

國立臺灣大學生物資源暨農學院農藝學系



碩士論文

Department of Agronomy

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

超甜玉米生產之生理支持型專家系統之建立

Establishment of Physiology-based Decision Supporting
System in Super Sweet Corn Production

姚箴

Chen Yao

指導教授：盧虎生 博士

Advisor: Huu-Sheng Lur, Ph.D

中華民國 112 年 7 月

July 2023

中文摘要



超甜玉米是臺灣重要的雜糧作物，佔據國內食用玉米將近 6 成 5 的生產量。在臺灣的超甜玉米中，主要包含三大類：甜軟殼、甜硬殼、超甜白，又以超甜白(又名：水果玉米)為最高經濟價值的品項，其品質不僅極度容易受到天氣變化影響，也對採收期十分敏感。然而，目前國內尚缺乏針對超甜白玉米農企業實務操作難點之智慧系統，故本試驗目的即透過分析實際需求，建立數位系統來解決產業經營問題。

通常在玉米果穗發育的 R3 到 R4 階段中，糊粉層中色素堆積造成轉色。轉色是農民判斷收穫的重要依據。然而，超甜白玉米的籽粒為白色、並無轉色發生，是故使得農民難以判斷適採期。一般而言，可以透過線性積溫法來建置對應的產期預測模式，但臺灣地屬熱帶，夏季時線性積溫法並無法反應正確的作物生長情況，致此無法滿足產業全年栽培的操作需求；引入對高溫有修正的有效積溫式或許是可行解方，但現狀帶來的其它挑戰卻也隨之而來——不僅現場品種與文獻中不同、須挑出合適的作物參數外，同時超甜白玉米種子源為從國外進口、遺傳背景常有變動，產業上也常有試種新的品種的市場需要。這些複雜、立體的問題結構，對產期預測之建立帶來十分嚴峻的挑戰。

為克服現狀，本研究除引入梯形積溫法外，更開發了一個可利用現場生育資料來校正作物參數之參數最佳化演算法，藉此保證作物參數的效力。經最佳化之積溫所得參數為 $T_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1} = 24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2} = 33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max} = 37^{\circ}\text{C}$ ，在超過 300 個田間數據點的驗證中，此方法顯著地優於原先產業使用之線性積溫法的效果，R square 從 0.77 提升至 0.92，預測值的標準差亦從 ± 6.7 天縮減至 ± 3.2 天。此外，本研究亦針對實際應用場景來做更進一步的測試。模擬結果中顯示：產期預測之誤差在進入輪生期到開花期時收斂達到穩定，代表此時資訊以開始足夠可靠。而在學習新品種的模擬中，從 3 個物候資料位點開始，搭配著參數最佳化之此方法流程便恆優於現行使用之線性積溫法。

最後，本試驗再根據於脈絡訪查法(Contextual Inquiry)探訪之脈絡，規範出設計限制，並以此設計系統架構、使用場景、技術導入，再以 R shiny 套件開發最小可行性產品(Minimum Viable Product)之原型(Prototype)。功能上以產期預測為核

心，除了提供田區之生育期查詢外，並能生成可匯入至 Google 日曆的巡田提醒文件，藉此嵌入於鮮綠農產田間人員現行工作流程中。於資料輸入上，則可與農企業內部文件相容外，亦在格式與行為操作上考量了不同的補救機制，來讓系統在發生問題時能依然具有能夠運作的韌性。

本系統為第一個國內甜玉米之數位智慧系統，有潛力以更精準之產期預測從而改善現行產業中的操作難點。同時，本研究也是當今農業智慧系統設計中第一個使用脈絡訪查法的案例，提出之最佳化演算法亦是物候學領域中第一個能利用田間既有資料來校正多個積溫參數之演算方法。期待透過此研究之提出，成為未來其他應用之拓展上重要的基石，並與更多場域合作，一起為現場難題創造解方。

關鍵字—甜玉米、資料驅動之校正法、決策輔助系統、物候學、生育有效積溫、智慧農業、脈絡訪查。

Abstract



Sweet corn is an important vegetable crop in Taiwan, with approximately 65% of the total production falling under the category of super sweet corn. Taiwan's super sweet corn can be classified into two major types: tian-rang-ke (yellow-kernel super sweet corn) and chao-tian-bai (specifically referring to white-kernel super sweet corn). Chao-tian-bai, known for its higher unit price, faces quality challenges due to its sensitivity to harvest timing, posing difficulties in cultivation. However, there is currently a lack of digital decision support tools specifically for maize in Taiwan. The study aims to develop a decision support system to overcome existing challenges.

The color-changing event, resulting from the accumulation of pigments in the aleurone layer during the transition between R3 and R4 stages, holds significant importance for farmers in accurately determining the optimal harvesting time. However, in the chao-tian-bai, the kernels are white and do not accumulate pigments. This lack of pigment accumulation poses a challenge for farmers in determining the developmental stage without the presence of color-changing events, making it difficult to ensure the quality of the crop.

Establishing a corresponding phenological stage model is an integral part of addressing this situation. However, Taiwan belongs to a tropical region where the linear growing degree-day (GDD) method fails to accurately reflect crop growth during high-temperature in summers, resulting in suboptimal predictive performance that does not meet industry needs. To overcome this, we introduced the trapezoidal GDD method and developed a parameter optimization algorithm, which is based on the greedy method, using existing phenological data to select appropriate parameters. During validation with over 300 field data points, the new method showed substantial improvement over the linear growing degree-day (GDD) method. The R-square value increased from 0.77 to 0.92, and the standard deviation of predicted values decreased from ± 6.7 days to ± 3.2 days.

In further testing, it was found that the prediction errors for the harvest period converged and stabilized after the whorl stage and the flowering stage, indicating the utility of predictions during the growing season. A simulation was also conducted to evaluate the algorithm's performance in the context of learning new varieties. It was observed that starting from three phenological data points, the proposed algorithm

consistently outperformed the conventional linear growing degree day method currently in use.

In addition, a contextual inquiry was conducted for a year and a half, involving user interviews with stakeholders in the agricultural industry. The insights obtained from this process were used to build a comprehensive framework for the decision support system. Subsequently, we developed a minimum viable product (MVP) prototype using the shiny package in the R language. The MVP prototype was evaluated through user feedback and iterative testing, ensuring that it meets the requirements and expectations of the stakeholders.

This decision support system is the first of its kind in the maize production in Taiwan and has the potential to enhance cultivation practices, optimize harvest timing, and ultimately improve crop quality and economic outcomes for maize farmers. Additionally, the developed algorithm in this study holds promise in rapidly assessing the phenological stages of unknown maize varieties, making significant contributions to the exploration of new varieties.

Keywords—Contextual inquiry, Data-driven optimization, Decision support system, Growth degree day, Phenology, Smart agriculture, Sweet corn.

誌謝



在此邀請所有過去、未來，為了共同福祉前行的所有靈魂、存在前來，臨在此刻，並祝聖一切萬有。讓我們更加地有智慧、對彼此與萬物更加溫柔。

我即是你，而你即是我。

在此，特別感謝我的指導教授盧虎生老師，給予我十足的支持與自由空間，謝謝您讓我能保有自己的樣子。謝謝守護在側的家人(子曰、雪珀算家人)、祖先、指導靈、守護神、植物寶寶與好多好多存在們，謝謝你們永遠成為我重要的支柱。謝謝彥伯、士誠、彥霖、明陽、家亨 410 網吧的人們，每當我有什麼想法時總是與你們互相討論，並每每都受到你們好多幫助、關懷。謝謝奇鴻學長、俊廷學長、亞嬋姊為我開拓前路，謝謝君孝、Wendy、又仁、儀嘉，與你們同行的歷練，還有我過去接受過的一切活動經歷，都讓我能有今天的視野。

謝謝農藝系長久以來的支持、滋養，謝謝每位老師、每位學長姊、同學、學弟妹。特別提起孟基老師，謝謝您最初大一時的啟發、讓我一路向前，我很想您。謝謝 Tillerling 的夥伴、學弟妹們總是好支持我，陪我去做瘋狂的事，並讓我知道自己是誰。謝謝從大學以來的同屆好友昱權、采萱、欣敏、喻庭、學國、元傑、絮予、旻柔、新庭、子源、孟婷、以敏、宇峰、仲偉(其他族繁不及備載)，還有研究所的其他同屆好友，你們是支持我前行的力量。

謝謝過去的情感對象，筑涵、雅晴(沒有正式交往的就不寫在此哈哈)，謝謝與妳們的相遇，讓我學會去愛我自己。還有接住我的人們，子欣、怡廷、乃文、還有六等星的大家，當我墜落時、或是長刺時你們都在。謝謝我的家鄉，家鄉的人們、世界的人們、與我志同道合想讓地球與人世更加美好的人們，因為有你們的存在與支持，所以我才能存在。感謝音樂與藝術引領我認識了好多好多的朋友，並讓我學會如何與自己內在的陰性力量相處。感謝夢想與宇宙引領我不停前行。

我們一路上看見了很多課題，但我在此宣告：

舊的循環應當要終止了，不管走得多遠，一切發生的正是時候。

感恩所有的你們，這是我們的論文。讓我們攜手前行，為彼此而戰。

奉上我最大的愛、感激與祝福。

目 錄



中文摘要	i
Abstract.....	iii
誌謝	v
圖目錄	viii
表目錄	ix
壹、前言	1
貳、前人研究	3
一、 國內超甜玉米產業現況	3
二、 農業智慧專家系統	4
三、 玉米之專家系統現狀	5
四、 小結	6
參、研究流程與方法	7
一、 研究流程	7
二、 使用者探訪	8
三、 資料蒐集	9
1. 契作單資料	9
2. 氣象資料	10
3. 生育調查	11
肆、結果	12
一、 現狀背景與核心需求之探討、研析	12
1. 合作之農企業介紹	12
2. 「農民頭」做為支點的契作戶管理機制	13
3. 種子掌控為源頭的供應生態圈	15
4. 田間人員與工作流程——簽約、採收、與其他	16
5. 核心議題——作物生育期預估	21
二、 有效積溫作物參數最佳化演算法之開發	27
1. 作物生育期預估所遇之問題釐清	27
2. 以物候資料最佳化作物參數之貪婪演算法	31
3. 效用驗證與實際可靠性	36
三、 系統建構設計 —— 甜玉米生理支持型專家系統	51
1. 設計限制與洞察	51

2.	系統架構與功能	58
3.	使用者歷程地圖	61
伍、討論		63
一、	建置數位系統轉型遭遇之挑戰	63
1.	物候資料品質不均	63
2.	介接氣象資料上的設計挑戰	66
3.	問題聚焦之方法選擇	70
4.	知識本位視角帶來的潛在限制	71
5.	執行能力與設計量體之間的權衡	73
二、	作物參數最佳化演算法	73
1.	選用貪婪法的原因	73
2.	影響演算結果之性質與解決	74
三、	未來可能發展方向	75
1.	核心演算法之應用拓展	75
2.	專家數位系統之未來擴充	76
3.	基以物候資料的農業未來治理	77
陸、結論		80
柒、參考文獻		81
捌、附錄		84
一、	氣象資料與補缺值方法之探討	84
1.	測試方法	85
2.	資料整理	85
3.	測試結果	85
4.	建立虎尾站補值流程	87
二、	廣義化的物候預測資料框架、與關聯式資料庫設計	88
三、	局屬有人站一覽	90
四、	推導：自 Linear three segments 到梯形積溫法之合理性	91
五、	使用者歷程：匯入巡田提醒 (故事性口吻)	93
六、	重新建立之白美人生育期對照表	94
七、	農學知識與農村知識體系的分歧：曆法	95
八、	額外發現：農民用水習慣	96
九、	額外思考：盤商對應角色、本研究回應	97
十、	後記：本篇論文寫法與閱讀說明	98

圖目錄



圖 1 本次建立專家系統之研究流程。.....	7
圖 2 契作單內前 12 大品種時序分布圖.....	9
圖 3 社群網路分析之探究架構圖.....	14
圖 4 以蒐得契作單資料去識別後之社群網路分析之視覺化。.....	14
圖 5 訪得之超甜玉米生產流程之工作流程泳道圖。.....	20
圖 6 白美人之正常籽粒與受到其它品種花粉干擾之顏色對照。.....	23
圖 7 核心議題之脈絡架構圖。.....	26
圖 8 線性積溫法於高溫下可能遭遇之有效積溫高估。.....	28
圖 9 本研究室過去記載之白美人有效積溫值，修改自林 (2019)。.....	29
圖 10 貪婪搜尋法之流程圖。.....	33
圖 11 虎尾站 2017 至 2021 年之均溫。.....	38
圖 12 參數最佳化能力之假設檢定流程圖.....	39
圖 13 最佳化後預測值變異係數之前後變化。.....	41
圖 14 全部田區氣象資料與梯型積溫式之重合比較圖。.....	42
圖 15 預測資訊可靠性之觀察流程圖.....	45
圖 16 隨時間之預測誤差收斂圖。.....	46
圖 17 演算法學習新品種能力之假設檢定流程圖.....	47
圖 18 模擬 50 次兩種不同方法學習新品種之情況。.....	49
圖 19 本研究提出之專家系統架構。.....	58
圖 20 鮮綠農產田間人員之使用者歷程地圖。.....	61
圖 21 物候資料品質產生變異之可能推測圖。.....	63
附圖 1 六種不同補值方法之 Predicted vs. Actual Plot。.....	85
附圖 2 以鄰近測站建立迴歸關係來補值之 Predict vs. Actual Plot。.....	86
附圖 3 虎尾站補缺值之流程圖。.....	87

附圖 4 廣義化之物候預測框架。.....	88
附圖 5 關聯式資料庫設計。.....	88
附圖 6 Linear three segments 原圖。引自 Piper et al. (1996).....	91



表目錄

表 1 契作單內記載之前 10 大品種、分類、筆數。.....	10
表 2 訪查所得之熟度判斷比較表。.....	21
表 3 驗證效力的四個驗證階段、說明。.....	36
表 4 各參數所設之合理限制範圍。.....	39
表 5 最佳化前後預測值變異係數之資料性質。.....	41
表 6 白美人各生育期積溫對照表。.....	43
表 7 使用情境、系統運算田區範圍與對應之產出。.....	59
圖表 1 農事曆法線性積溫法之比較結果。.....	25
圖表 2 線性積溫法與梯形積溫法之比較結果。.....	44
附表 1 本次探討之補缺值方法一覽。.....	84
附表 2 現今 31 個局屬有人站之區域分布(製表於 2023 年)。.....	90
附表 3 重新建立之白美人生育期對照表。.....	94
附表 4 不同角色之聚焦點與思考面向.....	99

壹、前言



農業是撐起人類社會最重要的基礎，卻是受到環境影響最大的產業之一。隨著氣候變遷的加劇，不僅許多極端災害陸續出現，降水時空不均、病蟲害增加、更難以預期的天氣，也使人類社會的存續逐漸受到威脅。

聯合國面對不停出現的嚴峻挑戰，於 2015 年提出 SDGs (Sustainable Development Goals)，用以作為人類永續發展的共同指導目標。然而在此之後，各方單位仍缺乏共同的發展認知、與方向，故數年後 SDGs 起草者之一的 Sachs et al. (2019)便提出六個明確的轉型方向——其中與農產業高度相關的，便是「永續之食物、土地、水資源、與海洋(sustainable food, land, water and oceans)」與「永續發展之數位技術革新 (digital revolution for sustainable development)」兩大方向。

在這兩大方向交會之處，無不指向同一件事情：數位轉型(Digital Transformation)。於農業的數位轉型中，不僅需要透過數位工具優化現有流程外，更由於所遇到之未來境況將越來越難以用過去經驗來應對，是故搭載著專家知識之決策輔助系統(Decision Support System)、或專業經驗之數位分身(Digital Twins)更是最重要的核心。藉以對產業第一線數位賦能(Digital Empowerment)，解放其心智頻寬(Mental bandwidth)，用來增進決策品質、與面對風險發生時之韌性。

近幾年來，農業智慧系統已開始在許多不同的應用面向發展。然而，根據 Abbasi et al. (2022)指出，現今許多專家系統欠缺將使用者的需求、行為結構納入考量，因此並沒有成為「真正可用」的服務，這也代表著我們還有很遠的一段路要走。此外，各地農產業的脈絡相異甚大，尚難有一普適於各地方之總體解方(Total Solutions)，這或許也代表著各地的農業數位轉型，在很大一部份上得由當地來探索、發展。

臺灣屬於海島，且處於複雜的政治國際環境之中，如何穩定國內的農產供給將是十分重要的課題。玉米為國內重要之雜糧作物，過去本研究室林 (2019)探討了超甜玉米果穗品質不同氣象因子之關係，也變相揭明未來氣候變遷下超甜玉米栽培的挑戰、與潛在轉型的風險。然而，國內不僅尚無甜玉米之專家系統，

擴大至其他作物層面，亦無能有效解決農產業痛點之智慧系統能夠參考——是故本研究將與農企業合作，為其打造一量身訂做的數位解方，以解決其實際面對的問題，並作為轉型的開端，協助其面對未來的應用場景。同時，也希望本研究的提出，能做為未來其它數位系統建置的基礎、與參考，試圖探索出農業生產操作中一部份底層邏輯，並為人類社會的永續轉型更向前邁進一步。

貳、前人研究



一、國內超甜玉米產業現況

食用玉米為國內重要的雜糧作物，根據行政院農業委員會農業資料統計 (<https://agrstat.coa.gov.tw/sdweb/public/inquiry/InquireAdvance.aspx>)，國內食用玉米的耕作面積從於 2011 年時為 11468 公頃，於近十年後的 2021 年成長至 15450 公頃，上升了 34% 之多。食用玉米的主要產地為雲林縣，占總面積之 48.5%，其次則為嘉義縣、台南市，兩者皆占總面積之 12.9%，此三個縣市便已佔據臺灣 75% 之玉米耕作面積，為最主要的產區。

而於農產品批發市場交易行情站 2022 年之統計中，食用玉米之交易市值已來到 9.6 億元¹。其中，超甜玉米為食用玉米最大宗分類之分類，佔據交易市值之 5 成 3——雖由於 2019 至 2020 年之間由於國人飲食習慣改變，糯米黑²一時蔚為風潮(總量在一年間從 164 噸上升至 640 噸)，使得超甜玉米之比例相對下降，交易量從過去占全體之 8 成到至今 6 成³，但實際上超甜玉米總量仍持續成長，仍是十分最重要的品項。(<https://amis.afa.gov.tw/menu/VegMenuTransInfo.aspx>)

在農產品批發市場分類中，超甜玉米通常分為三類：甜軟殼(黃色甜玉米，如：夏強)、超甜白(特指白色種皮者，如：白美人)與甜硬殼(黃色甜玉米，如：華珍)。根據 2022 年之農產品批發市場資料，雖在交易總量上，甜軟殼為總量之 46.3%，其次為超甜白之 7.5%，而後為甜硬殼之 1.1%——然而從交易市值上甜軟殼 4 億 1870 萬元、超甜白為 8377 萬元之資訊中可發現：超甜白的單位重量價格平均較甜軟殼多了 23%，為單位重量具高經濟價值者。同時，從交易量來看：於 2015 年時，超甜白之批發市場交易量約為 177 噸，而到 2019 年時已來到了

¹ 農產品批發市場終將玉米筍也算入玉米中；當日總交易量則以「當日均價」乘上「當日交易量」為計。

² 通常為外表為黑紫色之糯玉米，如：黑寶、台南 25 號，但仍有例外。如：因原本黑糯玉米口感太硬，進而最近興起口感較軟的 802 雜色玉米，雖具黃紫相間的外表，但仍被歸類於糯米黑之中。

³ 此為去掉玉米筍之數值。

401 噸的交易量。這樣的交易量成長，不僅代表著超甜白是近年逐漸攀升、專攻高價的重要品項，也側面表現出國人越加重視品質的飲食習慣變化。

超甜白於市場、生產現場中有一更常被稱呼、更適合描述其性質的名字——「水果玉米」(以下將以「水果玉米」稱之)。顧名思義，水果玉米以其如水果般鮮嫩、香甜、多汁的口感見長，其甜味、水分、口感硬度是其最重要的品質。而其中，關乎於甜味的可溶性糖份極容易在採收後降解，若是運銷延時長、或無冷鏈的環境下皆會大大耗損其品質、與價值，這也使得水果玉米主要在具有直接通路的高級餐廳使用、或以加工後的高級玉米棒於便利超商、超市、專櫃、與網路商城等通路中出現。此外，更值得注意的是，由於水果玉米的主要市場為高價位之通路，許多上級品並不會送往大眾通路取向之批發交易市場——這代表的是，水果玉米的實際生產量、與交易產值將比批發市場所得之數據上更為龐大，也潛在的是目前臺灣最重要的超甜玉米品項。

目前，水果玉米之種子皆從國外溫帶地區進口，常見品種主要為白龍王(有一說為：白龍王多為北海道牛奶玉米之代稱)、與白美人(為本研究合作的農企業鮮綠農產之專屬契作品種)。然而這樣的產業結構，不僅將容易受到國外天氣、政經關係影響供貨，同時遺傳背景也受到種子商供貨而定，這樣對於種子供應之不確定性與栽培特性的資訊不透明，潛在地對栽培實務上造成十分重大的挑戰。

二、 農業智慧專家系統

農業數位轉型中，最核心、亦最不易開發的解方為在於智慧專家系統——透過搭載之專家知識，來對使用者數位賦能(Digital Empowerment)，藉以提升效率、降低風險、並更加有效地面對日益複雜的農業現場。

近幾年來，農業智慧系統已開始應用在許多不同的應用面向，如：病害管理(Ferentinos, 2018; Rumpf et al., 2010; Sciarretta et al., 2019)、自動灌溉(Li et al., 2019; Mirs-Avalos et al., 2019; Zinkernagel et al., 2020)、土地利用規劃(Aggarwal et al., 2020)、與栽種日建議(Andarzian et al., 2015; Angel et al., 2017)等不同面向，亦有綜合整理數種不同指標與功能作為資訊輔助者(Cotter et al., 2020; Rossi et al., 2014)。

然而，專家系統之開發——或我們可稱作「應用解方之遞出」，本質上為一從知識走至應用(Knowledge to Action)之過程(Field et al., 2014)，且將是極度跨領域的研究事項，不僅有學術上的考量，還得需與相關利益人共同合作，才能有效地共同創造能存留於社會脈絡的具體應用(Lang et al., 2012)。根據 Abbasi et al. (2022)指出，現今許多農業專家系統經常忽略了這些，在設計系統時欠缺將使用者的需求、行為結構納入考量，因此並沒有成為「真正可用」的服務。

從另一個層面來看，這些案例的出現同時也是個警訊：其代表著「如何將使用者之需求確實考慮進去」，不僅是在許多案例上的一大挑戰，同時若沒有意識地去做出詳細規劃，將很難達成。然而，目前建立農業使用之專家系統，還尚缺乏一有效之系統建構方法——是故，本研究將在此挑戰新的建構方法，以期能產生突破。

三、 玉米之專家系統現狀

目前國際上之玉米專家系統中，有許多不同的應用。如：義大利、以色列研究團隊之 Bonfante et al. (2019)透過現場之土壤水資料、與衛星之諮詢灌溉，並透過系統模擬土壤水平衡來給予建議，進而提升田間施用水分利用效率(Water Use Efficiency)；或如 Habibie et al. (2021)應用地理資訊系統(GIS)與衛星遙測，來為印尼東爪哇之 Tuban 地區分析玉米適栽區；亦有如 Xu et al. (2014)在為推薦中國山東至黑龍江一帶玉米推薦合適肥料施用量、或如 Roche et al. (2023)針對加拿大魁北克省玉米進行病蟲害整合性管理(Integrated Pest Management)之案例。

其中，美國農業部支持之 U2U 專案(Useful to Usable project)為少見提出一系列工具的案例(Prokopy et al., 2017)。其中結合了農業氣象、地圖資料、與其他專家知識，針對美國玉米栽培者推出一系列之輔助工具。如：在播種前可用 [CornGDD](#) 工具，並依據農業氣象資料、針對種子袋上記載之有效積溫，來規劃合適的播種期與選擇品種。同時，亦可透過 [Corn Split N](#) 來計算所需花費的肥料成本，或利用 [Irrigation Investment](#) 同時計算投入灌溉設備帶來的效益，這些工具都將有效地支援栽培者作出適當的決策。

然而，在建立如 U2U 這樣的大型專案中，投入的資源十分可觀。據筆者所能查得之資料，估計此專案執行期間之 6 年中至少獲得 586 萬美元(相當於台幣

1.8 億元)以上之政府贊助，由 10 所大學聯合進行，且超過 70 名碩博士生從此畢業——但，以這樣的成本來建構專家系統顯然不適用於每個地方。市場、產業結構、人口、資金、與經濟重心……等等不同因素，不僅嚴重決定能投入多少預算，同時相關的人才鏈也會受到馬太效應影響，更進一步影響可動性。

此外，上述之所提及已發展玉米智農系統之對應地區中，不論是從耕作型態、田區大小、農產利用方式、到生產鏈中的商業鏈角色關係，臺灣皆與國外大不相同，更也難有相同的產業痛點。舉例而言，如美國玉米多為磨粉、飼作、工業、能源所用，多在 R6 形成黑層(Black layer)之生理成熟最終階段採收，同時僅有一季生長季、但大規模機械化生產、且與期貨掛勾，因此主要生產重點在於：根據生長季來規劃種植計畫(包含但不限於：品種選擇、機械出勤行程、所需肥料成本)來最大化利潤空間；臺灣全年皆可為生長季、種植集約、且主要為不能在田間放太久為鮮食使用，故有了不同的樣態。

眼觀國內，尚沒有針對產業痛點可用的農業專家系統。臺灣並非農業大國，現行資源面、人才面上有實際上的限制。換而言之，我們必須得採取不一樣的作法，才有機會完成目標、並為現場帶來改變。

四、 小結

我們了解到：能否確切了解使用者，將是一個系統的成敗關鍵。然而，由於尚無可穩定遵循之方法論，是故本研究中，將會混用跨領域的方法來進行系統開發。

首先，將採用社會科學中之訪查法，對現場脈絡、組織互動進行剖析，確保能對使用者有充分了解——訪查進行的同時，也依本研究室過去對合作現場之先備經驗來規劃資料蒐集，一併推進開發速度。透過兩調查併而進行，藉此在每次的實地訪查中，逐漸聚焦出需求，並作為後續系統開發的基礎。

