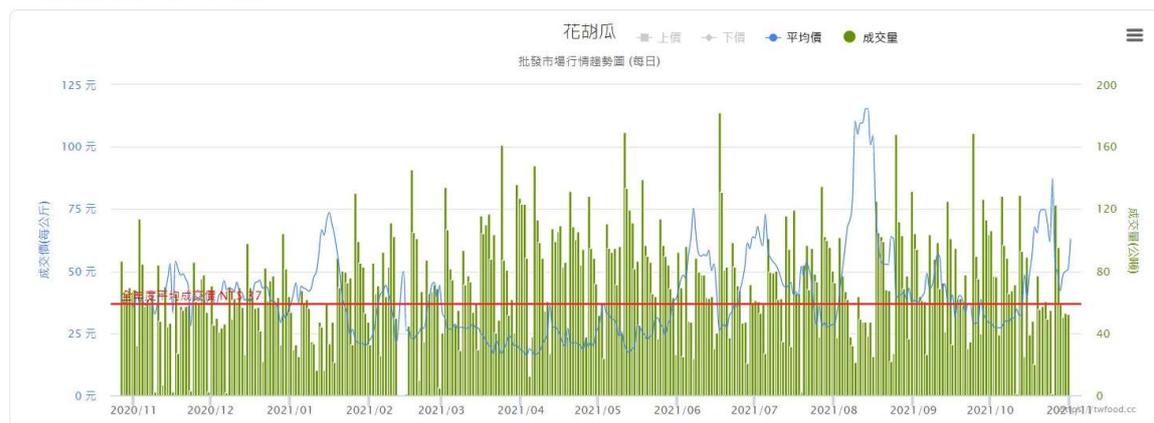


圖 34 小黃瓜一年批發市場行情趨勢圖

(四)投資報酬率

智能環控系統建置成本 375000 元(如前所述)，農糧署補助 150000 元，農戶自備款 225000。而節省之各項成本包括人力成本約 40 工作天 X2000 元=80000 元、油資節省成本 200 公升 X30 元=6000 元、電源節省成本 6060 元 X6 期=36360 元，而增加產值 2400 公斤 X37 元=88800 元，可年增產值 211160 元，因此設施扣除農糧署補助金額，自備款部分 1~2 年內可持平並獲利。

第五章 結論與建議

近年來行政院農業發展委員會積極推動「智慧農業 4.0」的計畫，透過在溫室內裝設各種環境感測器、手機或平板智能裝置、物聯網 (Internet of Things, IoT)，以及連結後端之雲端伺服器蒐集巨量資料並加以分析，建構智慧科技農業。本研究係實現智慧科技農業之概念，以多年建構智慧溫室農場之實務經驗，探討藉由環境感測器之監測數據，評估智慧科技之溫室與傳統人力管理之溫室的成本與效益比較，本研究所建置之智慧溫室農場，無論在節省人力成本、節省油資及能源電費、控制作物病蟲害、以及增加農產品產值等方面，在扣除農糧署補助金額，自備款部分 1~2 年內可持平並獲利，顯示本研究建置之智慧溫室農場，具備甚佳之可行性及實用性。

然本研究僅以智慧科技加入傳統溫室中，改善現有以人力操作之缺點，尚未導入目前很流行之人工智慧(AI)於系統中，因此建議在後續研究中，可加入 AI 於智慧溫室系統內，相信若未來加入 AI 後，則智慧科技農業之完整性更高，不僅可學習農民數十年農作經驗，直接應用在後續管理上，更能減少農業之大量人力操作及增加農產品之品質及數量，可完全實現「智慧農業 4.0」之目標。

參考文獻

1. 林煜勛(2021)，整合物聯網技術於小型農業溫室，中華大學電機工程學系碩士論文。
2. 黃英豪(2020)，一個應用於智慧農場的物聯網系統 - 行動裝置應用程式設計，國立臺灣科技大學電機工程系碩士論文。
3. 黃勝發(2021)，智慧農業之環境監控系統設計，國立高雄科技大學機械工程系碩士論文。
4. 陳昱辰(2020)，萵苣立體水培架之在線離子監測和自動補液系統開發，國立屏東科技大學生物機電工程系所碩士論文。
5. 歐陽逸(2021)，基於嵌入式系統之無人自走式菜苗種植車，國立高雄科技大學電訊工程系碩士論文。
6. 蘇裕棠(2017)，智慧型科技農場之規劃與建置，遠東科技大學機械工程研究所碩士論文。
7. 黃立偉(2021)，智慧農業發展趨勢之淺析，逢甲大學科技管理碩士學位學程碩士論文。
8. 張耀城(2019)，泰國魚菜共生經營模式之研究，國立臺北科技大學管理學院 EMBA 泰國專班碩士論文。
9. 謝銀連(2019)，科技農業永續經營之道：以鮮綠公司策略為例，國立彰化師範大學會計學系碩士論文。
10. 吳宜玲(2019)，農業創新服務模式之商業模式研究-以蜂巢數據科技有限公司為例，國立中央大學企業管理學系在職專班碩士論文。
11. 張雪碧(2002)，有機農業教育訓練之成效評估—CIPP 評估模式之應用，

- 國立中興大學農業推廣教育研究所碩士論文。
12. 莊純琪、高秋芳、蔡嘉寅(2008)，全球環境與農業面臨之挑戰，農政與農情，第 188 期，1-8 頁。
 13. 台灣農業生技產業發展策略規劃報告書 (2006)。ISBN957-619-131-9。財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心。
 14. 台灣農業科技發展策略規劃報告書 (2003)。行政院農業委員會。
 15. 王蕙婷(2019)，傳統農業設施與金字塔型溫室之成本效益分析，國立臺灣大學農業經濟學研究所碩士論文。
 16. 黃小綺(2014)，從傳統農業轉型有機農牧業經營策略歷程之個案研究，國立雲林科技大學企業管理系碩士論文。
 17. 葉郁盈(2019)，以六級產業化觀點探討台灣農業困境—以轉型經營休閒農場為例，國立雲林科技大學創意生活設計系碩士論文。