參、研究流程與方法



本研究，先以訪查了解合作農企業面對的問題，再據此為基礎建構數位輔助系統。本章將先介紹研究流程，隨後介紹訪查法與資料收集。

一、研究流程

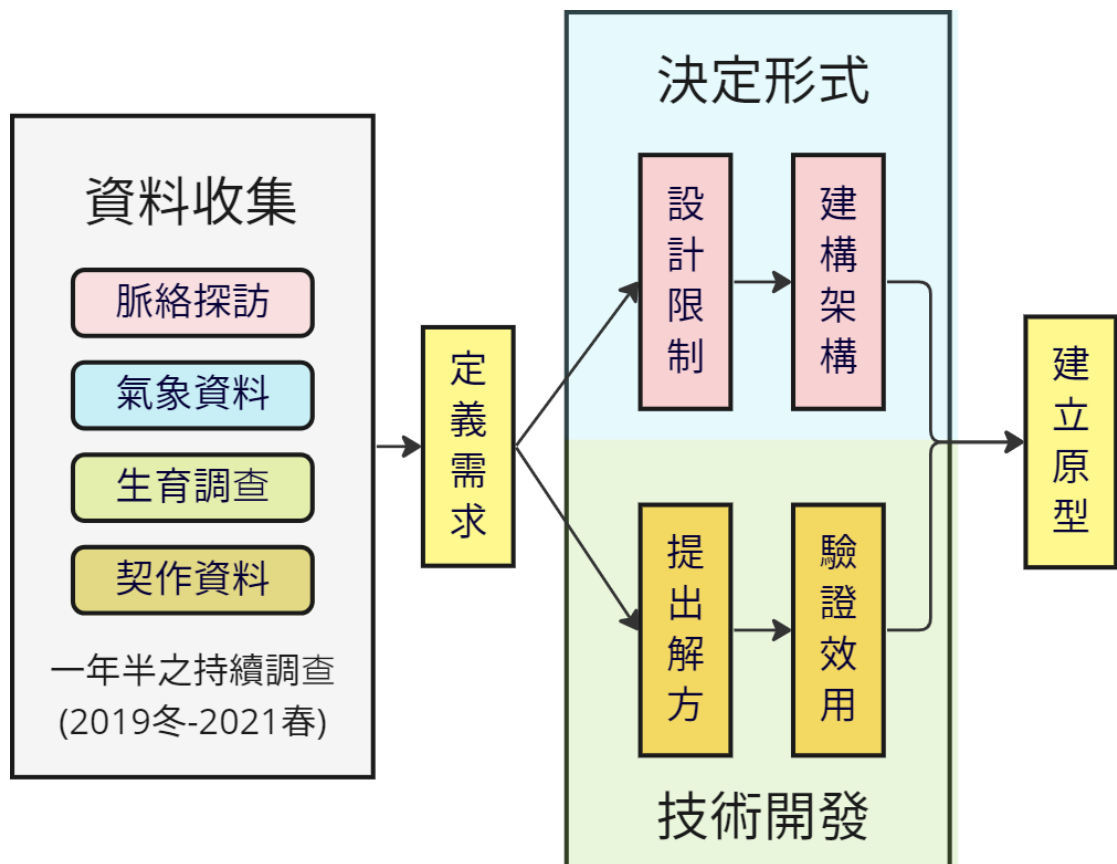


圖 1 本次建立專家系統之研究流程。

本試驗首先將以持續一年半(2019 年秋冬到 2021 年春)之脈絡訪查法來了解現場脈絡、同時持續進行資料蒐集(進行生育調查、蒐集氣象資料與契作單)，以作為後續設計的第一步。

在進行訪查與資料蒐集的過程中，同時也持續對現況進行研析，逐步聚焦「使用者面臨的問題、需求」，藉以為整個系統定調，並開始系統之建構。

系統的建構，將同時分成兩條路徑——於技術開發上，將針對核心需求提出解方、並驗證實際效用，以確保能夠解決使用者所面臨的問題；而於系統形式的

探討上，將訪得的龐大脈絡聚焦成具體的設計限制、洞察，再據此設計整體架構與流程。最後再將這兩者彙整，並以 R 語言 Shiny 套件建立最小可行性產品(minimum viable product)之原型(prototype)。

由於訪查後技術開發、決定系統形式，都將由受到訪查結果決定。故在此章中，僅先介紹資料蒐集與使用之訪查方法，其餘則在對應之章節時再各自書寫。

二、 使用者探訪

本研究中使用的使用者探訪法為脈絡訪查法(contextual inquiry)。

脈絡訪查法原先是來自於人類學田野調查中的一種方法，而後成為了於數位系統建構 UI/UX(User Interface / User Experience)一種的訪查方法——在此將藉此方法能同時處理使用者探訪、建構數位服務的綜合能力，來進行系統開發。

此方法中，訪查者將親身跟著參與實際現場，進而深入了解脈絡以研析問題的結構。相比於問卷(Questionnaire)、結構式訪談(Structured interview)、焦點團體(Focus group)等常用的訪查方法，脈絡訪查法雖能夠得到更深入的洞察，但也顯得更加耗時、也更加仰賴於訪查者的綜合能力(Karen and Sandra, 2017; Wixon et al., 1996)。

現今脈絡訪查法常用於改良人機互動、醫療、教學互動……等脈絡較單純之場域，通常在此進行的脈絡訪查法，會是短則數天、長則數周至數個月的研究活動——然而，農業現場通常以一年為一個操作週期，脈絡也更加龐大。現場脈絡中不只受到人為因素牽動，還有許多自然環境的因素交織影響，令整體之間的脈絡更加複雜。筆者認為，這或許是目前還未見到以脈絡訪查法建構之農業專家系統的原因，但多虧於過去本研究室之林 (2019)已於研究現場中打下一定基礎，故本研究便能在此大膽地使用脈絡訪查法，來對使用者進行訪查。

訪查之時長、頻率、設定

本次研究訪查期間(2019 年秋冬到 2021 年春)，每周至少一次前往雲林，偕同合作農企業之田間人員一起現場工作一整天。途中，將參與其工作內容、了解其感受與看法，同時觀察與其他入之間的互動關係，藉此提取現場脈絡、刻畫工作樣貌，來作為系統設計之基礎。

三、 資料蒐集

1. 契作單資料

本次所蒐集之契作單為鮮綠農產田間人員提供之部分資料，橫跨時序自 2017 秋冬至 2021 年春。所對應之契作農地範圍主要集中於雲林地區中央一帶：北至蔴桐、南至元長、西至褒忠所圍成之三角區域。

在剔除缺失品種名、耕鋤、或因故未記載採收日期的田區後，共記載 22 個品種，總計 1308 筆田區資料。其中，倒數 12 個品種之記載種植次數皆小於 20 次，故在此僅整理出前 10 大的品種筆數，及其對應之資料區間。定植日之分布則如下圖 2，更詳細之資料如下表 1。

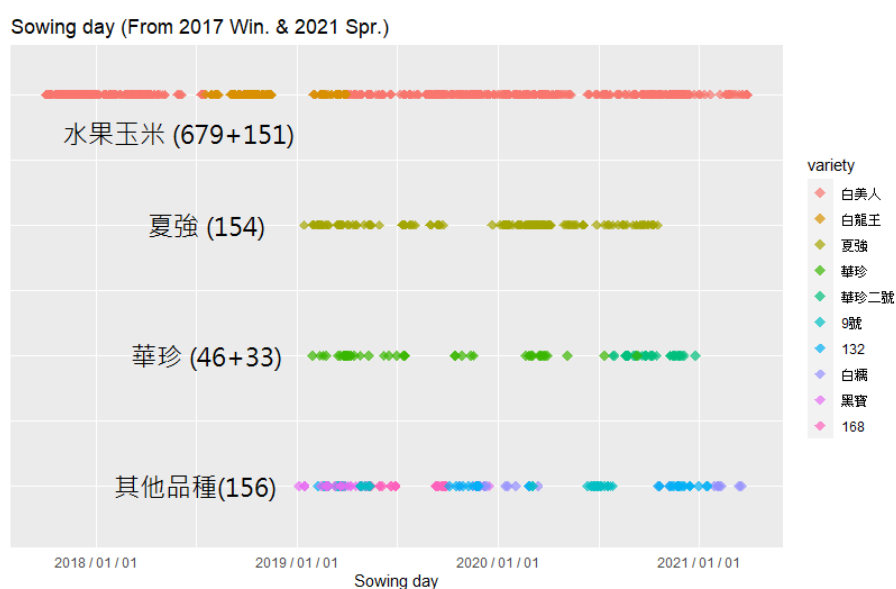
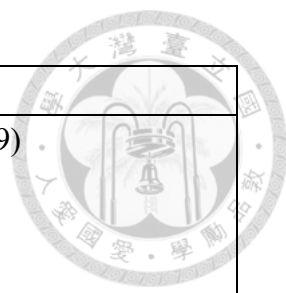


圖 2 契作單內前 12 大品種時序分布圖

表 1 契作單內記載之前 10 大品種、分類、筆數。



品種名	分類	筆數	契作資料定植區間 (筆數)
白美人	水果玉米	679	2017 年 10 月至 12 月 (129) 2018 年 (131) 2019 年 (187) 2020 年 (209) 2021 年 1 月至 3 月 (25)
白龍王	水果玉米	151	2018 年 7 月至 2019 年 3 月 (151)
夏強	黃甜	154	2019 年 1 月至 12 月 (53) 2020 年 1 月至 10 月 (101)
華珍	黃甜	46	2019 年 1 月至 11 月 (32) 2020 年 10 月至 11 月 (14)
華珍二號	黃甜	33	2020 年 7 月至 12 月 (33)
9 號	黃甜	43	2019 年 2 月至 5 月 (22) 2020 年 3 月 (2) 2020 年 6 月至 7 月 (19)
132	黃甜	45	2020 年 2 月 (2) 2020 年 10 月至 2021 年 1 月 (43)
白糯	白糯	30	2019 年 10 月至 11 月 (16) 2020 年 1 月至 3 月 (5) 2020 年 10 月至 11 月 (2) 2021 年 1 月至 3 月 (7)
黑寶	紫糯	27	2019 年 1 月至 5 月 (22) 2020 年 10 月至 12 月 (5)
168	不明	24	2019 年 5 月至 6 月 (10) 2020 年 2 月至 3 月 (11)

由蒐集得之契作單資料中可見，白美人為總數最多之最大宗，亦是鮮綠農產的主力。同時，也僅有白美人的種植是跨年度、全年栽培，其餘品種則不一定，主要集中於特定季節。

2. 氣象資料

本次將使用中央氣象局之公開資料。在鮮綠農產的契作田區的契作範圍中，虎尾站、土庫站處在其中心範圍內，是故將主要使用此二者為主。

3. 生育調查

為針對水果玉米白美人進行之生育調查。有兩個來源：一為林 (2019) 於 2017 秋至 2018 年進行之生育調查資料，其中包含：生育期；二則為筆者於 2019 年秋冬至 2021 春之調查資料，一共 38 塊田，其中包含：生育期、雌雄開花日。



肆、結果

在本章中將先研析現場脈絡，藉以探討出與核心問題結構。接著，會從技術面上釐清問題的結構，並提出對應的技術解方、並驗證是否符合需求與效用。最後，將說明系統互動形式的設計過程、系統架構及使用者歷程。



一、 現狀背景與核心需求之探討、研析

在本節中，將介紹本次訪查之農企業、其身處之互動關係、工作流程，並作為後續系統設計中之重要基礎。

然而，之於本篇研究中，筆者在此不僅是「觀察者」，同時也身兼得對資訊做出批判思考的「設計者」，不能僅以單個角色的角度來書寫訪查結果。外加實際上，這整體的脈絡十分複雜、龐大，得用線性的書寫方式來讓觀者便於閱讀，但卻會遺漏許多資訊、難以開展。是故，為能聚焦重要的資訊、同時保留重要的脈絡，本章將主以「觀察者」角度為主軸切入書寫，揀選重要的資訊並加以梳理；而其他在「設計者」的角度中，同等需要加入考慮、但拉出來書寫將導致失焦的資訊，將以備註補充其中。

1. 合作之農企業介紹

本次合作之農企業為鮮綠農產，為雲林一帶之農業契作中盤商，所對應之契作農地範圍主要集中於雲林地區中央一帶：北至蔴桐、南至元長、西至褒忠所圍成之三角區域，總計涵蓋六個鄉鎮。其以水果玉米、雙色玉米、甜玉米、玉米筍做為主力品項。

核心業務上，由於其角色定位為「具有契作性質之中盤商」，這代表了該公司主要業務有三大面向：

一、確保供貨來源：與農民在農產收成前簽訂契約，透過事先講定收購價格、品質要求，藉以保證供貨穩定，並提前預估可能的供貨量。於筆者進行訪查的時段，為了能夠滿足倉儲、運營所需之規模與現金流，平均在同一時段內會需要管

理超過 120 塊不同大小⁴、地點、品種之田區。而在如：缺貨、或其他需求的少數時候，會藉由向其他盤商調貨來確保供貨來源。

二、集貨、分選、加工、與供貨：於採收後的農產，需經過分選、去頭尾、農藥篩檢等步驟方能符合市場供貨與法規要求。同時，鮮綠農產也透過把控此環節，以確保各分級供貨品質穩定。此點將於後面詳述。

三、尋找下游廠家：中盤商透過分級供貨給不同要求之通路，來將利潤最大化。多數時候，鮮綠農產會與具有長期供貨需求之下游廠家⁵簽訂契約，並在此基礎上，將較好品質之農產品優先供應給對方。而分級下品質較差之次級品，則會再依情況送入果菜市場等大宗傳統通路。

2. 「農民頭」做為支點的契作戶管理機制

在鮮綠農產所經營的區域中，普遍每塊農地的大小約在 2 分至 6 分之間，並通常由不同的持有者⁶所擁有。在這樣的情況之下，契作戶管理機制便成為確保具有足夠多供貨的一大要件。因此，在向下介紹之前，需先介紹鮮綠農產在進行契作戶管理上一個重要的角色：「農民頭」。

「農民頭」，同時也身兼與鮮綠農產簽訂契作之農民中的一員，通常由一地農民關係網中較具有意見領袖地位的農民擔任。農民頭負責管理自己轄區關係網內的農民，主要代替公司協調田間事務、調解紛爭、並時常會尋找新的契作戶加入自己的轄區。功能上，農民頭可看做公司與契作戶之間的協力管理者，而做為回報，鮮綠農產會透過仲介抽傭、優惠等激勵機制以及其他福利，除讓農民頭獲取相應的利潤外，同時也藉此對農民頭保持一定的掌控權⁷、話語權。

⁴ 通常每塊田區為 2 分至 6 分大，且多數坐落於已進行過農地重劃的區域內。

⁵ 如：全聯、7-11……等等。

⁶ 筆者觀察，這些農地持有者，通常透過家族繼承、土地分割得到農地，彼此之間常具有一定地緣、血緣關係。

⁷ 在部分案例中，農民頭並未積極履行其約定好的職責。因此，對應的那陣子，鮮綠農產決定減少其底下對應的簽約量，進而減少回饋給該農民頭的分潤，並以此做為一種箝制。

目的：呈現農民頭、種植者間分群狀態

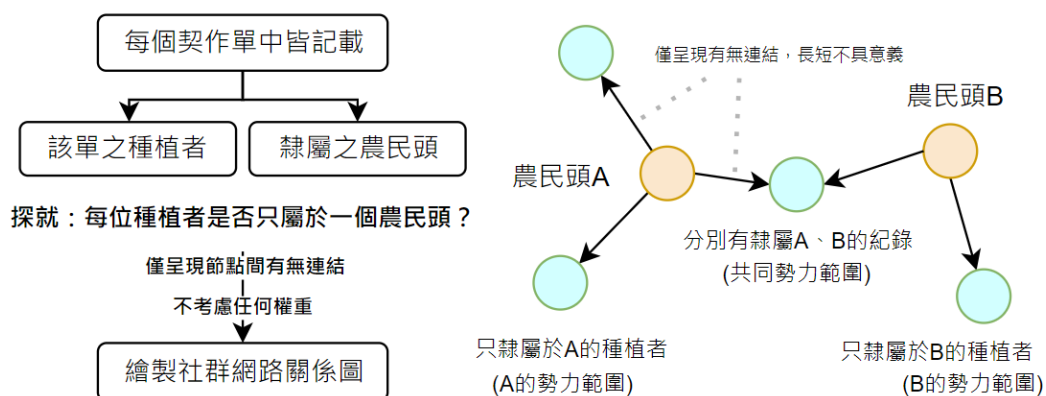


圖 3 社群網路分析之探究架構圖

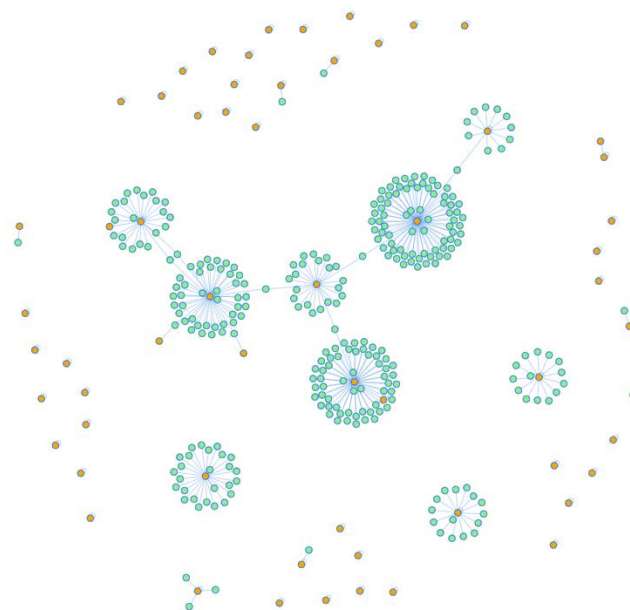


圖 4 以蒐得契作單資料去識別後之社群網路分析之視覺化。

其中，橘色點為農民頭，綠色為一般種植者。於此圖中，僅單純為呈現地方關係網所用，尚不考量總面積、種植次數、品種等其他權重。

為瞭解農民頭之間轄區、地方勢力之確切概念，本次以蒐集得之契作單資料進行社群網路分析(Social Network Analysis)，具體探究流程如圖 3，結果如圖 4。

首先，有 60 個具記載的農民頭中，大型者僅有少數 9 個(夥伴超過 10 人者)，顯示能否成為農民頭，對於社交能力、管理能力具有一定的門檻。再來，各大農民頭間之勢力範圍基本上並無太大重疊，這可能代表每個農民頭轄區中地域性十分濃厚，不同村落間的人並不會互相認識、或彼此之間具有相當的關係忠誠度。更有趣的是，在農民頭的勢力範圍中，也有機會能生出新的農民頭，這或許代表著農民頭機制的回扣、分潤機制對於農民而言，確實具有足夠的誘因——但新農民頭之於舊的農民頭之間的互動關係，在此還不得而知。

農民頭的存在，除了能協助鮮綠農產有效提升管理契作戶的效率外，同時也在彼此之間提供了一層緩衝，除了能以多元的方式解決衝突，為鮮綠農產與其契作戶之間打下了一定的關係基礎。

值得一提的是，鮮綠農產與農民頭之間有時並非只是單純的僱傭關係，同時更像是協同管理的夥伴。可觀察到，部分農民頭在實踐其職責時，會對於自身的角色具有部分的歸屬感、榮譽感、成就感，也進而激勵了他們在這樣的生產夥伴關係中產生了更多元的參與。

3. 種子掌控為源頭的供應生態圈

玉米屬於異交作物，目前幾乎所有的商用玉米種子，皆為遺傳背景多異質結合的 F1 雜交種子。這樣的種子若在收成後繼續播種，則在其下一代 F2 植株之間會產生性狀分離的現象。而現今的農產體系中，市場要求農作產出均一化、相近的規格，使得在實務面上，農民無法透過留種來滿足農產供應鏈的生產供應要求，進而使得「種子來源取得」成為玉米生產中重要的一環。

而此點，更體現在了鮮綠農產與其契作戶的關係建構上，如：鮮綠農產所契作的主力品項水果玉米「白美人」，其種子由國外大量壟斷買進，契作戶僅能透過鮮綠農產此單一管道來取得該種子。這樣的種子掌控，創造了一定的同業競爭門檻，再加上保證了農民預期收入的契作機制，一來一往間便從種植開始建構起專屬的供應鏈生態圈。

4. 田間人員與工作流程——簽約、採收、與其他

與玉米生產的相關事務，主要由鮮綠農產的田間人員進行。對於農民而言，田間人員主要代表公司，處理與田間相關生產事務，對公司內也作為農民的訊息傳遞窗口，是契作體系中與農民、其他生產夥伴最靠近的角色。

田間人員主要有三大事項：與農民簽約、決定採收日期、處理其他田間事務。以下將列點介紹其中的工作流程、與實際現場脈絡。

與農民簽約

立定契約為契作農業最核心的行為，透過契約確保雙方的交易關係。通常，田間人員多會在種植期前後⁸前往農民所在區域簽訂契約，並同時將公司種子冷藏庫中的種子交付於農民。僅於少數遇到缺貨的時刻時，會額外去已經即將收成的田區簽訂交易契約⁹。

簽約採用現場紙本進行，透過定型化的契約範本簽訂。為確保能夠持續供貨，原則上每周都在進行簽約。簽約的量根據季節銷量而定，一般而言，平均每周會需要簽定 6 至 12 個契約單，特別為大月做準備的時刻，每周須完成的契約量就更重，可以達到平常的 2 至 3 倍之多。

農民頭在這樣的工作流程裡起到了很大的潤滑作用。上述有提及，農民頭常是該地方關係網的樞紐人物，而實體簽約恰具有空間、時間、信任上的限制，而農民頭正是透過其空間上地域性的應用、與作為中介角色之雙方信任關係，來使得簽約流程更具彈性、進而能夠順利推進。此類行為諸如：將契約單保管在自己家中，並呼叫對應的農民前來完成簽約，待下次田間人員過來時轉交；同時也做為種子、其他資材寄放的場所；也可以做為田間人員與新契作農民加入時的會客場域，並同時前往田區，將田區位置、GPS 定位歸檔。

簽約時會明確標明記載，以下資訊：契作單號、簽約日期、農民、田區地點資訊、種植日期、購賣種子包數、交易價格、與其他交易細節。在此值得注意的

⁸ 在此使用「前後」一詞，是因為部分農民具有種不完、庫存的種子存量，甚至有時能互相支援，是故農民不必都得在簽約後才能取得種子，是故採用「前後」較為精準。

⁹ 這樣的田區通常為農民頭協助介紹，但品種不一定是對應的品種，如：來自日本的水果玉米品種「白龍王」，雖非鮮綠農產所掌握的白美人，但也能做為水果玉米的品項往下供貨。

是，在供貨管理上「種植日期」是最重要的資訊之一，但之於農民而言此並非重要的資訊——不僅誤記種植日時常發生，在種植前簽約做為預估、實際種植後沒有回頭修正的情況也是常態，同時，多塊畸零田區錯開種植，但簽約在同個契作單的情況也時屬常見。這樣的狀況一時間難以調整，也造成後續資料品質、與田間人員管理上的潛在風險、挑戰。

決定採收日期至交付金額

決定採收日期為田間人員最重要的職責、亦為最繁重的業務。田間人員須決定什麼時候前往不同的田區，並根據現場生長狀況評估能不能收¹⁰、並與採收工班協調什麼時候收。由於此舉將為公司連帶地決定收成品質、倉儲物流日期、與實際要付多少錢，故僅能由代表公司方的田間人員來進行。

工作流程中，「決定何時前往」是此業務流程的起點，但實務操作上，這並非是事先決定的：田間人員在每個工作天中，會根據「最近一期剛採收的田區之種植日」作為最主要的資訊參考，藉此尋找該前去判斷採收日的田區。農民、農民頭做為田區種植者，有時也會提供訊息給田間人員，但由於雙方所掌握訊息不同——農民只能觀察眼下的地即將迎來收成期，田間人員則掌握所有的簽約田區中大致收成次序時程、並對於出貨的品規具有十足的瞭解¹¹——是故農民的資訊回報並非是田間人員最主要的訊息來源，同時也無法保證每次都能有利於¹²採收作業的運行。

採收工班的協調安排採預約制，由田間人員判斷適合的收穫期後，聯絡各地區的採收工班頭，並向他們說明：採收日、田區大小、地點、GPS 位址、欲送往

¹⁰ 在決定採收的當下，採收工可看作尚未付出的成本。當環境太差、病蟲害過於嚴重，導致田間人員判定的經濟產量不合適於收成時，耕鋤、或不收反而是較好的選擇，可同時省下金錢與時間。

¹¹ 雖說田間人員主要業務是在田區跑，但當迎來大產季(通常為過年、中秋、冬季)時，公司場內人手短缺，田間人員會需要到加工場加班一同幫忙。此現象也使得田間人員對於品規的掌握十分有充足，並能藉此幫助到現場的採收期判斷。

¹² 據訪查，過去曾有交給農民自己決定收割期，但最後雙方之間對於收成品規的判斷不一致，因而產生糾紛，是故現在都全權交給田間人員負責。

的分選場與工錢。採收工班會在晚上出動，以密集人力¹³以鐮刀對看起來合適的植株進行採收作業，在完成採收後，會在清晨前將玉米載至約定好的分選場。這樣的工作時段恰好和一般農戶、鮮綠農產的田間人員剛好錯開，是故在採收工班的預約上，雖原則上以近兩天至四天內的採收為常態，最遠可以約至一周，但最臨時者也可以當天預約。

在採收工班將玉米送入分選場後，玉米會繼續在室溫下等待數個小時不等，至清晨時分便會開始進行初步分選作業。這類分選場是在地關係網中的重要一份子¹⁴，工人多由在地年紀超過 65 歲以上的高齡從農人口組成，且多為經驗豐富的年長女性。初步分選全依靠人工，透過視覺判斷、觸摸感知玉米的形狀進行分選成可用/不可用兩類，最後會外觀良好、無明顯蟲蛀孔、缺粒、跳米的可用玉米裝入網袋，秤以固定的公斤數打包後，再經由不同通路¹⁵送回至公司廠房中。

鮮綠農產的廠房除了具有冷鏈、集貨場的倉儲性質，同時也因購入對應的清洗、切削、包裝設備具有加工廠的功能。在玉米送入公司廠房後，便交由場內人員進行後續作業，這類作業包含清洗、加工、分級、包裝、農藥篩檢、保存、出貨。有時¹⁶玉米會經過進一步分級，並依品質優良程度依高至低分為 A、B、C 三等，來做為給予不同通路的供貨分流。而對於農民來說，秤重、算錢的時間點十分重要，通常會自進入廠房前後才正式算起，

¹³ 據訪查結果，這類人力通常為違法聘僱的外籍移工。雖因種種原因，筆者無法親身參與其中掌握確切證據，但由於在當今農村勞動力不足的時代背景下，農業移工一直是近年重大的農業隱形議題，且這樣的社會脈絡將大幅影響到後續系統的設計思維、互動限制，故仍在此備註。

¹⁴ 有些農民頭家中同時也開設分選場，或是在產業鏈上有更多樣的參與——從此也可以看出，在地農產鏈本身即為地方關係網的具體而微，同時也是農民頭之所以能為農民頭的形塑脈絡。只是在此以半外來者視角書寫脈絡時，便會後設地判斷為「具有密切的關係」。

¹⁵ 如：最常見的貨車外，有時也會由田間人員所駕駛的小客車協助運回。

¹⁶ 分級並不一定會發生，僅在認為「有需要分級」時才會啟動。同時分級後重量的資料也十分缺乏，除了可能和缺乏電子秤、資料庫系統串聯有關，更大的缺乏是足夠誘因。即，對下游廠商來說水果玉米在收購上是珍貴的，不管今天有多少就會直接收多少，也因此不具備需要記錄來管理細單項進銷存的動力。換而言之，可以看出，實際上若欲對鮮綠農產的工作流程進行改善，產期預測之重要性將遠大於產量預測。

鮮綠農產的會計人員，將根據品質、實重來計算支付金額——只是品規基本上由契約甲方鮮綠農產來判定，而雙方對品規的判定與想像存在模糊空間，並缺乏第三方的實物依據基準，更重要的是：算錢時，貨已進倉但錢未匯出，爭議空間的存在與雙重原因造成的話語權不對等，因此有時難免有爭議產生¹⁷。

其他田間事務

除了與農民簽訂契約、決定採收日期外，鮮綠的田間人員亦有其他的事務，包含：生產履歷登打、代為運送物品、接待外賓、協助廠房內作業、農藥篩檢……等等。而其中，最重要的便是生產履歷登打，在此將加以著墨。

通常認知上，會認為生產履歷會由農民進行登打。然而，在鮮綠農產與農民的契作體系中，非農民頭的契作戶流動率非常高，有許多不固定的短暫參與者。也因此，難以要求每個農民都自行登打生產履歷，即便以契約要求，此舉也可能會成為建立關係的障礙。

是故，登打生產履歷通常會由鮮綠人員在巡田過程中統一代為進行。通常會將一地的許多田區彙整至同一個帳號、名義¹⁸來登打，進而方便操作、查詢。而在訪查期間，筆者發現這樣的登打行為並不固定，會根據不同外在條件而調整，如：「該時候是否有其他合作單位¹⁹」，藉此決定登打的行為模式、頻率、與上傳的資料²⁰。

¹⁷ 但同時，這樣「人治」的行為並不一定會對於農民有所迫害。在特定時候，如：2020 年度附近的秋行軍蟲盛行、部分時節的連續暴雨淹水，此時基本上每塊田所產出來的玉米品質都不如往常，此時在品質與價格的判定上就會比較寬鬆，讓農民能夠好過一些。

¹⁸ 通常帳號會是農民頭的名義、或是鮮綠農產的名義。

¹⁹ 其中一個例子是，當時鮮綠農產與另一單位在試用新的生產履歷登打軟體，便就使用它來猜做。另一個例子是，隨著某個電商通路的要求，因此生產履歷的登打行為又有所變動。

²⁰ 但更詳細一點的資訊，便可能屬於與其他單位的合作案機密，且此行為可能處在資訊取得上的灰色地帶。是故，筆者在此並沒有刻意深入訪查，以避免損及相關權益人利益。

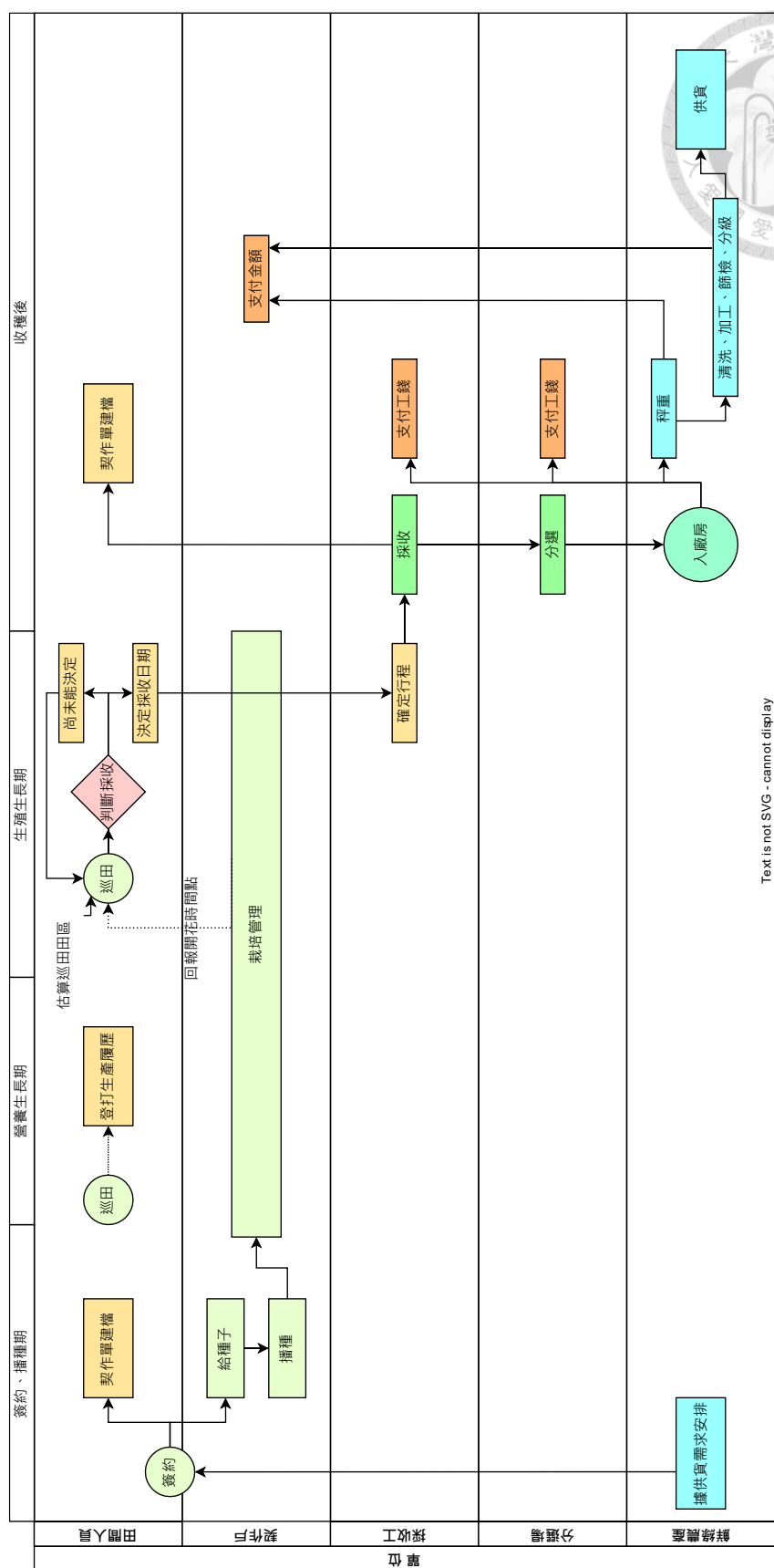


圖 5 訪得之超甜玉米生產流程之工作流程泳道圖。

5. 核心議題——作物生育期預估

全年耕作供貨，造成壓力

我國過去玉米以春作、秋作、裏作三作為主，較有固定的時間可依循——然而在水果玉米的供應鏈中，須保持每天都有新鮮的採收供應，也因此在此等供貨壓力下，實務上並無法採用過去集中於春、秋、裏三作之栽培習慣，而是得採取每周皆有十餘塊田區播種的耕作模式來應對下游端的需求。這也因此導致的是：農民面對未知的產期、栽培過程不容易掌握，在外加上水果玉米本身為病蟲害較不易管理的品種，是故如何能穩定地栽培，整體上其實面臨不少壓力。

企業、農民對於採收品規判定不一

而這樣的挑戰，不僅只留在農民負責的田間栽培裡，同時也順帶地影響了農企業對於出貨品質的管理。根據契作單紀錄，同一時間內農企業至少需同時管理超過 120 塊不同品種、不同栽培期、不同地點的田區。然而，由於水果玉米不具「轉色」之生理特性，使得對於最關鍵「果穗的成熟程度」認知上，農民端與農企業雙方難有共同認知，用語不盡相同(見下表 2)。

表 2 訪查所得之熟度判斷比較表。

生理時期	R2 後期	R3 初期	R3 後期	R4 初期	R4 中後期
鮮綠農產	3 分熟、 R2	4-6 分熟、 R3	6-7 分熟、 R3	適採期 7.5 分熟、 R3R4	過熟、 之前的採收標準
農民 A	2 分熟	3-4 分熟	5-6 分熟	6 分熟	適採期 7-8 分熟
農民 B	2 分熟	4 分熟	4-5 分熟	5 分熟	適採期 6-7 分熟

採收期的判定是影響品質、收購價的重大具體決策。契作戶與鮮綠農產雖各有自己的判斷，但由於鮮綠農產在收購後將承擔出貨品質(亦因是契約甲方而有足夠的可動性)，故在缺乏共同物證基礎的情況下，現行採收期皆由鮮綠農產的人員判斷為準。

同時，我們也能觀察到在表 2 中，對於適採期的描述雖都在 7-7.5 分熟左右，但實際上農民認知中的適採期往往比鮮綠農產更加晚。而筆者認為這樣的偏好，可能背後有幾個原因：

(1) 許多的農民過去是做黃甜玉米的專業農，但水果玉米是近十年內興起的品項，其適採期較黃甜玉米來得早、且沒有轉色事件。是故在缺乏共同物證輔助、與來自下游端的回饋下，在判斷適採期時仍沿用了過去的經驗、因而有了較晚採收的偏向。

(2) 潛在的邏輯為：簽約上明訂單位重量之契作價格，農民方的成本在基本已經隨著田區大小固定，故農民可能潛在地希望收穫的交付重量越重、即在田間放得較久幾日，進而賺取更高的利潤空間。

此外可以注意的是，鮮綠農產在判斷合適的品規上其實一直在調整。從筆者訪查中得知：於本研究前位成員於 2019 年發表研究，指明出可能當時採收稍稍過熟後，鮮綠農產隨後開始調整採收期、與對於品規判斷的稱呼。對於品規判定的快速更新發生在鮮綠農產上，他們能在短時間內透過同時段好幾塊的田區來摸索、建立新的品規認知，然而這樣的調整速度，基本上是農民無法跟上的。也使得實務上最終採收供貨管理的重擔，更難以透過農民、農民頭的協作機制來分散，基本上得全由公司確認後擔任，這除了加劇了採收管理上的挑戰，潛在地成為往後擴張契作規模時的一個瓶頸。

生育期的掌握具有重大意義

玉米根據不同用途之訴求，則有對應的採收期，如：玉米筍通常於 R1 階段採收、飼用硬質玉米於 R6 形成黑層(black layer)乾燥後採收——而鮮食玉米則常於 R4 階段採摘，此階段基本已完成大部分的籽粒充實，水分含量、可溶性糖類達到頂峰(刘鹏 et al., 2003)。水果玉米屬鮮食使用，其中又訴求多汁、鮮甜的口感，故通常會希望於剛從乳熟期(R3)轉進入糊熟期(R4)時採摘。此時的籽粒剛灌漿到最頂峰、尚未開始乾燥，大部分的游離性糖類也還沒被合成為儲存性物質(如：澱粉)，故能具有最佳口感。



圖 6 白美人之正常籽粒與受到其它品種花粉干擾之顏色對照。

其中白色粒為正常白美人籽粒顏色，黃色粒則為受到其它花粉干擾之籽粒顏色。由於相片中之白色與黃色之判別，將嚴重受到相機之白平衡色溫設定影響，故此以對照圖顯示其差異。

籽粒呈色上的轉變，是從 R3 轉進入 R4 階段時一大之生理特徵，其中糊粉層上細胞內將堆積色素，進而使外觀從原先的白色轉變成對應的顏色²¹，也成為了用來判斷成熟度十分重要的依據。然而，目前鮮綠農產所栽培的水果玉米(如：白美人、白龍王……等)，由於種子之遺傳背景緣故，導致糊粉層內不具有明顯色素堆積，便在 R4 階段後外觀仍呈現白色——換而言之，就是「轉色」此一重要的生理事件不會發生(如圖 6 所見)，也使得現場的判斷上有了困難。過去種有色玉米的農民，習慣根據「轉色」作為採收的判斷依據；曾種植白玉米(如：台南 22 號)者，其採收之需求與水果玉米所需不同，且水果玉米對於時間掌握還更加嚴苛，經驗上亦不易移轉、適應。

²¹ 如：黃色、紫色……等等。

水果玉米之品質同時對於採收期之延遲較為敏感。根據田間人員、與過去林(2019)之經驗：過晚採收的水果玉米，口感上不僅有所流失，也容易具有較高的搬運損壞比率²²。也是故，如何精準掌握水果玉米的適採期，將是一大技術突破關鍵。

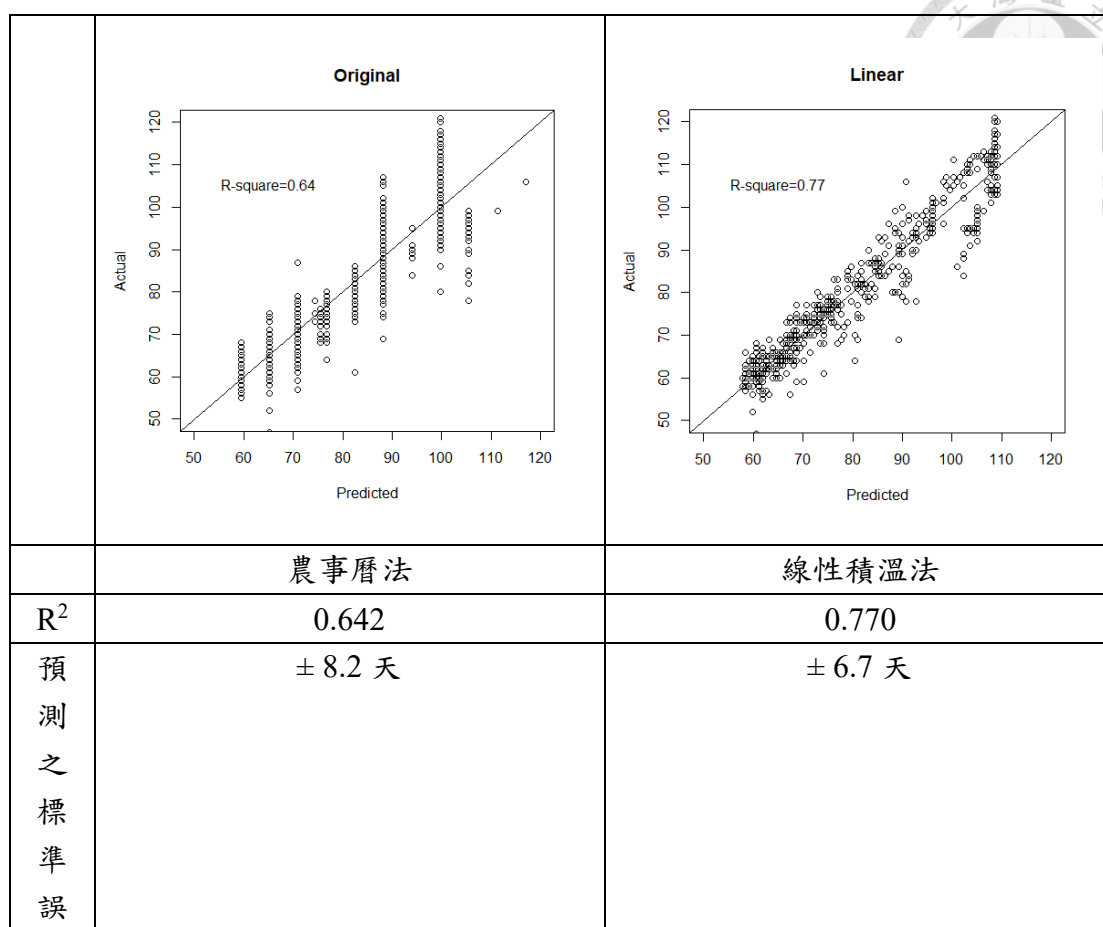
田間人員反應——農事曆法、簡單積溫法一樣不大具有參考價值。

鮮綠農產現行對於田區的管理方法，主要透過固定農事曆來進行管理。而過去與本實驗室合作下，鮮綠農產也曾嘗試導入簡單積溫法進行計算——然而，根據田間人員反應，其準度與農事曆相差不大，評價為「僅做為參考，但一樣地不具有最終的參考價值」。同時可以觀察到，簡單積溫法需要天氣資料支持，然而對於田間人員來說，這些資料得自行在辦公室時下載公開資料整理後方可計算使用，與其多數時間的工作型態不符。在此雙重情況之下，簡單積溫法對於田間人員成了一個「既不準確、又花成本」的無用功，故絕大多數情況之下，仍僅採用數年工作累計出來的現場反應經驗來應對、管理。

由上段，可以觀察到田間人員對於簡單積溫法的不信任，來自於準確度與傳統農事曆相差不大。為檢驗是否準確度差異的確不大，故在此以兩種方法對 391 個白美人田區之 Prediction vs Actual Plot 來進行探究。

²² 此點為經驗上之觀察，暫無足夠之資料佐證。

圖表 1 農事曆法線性積溫法之比較結果。



根據圖表 1，可看見農事曆方法之 R-square 為 0.64，簡單積溫法之 R-square 則為 0.77，在預測採收期的能力上，兩者並無太大的差異。農事曆法的預測之標準誤差為 ± 8.2 天，簡單積溫法則為 ± 6.7 天，但此等誤差在農業實際現場是不可接受的。實務上，由於需預留田間採收管理的工作時間緩衝，最遠在一周內的採收還算能夠管理，一旦預測之誤差超出此範圍，便不具有足夠的參考價值。而考量到水果玉米的適採期(根據田間人員的經驗與認定，在夏天為 4 天左右，冬天為 7 天)，理想上可能於 ± 3.5 天之內會十分有用。

不過，還有個潛在更大的挑戰是：實際上種植的玉米遺傳背景並非固定——實際上，鮮綠農產不僅常常試種、開發可能的新品項，而且同家供應商不同年份供應之種子，遺傳背景會有些許不同。根據與田間人員一同工作之訪查，單就水果玉米「白美人」品項上，於實驗調查期間便至少更換了 3 家不同的種子來源。同時，每批種子源之間，栽植下來性狀確實有些許的不一樣。然而這些資料並沒

有被可溯地記錄下來，不僅對未來生育管理上造成潛在的可能風險，也成為接下來的系統設計上的一大挑戰。

綜上所述可知，若需提供「更準確的生育期預估」，將需要同時達成：(一) 將預測之誤差壓縮到一定範圍內 (二) 能對於未來未知的種子源具有適應、學習彈性，方發揮真正的實用價值。

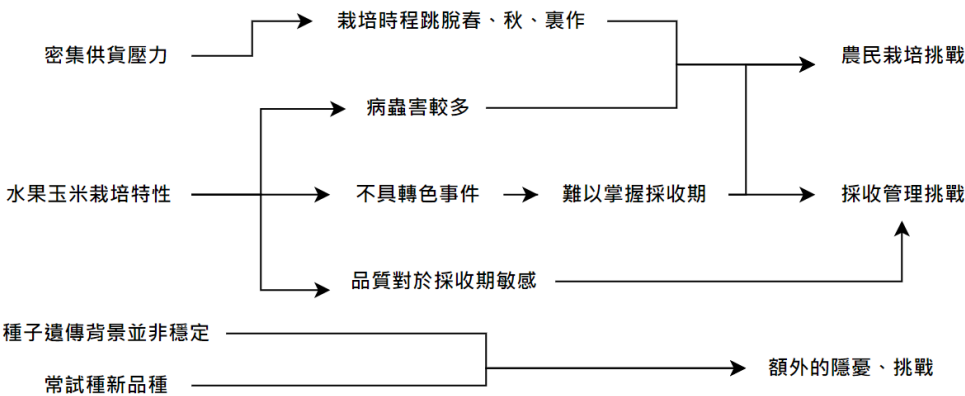


圖 7 核心議題之脈絡架構圖。

二、有效積溫作物參數最佳化演算法之開發



1. 作物生育期預估所遇之問題釐清

線性積溫法在熱帶區域遭遇的限制

「有效積溫法」(Growth Degree Day) 是用來預測作物物候的一常用方法，透過描述作物生育發展與環境溫度之關係，來推估生育期的日數。其核心概念為：作物在環境溫度一定臨界溫度 T_{base} 後會開始生長，透過函式描述溫度的生長量的關係，來算得該區間之生長進程。

$$GDD_t = f(Temp_t | parameter_j)$$

不同的算法、輸入資料之時間單位所描述之關係將有所不同。在此，鮮綠農產過去所導入之積溫計算方法為簡單積溫法：其假設在超出臨界溫度 T_{base} 後，溫度增加與作物生長之關係為正向之線性關係，並設定玉米生長最低臨界溫度 T_{base} 設為 10°C ，其算式為：

$$GDD_t = T_{mean} - 10$$

然而，這樣的線性增長關係並不能無限制地使用(Bonhomme, 2000)。生物活性的增長具有飽和性，一旦作物生長之推進會來到某個高點，活性便不再隨溫度增加而線性提升；同時，在更高的溫度下時還會因遭受熱逆境，進而使生長速率反而遞減、或是死亡。因此，單純地使用簡單積溫法進行估計，則容易因為高估有效積溫，進而導致生育期推估上、或訂定生育期尺規的誤差。

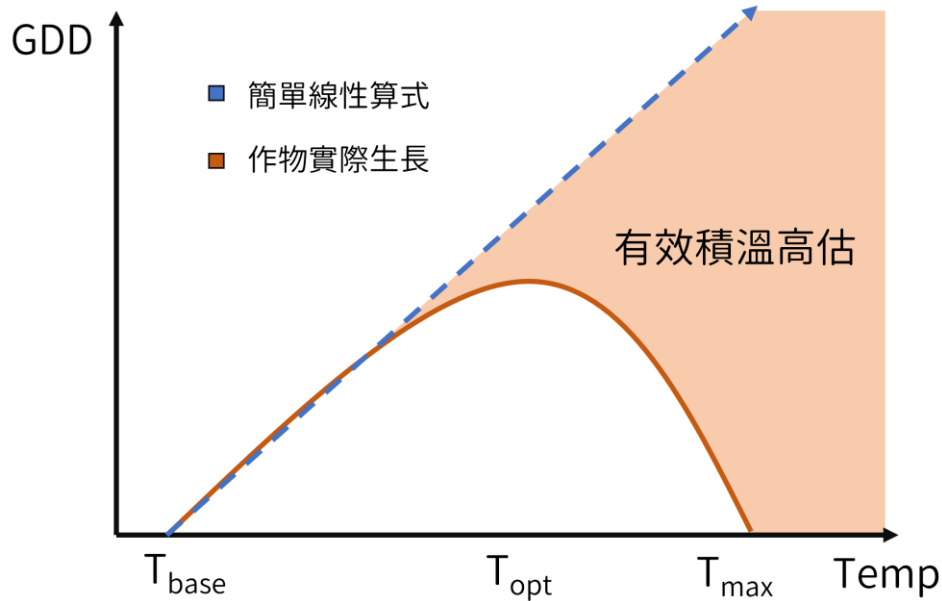


圖 8 線性積溫法於高溫下可能遭遇之有效積溫高估。

臺灣係屬亞熱帶國家，天氣較溫帶地區較為炎熱。然而，據現場了解，水果玉米的背景多屬於為溫帶種原，理應難以完全適應臺灣夏季的炎熱氣溫。是故在此，能合理的推測：若在臺灣以簡單線性法計算下，發生了「有效積溫高估」，則可以在夏天等較炎熱之季節中，發現「同生育期出現整體預測值之上升」之趨勢。而此點可由過去本研究過去生育調查記錄中佐證(圖 9)可見得，在圖中，可看見各生育期皆有在夏季積溫值共同上升之趨勢，也近一步說明有效積溫之高估的可能存在。

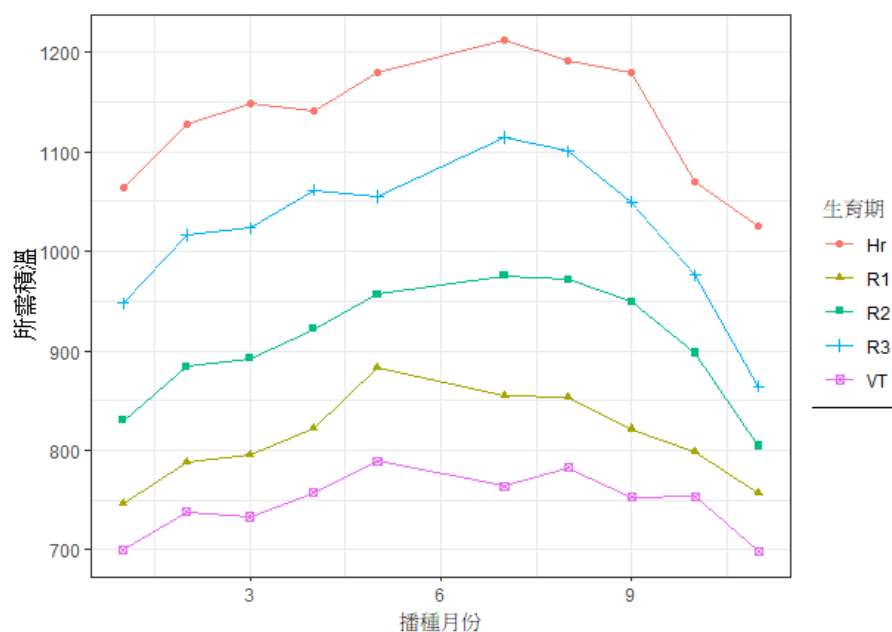


圖 9 本研究室過去記載之白美人有效積溫值，修改自林 (2019)。

然而，儘管在此觀察到的趨勢吻合，但由於夏季之中日照時間、溫度上升常是難以拆分開來的因子，因此還不能直接下結論是由有效積溫高估造成的，得先考慮是否有光週期的影響後，才能決定產期預測的設計方式。

排除本研究中光週期造成的影響

玉米屬短日作物，且生育期長短會受到光周期變化而影響。一般而言玉米使用的光周期臨界值以 13.5 小時為界(Kiniry et al., 1983)，在此點以下光週期對開花期不具影響，但超出此點之後，生育日數便會隨著光週期而線性增長。而這樣的生育日數增加，並非來自於雄穗發育的分化時間延後(Kiniry et al., 1983)，而是來自於營養生長期延長，進而使得作物生長延長(Birch et al., 1998)。

雲林一年間的日照時長為在 10.5 至 13.5 小時間，低於文獻記載之臨界值，是故可以排除光週期對於白美人的影響。透過這樣的考量與剖析，我們了解到：在本研究中，無須透過光週期對營養生長期的有效積溫做出對應修正，進而問題便聚焦在「如何引入對高溫有修正之積溫算法」上。

導入新積溫算法的門檻：選擇合適的作物參數

隨著作物模式發展，已經有不同的有效積溫算法能夠取代原有的線性計算公式，如：在原有的線性算法加上飽和點的拐狀算法(McMaster and Wilhelm, 1997)、以簡單幾何形狀發展的三角形算式(Zheng et al., 2014)、或是以指數函式為形式(如：Beta 函式)之非線性計算方法(Kumudini et al., 2014; Zhou and Wang, 2018)，亦有透過模擬氣溫數值來回推計算當天區間累計之算法(Cesaraccio et al., 2001; Higley et al., 1986; Zalom and Goodell, 1983)。

然而，在引入新的有效積溫之計算方式時，仍面臨一些需解決的挑戰。

首先，在導入這些公式時，需額外導入對應的作物參數——值得注意的是，不同方法中所使用的參數有時會具有不同的生理意義，不能混用。

一般來說，這些作物參數往往得由參數化試驗來求得，但隨著新方法的提出，對應各個作物的參數化試驗並沒有連帶地被更新出來。實際上，僅有少數作物品項(如：小麥、玉米、水稻……等常見主流研究作物)在某些研究中，完成了一部份的參數化實驗。但問題依然存在：田間與實驗室存在極大差異，文獻中的作物參數能否足夠可靠，仍是實踐上的一大阻礙。

對於田間操作而言，真正實用的方法將是「從田間資料來校正作物參數」的方法。這類型研究多於 1990 至 2000 年代提出的數值計算方法，然而，這些研究多是在線性積溫的算法上進行校正(Snyder et al., 1999; Yang et al., 1995)，且多專注在基礎溫度(Base Temperature)的校正，並無法滿足後來的新積溫算法所需要的其他作物參數。也因此，如何以田間資料逆向找到作物參數，便是現今引入新積溫算法上十分大的挑戰。

同時不能忽略的是，現狀如同前面一節所提及：農企業不僅所使用的玉米種子遺傳背景無法一致，也常會嘗試、評估新的品種與品項。並且，在實務上不具備進行精細生育調查之能力、誘因，僅能產生簡單的物候資料²³。更可藉此預見：在農企業導入更進階之有效積溫算式後，則後續參數之維護、更新，將是持續下

²³ 尤其與操作相關者才容易被記得，如：追肥(約對應在 V8 輪生期)、噴藥(約對應在 V10 至 VT 拔尖期)。這類與物候相關之生產管理事件，較容易留下物候資料。換而言之，我們能將農民視作物候事件的觀測者，從對應的操作事件中，反向將學理定義之玉米生育期對照上去。

去的一大阻礙。因此筆者認為，應當關注的不僅是「如何利用現場物候資料來優化既有的作物參數」，且此流程必須能作為一開放式之資料驅動計算流程，在賦能同時減少後續人員應用上的負擔。

在此，本研究將提出一新的有效積溫式之動態參數最佳化演算法：其透過既有物候資料最佳化有效積溫參數，期盼藉此滿足現場需求。同時，在若此方法足夠可信之下，其也可視為一種快速求得作物參數之方法，進而減少參數化試驗的需求。此舉除了將使農企業具有更準確的生育期預測來輔助工作流程外，也使得農企業無須進行精密的參數化實驗，也能快速地針對任何一個未知品種進行評估，進而加強其利基之發展、調適能力。

2. 以物候資料最佳化作物參數之貪婪演算法

本節中，將說明「演算法之設計思維」與「運算方法」，而後在下一節中以本篇研究之白美人資料進行驗證，測試其預測準確度、與實際場景上的可靠性。

最佳化演算法背後假設、想法、邏輯

在使用有效積溫法的田間操作中，通常假設「在不同的環境下，作物對於溫度的生長反應關係仍是足夠均質」，也因此實作上僅透過有效積溫此單一指標來進行判斷生育期。本研究也將沿用此假設，是故理想上，有效積溫與生育期的對照呈現接近一對一關係——即相同的生育期總具有相近的有效積溫值、而相近的有效積溫值總能代表相同的生育期。而能否達到這個關係，則要看有效積溫算式是否能確實地反映出作物的生長進程。

明顯地，若使用了不當的有效積溫算式，且其在估計上無法適當地反應生育期進展的話，則將進一步加大這樣的變異。當這樣的變異大至一定程度，在同一有效積溫上複數生育期之混淆、誤判可能也就隨之增加。這除了代表此方法背後預設之一對一之關係受到動搖、與預測準確度的減少外，亦降低了此方法的可靠性、與人員使用之信心。是故筆者認為實用上，一個良好的有效積溫計算公式——與一組對應的參數集，應該具備十足的「可靠性」，即：

對於同一個物候事件，其預測值之變動範圍越集中，則可稱其可靠性越佳。而在許多文獻中，如：Snyder et al. (1999)、Kumudini et al. (2014)與 Zhou and Wang

(2018)，也抱持相同的思路。沿著這樣的觀點論述，我們可以透過同一物候資料組中，每筆資料有效積溫值之變異係數(一非介量之變異程度指標)做為評估指標。可將其表達如下：

$$cGDD_{i,H,j} = \sum_{t=1}^{D_i} GDDfunction_H(GDD_t | parameter_j)$$

$$Score_{H,j} = C.V \text{ of } \{cGDD_{i,H,j} \mid i = 1, \dots, n\}$$

其中， $cGDD_{i,H,j}$ 為：在對應的函式 $GDDfunction_H$ 與參數集 $parameter_j$ 下，以第 i 筆物候資料區間中算出來累計有效積溫，而 $Score_{H,j}$ 則為 n 筆資料算出累計值 $cGDD_{i,H,j}$ 之變異係數。這樣的指標，將在最佳化的流程中幫助我們挑選最佳的參數集，進而提供更高的可靠性。

以貪婪搜尋法完成參數最佳化

由於這些非線性之有效積溫式，難以直接在參數空間中找出對應可靠性表現的分布，來找到正確解。是故求其次，以迭代計算之快速進行最佳化來找到滿意解，將是可行的方式。

在此，筆者選擇引入貪婪法(Greedy algorithm)之概念進行最佳化，其背後概念為：將母問題拆分為若干之子問題，透過在解決每個子問題時皆選擇以當下之最優解，以期望達到最佳結果的演算法。將此概念引入最佳化的流程之後，便可以將原本之母問題、子問題做以下描述：

■ 母問題：找出一組參數，使得同一物候事件之有效積溫值之計算值變異係數最小。

■ 子問題：從一組現有之參數為中心，不斷尋找、並移動至鄰近範圍內表現最好的參數位點，直至所在此點周邊無更佳者為止。

上述在貪婪法視角下的母子問題拆解，讓最佳化從求值問題成為了一個搜尋問題——更精確地來說，成為了貪婪搜尋(Greedy Search)的過程(Feo and Resende, 1995)，其進行過程如下圖 10。

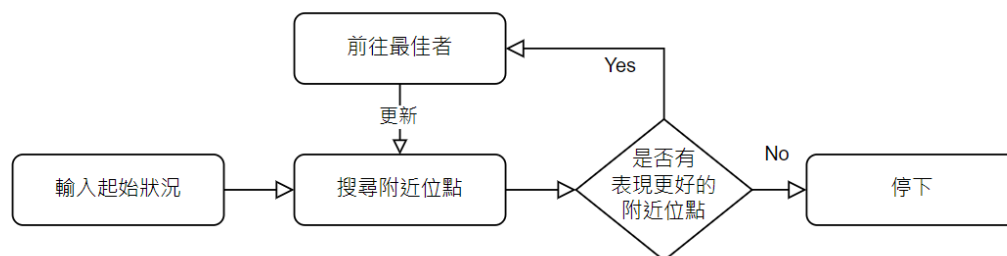


圖 10 貪婪搜尋法之流程圖。

也因此，我們可以這樣理解的它的行進過程：在選定一起始參數位點作為積溫作物參數後，持續檢查鄰近是否有表現更好(即同一物候事件之 CV 更小)的參數位點，並持續移動到最好的位點，直至附近沒有表現更好者。簡單而言，最佳化的過程就如同於濃霧中爬山，每次都只往周邊最高的地方移動一步(選擇表現較佳之參數、並更新位置)，並持續此過程直至此點周邊無更高者為止。

這樣的算法可以快速地進行最佳化，其所得解為局部最佳解。而同時為求效率、並令得出之結果方便易懂，是故將參數之搜索範圍設定在整數做為限制，進而更進一步地減少步數。

Pseudo-Code

Algorithm 1 Greedy parameters optimization for GDD function.

Input:

gdd_function = The GDD function to be optimized. 對應之有效積溫函式。

parameters = An ordered Set of m parameters (such as: T_{base} , T_{opt1} , T_{opt2} , T_{max}) for beginning, related to *gdd_function*. 一開始所使用的起點參數，須由小排到大，須設定起始值。

step = 1. Representing how far procedure goes each time. 每次進行最佳化搜索的範圍。

Field_data = A given metadata of the same phenological event records, including: *duration of events*, and *corresponding daily temperature of the duration*. 現有之相同物候事件之田區紀錄，其具有對應物候事件之起迄、與對應區間之逐日均溫。

Output:

NEW_parameters = parameters after optimization.

Procedure:

$cGDD_collection \leftarrow \{ \text{sum of } gdd_function (Field_data_i, parameters) \}$
 $i=1, \dots, n$. A set of cGDD values for all events in *Field_data*. 在起始條件下，所有物候事件區間算出累計積溫值之集合。

$Min_CV \leftarrow$ Coefficient of Variance of *cGDD_collection*. 計算 *cGDD_collection* 之變異係數，做為接下來挑選參數的標準。

Loop

#生成欲搜尋之鄰近參數組

candidate_list $\leftarrow$ A $m \times 2m$ list, generating from enumerating all results from adjusting only one element in *parameters* by $\pm step$. 逐項列舉每次僅更動其 *parameters* 中一項參數 $\pm step$ 之結果，作為最佳化之候選參數。

candidate_list $\leftarrow$ (if needed) Adjust every elements of *candidate_list* if it's out of the boundaries. It's a constraint of *parameters*. 調整參數，以致其值不超出限定範圍。在參數有限制時使用。

$candidate_list \leftarrow$ (if needed) Sort elements in each row of $candidate_list$.
It's a constraint of $parameters$. 對每列由小到大排序，在參數之間有大小關係時使用。

#計算評分

For (j from 1 to $2n$)

$cGDD_collection_j = \{ gdd_function (Field_data_i, jth \text{ row of } candidate_list \text{ as parameters}) \}, i=1, \dots, n.$

$Search_CV_j \leftarrow$ Coefficient of Variance of $cGDD_collection_j$. 算出在每組 $candidate_list_j$ 為參數代入下，計算出之有效積溫值的變異係數。

#揀選、更新

以 C.V 值為低之參數組和為新的參數起點，回到(1)

若無更低者，則該參數即為所求。

$k \leftarrow$ k th element of $Search_CVs$ is minimum. 找出 $Search_CVs$ 最小之位置。

$Tmp_CV \leftarrow Search_CV_k$. 令 Tmp_CV 更新為 $Search_CVs$ 最小值。

If ($Tmp_CV < Min_CV$) **then**

$Min_CV \leftarrow Tmp_CV$. Update Min_CV to be the newest minimum C.V.

若 Tmp_CV 較已有之 Min_CV 還更小，則更新最小紀錄值。

$parameters \leftarrow$ k th row of $candidate_list$. Update $parameters$. 將中心移動至新的參數位點上

else break.

Return $NEW_parameters \leftarrow parameters$ 回傳最終最佳化後之參數

3. 效用驗證與實際可靠性

驗證方法與使用資料

由於本研究所提出之演算法為對「具有多作物參數之有效積溫算式」進行修正，但實際上將搭配特定的積溫算式成為物候預測流程後使用，故先在選定之積溫算式後，將以四個階段一步步驗證其效力，分別如下表 3。

表 3 驗證效力的四個驗證階段、說明。

驗證階段	說明	使用資料
(一)最佳化能力	自合理範圍中隨機不置回地抽出作物參數組，查看作物參數經最佳化前後的效用提升。	田區資料： 2017 年至 2021 年之 62 塊具生育調查白美人田區。 氣象資料： 中央氣象局之虎尾測站(缺值以土庫站補，可見 84 頁附件一：氣象資料與補缺值方法之探討)。
(二)預測準確度	對額外的資料繪製 Predicted vs. Actual Plot，並此方法相較於線性積溫法之增進。	作物參數： 選自上階段中得出最佳化結果。 驗證田區： 2017 年至 2021 年間 391 塊額外白美人資料。
(三)資訊可靠性	做出的預測時間點所帶來的預測誤差，將會影響到實際的決策效果。在此模擬過去田區中逐日預測結果，來觀察生育下推進預測誤差的收斂關係。	作物參數同驗證階段(二) 其餘同驗證階段(一)。
(四)面對新品種之穩定	對現有田區資料重抽樣、模擬，了解不同方法在學習新品種資料上的預測效果成長。 並使用 paired t-test，觀察從第幾塊田開始，新方法將比起線性積溫法有顯著的預測增進。	作物參數同驗證階段(二) 其餘同驗證階段(一)。

選定之積溫算式與考量

本篇研究選擇之梯形算式，其修改自 Piper et al. (1996) 之 linear three-segmented 方法(修改其方法之推導，詳見 91 頁之附件四)，又因其原名不夠直觀，故改以梯形稱之。作為主要使用之有效積溫算式，算式如下：

$$\begin{aligned} GDD_i &= temp_i - T_{base}, & \text{if } T_{opt1} \geq temp_i \geq T_{base} \\ GDD_i &= T_{opt1} - T_{base}, & \text{if } T_{opt2} \geq temp_i \geq T_{opt1} \\ GDD_i &= (T_{opt1} - T_{base}) \times \frac{(temp_i - T_{opt2})}{(T_{max} - T_{opt2})}, & \text{if } T_{max} \geq temp_i \geq T_{opt2} \\ GDD_i &= 0, & \text{otherwise.} \end{aligned}$$

其中， $temp_i$ 為第 i 日之平均溫度，而使用之參數與對應生理意義如下表。

參數名稱	生理意義
T_{base}	生長之基礎溫度，溫度高於此後開始生長。與線性積溫法所定義之基礎溫度相同。
T_{opt1}	生長之最適溫度(optimal temperature)，用來共同描述生長量的提升來到飽和的溫度區間。
T_{opt2}	
T_{max}	生長之最高溫度，溫度於在此後因高溫逆境而停止生長。

且大小上，此四個參數須遵守一定之大小次序，為：

$$T_{base} < T_{opt1} \leq T_{opt2} < T_{max}$$

梯形積溫算法雖具有較多的參數要校正，但由於具有許多良好的性質，故在此選擇，考量如下：

1. 能夠做為許多常用方法的推廣義與近似。

■ 原理上為三角形算法之推廣義(當 T_{opt1} 值與 T_{opt2} 值相等時為三角形)，故必有三角形算法以上之準度。

■ 當 T_{opt1} 值與 T_{opt2} 值都非常高時，在實際資料的使用上會相當於有飽和點的線性積溫算式。換而言之，也能看成是線性算法的推廣義。

■ 算法中預設了兩種不同之高溫修正的型態，分別為「維持水平」、「走向零點」的階段，故而能根據物候資料的狀態，自然地以參數校正來反應出對應的修正型態。

■ 具有 T_{opt1} 值與 T_{opt2} 值不同的參數，來自由定義飽和區的寬度、位置，進而能有與 Beta 函式法近似之效果。

2. 具有簡單的數學形式，故能更加容易向農企業、相關利益人推廣。

使用氣象資料特性

本次輸入資料為中央氣象局虎尾站 2017 年至 2021 之均溫，其中最高值為 31.9°C 、最低值為 8.8°C ，平均為 24.1°C (如下圖 11)。

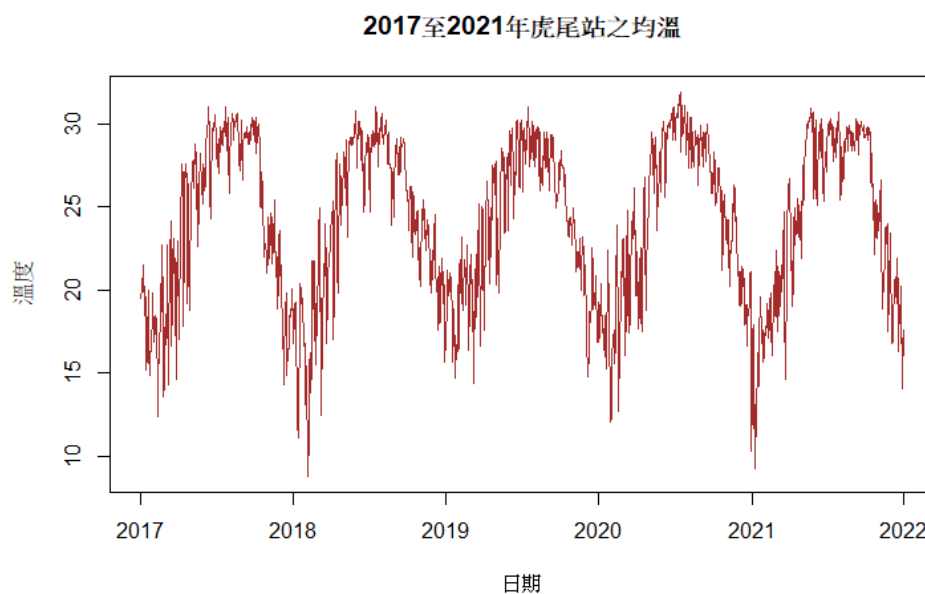


圖 11 虎尾站 2017 至 2021 年之均溫。

參數最佳化能力

在本小節中，將測試演算法之綜合最佳化能力，假設檢定架構如下圖 12。其中，不置回地隨機抽出合理範圍內作物參數組來進行最佳化，並以 paired t-test 來檢定最佳化前後之差異，來檢定演算法是否真有最佳化效果。

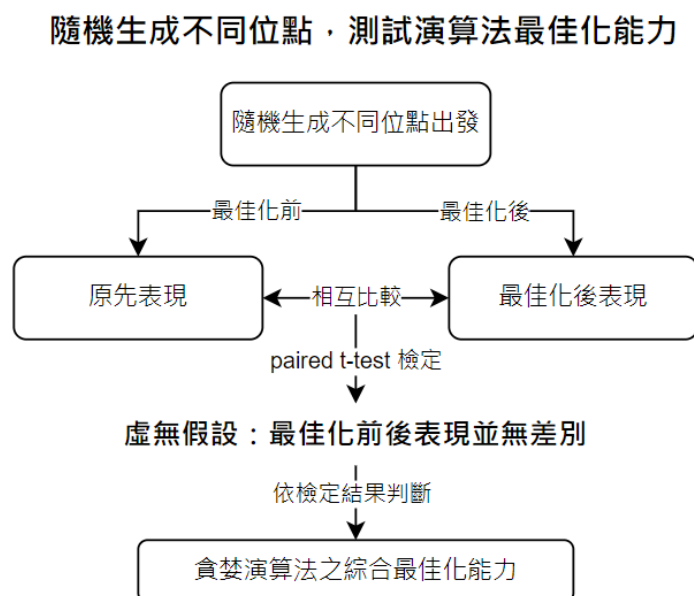


圖 12 參數最佳化能力之假設檢定流程圖

初始設置

由於各個參數具有生理意義，是故可根據已知知識來定義各個參數的合理限制範圍——這除了能避免做出不合理的校正外，也能來防止演算進行時，系統往不合理的方向過度運算而不停止。各參數設定之限制範圍如下表 4，其中一共有 1620 個符合此範圍且為整數位點，從其中抽出 252 個。而後將最佳化搜索範圍 step 設定為 1，使各參數皆設置在整數上。

表 4 各參數所設之合理限制範圍。

參數	設定範圍	設定原由
T_{base}	$8^{\circ}\text{C} \leq T_{base} \leq 10^{\circ}\text{C}$	玉米最低生長溫度通常設於 8°C 、 10°C ，故上下界設於此(Kumudini et al., 2014)。
T_{opt1}	$19^{\circ}\text{C} \leq T_{opt1} \leq 30^{\circ}\text{C}$	最低保留至 19°C ，是因為此點仍屬涼爽，不大可能發生飽和。 最高設至 30°C ，則為保留給發展成具有飽和點之線性積溫法的彈性。

T_{opt2}	$24^{\circ}\text{C} \leq T_{opt2} \leq 36^{\circ}\text{C}$	最低設至24°C，參考以春小麥此好良作物最適溫度，使在設定上可以涵蓋。(Zhou and Wang, 2018) 最高設至36°C，則以文獻指出部分玉米之最適溫度為33°C再往上加以保留。
T_{max}	$37^{\circ}\text{C} \leq T_{max} \leq 40^{\circ}\text{C}$	最低設為37°C，使其在T_{opt2}為36°C時，不會產生直接斷點。 最高為40°C，為文獻指出玉米之最高溫度 (Stone et al., 1999)。
共同遵守之限制式： $T_{base} < T_{opt1} \leq T_{opt2} < T_{max}$		

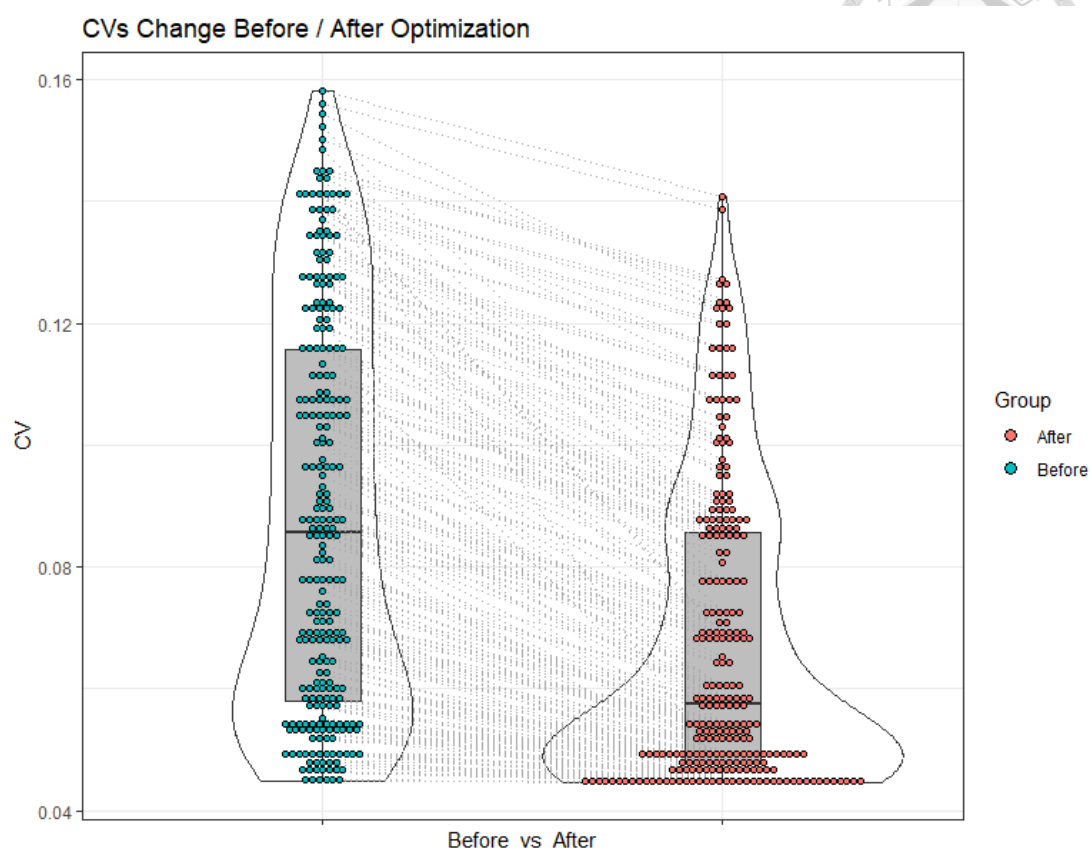


圖 13 最佳化後預測值變異係數之前後變化。

表 5 最佳化前後預測值變異係數之資料性質。

	最佳化前	最佳化後
平均值	0.0882	0.0669
中位數	0.0856	0.0575
相異值之個數	65	42

結果圖 13 中，可看到最佳化前後預測值之變異係數皆下降。將其性質整理至表 5，可見最佳化前平均為 0.0882、中位數為 0.0856，於最佳化後之平均下降為 0.0670、中位數 0.05747。於 paired t-test 中，欲檢定之虛無假說為「最佳化前後並無變化」，對立假說則為「最佳化前後有變化」，並設置信心水準 α 為 0.05。所得 $t_{df=251}$ 值為 20.775，其 p-value 為 $2.2 \times 10^{-16} < \alpha = 0.05$ ，故拒絕虛無假說。

在經最佳化表現較好的參數中，決定以 $T_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1} = 24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2} = 33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max} = 37^{\circ}\text{C}$ 做為實際的參數。然而，這些參數都有在校正過程中被使用到嗎？其實並不盡然。從圖 13 還可觀察到：最佳化前 252 個參數組合僅產生出 65 個有

相異的值——這代表很可能有一部份相異的參數組合，但在校正上沒有用到對應相異的位置，因此不會有差異。而將所有田區之氣象資料直方圖與積溫式做疊合後(見圖 14)，我們可以看到：即便有一部份的氣溫資料超過了 T_{opt1} ，顯示在這段區間內梯形積溫有發揮其對熱修正之能力，但所有的氣溫都低於 T_{opt2} 與 T_{max} 。這也證實了這樣的觀點，正因為沒有處在對應區間的資料提供校正效果，故許多參數組合才擁有相同的 CV 值。

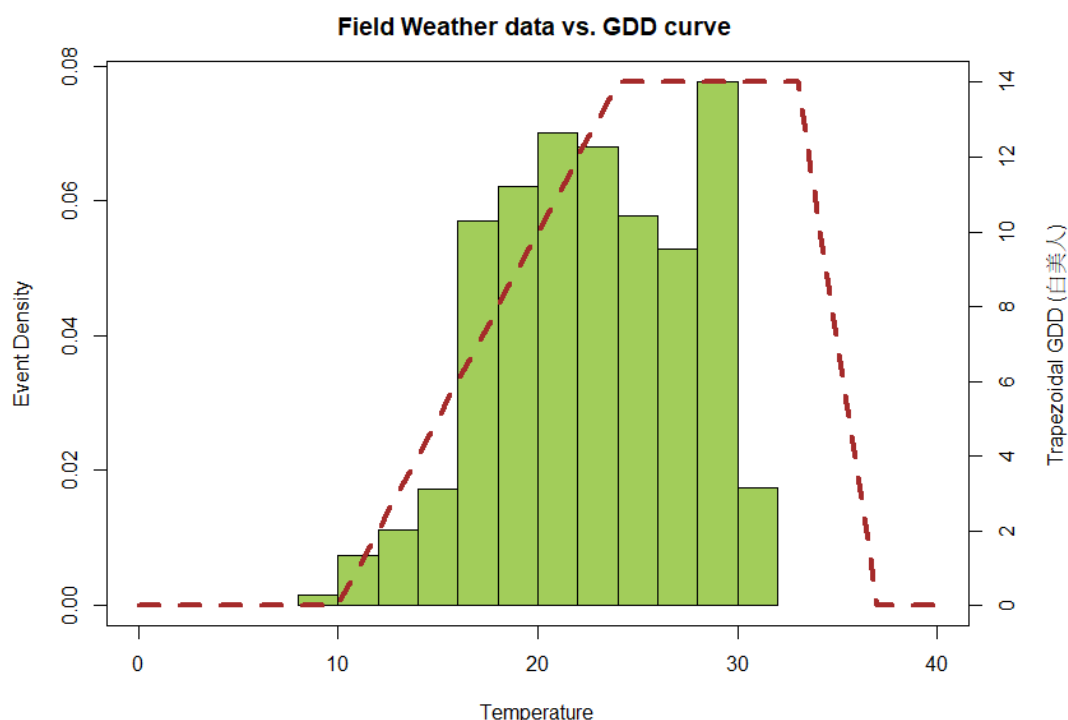


圖 14 全部田區氣象資料與梯型積溫式之重合比較圖。

而在最佳化後，可觀察到相異的值的組數自 65 至 42 個，也代表著在這些參數組合在最佳化的路徑上，許多彼此有所重疊，故會向下收斂。但由於演算法設計中，面對相同效力的數個選擇時，僅會擇一向下進行、而不會對每個選擇逐個探索，且當遇到四周的選擇皆和當前參數一樣好時並會停止，故我們還無法判斷出整體最佳化的路徑結構。



建立白美人之生育積溫對照表

在決定好積溫算式與參數後，便可透過生育調查資料建立生育期積溫對照表。
整理如下表 6。

表 6 白美人各生育期積溫對照表。

時期	生育階段	平均有效積溫(度日)	標準差(度日)
萌芽期	V2	173.2	57.4
	V3	198.2	53.7
	V4	251.9	28.6
	V5	304.3	28.1
輪生期	V6	325.3	34.3
	V7	384.0	47.0
	V8	409.3	32.8
	V9	440.8	36.6
抽雄期	VT	590.1	53.7
開花期	FT	595	31.5
吐絲期	R1	622	41.7
充實期	R3	773.8	35.7
	適採期 ²⁴	878.3	41.3

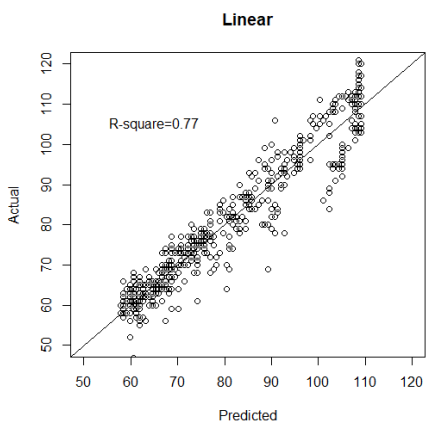
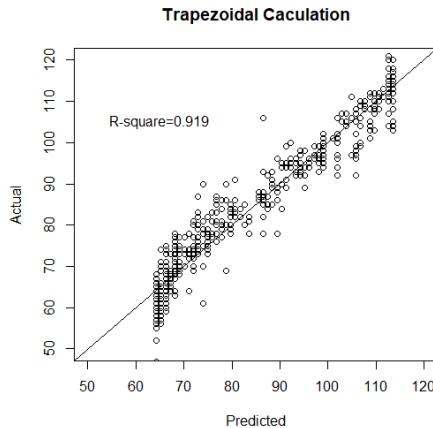
²⁴ 在此，建立適採期的有效積溫中，同時使用了 2017 年至 2021 年的資料——然而事實上，在 2019 年時採收標準有更加提前，也是故此值並非為符合現今現場所參考用的值。但由於在此是要測試系統的耐性，得在忽略有換種子源、採收標準提前的狀況下進行壓力測試，故我們仍如此操作。符合現今使用的值，將於後續討論時提出修正。

預測準確度

本小節中，將利用線性積溫法與梯形積溫法兩種不同的方法進行產期預測，並透過 Predicted vs. Actual Plot，來比較導入前、後兩方法的預測準確度。

其中，將上階段最佳化結果做為輸入梯形積溫法之參數，其中 $T_{base}=10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1}=24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2}=33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max}=37^{\circ}\text{C}$ 。實際收穫所需積溫值，線性積溫法為 991(度日)，梯形積溫法則為 878(度日)，使用之資料為額外之 391 塊田區。

圖表 2 線性積溫法與梯形積溫法之比較結果。

	 Linear R-square=0.77	 Trapezoidal Calculation R-square=0.919
	線性積溫法	梯形積溫法
R^2	0.770	0.919
預測之標準誤	± 6.7 天	± 3.2 天

由結果可見(圖表 2)，使用導入前線性積溫算法所得之 R^2 為 0.77，而在導入了梯形有效積溫算式、且根據物候資料修正參數後，所得之 R^2 為來到了 0.92。而預測之標準誤中，線性積溫法下為 ± 6.7 天，而梯形積溫法則為 ± 3.2 天——

換句話說，在一個標準誤內總共區間為 6.4 天，代表預測的效力已經十分接近田間的適採期區間(夏天為 4 天左右，冬天約為 7 天)。這代表透過導入梯形有效積溫算式、與本研究提出來保證其效力的演算法，將有十足的潛力能夠改善整個產期預測流程。

資訊可靠性

上階段中，驗證了由作物參數最佳化之梯形積溫法，能具有較好的預測結果。

然而在實際場景中，常需要在「面對未來氣象資料還沒實現時」進行產期預測，而這樣的資訊將會影響到實際的決策效果(如圖 15 中所示)。也是故在此小節中，將會進行模擬，來測試不同生育過程的時間點中的預測效用。

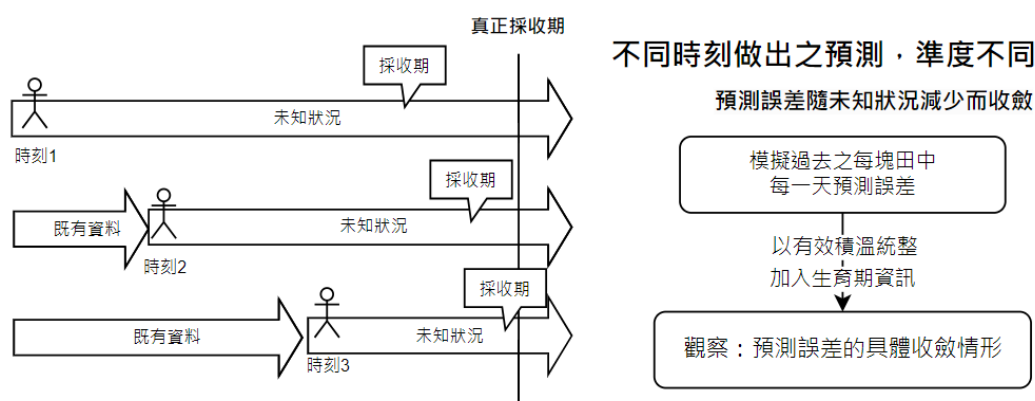


圖 15 預測資訊可靠性之觀察流程圖

模擬場景：模擬生育過程中的每日預測狀況

在此，將模擬 62 塊田各自歷經的每天中預測誤差的變化。

氣象資料使用同階段一，主要為虎尾站之氣象資料。由於是模擬生育過程中每一天的狀況，故氣象資料將根據「當下」做出調整：對於已經經過的日子，會已實際資料帶入，而對於還沒遇見的日子，將以歷年資料平均(2000 年至「當下」年度前)做為推估。

由於每塊田生育日數不同，故以生物熱時間(Biological Thermal Time)的概念，使用梯形積溫法計算(參數為 $T_{base}=10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1}=24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2}=33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max}=37^{\circ}\text{C}$)「當下的累計積溫」，將有效積溫視作時間之座標軸，使各塊田區中逐日的誤測誤差映射於其上。最後，再加入由同樣的 62 塊田中調查所得之生育期資訊，取輪生期(Whorl Stage)、吐絲期(Silking)與適採期等，有效積溫區間分別取 320 至 440(度日)、580 至 660(度日)、855 至 911(度日)。

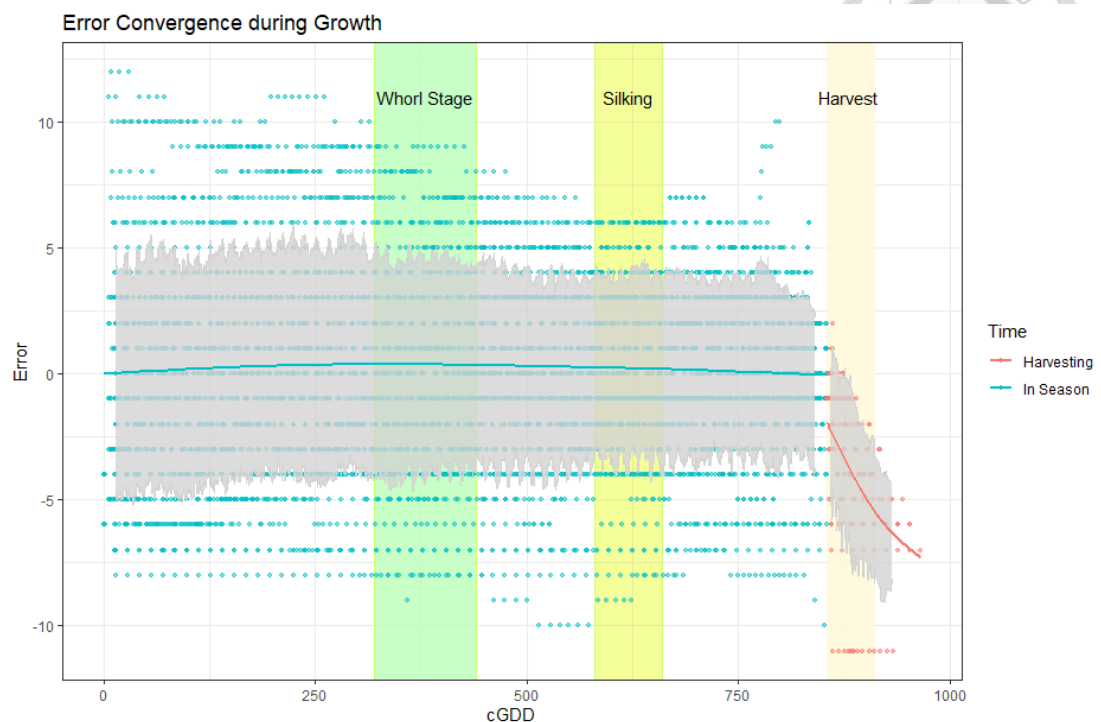


圖 16 隨時間之預測誤差收斂圖。

於圖 16 中，橫軸 cGDD 為累計之積溫值，縱軸為預測誤差(日)。所得有效積溫模擬值依「是否進入適採期」分為兩部分，並繪製各自之滑動平均、與正負一倍之滑動標準誤。滑動之資料點個數根據資料組別而有不同設置，生長季(In Season)組別中共 4624 個資料點，滑動位點數設為 100，適收期(Harvesting)者中資料點較少僅 150 個位點，則設為 20。

由結果中可見，於一開始時之標準誤約於 4.5 至 4.9 日間，而隨著超過輪生期後開始縮小，於吐絲期前收斂至 3.5 至 4.1 日之間，並在維持相當的效力直至採收期結束。這也代表著在實用現場中，一塊田區從進入輪生期開始，此時進行之採收期預測日，便是足夠穩定可靠、符合現場需求的資訊。

面對新品種之穩定性

除了優化最大宗的水果玉米白美人外，農業現場還常有試種、評估新品種的需要。於此將模擬面對新品種情境中的應用效力，假設驗證架構如下圖 17，藉此比較「具校正法的梯形積溫流程」與目前鮮綠農產使用效力最佳之「線性積溫法」，來測試在第幾塊田時此流程開始產生優勢、與差異。

模擬學習狀況，測試演算法學習能力

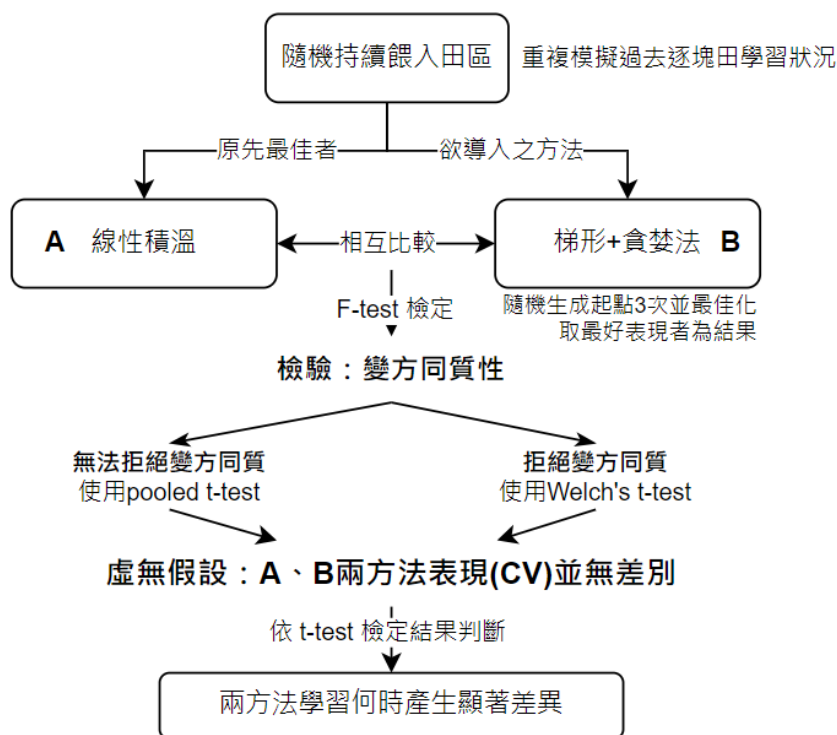


圖 17 演算法學習新品種能力之假設檢定流程圖

輸入資料選擇

顯而易見地，全年栽培的品種將比僅在特定季節種植者更難學習，也更具有產期預測上之痛點——然而，在契作單中的品種中，由於僅有白美人為全年種植，故接下來仍以白美人之田區資料做為輸入(生育調查之 62 塊白美人田區，同驗證階段一、三)。

模擬設定與統計檢定

在本次模擬中，將重複 50 輪模擬學習。在每輪學習中，將對 62 塊田區隨機排序，從前 3 塊田做為起點開始測定 CV 值，並逐步加入一塊一塊田區，直至達到 30 塊田區為止。

欲比較之兩方法為：線性積溫法、梯形積溫法。梯形積溫法之參數為隨機生成之整數(一樣遵守表 4 限制)，但由於實際應用上最佳化可以重複進行，故在本個模擬情境中都將重複 3 次學習，取最佳之 CV 值做為結果。最後將模擬學習之結果繪圖，再對每個田區數目下不同方法的 CV 先以 F-test 檢驗變方同質性，再以對應之 t-test 檢定均值，進而觀察：在學習新品種時，從多少塊田區開始此流程將正式優於線性積溫法。

模擬結果

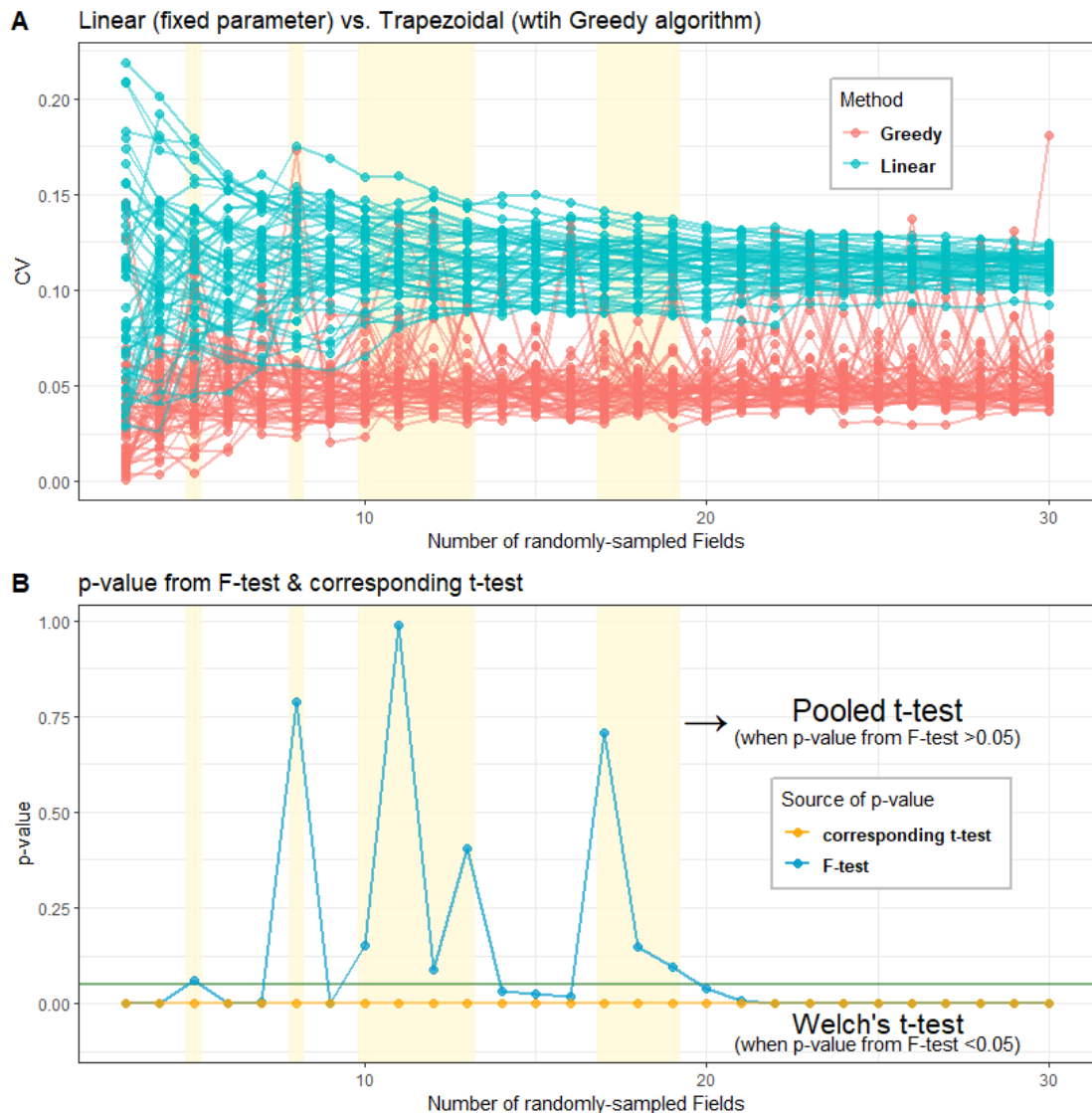


圖 18 模擬 50 次兩種不同方法學習新品種之情況。

(A) 兩方法隨著田區增加之預測值 CV 值變化 (B)每個田區數目，F-test 與對應 test 之 p-value 值。

由結果可見，在幾乎所有情況下，搭配著貪婪演算法的梯形積溫法所得到的 CV 值比線性積溫法還低。而同時，以信心水準 $\alpha = 0.05$ 對每個田區數目下分別做 F-test，並根據其檢定結果選擇對應之 t-test。其中，共有 9 次無法拒絕「變方同質」之虛無假設，故在該處進行 Pooled t-test（圖中黃色區域：第 5、8、10、11、12、13、17、18、19 塊田時）；其餘之 F-test 皆拒絕「變方同質」之虛無假

設，在該處進行 Pooled t-test。所有 t-test 得到之 p-value 值皆遠小於 0.05，是故可推論：在大部分情況中，搭配著進行著參數最佳化的梯形積溫法總會更加可靠。

同時，這樣的資訊也或粗略地代表著：在學習新品種時，從第 3 塊田時開始，學習效果便會顯著地優於線性積溫法，並建立更為準確的物候預測模式。

然而實際上，建立物候預測模式的效果仍依物候資料而定——若輸入的物候資料，皆具有相似的環境、生長期，則不必透過梯形積溫法，也能很容易便建立「準確」的物候預測。也因此，若要確實體現出此方法之優勢，筆者會推薦以「6 塊以上不同季節的田區」進行最佳化，並以不同的起點參數重複最佳化數次後，再挑選合適的參數即可。

三、系統建構設計 —— 甜玉米生理支持型專家系統

在本章中，將描述從現場脈絡出發到系統建構思考過程。首節中將列舉設立的设计限制及背後的考量，次節則介紹系統架構、功能使用，最後則介紹實際的使用者歷程地圖(User Experience Map)。

1. 設計限制與洞察

設計限制(Design Constrains)與洞察(Insight)能提供設計過程上十分重要的線索，也是在從「聚焦問題」到「提出解方」之間最重要的思考過程——透過從現場研析出來的問題結構與實用要求、或以設計者自我要求，來加上具體的限制。這樣的限制除了能幫助設計者更清楚地刻劃出解方，亦能將避免將寶貴的開發成本浪費在無關的設計上。

設計限制與洞察往往是相互促成的。是故，接下來將依著思考的脈絡交替書寫不同設計限制、洞察，進而釐清解方所應具備、及不該具備的性質。

設計洞察：產期預測優先於產量預測

一般在認為簽訂供貨契約時，我們常會下意識認為契約上是明確規範按時交量。然而據現場訪查，鮮綠農產與下游供應鏈所簽訂之契約並非如此。

實際上，通常收穫了多少，下游供應鏈便會直接全收。換而言之，契約所代表的是合作的關係、明定的收購價格與品牌結盟。在這樣不受阻礙、能迅速向下流通的物流下，倉儲上也鮮有爆倉的情況發生。同時實務上，鮮綠的人員已可透過以季節和田區面積為主、實際探勘狀況為輔，大致估算每塊田收成時需要多少支付金額。

產量預測所能為現場帶來的效益，便是助於規劃倉儲物流的吞吐、以及現金流的粗估。然而在現場的脈絡中，上述的痛點都不存在，也就是說產量預測，並無法幫助到現場太多。同時，產量資料常常並未記載在鮮綠農產的田間契作單中，因為在計算最終產量時的情境都是與直接算錢有關，而那樣的資料只須經由出納相關人員、流程，算完錢後便完成任務，也就是說，現行工作流中並不存在將產

量資訊更新回田間契作單整理表中的誘因，進而也使得產量預測的建立也挑戰重重。

而比起產量預測，「產期預測」則重要的多。農產品是具有時效性的產品，所以真正限制鮮綠農產吞吐量體、建立穩定現金流的，其實便是契作田區的排程管理能力。普遍而言，同個時段鮮綠農產需管理 120 塊以上田區，且都不同種植日、地點、農民，這樣的挑戰成為了其一定程度的限制因子。而明顯地，產期預測能夠做為田區管理排程上十分重要的決策依據，能夠確實地回應到田區排程管理的能力提升，進而能有機會簽下更多的田地來契作供貨，連帶增加吞吐量體與對應的利潤。

也因此可知，不論是在上節所提及現場生產脈絡中，由於全年供貨需求與水果玉米遺傳特性連帶導致的產期預測需求，又或是從實際供貨上產期資訊對於管理的助益，無一不指向了同一個訊息——「產期預測遠大於產量預測」。

設計限制：現階段一鍵式完成採收任務並不可行

透過一鍵式服務來完成流程較為細瑣的任務，是現今許多數位系統上的常用設計手段，常用於金融服務、網路商城等需要多方驗證的內容。然而，若試圖將採收任務套用在此，則完成一鍵式派工的方向可分為兩個切入層級：「直接對工人」與「直接對工班班頭」——然而，根據現場脈絡研析，一鍵式服務式不可行的。故以下，將分別介紹其不可行的原因。

據前面的訪查，採收工班底下的工人常可能是非法聘用的外籍移工。這代表著，除了在語言上可能具有障礙外，在社會法規的自保考量上，這群人得是不能、也不該被直接聯絡的。進而更可看出，這樣的族群流動率是高的、且不易納管，也使得「直接對工人」此服務模式難有可靠的人力供應基礎。更何況，即便今天前述疑慮全都消失，農作物採收的行為仍然十分仰賴相關資本、器械的投入，若要以數位系統的仲介功能來鋪展服務，而這些物品、場域的所有權仍然歸採收工班所有，則此服務所需之先期投入太大，會因為難以完成成本攤提而不攻自破。從以上原因，可見得這樣的方向不僅會與現今的產業鏈運行脈絡相互衝突，同時也因此難以擴散。

而在「直接對工班班頭」的機制上，焦點則變成了如何促成既有行為改變。在產業鏈上下游之間的轉型擴散中，最重要的是相關利益人彼此間的業務依賴占比：實際上，儘管鮮綠農產的水果玉米總出貨量並不算少，在當地是大的公司，但由於田區分散至雲林各地，對於其配合的採收工班而言，其實並不算是最主要、完全的客戶。換而言之，鮮綠農產對於採收工班的仰賴程度高的，但採收工班不需要依靠鮮綠農產也能活著——當今兩者不再有合作時，鮮綠農產將難以完成採收與出貨，現金流完全堵塞。也可見在要求轉型上，透過利益鏈連帶促成轉型的能動性、施力點並不存在，也代表「直接對工班班頭」這條路的促成會是不易推行的。

更何況，採收工班具有地域性，也受到地方關係網所影響，也因此還潛藏著有許多與人為有關的協商資訊，包含日程、分選場、與其它協調細節(如：一塊田僅採收一半)。隨著科技的發展，地方關係網已經透由社交通訊軟體的幫助之下，形成複雜的連結網路、新穎的互動型態。現行工作流程中，由鮮綠農產的田間人員負責聯絡採收工班——或許以本文聚焦的書寫視角下，鮮綠農產可能會看似為地方關係網的外來者，但他們實則已融入在地關係網中，透過身處其中的關係、資訊、互動協作來完成任務²⁵。若導入額外的機制，則會破壞最核心的行為模式，權衡之下能換來的增益也並不顯著²⁶，更可能顧此失彼。

總而言之，在此建立一站式的採收機制上並沒有足夠誘因，且使用無論何種層級切入都窒礙難行。更核心點的是：田間人員需要確保「採收任務一定得完成」，沒有別的選擇，因此「來回確定資訊」成為了一種必要且須親自執行的工作流程，這樣的需求式即便採用其它如接單式的設計也無法確實回應的。

²⁵ 若在過程中遇到不同的阻礙，則還能保留由其他人出面協商的可能。這樣的額外解方與彈性，正是數位系統難以提供的地方。但同時，這類的行動常常也需要隱私，倘若使用數位系統，但因為這些行為都身處關係網之中彼此牽動著，因此即便使用去識別化的機制來保護隱私，反而身處其中的人更能透過蛛絲馬跡去猜測發生什麼事，變相地成為僅僅是留下記錄，也不會真的去識別。

²⁶ 聯絡採收工班並非田間人員花最久時間的事項，往往僅需要幾通電話就能搞定。相反地，前往巡田的車程才是真正最耗時間的。

現狀如此不代表未來不可行，僅代表眼下沒有著力點。轉型是一步一步調整的過程，或許將來此需求會存在，但至少能清楚的是：一鍵式的流程簡化，並非此階段該完成、能完成的事項。



設計限制：以易維護、或零維護為目標的設計策略

服務的穩定運行不會獨立於維護的需求存在，任何服務的背後都需要有人來維護、排除故障。然而，數位系統的維護並非是簡單的事，由於技術門檻上的限制，往往需要對應的部門、開發人員、或開源社群來支持。因此我們不得不先承認維護的需求是確實存在的，接著再回頭設計、調整功能，進而減少在往後維護上的阻力、需求。

降低維護的需求有幾種方式，本研究在此採取了三個策略：一是透過充足的脈絡訪查法²⁷，來對於現場問題建立夠深的洞察，藉以能以直指核心問題(本節中的其他設計限制也是由此而來)。二是使用可以彈性化的技術框架，以應對不同的品種需求，此便由本研究中所提出的最佳化演算法達成。

但即便有了前述兩個策略，我們仍無法保證往後是能以零維護的模式運行下去——特別是在本次系統中，將與網路對接來更新氣象資料。也就是說，當今天中央氣象局、或其他提供氣象服務的廠商，使用技術、資料結構定義有更新時，在此就需要進行更新、維護。

也因此，本研究採取的第三個策略是：增強發生錯誤時的系統韌性——這代表著，在能夠解決實際問題的前提下，將盡可能地減少需要互動的外部服務，並得在使用者經驗流程中，設計能讓使用者手動調整的補救的手段。由此，便可以從基礎面上減少往後的潛在維護需求，並同時降低遇到突發狀況時的使用者負擔。

設計洞察：不推出 APP，而是嵌入現有工作流程中減少導入干擾

新服務的推出常與使用者的學習門檻、心智頻寬、耐性、回饋感有關，這些都是使用者經驗(User experience)中重要的一環，也正是使用者續用的關鍵。當處

²⁷ 脈絡訪查法是同類型的方法之中，需投入的時間、成本最大的方法。比起結構化訪談等方法，它可以創造更加深入、立體的洞察，但同時也是最仰賴訪查執行者能力的方法之一。

於適應新服務的轉型期時，常會造成現場工作流程內的複雜度上升，而新服務帶來的正面效益是否大於增加的阻力、或達到平衡，在很大程度上決定了留存及生命週期。

筆者認為，設計解方不只是為了滿足實務上的需要，也希望在回應生產難題時，也連帶降低工作複雜度。即便我們無法保證上述事情必然能夠作到，但可以意識到的是：若選擇不當的導入方式，即便使用的技術確實再怎麼回應到了問題，仍可能造成更多的反感而無法持續下去。是故，如何去規劃使用時的場景，藉此盡可能地去降低導入上的阻力，便是十分重要的課題。

現今而言，推出數位系統常見的載體(Channel)常為手機 APP 應用程式。然而在本次的實務現場中，推出 APP 並非是合適的選擇。田間人員透過同時使用不同的 APP 來完成任務，如：Line、Google Calendar、Google map、其他筆記軟體……等等。在切換不同的 APP 時，其實已經造成一定的資訊複雜程度，如在「決定採收日期」至「預約採收工」中的操作流程依序為：

- (1)比照 Line 訊息及兩個不同 Google 文件決定要去的田區
- (2)在筆記軟體中一併記下上一步查得資訊
- (3)由 Google 地圖導航前往
- (4)以生產履歷軟體登打履歷
- (5)以 Line、Google 日曆、筆記軟體，與農民、採收工及其他人協調採收日

這些工作流程來回橫跨不同的 APP，都在一台手機上完成。然而可以注意的是，手機能承載的資訊有限，基本上許多 APP 都是設計成「特定使用情境顯示單一資訊」的。這也使得當要同時以複數個不同資訊來完成工作時，來回的切換便已十分複雜。

根據上述觀察，筆者認為，除非必要，否則再多推出一個 APP 則不合實用。若硬是推出，還很容易加重工作時間成本、注意力負擔，對使用者工作經驗上造成額外的不順暢的話，不是有效的設計。

回歸到本質上，不論何種工具、載體，其實真正重要的是資訊之於人的反饋——我們可以將欲這樣的設計命題定義為一個原則，即：「對的資訊」得在「適當的情境」接觸到使用者。也因此接下來的設計中，將以「發揮現有工作流程潛力」為一大重點，讓資訊盡量嵌入在既有的應用程式中，減少對於使用上的擾

動。至於其他現有流程未能滿足者，則在不失其他使用彈性、價值的前提下，再以「最低導入負擔」為主軸原則來進行。



設計限制：本地服務與雲端服務設計之抉擇

不論任何數位系統，本質上是透過資料驅動後給予回饋的設計。然而，不同資料性質有不同的敏感、保護程度，在設計數位系統時也同時須根據現存的運行模式、需求，一併決定其中的資料存儲架構、串接方法。但反向地來說，存儲的架構也會連帶影響到回應使用者需求的能動性，也因此決定是否採取哪一種架構，便成了十分重要的選擇。

儘管雲端服務能夠同時開放給許多用戶，但對於本次面對專一個單位的情境來說，並不是合宜的作法。雲端服務至少需要一個外置的伺服器才能運行，這不僅代表著需有額外的資源來維護伺服器的運行，同時也代表著在以數據驅動的服務流程中，使用者必須上傳一定的資料，才能完成整個服務流程。上傳、同等於輸入，即便以快取、或會員制儲存，面對資料量龐大的時候，仍是十分繁複的行為——同時並非每次使用系統時，都能夠有足夠的時間成本完成上傳。此外，雲端服務的設計，在資訊安全上會有所疑慮，即便使用可信的雲端服務廠商配合開發，部屬的架構開發難度也仍非常高，總體而言可謂吃力不討好。

之於鮮綠農產而言，所有的資訊勢必都得在公司內部留存一份。藉此架構本地的服務框架，並嵌入在工作流程中，既可以省去重複登打的時間，同時資訊安全亦連帶受到保障。是故，在本次的脈絡裡頭將選擇以本地的服務模式進行建置，並根據其既有資料型態來進行設計、發揮綜效。

自我限制：預留未來數位擴充性

本研究於上章中所開發之演算法，雖能夠應對未來對於新品種試種時的生育期預測模式建立，但筆者認為僅有演算法來保證對未來資料的擴充性，還遠遠不足，還需在架構上斟酌才能發揮最大的效果。

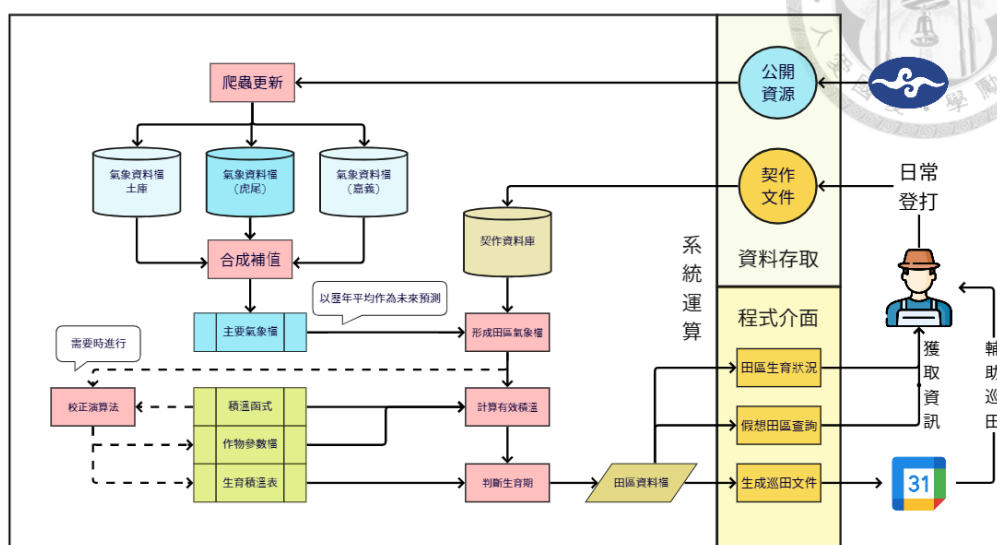
「能夠在原有基礎上持續地擴充」，是數位系統的最大的潛在優勢之一。然而實務上，除非在規劃時有特別思考未來的擴充性，否則並非每個數位服務都能夠容易地被擴充、對接。有名的一個反例，便是現今常被引用的作物模式軟體

DSSAT(Decision Support System for Agrotechnology Transfer)，現今來看，其採取的非結構化資料結構，使得其十分難以對接，也與命名上所期望的擴充、發展上多增添了一道阻力。

我們也可以從中進一步引申、瞭解到：在對接應用、擴充服務時，清楚的資料的資訊定義、結構化、或關聯性是不可或缺的基礎，藉此才能加速串聯不同服務中對應的資料互動流程。

在可預期的範圍內，還可能會往下繼續拓展不同的應用，如：新感測器以 FTP(File Transport Protocol)導入運作、部署企業內 ERP(Enterprise Resources Planning)系統、外部 API 介接.....等等。這些服務的運作，全都仰賴完整的資料庫系統才得以運行。而在現今實務上，這樣的基礎常以結構化關聯式資料庫(如：MySQL)來完成，且於本服務中不須倚靠彈性大、但更加複雜的 NoSQL 類非關聯式資料庫(如：MongoDB)便可運行。是故在本次設計中，將規範系統運行所需的資料格式，同時將在附件中(見 88 頁)加以創建基礎的 MySQL 關聯式資料庫藍圖——即便以現在的鮮綠農產公司架構而言，直接部署 MySQL 可能還言之過早，但至少當作為未來擴充使用時，本研究能做為很好的藍圖與串聯基礎。

The logo of National Taiwan University (NTU) is a circular emblem. It features a central bell (the University Bell) with a flame above it, symbolizing enlightenment. The text "國立台灣大學" (National Taiwan University) is written in Chinese characters around the top inner edge, and "大學品教" (University Quality Education) is written around the bottom inner edge. A blue circular icon with a white stylized flame or wave symbol is positioned below the bell. A yellow box with the text "開源" (Open Source) and a black arrow points to this blue icon.



本次系統架構如圖，並以 R 語言 Shiny 套件寫成。以下將介紹架構中的各個環節。

氣象資料為來自中央氣象局之公開資料，每天將自動爬取更新。一共三個測站(虎尾、土庫、嘉義)，並以虎尾站為主要資料，經補值後成為主要使用之氣象檔。田區資料方面，則直接讀取彙整既有的契作文件，成為供查詢用的契作資料庫。

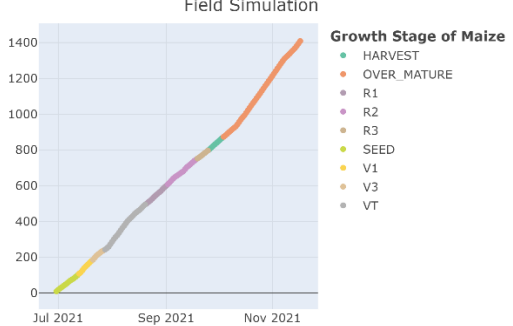
此系統的核心運算功能為物候預測，運算流程主要有兩步驟：

- (1) 透過種植日、收穫日建立田區氣象檔案。如未有收穫日，則以該日加 140 天後為終止日。

(2) 以有效積溫函式計算積溫，並根據生育積溫表標註生育期，形成田區資料檔。預設使用梯形積溫法，作物參數與生育積溫表則依品種而異。若在該品種無對應資料的情況下，則皆預設以白美人之資料帶入²⁸。

將根據不同使用情境，往往會指定不同的田區資料檔範圍，所需產出也不盡相同。在此整理如下表 7。系統將依據使用情境、所需產出刻劃不同的程式介面，以給予滿足不同的需求。

表 7 使用情境、系統運算田區範圍與對應之產出。

使用情境	指定田區範圍	產出
田區生育狀況	查詢一指定田區	 未來有效積溫成長圖，並標註預測的生育階段，如圖所示。
假想田區查詢	以不在契作資料庫中的日期，進行計算	
生成巡田文件	所有尚未收穫的田區	一能匯入 Google 日曆之 csv 檔。除了有對應的巡田提醒，亦包含經、緯度，以供巡田時與 Google 地圖連動使用。

巡田提醒內容

系統將根據算得之所有田區資料檔生成巡田提醒文件。其中，開花期、採收期的巡田通知，分別定於預測有效積溫為超過 600 (度日) 的首日、與超過 850 (度日) 首日往回數的第 2 天。

²⁸ 一來，白美人是鮮綠的主力品種，故參數、資料齊全。二來是於整理契作單的過程中，發現有許多沒有登打品種資訊、但經確認是白美人的契作資料。也因此，預設為以白美人資料帶入，總會是比較有效的方案。

此功能預設生成 2 周內的提醒，這樣的設置能夠在資訊可靠性、與工作流程中達到平衡——此時，產出開花期提醒的田區都至少已進入輪生期以上，物候預測之資訊效用已足夠可靠。

使用者亦可自由決定設定的區間，來配合自己的操作行為。生成巡田提醒檔案後，鮮綠操作人員可將其匯入到 Google 日曆中，作為工作提醒的一環，並與 Google 地圖連動來輔助巡田工作。

作物參數最佳化

由於最佳化的過程將佔用一些時間，故此功能不會主動在系統運行時自動開啟。一般而言，需要進行最佳化的場景主要有二，一是對想對既有品種資料重新校正，二是於學習新品種時使用。當使用者決定使用此功能時，系統將先對積溫參數最佳化，之後再依此生成生育期對照表。這兩個檔案在運算後會輸出成實際檔案存放在系統資料夾中，使用者若需要時亦能手動更改其中的作物參數。

3. 使用者歷程地圖



圖 20 鮮綠農產田間人員之使用者歷程地圖。

本次專家數位系統主要的使用者為田間人員，使用者歷程地圖如圖 20。

生成與匯入巡田提醒

由於每天早上，田間人員都得前往公司打卡、進到辦公室，也常會順道把早餐帶到在辦公室中吃。此時將是田間人員操作電腦的時刻，田間人員會在這個時段規劃當天的巡田、與處理其他事務，是故也是操作系統的最佳時機。田間人員可以在此時打開系統生成巡田提醒，而後匯入 Google 日曆當中供巡田時使用。

這樣打開系統「匯入巡田提醒」的頻率預設約每周一次，便可以提供兩周內穩定的預測。使用者亦可以根據的需求來調整匯出未來提醒的涵蓋範圍。

不過若只是單純地描述，則或許難以體會實際的歷程。故筆者有以故事性的口吻來加以描述²⁹，將其放入附錄中(見第 91 頁)。

²⁹ 故事性的口吻除了能更生動地描述使用者歷程，也可以藉此一併將實際現場脈絡寫於眼前。

查詢田區狀況

此功能中，將會顯示特定田區目前的有效積溫與生長階段。這個功能所對應到的適用情境十分多元，如：安排未來簽約種植日期、監測指定田區目前進度、或當臨時缺貨時回頭尋找對應的日期³⁰都可使用。而接下來，筆者以一實際例子來側面說明這個資訊的使用情境、價值。

2020 年之 4 月較冷，使得原先已簽約的田區採收期紛紛延後。而在實際遇到採收期延後發生時，田間人員便忙於四處尋找額外可以採收的田，來補上短期間的缺貨壓力。此時，便可以使用田區查詢來進行調適：透過短期內，可以查詢當下適合採收之田區的詳細定植日期，讓尋找補貨時更加順利。

由上述的例子可見，此功能在面對氣象變化對供貨造成的擾動時將十分實用，將會是作出決策的良好輔助資訊。

參數最佳化

系統中亦有作物參數最佳化的功能。平常時此功能並不開啟，僅在認為有需要時使用，在此列舉兩個可能的場景。

首先在試種、評估新品種的時候，此時便可讓系統為其進行最佳化，來直接生成對應的作物參數與生育積溫表。而另一個則是當換種子商時一陣子時，便可以啟動系統對最近的物候資料來最佳化，來讓整體預測值更加符合目前的實際狀況。

³⁰ 此有筆者實際經歷之例子：2020 年之 4 月較冷，使得原先已簽約的田區採收期紛紛延後。而實際感覺到延後時，田間人員便忙於四處尋找額外可以採收的田，來補上短暫的缺貨壓力。而現在回過頭看

伍、討論



一、建置數位系統轉型遭遇之挑戰

1. 物候資料品質不均

資料品質是決定數位輔助系統能否給予良好建議最重要的一環，但物候資料品質往往受到現許多因素的影響。

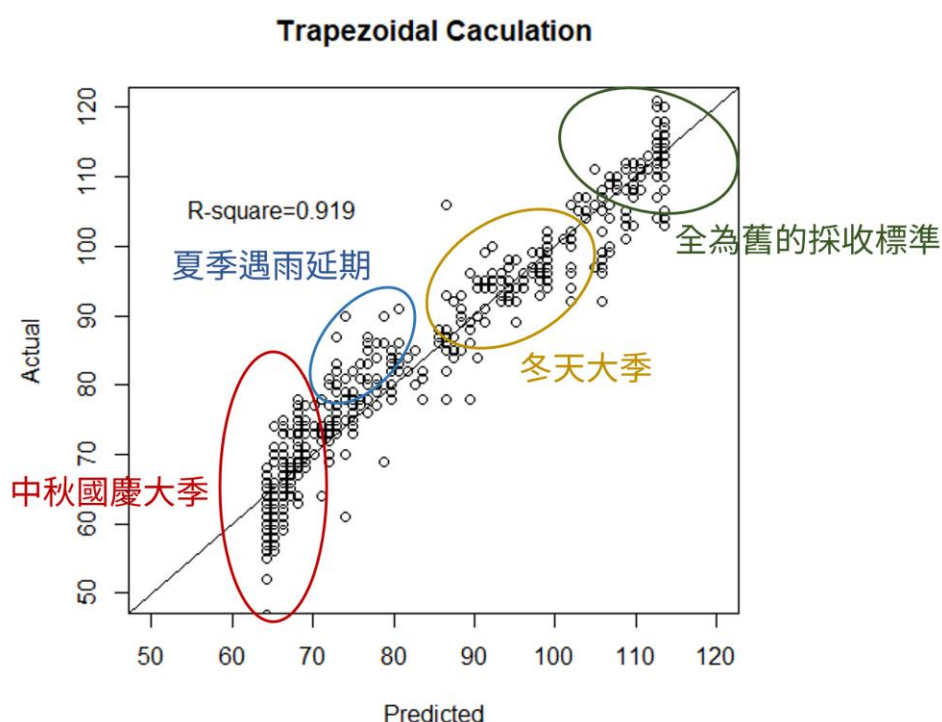


圖 21 物候資料品質產生變異之可能推測圖。

判定標準隨外在因素發生變化

在本研究開始之前，本研究室前成員便已和農產合作，研究田間微氣候、玉米果穗品質之關係。而在 2019 年科研成果發表後，鮮綠農產除了學習引入以農學知識體系的生育期判斷(如：R3、R4)外，同時也認為過去的標準太過熟，因此將水果玉米的採收判定向前提早了一些。這也導致的結果是：2019 年前的採收品規，與之後的採收品規截然不同，不能將之視為同質的資料，但具體為何也難以量化、追溯。

同時，於 2020 年初新冠病毒疫情為首的一連串影響，鮮綠農產難逃在外。其因為不同原因，在 2019 年末、2020 年中，分別又換了不同的種子商。但不論是哪一家種子商提供的種子，在遺傳背景未知、生育期狀態未經建立規範的情況下，仍都被冠以「白美人」之名，這也使得生育期判斷上又再度受到了考驗。這樣的資訊僅有訪查到，但沒有留下具體能將量化的物證、或可以追蹤的資訊。此點可從圖 21 裡佐證，實際超出 110 天才採收的資料全部來自於 2017、2018 年秋冬種植之資料，且有效積溫值皆在 900 度日以上，這也使得在建立的白美人生育期時會受到影響。

然而，我們的系統必須經過考驗，得在使用者對物候資料品質仍能良好發揮時。這也是為何在本次試驗中，我們在已知採收判定標準不同的情況下，仍選擇加入 2017、2018 年的資料，以作為系統能力的壓力測試。本研究另外剔除了 2020 年 3 月之前的資料，並重新建立符合當今採收判斷之生育期對照表，放於附錄之中(見附表 3)。而根據修正後的結果，作物參數仍與現在保持相同($T_{base}=10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1}=24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2}=33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max}=37^{\circ}\text{C}$)，採收期有效積溫均值自 878.3 變成 882.1 度日，標準差則從 41.3 變為 44.3 度日。

品種並非單一、操作行為也在變動，這樣的情形在建立智能系統上造成不小的挑戰，但同時也造就筆者最終採取偏向能夠根據物候資料成長的浮動框架——只要留心在使用的過去物候資料符合當下所需的規範，便可透過滾動式地修正，來因應不停變化的現場需求。

現場工作流程因素

夏季遇雨影響

首先，在夏季 6 月末至 8 月中時常遇雨季，而下雨將嚴重影響到採收工班進行。此時該採收之水果玉米通常為於 2-3 月種植之春作，預測之生育日數約 70-80 天。由於這個時候並非大季，沒有急著出貨的壓力。同時相比於搶收，讓玉米

放在田裡等待下雨過後，其重量也還會繼續上升³¹。也因此，會等待降雨過去後再進行採收，也是故在有使得實際採收日比預測日更晚的現象(見圖 21 藍色處)。

工作流程偏好

在採收過程中，會經由許多的夥伴、與一連串行為互相配合，將玉米一路送進倉庫。這個過程中，唯一的冷鏈在最終端鮮綠農產的倉庫，同時每個節點都有著自己的上班日，也因此採收工作便會受此影響，傾向排在彼此有空的平日、或加班時段。其次，冬天時恰逢過年，此時準備放假，便也影響到排工。此時生長速度較慢，提早收、或晚收並不會有太大差異，但由於在此是根據日數進行預測，也是故才有這樣的差異。

因應大季的變化

此外，採收日也會因應不同的大季而有不同的調整。首先於中秋節與國慶(多為 7 月中旬至 8 月初種植之玉米，預測之生育日數約 60-70 天)中，此時為了趕上時間作成禮盒、與其他產品，是故較亦常有加班、搶收情形(見圖 21 左下紅色處)。

而在冬至到過年(多為 9 月中旬至 10 月初種植之玉米，預測之生育日數約 70-80 天)，此時雖產量大，但並沒有趕上某個期限的壓力，也因此有時會將採收日期刻意錯開，以不超出每日能處理的業務負荷。(見圖 21 中間土黃色處)。

回報資料品質不穩定

契作單中關於種植日的資料品質其實是不穩定的。在筆者進行訪查時發現，農民端並不會詳細地記錄每塊田區的種植日期，契作商對此也並無嚴格要求。是故，農民除了常有會忘記、記錯播種日期外，也會有為求方便，而將不同天播種之田區回報成同一天種植的情況。同時也有些狀況是：田間人員在尚未播種前進行簽約，但此時農民尚無法給出完全確定的播種日(實際播種日將受限於天候、

³¹ 筆者認為，或許不僅是果穗乾物質提升所致。R3 轉 R4 是一脫水的機轉過程，而由於外界水分較多，玉米籽實也較不容易脫水，故也使果穗保有更大的水分含量。

人力、情緒……等各項因素)，在簽約時就先給個大概預計之播種日——但等到播種完後，亦沒有播種日期之更新機制來修正契作單。在這樣的工作流程下，無法完全保證契作單據中物候資料具有良好的資料品質，其實是具有更好的調整空間。

筆者認為原因在於：不論農民回報的種植日是否有誤，基本上並沒有太大的差異，得到的後果也是相同的³²，故農民普遍對於種植日不大重視。現實狀況下，我們難以追溯、或重現當下來偵錯，因此問題核心不在除錯，而在於「如何提供適當的誘因來激勵提供更好的資料品質」。

而或許這個狀況，有機會在本系統的引入基礎能帶來解方。在引入後，等同於透過農企業、農民雙方一同協作來得到「產期預測」的資訊回饋。這樣的資訊除了對農民在安排栽培管理上可能有所助益外，之於擁有一定要求力的契約甲方農企業將更加重要。也因此，便有機會透過分享這樣的資訊，進而回頭讓彼此都更加注意種植日的確實回報，以此增加誘因讓整個生產模式變得更加可靠、明智。

2. 介接氣象資料上的設計挑戰

氣象資料是產期預測數位系統中的原動力。本次系統中，透過使用每日自動啟動的網路爬蟲程式，來將逐日更新的公開氣象資料抓取下來存放，作為後續使用。

然而，網路爬蟲程式的原理，是基於剖析欲抓取之公開資料的網頁結構，來在訪問時下載所需之資料。這就代表著，倘若今天被抓取的公開資料網址更動、系統改版，或是網頁結構變更，就會使得原先的爬蟲程式無法成功抓取資料。

在筆者開發的過程中，恰經過中央氣象局之觀測資料查詢系統發生改版，資料表與對應網址的配置邏輯有受到大幅調整，便使得原先開發好的爬蟲程式被迫

³² 導入系統前，原有的農事曆、線性積溫方法本來幾乎都不合實用，田間人員實際看田也不怎麼參照這些預測方法。而在工作流程上，真的發現到種植日可能有嚴重輸入錯誤，通常要等到看採收日期的時刻，但此時做出調適已經是立即的事，同時也因為已經離簽約日太遠，故常也不一定選擇追究。也因此原本的工作模式中，不論給出之資料品質優劣，對於農民而言回饋基本上是一樣的。

改版、維護。我們無法預知往後的公開資料網什麼時候維護、系統更新，以及對應的樣子——即便往後中央氣象局能釋出 API，它也是會隨著內部資料庫的更動而影響了介接上所使用的引數、查詢邏輯。是故，我們不只是要面對氣象資料的更新問題，同時還要應對未來可能發生的狀況，來設計補救機制。

應對外部格式變化的三種策略

而本系統中，同時採取三種策略來應對此情況：

第一，「沿用現今國內氣象資料表格式」。爬蟲下來的氣象資料檔不經任何加工，直接沿用原表相同的格式，且系統能直接讀取這樣的檔案。這使得使用者能夠直接在氣象檔案進行登打，或將資料表手動下載後直接複製貼入，無須其他的額外的操作便可完成。

回頭看 AquaCrop、DSSAT、APSIM 等國際上常用作物模式軟體，在氣象資料上採用了額外獨立的格式，進而造成了使用上的門檻——在這類軟體上輸入氣象資料時，除了並無直接輔助資料轉換的入口，進而需要根據格式額外仔細手動登打，且得要精細地處理定位字元的對齊，才能成功被讀取，進而增加了使用上的許多困擾、技術門檻。筆者認為這樣不方便的設計，本是無可厚非：由於其開發得早，又用途設定是給世界各地使用，而各國氣象資料表中並無統一標準，是故在氣象資料上採用了額外獨立的格式是合理的設計。但反映在實際操作流程上造成的不順暢，仍真實存在。

而在本研究系統中，由於具有明確的地域脈絡、使用需求，故從能使用「沿用現今國內氣象資料表格式」來簡化資料的輸入流程，來減去前面提及的所有使用者門檻。同時，這樣的策略對於使用經驗的改善十分關鍵，不僅增加了便利性，更具彈性的輸入氣象資料手段，亦能數位系統的運行韌性隨之增長。

當然在原表格中，有許多與產期預測無關的資料欄位，進而讓檔案增加了許多無用處的空間——但實測下來，一個測站 20 年份的資料實際大小才將近 2MB，相較於現今硬體的儲存空間完全不成負擔，藉此換取使用者的操作簡化，代價完全可忽略。同時這樣的儲存方式，也給往後若要掛載額外的模型時，將是一個很好的系統資料基礎。

在此可見，以「沿用現今國內氣象資料表格式」來設計資料結構，能以近乎不存在的代價同時兼顧簡化流程、並保證未來的拓展性，這會是現狀下必要且難以替代的最佳解方。

第二，「以歷年資料帶入運算缺值」。在產期預測模式的運行邏輯中，即便遇到資料缺值，系統仍會使用歷年資料帶入。因此短時間內，即便完全沒有去修復也仍然可以運作。

然而，對應之隱憂便是如前面的分析中提及，使用歷年資料帶入將是品質最差的補缺值方法，並無法提供最準確的預測。同時，在如暖冬、或春天寒冷的異常情況下，若無特別去注意資料的持續更新，本系統便無法透過即時資料，來預示可能發生的斷貨危機、或賺錢機會，反而還可能誤導使用者作出不當決策。

也因此，隱憂尚未解除——爬蟲程式的修復可能會很快，但也有可能會很慢、或被擱置。但無論如何，缺乏即時資料造成的誤導效果總是有害的，輕則傷害對於系統的信任，重則傷及對於決策的品質、造成商業損失。

換而言之，在發生問題的當下，我們要獎勵使用者去進行手動下載最新的氣象資料。而具體來說，在無法提供額外誘因、且這個問題可能會被擱置的情況下，我們該要減少手動下載資料所需的總成本。

第三，「簡化使用的測站數」。手動下載資料所需的總成本，我們可以由「單次下載資料的操作成本」、「操作頻率」與「需下載的測站數目」三者相乘來算出。「單次下載資料的操作成本」基本上是固定的，這是根據公開氣象資料網帶來的使用者經驗而定型。也因此，對於手動下載資料的總負擔，便決定在於「操作頻率」、與「需下載的測站數目」。

「操作頻率」係由使用者自行決定，在可預測的情境中，起初最多也就是一周五次——而在體驗過跨過周末的星期一下載後，很可能將減少為一周兩次。由於在此使用者能具有自己的選擇，因此剩下真正關鍵的，便在於「需下載的測站數目」

「需下載的測站數目」要考量的則多一些。一般而言，散落在不同地區的每塊田，會傾向以離其最近的氣象測站來計算，以換取最佳的預測效益。而這樣的

作法，也會帶來需下載之測站數增加，我們需要在兩者中平衡間做出權衡。然而，這直指了一連串難以回答的命題，即：「以最近之測站的預測效益提升是否存在、或有多少？與對應帶來的下載測站數負擔壓力為多少？」。

若要正面回答，則需要透過額外的使用者測試、資料模擬才能達成。但此乃非本篇研究的核心焦點——在此節點上，真正重要的在於透過思考做出設計，並不需要辯證與核心焦點無關的議題、也不該在假想的設計議題上額外大費文章。也是故，我們不妨繞個彎，在極端狀況下來探討選擇的能動性，即：「在只有一個氣象測站下，產期預測的表現足夠好嗎？」。

恰巧地，這樣的問題在演算法驗證的模擬分析中，已經被證明其堪用、已是足夠可靠的。也因此，本研究中將僅使用虎尾測站一個測站來作為物候預測的主要輸入，藉此降低使用者在爬蟲程式失靈時，維持系統的所需負擔。

氣象資料之補缺值

介接氣象資料除了有對接格式上的挑戰外，資料缺值也是時常發生、得面對的課題。

補缺值的效果和系統的運行效力息息相關，但氣象資料的使用、可靠性，受到政府開放氣象資料治理的脈絡所致，再加上設計上的考量、技術上的限制，進而會影響到本次補缺值方法選擇、執行效力。是故本處，筆者將對此展開討論，並說明應對上補缺值方法做出的抉擇。

現今的公開資料測站，分為局屬有人站、局屬自動站。一般而言，局屬有人站有駐員補齊資料缺值，較為可靠，但數目較少，僅有 31 座；局屬自動站數目繁多，現存一共 636 座，但受限於感測器原理本身的技術限制，較容易產生缺值。然而雲林並沒有局屬有人站(見附表 2)，也因此雲林地區僅剩局屬自動站可抓取³³。

³³ 除了局屬自動站外，雲林地區也有農業自動氣象站。然而，其資料格式與局屬站截然不同，對應的查詢入口又是採用爬蟲難以處理的前後端響應寫法，又手動查詢時操作繁多，且與局屬站的系統沒有整合、又很可能時常更新。筆者認為，使用「農業自動氣象站」會造成更大的技術門檻、維護困難，故在此僅考慮局屬自動站。

在此要先提及的是：「氣象資料容易有缺值，不代表使用者要處理缺值問題」。我們不能否認，維護資料品質是資料管理者的職責，這樣的工作也只能由資料管理者來承擔——尤其當今所使用的是政府開放資料時，由於政府具權威性、權力與治理的公共性面向，故在與開放資料治理上理應負起更高的社會期待、治理倫理。然而，做為資料管理者之中央氣象局，並不會主動補缺值，同時也沒有公告建議合適的補缺值方法。在這樣的社會脈絡下，缺值的補正才成為了本研究得面對的議題之一。

一般來說，可透過距平法、或網格補值法與其他方式來推估缺失的氣象資訊，個別方法會獲得不同的補缺值效力。但值得注意的是，這並非一般其它專業之學研單位、或公領域民眾能處理的範圍：其中許多方法得在該單位擁有大範圍的充足資料、足夠的運算資源為前提下才可以運行——具體而言，也就是僅有政府、學研單位才能執行，也形成了獲得資料品質上的權力不對等、使用門檻排他性。

於重重限制考量(如：資源限制、相關利益人的能動性)的本研究中，無法使用這些複雜的方法。也因此，我們在此依據產業現場的能執行的範圍內，排序補缺值方法的可靠性，並讓系統運用這些方法的順序與其效力排序一致，藉此完成補缺值的任務。

3. 問題聚焦之方法選擇

問題聚焦是提出解方的必要前件，但不同方法將帶來相異的成果深度、限制與對應成本。相比於一般常用的問卷、非結構化訪談、焦點團體法，本研究所使用之脈絡訪查法是能建立最為深度洞察的方法，但也同時是耗時最久、也更仰賴協力者權力關係、與訪查者綜合能力的訪查方法。

在本研究中，受惠於 (一)利益關係人較為單一 (二)作物生育調查會進行持續一年以上 (三)本研究室過去曾有過 2 年以上之先期研究，是故便擁有充裕的時間、較單純的現場³⁴、一定的預備默契、與適當的身分來使用脈絡訪查法。

³⁴ 在此的「單純」是相比於其他可能的農業現場，但實際上在許多脈絡訪查法常應用的案例(如：醫療、工業人機互動)中，本次的脈絡已經過度複雜。

然，農業現場脈絡往往十分複雜，也因此，這樣的研究方法不一定適合所有往後類似的農業研究進行。資源面上，在一特定領域中深耕、蹲點，需要由研究主持人的堅持，與外部資源的相互配合，對容易受大環境政策影響之科研單位而言十分不容易。同時執行面上，還需要和在地關係網建立關係，才有機會得到重要的資訊、與對於資訊的感受——在前述這些都慢慢起來後，還不一定能保證能提出解方，因為許多問題的原因來自於結構，卻並非技術研究所能輕易跨越，能釐清現狀就已是巨大的一步。也是故，筆者認為本研究能有一定結果，乃十足的努力投入、與十足的運氣³⁵累積而成，但若在別的領域中進行，則不一定總能重複地如同本研究般產出結果。

4. 知識本位視角帶來的潛在限制

研究者之視角會同時決定問題的釐清、以及對應的解決方法。我們無法否認具有學理背景的研究者視角，能為現況進行研析、並規劃解方的同時，卻很可能因此帶來限制、挑戰。

在許多關於專家系統的案例中，皆有案例指出其忽略了使用者的需求(Zhai et al., 2020)。這類案例，是以專家落入以自身知識體系本位為主的視角，則很容易忽略了現場使用者的需要、與搞錯問題優先排序，進而創造出需求、而非回應需求。又，實際上處於現場脈絡中的人，往往僅有眼前的資訊，很難去綜觀全局、思考破局之解方。也是故，若此時在研究者又掉入了知識本位的視角陷阱，遞出的解方便可能切不中痛點。

換而言之，自身知識是把雙面刃，而研究者的自我意識覺察則決定了整個研究會往什麼方向進行。筆者在此認為，我們須具明確意識地去遠離自身過往經驗，以純粹觀察視角、不帶批判地去觀察現場，卻也同時不能被現場的思維慣性給同化——這也是為何於第三章中描述現場脈絡時，筆者決定以「觀察者」為主軸、以「設計者」為輔的拆分書寫視角來書寫。這樣一來能以「觀察者視角」將脈絡

³⁵ 不可否認，當初也是筆者對自己十分自負而選擇此方法，但也同時抱持著隨時軸轉的想法——但所幸一切水到渠成，沒有用到那些備案。

鋪展開來，同時並能保留對於現場的批判，更再透由後面段落中設計限制、洞察，來有依循地呈現從「現狀釐清」到「提出解方」間的思維過程。

承認自己永遠是受限的，僅在覺察這般受限帶來的兩面性後，我們才能有意識地去避開。當我們手上有錘子時，我們不一定要將每個問題視作釘子，我們也可以退一步，看看現場怎麼說。

5. 執行能力與設計量體之間的權衡

即便現在(指本研究進行期間之 2019 年末至 2023 年初)資通訊技術十分普及，但這並不代表數位服務的開發便是一件容易上手的事。資訊軟體工程是一個十分深大、技術快速更新的領域，以現階段而言，雖然開發比起過去十幾年前更加簡單，但實際上仍具有很高的技術門檻——尤其對於非本科背景出身的研究者、和以筆者獨力執行本研究的工作量體而言，開發上仍十分需要跨越許多的技術門檻。

這等情況造就的資源限制，使得執行面上更加仰賴對於現場脈絡的洞察——透過嵌入工作流程並減少維護需求的設計、與學理技術的推進，來減少設計體量和所需執行成本，讓將珍貴的開發資源得以聚焦成形。這同時也代表了發生了許多在思考與資源上的權衡，如：用以解決現場核心問題的演算法、與人機互動模式設計成為了開發第一要務，使用者介面/經驗(UI/UX)優化、MySQL 資料庫部署與相關技術，則是被列為較低優先級的開發事項。

儘管確實有廠商在提供無代碼式的開發服務(No-code development)，能以既有的模組工具協助開發應用。在開發初期，筆者曾有嘗試過，但由於當時這些工具才剛起步，還不能滿足本研究的開發需求。是故最終在開發上，轉而選擇以 R 語言中 shiny 套件來進行原型開發、功能驗證。

二、 作物參數最佳化演算法

1. 選用貪婪法的原因

在參數的最佳化方法中，依據不同的最佳化目標則有對應之方法。在最佳化目標可以微分的前提下，常會透過微分來尋找極值，這類方法如：梯度下降法、下山法——然而，這類方法在本研究題目中並不可行。

$Score_{H,j} = C.V \text{ of } \{cGDD_{i,H,j} \mid i = 1, \dots, n\}$, given a set of phenological Data

在本研究中，我們先定義了有效積溫法的可靠性，而後推出良好的性質為「同物候資料預測值之變異係數」。這個函式成了我們的最佳化目標——然而，這樣的函式是極難推出其微分形式的。在最底層的計算上，先不論使用的有效積溫函

式是否為可微函式，每筆物候資料的生育天數都不相同，同時又有著各自的氣象資料，這使得光是想對每塊田的累積積溫函式寫出微分時，難以找到一個通用的形式。因此，得採取另一種方法，來獲取較好的函數。

在筆者的思考過程中，有規劃數出不同的運算方案，其中除了現今偏向貪婪法的想法外，亦有數種變形、與應用其他不同概念來解題的算法。然而，本次研究的目的是要推廣至應用現場，而理解便是被認可、接受的一大前提。每個門檻有各自的複雜程度、理解門檻，但如何去具體地做出挑選呢？是故，最後筆者給自己了一個限制：希望所使用的方案在 Excel 試算表上也能手動地操作。

在測試中(於不使用 VBA 語言的前提下)，貪婪法之方案也成為少數成功、且最簡單的方案，因此便選擇使方案作為本次回應作物參數最佳化之選擇。

2. 影響演算結果之性質與解決

貪婪法方案在處理不同的子問題中並沒有記憶性，也因此並非是得出最正確解的方法。在此將這些性質，如下列出，並說明解決方案。

面對選擇岔路

在最佳化的過程中，會遇到有數個選擇表現一樣好的岔路。不同的岔路可能會連帶地影響到最終停在哪裡，但演算法僅從中選一條的性質，是故面對不同選擇時無法真的選擇到最好的那條。

此外值得一提的是，若沒有特別加以控制，遇到叉路時則會因使用之程式語言(關乎於呼叫引數的結構、與實際寫法)而形成選擇偏好。

每一步僅選擇「更佳者」

在不同參數組合的比較中，常會有當前 Tmp_CV 值與所遇 MinCV 值相同的情形。為避免演算法在此區域卡住、且力求簡單，便限制演算法僅在 MinCV 值比 Tmp_CV 值更小時，才進行移動。

打個比方，這就像是一個只做出最賺選擇的人，當遇到不賺也不賠的情況下，便會先行離場(但或許好機會在後頭呢)。

共同的解決方法：多試幾次

最佳化的結果受到起始點、與演算流程部分操作的影響。不過，參數組合並非是無窮盡的，由於已經透過學理限制了合理的作物參數範圍，也因此應用上最實際的解決方法便是：多試幾次不同的起始點，再從中挑選表現佳的即可。

三、 未來可能發展方向

1. 核心演算法之應用拓展

環境與基因交感性狀的探勘

本次系統中所開發之演算法，能根據既有物候資料來最佳化出有效積溫式所使用的作物參數。這樣的做法不只大幅減少了參數化試驗的需求，同時由於是從田間資料出發，進而也解決了大多參數化試驗中「實驗室與田間截然不同」的困境。

同時，植物對於環境的生長反應，其實同時與植物本身遺傳背景、與環境有關兩者之間的交互作用有關，因此換個角度看，我們可以將有效積溫反應式看作為一基因與環境交感的性狀(Gene-Environment Interaction Phenotype)。承接著此觀點，每一個被最佳化出來的作物參數，便可以看成每個品種的參數、特性。也就是說，這樣的演算法便成為了透過物候資料來偵測某種 $G \times E$ 外表型的快速工具。

這樣對於品種參數的探勘潛力，很可能在實用上具有不錯的價值。我們不僅可以在面對未知品種，來快速協助估計品種的生育期模式，並進而掌握其一部份與溫度反應相關的 $G \times E$ 性狀。即便後者 $G \times E$ 性狀上，不一定能很好地掌握、或相關的模式尚未被發展，但光是能直接定下品種的生育期預測模式(或可稱為生物熱時間，Biological Thermal Time)，便也助於探勘出其他關係、或來估計某些已知關係的係數³⁶。

³⁶ 筆者於另外的嘗試中，參與了 2022 年 USDA 舉辦的 G2F(Genome 2 Field)競賽。便應用此演算法於過去美國農業部 10 年間超過 40000 多個品系的田間資料，同時抓出在不同緯度、日週期下，每個品系開花期對於光周長敏感的程度。

2. 專家數位系統之未來擴充

以品質模式建立產地操作規範

於產業中，尚缺乏以根據科學數據佐證的方式為產地建立操作規範。在本次探討最多的採收期而言，採收期之判定仍是根據現場經驗積累而得。然而，此時是否真為品質最佳的時刻，還有待以實際數據佐證。

是故若需更進一步，或許則可以透過分析採樣所得之果穗物理品質、糖份品質與生長發育、環境之間的變化關係，來建立品質預測之作物模式。從品質生理隨時間變化的角度建立合適的採收期規範，並作為輔助產業佐證之科學工具。除了優化農產業之供貨品質外，亦有機會能導入作為上下游產業鏈間往後協調使用的共同物證機制，進而對於彼此協作將更加互相皆有實際之保障、博弈的空間。

37

拓展不同作物的服務

除了水果玉米，有效積溫法還能適用在不同的一年生作物。而本研究中面對使用的情境，主要最適用於：於田間栽培，且對於採收期十分敏感之一年生作物。

在此，將筆者認為毛豆或許會是可以考慮的作物之一。毛豆做為為臺灣重要的出口作物之一，且由於為鮮食使用，與水果玉米一樣為對於適採期十分敏感之作物。同時，在契作之組織關係上有著與水果玉米相似的層級、與利害關係人結構。希望透過此方向，擴大影響力並挖掘新的可能。

做為融合農學知識體系與地方風土經驗的橋樑

在本次研究中，筆者能察覺到有兩種知識體系在強烈地對撞，若以名狀則為「農學知識體系」與「農村知識體系」——前者為筆者等研究者持有，為關乎於現象背後的普遍原理，後者則為當地所用，關乎一地的風土經驗與脈絡。

³⁷ 於產地端，農民有可能會因為各種因素，如：擅自早採收、品質不佳而被扣錢，然而扣錢的依據、程度多是由契作商決定，一直沒有無實際科學化之標準。若今天以科學物證證實特定積溫區間進行採收將具有較佳，則可根據此納入契約之中，在某一程度上減少農民被扣錢的機會，同時契作商也亦能有較好的供貨品質、或有充足的證據於產業鏈中進行協商，進能維持競爭力、同時與生產者保持穩定關係。

之於現場，「農村知識體系」絕對是十分重要的一環，其蘊含的風土經驗能為現場提供一定的決策依據(儘管這些現象背後原因常常還尚未辨明)。然而在學理上，關於這類的農村知識體系探討的實在太少，光是思想上的世界觀就有本質上的差異(如：曆法。見 95 頁)，又缺乏系統化地蒐羅，進而更難以作為主題來研析背後成因。但往往對於現場真正重要的可能就藏於背後，也因此筆者認為：或許如何同時融合「農學知識體系」與地方風土「農村知識體系」兩者來創造新的知識體系，將是下個時代農學前往地方十分重要的一個階段。

兩個知識體系的融合，首要便是了解彼此的詞彙——而農耕的本質來自對於作物生育期的操作管理，因此不管是「農學知識體系」還是「農村知識體系」，都得看著農作物的狀況再作出相應的行動。

換而言之，作物物候是兩者之間的客觀標準，本系統也因此變成為了一個很好的基礎。在建立了準確的物候預測模式後，便能有效地將雙方詞彙映射至同一作物的不同階段上，藉以對每個詞彙指涉的範圍進一步了解³⁸，成為未來彼此互相印證、激盪的基礎。

3. 基以物候資料的農業未來治理

筆者認為，基於生育期物候操作管理的安排、執行是農業操作的一大精髓。

過往氣候穩定，使用日曆天作為大致的栽培管理是可以接受的管理模式。然而於氣候變遷的現在，不僅全球許多地區溫度逐漸攀升，同時各月份內之環境變異與過往不同——這代表的是，不僅以日曆天數作為管理基礎已不大可靠，使用線性積溫法也很可能亦無法滿足未來多變、嚴苛的環境條件。

是此，建立更加穩定³⁹的物候預測方式顯得更加重要，本研究提出之演算法便直指此核心問題。實際上，環境變遷的速度很可能遠快我們所能準備的速度——也因此，直接透過實現的物候資料來逐步學習出堪用的物候預測模式，並作為治理的基礎，便能給予科研體系、政策體系、產業體系一定的空間去做出調適策略，以應對更加嚴苛的天然災害、與資源分配挑戰。

³⁸ 知道一個詞彙可能「是什麼」十分重要，而同時，知道「不是什麼」也十分有幫助。

³⁹ 筆者對於「穩定」之描述為：即便在不同的環境下，此生育期預測方式仍維持足夠參考價值。

過往，以物候預測為治理基礎的模式似乎顯得沒有必要、及缺乏對應的技術；而現在，人類文明面臨巨大挑戰，但也有著過去數千年來都未曾有過的資通訊技術，氣候變遷加劇的同時，數位時代也跟著來臨。筆者認為，本演算法將會是一個很好的起點——或許能足以藉助這些過去未曾有過的運算力、通訊技術，讓這些最為治理基礎的物候預測資訊能夠普遍流通，並透過軟硬體作為渠道，擴散到世界上的每個地方，讓各地都有機會發展能基於當地實情的治理模式。

而筆者認為，我們可以先著眼臺灣，以下將舉三個未來可能的應用方向：

(一)在改良場育成文獻中，所使用之有效積溫計算方法以線性積溫法為主。在先前的章節中，我們已經證明：本研究提出之方法勢必會比線性積溫法更加準確。也因此，筆者認為第一個可能的應用，便是將此框架導入農業改良技術單位中，用透過在育種過程的區域試驗時，一併統整不同地區生育、氣象資料，快速建立更加準確的生育期預測模式。此舉除了能引入具有較高穩定性之預測方法、使得於實際場合上預測更加穩定準確外，亦能減少額外參數化試驗之成本，在節約人物力成本時之餘，亦能夠作為推動科學化栽培的重要基礎⁴⁰。

(二)而作物生育期不僅關乎於肥培、病蟲害管理，同時也關乎於用水的治理。然而在臺灣，灌溉計畫是以日曆天在做規劃，並且其中亦缺乏品種資訊——這樣的作法在面對氣候變遷、與政治角力的社會水資源分配，已讓整體用水安全受到挑戰。

是故，筆者認為第二個可能的應用，便是將這樣的物候預測模式導入灌溉體系中。更具體來說，便是透過物候預測來輔助作物需水係數(K_c)的預估，同時並可以據此標示關鍵需水敏感生育期的資訊存在，進而在水權競合的博弈中，能夠有更多資訊來做出最佳的調適。此外，還有機會透過追蹤實際調配水的紀錄、與實際灌區物候資料來更新決策，實現動態型之農業水資源管理，提升整體社會韌性。

⁴⁰ 過去，筆者於臺灣不同產區(包含：新竹、雲林、嘉義、彰化、屏東、宜蘭)訪問過數個曾使用過有效積溫法的農民，皆是因為親自實驗後有效積溫不準確、準度不符合實際需求，是故認為此指標對於田間並沒有任何幫助，進而放棄該方法。筆者認為，自育成文獻中調整成具有更加穩定、準確的生育預測方法，在新品種推出時能減少對於這群先鋒者的挫敗感、或提升其回饋，進而才有更多信心、擴散機會來推廣此方法，以協助農民面對氣候變遷等未來挑戰。

(三)除了應用於公領域外，物候預測也能夠很好地在產業之中使用。

如：今一產銷班預測其將在一個時段迎來小黃瓜的豐收，便可以透過這樣的系統，將資訊傳給下游的產銷通路(如：家樂福嚴選)，下游產銷通路便有機會根據此消息，來提前規劃促銷的活動事項、即對應的倉儲流調整，進而能夠減少整體農產產能臨時過剩所導致的浪費。

這樣的手法也可以用至農產業上游、與資材商，如：育苗業者上，若當今種植的農戶田裡已經達到特定有效積溫時，此資訊便能提醒育苗業者可以開始育苗，便可以在採收完時剛好將適合插植的苗育成，除了進而提高土地的稼動率，更因為減少苗過度老化的機會而能使整體種植更加健壯。又如：在無人機噴藥服務上，讓系統將輪生期等需要打藥的時期、與不該噴藥的開花期提前告知噴藥廠商，除增進排程效率、並能選擇適合的施灑方式外，更有機會能透過集團選藥的配置，來調控應對隨時演化的病蟲害。

陸、結論

本試驗為第一個以脈絡訪查法進行使用者探訪、並做為建置基礎的農業專家系統。為期一年半的持續訪查中，我們透過研析相關利益人之現場生產脈絡、與水果玉米白美人之生理栽培特性，逐漸聚焦出核心議題在於「作物適採期預測」。同時也了解到來源種子商的遺傳背景可能會變動、且使用者常有試種新品種的需要，進而刻畫出更加立體的使用需求。

在分析相關利益人曾使用之預測方法與態度後，發現「引入對高溫具有修正的有效積溫算法」將是合適的方向——然而此時，「如何挑選合適的作物參數」卻也成最大的門檻：在遺傳背景不停變動、且對於採收的喜好也逐漸變化之下，若使用固定的作物參數不僅難保合乎實用，且勢必無法應對未來的應用場景。

為回應現場需求，本試驗也首度提出了第一個能利用既有物候資料對多重有效積溫參數最佳化之演算法。其中，最佳化目標使用參數較多、故具有最高彈性之梯形積溫法，並根據過去文獻已知事實將生理參數鎖定在合理的範圍中，便可藉此演算法，根據契作單中既有之資料為指定品種進行最佳化。

技術驗證環節中，首先證實了最佳化效果確實顯著，並也證實使用了最佳化後參數的梯形積溫算式，將比起線性積溫法有著更好預測效果。同時，我們更依據實際使用的場景，來測試進行產期預測時之實際資訊效用。結果顯示，從進入輪生期期後，產期預測的效用即開始達到穩定、並接近實用需求。此外，也模擬學習新品種時的學習情況，結果顯示此方法總是優於原先線性積溫法。

最後於系統建構環節上，先根據現場脈絡形成具體的設計限制與洞察，以將更細部的使用者行為、能動性考慮其中，接著再據此規劃出系統架構、功能、與使用者歷程。使用者可透過系統查詢指定田區的生育預測，同時系統亦能生成能匯入至 Google 日曆之巡田提醒文件，並讓此資訊嵌入於現行工作流程之中。

本試驗不僅進行了深度的使用者調查、亦提出嶄新之技術解方，來將兩者合而為一來完成系統開發，並深入地明晰使用者需求、與流程。雖這樣的流程不一定能適用於不同的場域，但筆者認為，其中之手法、思考過程及結果，將能成為往後建置其他專家系統的典範與技術基礎，並為往後的數位轉型、共同治理上奠定重要的基石。

柒、參考文獻



Abbasi, R., Martinez, P., and Ahmad, R. (2022). The digitization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. *Smart Agricultural Technology* **2**, 100042.

Aggarwal, P., Shirsath, P., Vyas, S., Arumugam, P., Goroshi, S., Aravind, S., Nagpal, M., and Chanana, M. (2020). Application note: Crop-loss assessment monitor – A multi-model and multi-stage decision support system. *Computers and Electronics in Agriculture* **175**.

Andarzian, B., Hoogenboom, G., Bannayan, M., Shirali, M., and Andarzian, B. (2015). Determining optimum sowing date of wheat using CSM-CERES-Wheat model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **14**, 189-199.

Angel, J. R., Widhalm, M., Todey, D., Massey, R., and Biehl, L. (2017). The U2U Corn Growing Degree Day tool: Tracking corn growth across the US Corn Belt. *Climate Risk Management* **15**, 73--81.

Birch, C., Hammer, G., and Rickert, K. (1998). Temperature and photoperiod sensitivity of development in five cultivars of maize (*Zea mays* L.) from emergence to tassel initiation. *Field Crops Research* **55**, 93-107.

Bonfante, A., Monaco, E., Manna, P., De Mascellis, R., Basile, A., Buonanno, M., Cantilena, G., Esposito, A., Tedeschi, A., and De Michele, C. (2019). LCIS DSS—An irrigation supporting system for water use efficiency improvement in precision agriculture: A maize case study. *Agricultural Systems* **176**, 102646.

Bonhomme, R. (2000). Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy* **13**, 1--10.

Cesaraccio, C., Spano, D., Duce, P., and Snyder, R. L. (2001). An improved model for determining degree-day values from daily temperature data. *International journal of biometeorology* **45**, 161-169.

Cotter, M., Asch, F., Abera, B. B., Andre Chuma, B., Senthilkumar, K., Rajaona, A., Razafindrazaka, A., Saito, K., and Stuerz, S. (2020). Creating the data basis to adapt agricultural decision support tools to new environments, land management and climate change—A case study of the RiceAdvice App. *Journal of Agronomy and Crop Science* **206**, 423-432.

Feo, T. A., and Resende, M. G. (1995). Greedy randomized adaptive search procedures. *Journal of global optimization* **6**, 109-133.

Ferentinos, K. P. (2018). Deep learning models for plant disease detection and diagnosis. *Computers and Electronics in Agriculture* **145**, 311-318.

Field, B., Booth, A., Ilott, I., and Gerrish, K. (2014). Using the Knowledge to Action Framework in practice: a citation analysis and systematic review. *Implementation Science* **9**, 1-14.

Habibie, M. I., Noguchi, R., Shusuke, M., and Ahamed, T. (2021). Land suitability analysis for maize production in Indonesia using satellite remote sensing and GIS-based multicriteria decision support system. *GeoJournal* **86**, 777-807.

Higley, L. G., Pedigo, L. P., and Ostlie, K. R. (1986). DEGDAY: a program for calculating degree-days, and assumptions behind the degree-day approach. *Environmental entomology* **15**, 999-1016.

Karen, H., and Sandra, J. (2017). Contextual inquiry: A participatory technique for system design. In "Participatory design", pp. 177-210. CRC Press.

Kiniry, J., Ritchie, J., and Musser, R. (1983). Dynamic Nature of the Photoperiod Response in Maize 1. *Agronomy Journal* **75**, 700-703.

Kumudini, S., Andrade, F. H., Boote, K. J., Brown, G. A., Dzotsi, K. A., Edmeades, G. O., Gocken, T., Goodwin, M., Halter, A. L., Hammer, G. L., Hatfield, J. L., Jones, J. W., Kemanian, A. R., Kim, S. H., Kiniry, J., Lizaso, J. I., Nendel, C., Nielsen, R. L., Parent, B., Stöckle, C. O., Tardieu, F., Thomison, P. R., Timlin, D. J., Vyn, T. J., Wallach, D., Yang, H. S., and Tollenaar, M. (2014). Predicting Maize Phenology: Intercomparison of Functions for Developmental Response to Temperature. *Agronomy Journal* **106**, 2087-2097.

Lang, D. J., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M., and Thomas, C. J. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability science* **7**, 25-43.

Li, M., Sui, R., Meng, Y., and Yan, H. (2019). A real-time fuzzy decision support system for alfalfa irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture* **163**.

McMaster, G. S., and Wilhelm, W. W. (1997). Growing degree-days: one equation, two interpretations. *Agricultural and Forest Meteorology* **87**, 291--300.

Mirs-Avalos, J. M., Rubio-Asensio, J. S., Ramirez-Cuesta, J. M., Maestre-Valero, J. F., and Intrigliolo, D. S. (2019). Irrigation-Advisor—A Decision Support System for Irrigation of Vegetable Crops. *Water* **11**.

Piper, E. L., Boote, K. J., Jones, J. W., and Grimm, S. S. (1996). Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science* **36**, 1606-1614.

Prokopy, L. S., Carlton, J. S., Haigh, T., Lemos, M. C., Mase, A. S., and Widhalm, M. (2017). Useful to usable: Developing usable climate science for agriculture. *Climate Risk Management* **15**, 1-7.

Roche, J., Plantegenest, M., Larroudé, P., Thibord, J.-B., and Poggi, S. (2023). A decision support system based on Bayesian modelling for pest management: Application to wireworm risk assessment in maize fields. *Smart Agricultural Technology* **4**, 100162.

Rossi, V., Salinari, F., Poni, S., Caffi, T., and Bettati, T. (2014). Addressing the implementation problem in agricultural decision support systems: the example of vite.net®. *Computers and Electronics in Agriculture* **100**, 88-99.

Rumpf, T., Mahlein, A. K., Steiner, U., Oerke, E. C., Dehne, H. W., and Plümer, L. (2010). Early detection and classification of plant diseases with Support Vector Machines based on hyperspectral reflectance. *Computers and Electronics in Agriculture* **74**, 91-99.

Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., and Rockström, J. (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature sustainability* **2**, 805-814.

Sciarretta, A., Tabilio, M. R., Amore, A., Colacci, M., Miranda, M. Á., Nestel, D., Papadopoulos, N. T., and Trematerra, P. (2019). Defining and Evaluating a Decision Support System (DSS) for the Precise Pest Management of the Mediterranean Fruit Fly, *Ceratitidis capitata*, at the Farm Level. *Agronomy* **9**.

Snyder, R. L., Spano, D., Cesaraccio, C., and Duce, P. (1999). Determining degree-day thresholds from field observations. *International Journal of Biometeorology* **42**, 177-182.

Stone, P., Sorensen, I., and Jamieson, P. (1999). Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate. *Field crops research* **63**, 169-178.

Wixon, D., Flanders, A., and Beabes, M. A. (1996). Contextual inquiry: grounding your design in user's work. In "Conference companion on Human factors in computing systems", pp. 354-355.

Xu, X., He, P., Pampolino, M. F., Johnston, A. M., Qiu, S., Zhao, S., Chuan, L., and Zhou, W. (2014). Fertilizer recommendation for maize in China based on yield response and agronomic efficiency. *Field Crops Research* **157**, 27-34.

Yang, S., Logan, J., and Coffey, D. L. (1995). Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agricultural and Forest Meteorology* **74**, 61--74.

Yin, X., Kropff, M. J., McLaren, G., and Visperas, R. M. (1995). A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology* **77**, 1-16.

Zalom, F. G., and Goodell, P. B. (1983). "Degree days: the calculation and use of heat units in pest management," University of California Division of Agriculture and Natural Resources.

Zhai, Z., Martinez, J. F., Beltran, V., and Martinez, N. L. (2020). Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. *Computers and Electronics in Agriculture* **170**, 105256.

Zheng, B., Chenu, K., Doherty, A., and Chapman, S. (2014). The APSIM-wheat module (7.5 R3008). *Agricultural Production Systems Simulator (APSIM) Initiative* **615**.

Zhou, G., and Wang, Q. (2018). A new nonlinear method for calculating growing degree days. *Scientific reports* **8**, 1--14.

Zinkernagel, J., Maestre-Valero, J. F., Seresti, S. Y., and Intrigliolo, D. S. (2020). New technologies and practical approaches to improve irrigation management of open field vegetable crops. *Agricultural Water Management* **242**.

刘鹏, 胡昌浩, 董树亭, 王空军, and 张吉旺 (2003). 甜质型和普通型玉米籽粒发育过程中糖组分比较研究. *中国农业科学* **36**, 764-769.

林, 奇. (2019). 超甜玉米果穗品質變化與冠層微氣象之相關性分析. 1--98 , school = 國立臺灣大學.

捌、附錄



一、氣象資料與補缺值方法之探討

鮮綠農產的契作田區的契作範圍中，虎尾站、土庫站處在其中心範圍內。而兩者筆較之下，該站不只位處其中心位置，而在雲林一帶中僅以虎尾站設置較早⁴¹、具有較完整之歷史資料，故本次選以虎尾測站為主。

氣象資料的品質將影響有效積溫的使用，而從中央氣象局的原始資料中，有時本身即存在缺值。然而補缺值的數值方法，往往需要大量的運算資源，並非本研究所對應的現場能夠滿足之處。是故在此，將探討三種簡單缺值補值法的效力，分別為：高低溫相加法、歷年平均取代法、鄰近測站補值法，並藉此設計系統內缺值的補救機制。

附表 1 本次探討之補缺值方法一覽。

方法名稱	說明
高低溫平均法 (Method 1)	當日最高溫、最低溫之平均。
歷年平均取代法 (Method 2)	歷年同一天之資料下平均。 使用資料為 2000 年至 2022 年，總計 22 年之資料。 分別測試：5 年滑動平均、10 年滑動平均、所有年度平均。
鄰近測站取代法 (Method 3)	以鄰近氣象站之當日均溫做為補值。 本次將分別以土庫站(該地區之自動測站之一)、嘉義站(最鄰近之局屬有人站)，來進行比較。 分別測試：土庫站、嘉義站 ⁴² 。

⁴¹ 虎尾站啟用於 1993 年 1 月 1 日，以開放之資料時序為從 1995 年 1 月 1 日起。其他的七個測站設立較晚(土庫、元長、荖桐、西螺、褒忠、斗南、斗六)，則各自分別於 2015 年 7 月 3 日或 2016 年 1 月 1 日啟用，是故使用虎尾測站為主。

⁴² 嘉義站是離虎尾一帶最近的局屬有人站之一，設立於 1968 年，歷史悠久且資料品質良好。另一個較近的局屬有人站為田中站，但其為 2020 年於田中高鐵站旁新設立，故在此並不考慮使用。

1. 測試方法

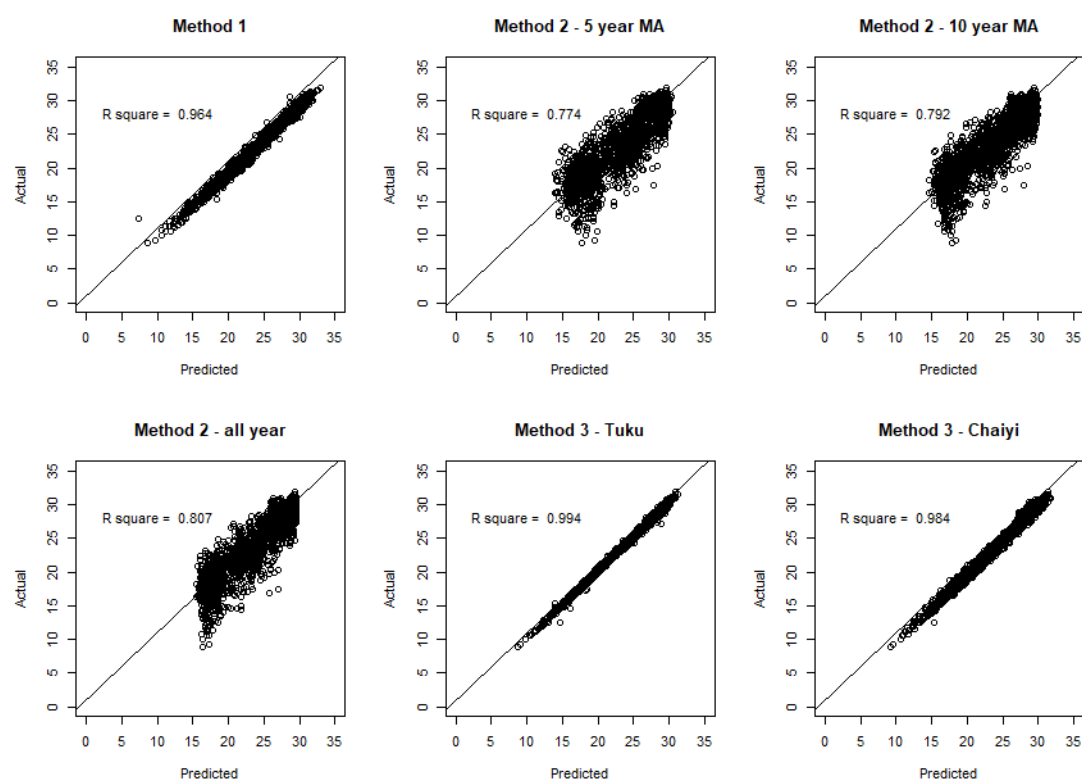
對 2017 年至 2022 年之虎尾站實際資料進行測試，繪製 Predicted vs. Actual Plot，並以其 R-square 做為判斷標準。



2. 資料整理

將虎尾站、與各算法預測值算出整併後，合計 2191 日資料。為利後續驗證，刪去其中含任一缺值者合計 52 日後，餘 2149 筆日氣溫資料與對應的推估值。

3. 測試結果



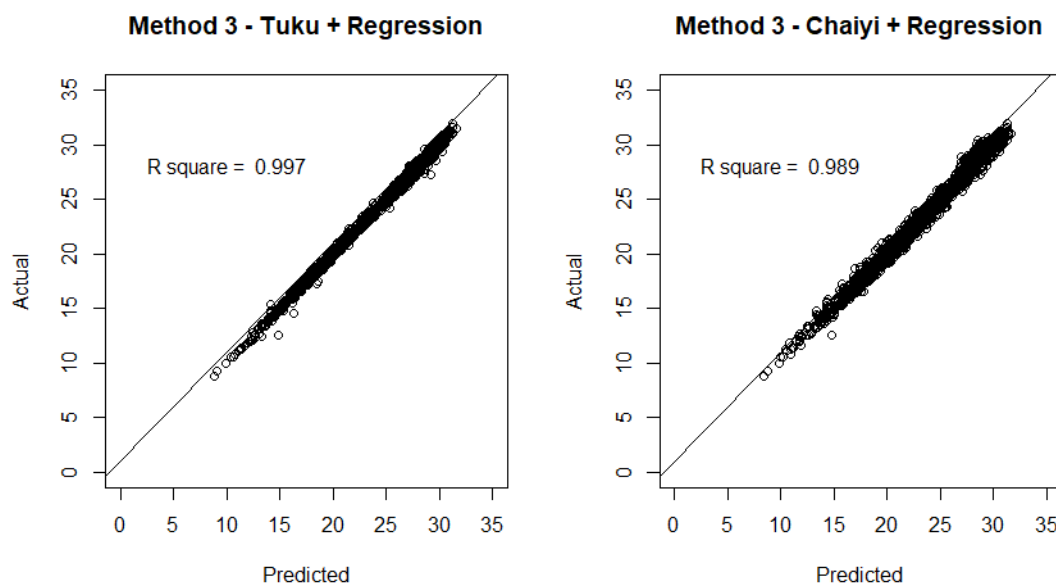
附圖 1 六種不同補值方法之 Predicted vs. Actual Plot。

分別為：高低溫平均法(左上)、5 年滑動平均之歷年平均取代法(中上)、10 年滑動平均之歷年平均取代法(右上)、所有年度之歷年平均取代法(左下)、土庫站之鄰近測站取代法(中下)、嘉義站之鄰近測站取代法(右下)。

由結果(附圖 1)顯示，最好的補值法為鄰近測站取代法(Method 3)，R-square 分別為土庫站 0.994、嘉義站 0.984。其次則為當日高低溫平均法(Method 1)，R-

square 為 0.964；最後則為歷年平均取代法(Method 2)，R-square 分別為 5 年滑動平均 0.774、10 年滑動平均 0.792、所有年度平均 0.806。

而筆者也有額外測試：在鄰近測站資料的基礎上，再搭配使用線性回歸式來推估缺值之效果。然而，由於此之目的為設計補值機制，故在此不以交叉驗證法來進行⁴³，直接以全期資料建立線性回歸式後，產生推估值並繪製 Predicted vs. Actual Plot。



附圖 2 以鄰近測站建立迴歸關係來補值之 Predict vs. Actual Plot。

其中左為土庫站，右為嘉義站。

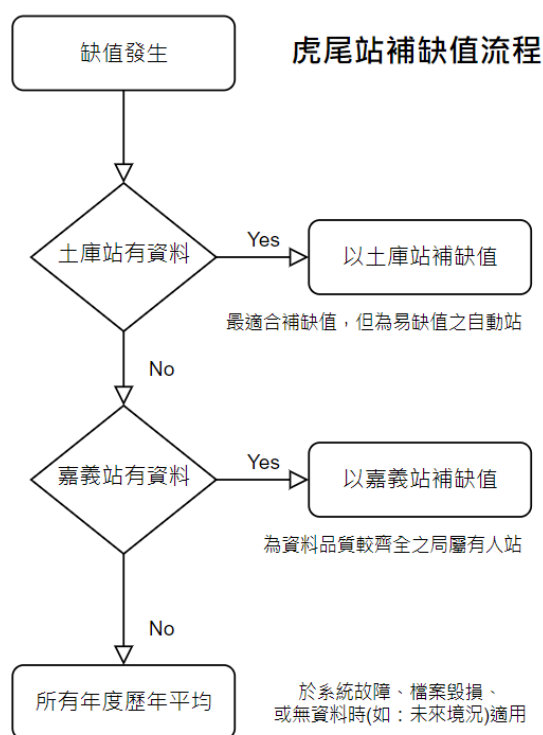
而結果(附圖 2)顯示，在這樣的方法下，以嘉義站者 R-square 為 0.989，仍未超過不經加工的土庫站鄰近測站取代法。而在利用土庫站做線性推估中，R-square 自 0.994 提升至 0.997，有些微提升。但是否真能對現場有足夠意義的影響，得要看實際之殘差標準差提升了多少。進一步計算殘差標準差，從 0.263 降至 0.257——此為小數點後三位數之差距，但由於現今溫度測量之有效位數僅至小數點後一位數，遠小於有效位數的冪次，是故這樣的增進不具實際意義，故不納入考量。

⁴³ 線性推估方法可以增加推估準確度，但也會增加補救機制的操作成本，故考量上須以證明「不必使用」為優先考量。以全期資料進行自預測，將會增加 R-square。若結果上 R-square 並無太大變化，也不會撼動土庫站、嘉義站選擇之間的排序，也不會對現有決策造成影響。

4. 建立虎尾站補值流程

在局屬自動站中，當日最高溫、最低溫之測量與當日均溫來源相同，是故當遇到當日均溫缺值時，此方法很容易也連帶會受到影響，不會是個穩定的方法。同時，高低溫平均法的效用又不如有穩定資料的嘉義站之直接取代，因此不予考慮。

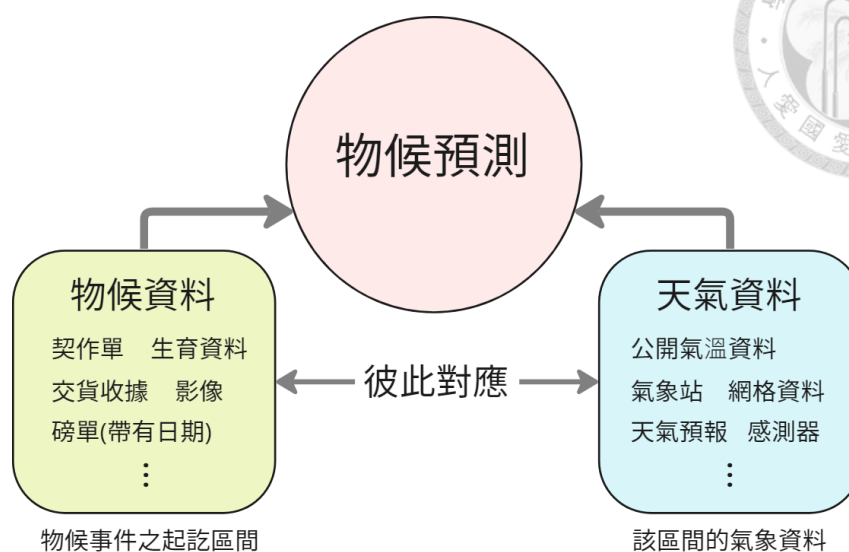
土庫站屬自動站，但由於其效用比嘉義站好，是故將其放在第一順位，而次之的嘉義站則放在第二順位，用以保證都有良好的補值品質。但以嘉義站為保險還不能完全萬無一失，因為這還是以一外部檔案為主的補值方法，如：當系統移失檔案、或爬蟲程式毀損時便會失效，勢必還要再補一個能在未來使用的方法，以利進行。此時，以虎尾站歷年資料之歷年平均取代法便展露其效用，筆者在此將其排予第三順位。是故，補缺值之流程歸納如下圖(附圖 3)。



附圖 3 虎尾站補缺值之流程圖。

同時，這樣的資訊也給予我們一個證據：面對遠期未來的預測資訊，採以「所有年度平均」作為推估，會比五年滑動平均、十年滑動平均更合適的方法。

二、 廣義化的物候預測資料框架、與關聯式資料庫設計



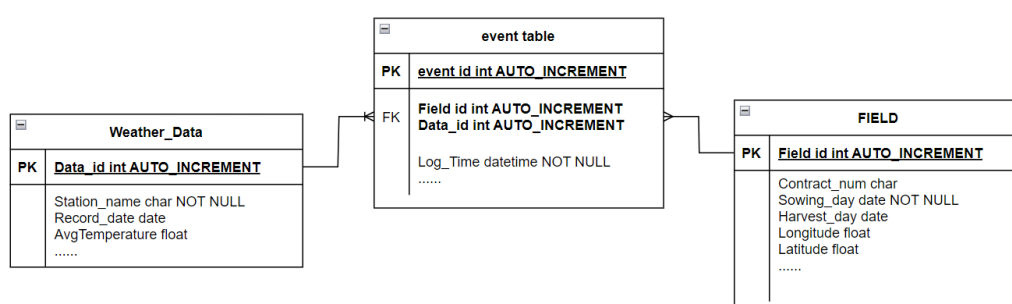
附圖 4 廣義化之物候預測框架。

物候預測框架

廣義而言，物候預測，由一組彼此對應的物候資料與天氣資料組成。每筆物候資料記載著一個特定的區間，而我們能根據此區間來呼叫天象資料。只要湊齊了對應的資料後，就可以開始進行物候預測的條件。

在此，將根據此框架來為使用之設計關聯式資料庫，並加以解釋。

關聯式資料庫設計



附圖 5 關聯式資料庫設計。

首先，將以契作資料單獨作為一個田區資料表(FIELD)。其中，將以自動增列的 Auto Increment 作為主鍵(primary key)，並欄位中含有契約單號、種植日、收穫日、經度、緯度……等等其他資料。雖說有契約單號，但由於常常有複數田簽在同一個契約單號下，是故不適合以此作為主鍵。同時，有時會需要更動契約

單號、或為資料庫進行調整時，此時使用 Auto Increment 作為主鍵明顯地便是明智的選擇。

在氣象站資料表(Weather_Data)中，則一樣以 Auto Increment 作為主鍵，並包含該筆資料的來源氣象站(Station_id)、紀錄日期(Record_date)、與其他氣象資料等等。

由於田區物候事件和氣象資料是一多對多關係，是故中間多建立一 Event table 資料表，以田區與氣象資料兩個表之主鍵作插入為外鍵(foreign key)，來分別記錄之對應關係，藉此幫助氣象資料之呼叫。由於氣象資料會隨時間更新，故在此資料表中，亦紀錄了形成關聯時的時間，來幫助後續除錯。

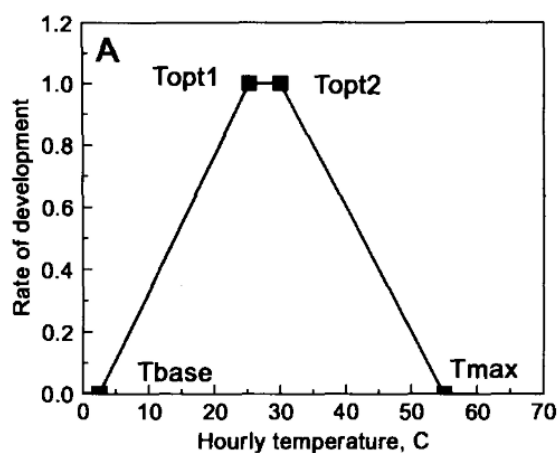
三、局屬有人站一覽

附表 2 現今 31 個局屬有人站之區域分布(製表於 2023 年)。



地區	站名	備註
基隆	彭佳嶼、基隆	
臺北	鞍部、竹子湖、臺北	
新北	淡水、新北、五分山雷達站*	*僅有雷達資料
桃園	新屋	
新竹	新竹	
苗栗		無局屬有人站
臺中	臺中	
南投	玉山、日月潭	
彰化	田中	
雲林		無局屬有人站
嘉義	嘉義、阿里山	
臺南	南、永康	
高雄	高雄	
屏東	恆春、墾丁雷達站*	*僅有雷達資料
宜蘭	宜蘭	
花蓮	花蓮	
臺東	成功、臺東、大武	
外島	金門、澎湖、東吉島、蘭嶼、馬祖	

四、推導：自 Linear three segments 到梯形積溫法之合理性



附圖 6 Linear three segments 原圖。引自 Piper et al. (1996)

在 Piper et al. (1996) 中，其縱軸的單位為發育速率(Rate of development)，且發育速度最大值定為 1——而在本試驗中，將整個值乘上 $(T_{opt1} - T_{base})$ 拉伸變形，並將起始的斜率定為 1。這樣的修改手法在 Zhou and Wang (2018) 從 Yin et al. (1995) 之 Beta 函式進行調整的方式中也可看見，以下將解釋可以這樣做的原因。

可以乘上係數拉伸的原因：有效積溫並非嚴謹物理量

於模式中，一個值能否被乘上係數來拉伸變形，本質上要看其是否有具體代表的、可被「測量出」的嚴謹物理量——若真的有對應出來實際的物理意義(如：葉面積指數)，則不能隨意進行變形。

在此，有些人會因為有效積溫的形式為溫度與時間的相乘，進而將其誤解是物理量，並認為有效積溫的值應符合特定大小的單位、係數，不可以變更、拉伸。但其實，這是一個十分巨大的謬誤，原因在於有效積溫的概念是將氣象資料、時序、與作物生長期以特定函式掛勾後所產生出來的指數(index)，而非是能被量測的物理量。回答這件事可以從定義面下手，若其真的是物理量的話，本質上就需要和物理現象相關，且需要能被嚴謹地操作、測量、觀察才符合條件。退一步說，

若有效積溫是物理量，那它至少應該能被「測量」出來，而非由特定的函式⁴⁴「加工、計算」出來。因此，「須符合特定大小的單位、係數」，其實並沒有任何物理上的絕對根據，我們便可知這樣的主張，主要是來自缺乏深入探討、及過去在使用上的約定俗成。也因此，乘上一固定係數的拉伸是合理的修改方式。

另一種反證：不同溫度系統下預測效果

若拉伸、變形不可行，則同一筆物候資料在攝氏溫度、華氏溫度等自帶平移、縮放之單位轉換的條件下，應該會有不同的預測收穫日。然而實際上明顯、不必推導地，這兩者勢必有相同的預測效果，也因此直接證明了這樣的拉伸是合理的作法。

進一步思考：有效積溫函式中重要的性質

我們也可以透過這樣的思考進一步知道：在有效積溫函式中，真正重要的是「任兩溫度點下有效積溫的比值」，在此關係上具有相同者，將在預測作物生長上具有相同的效力。也是故在此，我們真正該重視的，便是調整其函數形狀後所帶來的預測效力變化。在透過演算法選擇參數至有良好預測力的積溫函式形狀，於係數、單位上，再進一步設定成能符合約定俗成者作為結果。

又由於有效積溫函數具有「任兩溫度點下有效積溫的比值相同，則具有相同預測效力」的性質，使得這樣的設定能夠在一開始就作為前提條件加入。更詳盡地說，在本研究的最佳化過程中，有效積溫的函式上將默認為：使用攝氏溫度、且「有效積溫自臨界溫度起的初始線性增長」斜率設定為 1⁴⁵。

⁴⁴ 指的便是計算「有效量」的這件事。當然，還有因使用非正式熱力學單位克耳文溫度 K 而造成的等效性問題(如：對於 0 的代表意義是否相同)，但由於前述論證便足以完成「有效積溫是指數，並非嚴謹的物理量」此事，故在此按下不表。

⁴⁵ 即，維持原本的形狀，不必加入額外項來校正初始 T_{base} 到 T_{OPT1} 的斜率。

五、 使用者歷程：匯入巡田提醒 (故事性口吻)



想像一下，你是一位田間人員。

你剛騎著摩托車到了公司，提著路上買的大白饅頭與冰豆漿走入公司。一進門，你與斜前方那位比你早來一點的同事點個頭，便走往門旁右手邊的打卡鐘。現在是早上 7 點 55 分，在打卡後，你走往二樓的辦公室，那裏只有你與一兩個同事。

坐下來等待電腦開機的同時，你也把吸管插上豆漿，杯上還有點水珠。

現在是產季最大的 10 月，你知道最近的日子每天會有很多塊田要巡。以往，你需要反覆查找契作單的紀錄，才知道接下來這三天要去的是哪幾塊田。但現在你稍微輕鬆點了，你打開了系統按下了一個按鍵，幾秒鐘後一個文件檔就這麼出現在桌面上。

隨後你在打開了 Chrome 瀏覽器並啃了第一口饅頭，在右上角的地方點進了 Google 日曆。日曆上顯示，到下周一之前都有還有系統生成的巡田提醒，它們散佈在不同天，提醒的標題上寫著鄉鎮、農民名、耕作面積大小，點進去也能直接跳轉到 Google 地圖。

距離上一次更新已經差不多一個禮拜了。點擊齒輪狀的設定按鈕，畫面跳轉到設定畫面，螢幕左側有著「匯入與匯出」的選項。你將剛剛生成的提醒檔案匯入到日曆中，並返回上一頁確認有沒有成功。你發現日曆上有多出了這兩周內要去巡的田區，便安心地關掉瀏覽器，開始做自己的其他事。

現在，我們把時間往後撥一點：你剛吃完早餐，準備要去巡田。

你剛打開了車內的冷氣、以及廣播，同時把手機放上手機架。看了一下 Google 日曆，近兩周內要去巡的田區顯示在上面，但每塊田散落在雲林各處不同鄉鎮。在思考了一下後，你今天決定先去元長鄉的那幾塊田，將幾天後要去的一併巡完比較有效率。公司在虎尾，往南開往元長會經過土庫，恰好昨天農民頭大哥傳 Line 訊息說有新的農民要簽約，這樣剛好中午北返時，能夠順道經過農民家。

最後你選了其中一塊要去的田，畫面跳轉到導航路線圖。

而冷氣剛冷，你踩下了油門。

六、 重新建立之白美人生育期對照表

在本篇研究中訪得，由於適採期之判斷標準變化在 2019 前後，且於種子源的變化發生於 2019 年底至 2020 年 3 月之間，是故在剔除 2020 年 3 月之前的資料後，在此重新建立了白美人之生育期對照表(僅有採收期受到影響)。

最佳化所得之參數為 $T_{base} = 10^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt1} = 24^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{opt2} = 33^{\circ}\text{C}$ 、 $T_{max} = 37^{\circ}\text{C}$ ，與修正前相同，而據此建立之生育積溫對照表如下附表 3。

附表 3 重新建立之白美人生育期對照表。

時期	生育階段	平均有效積溫(度日)	標準差(度日)
萌芽期	V2	173.2	57.4
	V3	198.2	53.7
	V4	251.9	28.6
	V5	304.3	28.1
輪生期	V6	325.3	34.3
	V7	384.0	47.0
	V8	409.3	32.8
	V9	440.8	36.6
抽雄期	VT	590.1	53.7
開花期	FT	595	31.5
吐絲期	R1	622	41.7
充實期	R3	773.8	35.7
	適採期	878.3→882.1	41.3→44.3

七、 農學知識與農村知識體系的分歧：曆法

時間是一切運行的基礎，但光是最基礎、最重要的曆法在思想上就有重大分歧。

在現有所有農學研究中，日期都使用陽曆計數，每一天都會視為相同的單位；然而在農業現場，卻是使用農民曆(陰陽合曆)作為判斷的依據。兩者曆法形成思維截然不同，便帶來了很具有的價值觀差異，如：陽曆中一天就是一天，可視為相同的單位——但在農民曆中，六十甲子、天干地支各帶有不同的陰陽、五行屬性，並與流年星位、月相盈虧、節氣中氣(黃道絕對位置)相互氣化後，便帶有不同的屬性、與行事的吉凶，也就是說每一天都是不同的一天。

這樣的差異，或許與兩個知識體系之起源差異所造就的自然世界觀有關：現代科學的對於世界的角度，源自於西方之自然哲學中理性主義、本質主義，並以邏輯辯證來剖析本質。而本次探訪的地區為漢人社會，其對應的自然世界觀則關乎於：陰陽、五行、術數氣化，講究感知與協調，並不追求本質。

隨著殖民主義、文化霸權、資本主義、與全球化等一連串歷程，現行世界各地的教育慢慢拋棄了原先自己的知識體系，慢慢轉向西化。但我們無法以否認的是：農業是奠基於在地的領域，必須因地制宜。換而言之，許多原生於該地方的知識正是藏在這些看似「非科學」的文化脈絡裡面。也是故筆者認為，當農學要走向地方、面對不同民族(尤其在第三世界)時，這些智慧將是十分重要、能走向彼此合作的重要資產⁴⁶。

⁴⁶ 筆者並不認為哪方比較高尚，但事實是現代科學確實佔據極大的資源優勢、話語權與能動性，是故論述中寫成「農學走向地方」。

八、 額外發現：農民用水習慣

在此，筆者有一有趣之發現：此地區其實隸屬於雲林縣水利會(現之農田水利署雲林管理處)之灌區，其中灌溉水自濁水溪來，屬川流水體，經集集攔河堰引水、並在淨水後，分水後至雲林地區之幹線、水利渠道之中。

然而在訪查的過程中可觀察到：實際農民在取水上，並不常使用灌溉渠道引水。於筆者訪查過程中所觀察到，多半的農田都具有自鑿之地下水井，此舉容易理解，此可面對枯水期之用水需求。但，即便在豐水期、及有灌溉渠道有水時，多數的農田仍舊會選用地下水井進行灌溉，而非使用已經給水之灌溉渠道。因此可以能夠看到：灌溉溝渠供水的同時，農田仍在抽取地下水做為使用這樣的景色。

筆者推測，此深層之原因可能來自於川流水體之豐枯並不穩定，又同時雲林一北部一帶屬於較晚加入濁幹線的用水體系中，也因此枯水期時成為了被優先捨棄水權的地區，是故也造就了地下水井成為當地接近重要的供水管道。然而，在安裝地下水井後，在選擇的結構上的變化使得農民習慣、仰賴使用地下水井。使用地下水井能自由配合農民耕作的操作習慣、時間，無須刻意配合灌溉溝渠的給水時間，而除了能源費用支出外，並沒有直接、明顯的威脅反饋。是故可以觀察到：在一來一往下，地下水井具有足夠的拉力、與些微的推力，造就了農民取水選擇的偏好，進而也變相造成給水浪費、與地層下陷風險的增加。

此背後所代表的意涵有二，一是這可能隱含著未來面對氣候變遷、水資源短缺時過多水資源浪費，並某方面造成農產供應體系上的風險，二同時也反映出了現今脈絡之下臺灣的水權、農業體系尚有許多不滿足現狀的地方，需要各單位深入脈絡之後尋求解方、轉型策略。

九、額外思考：盤商對應角色、本研究回應

於農產業價值鏈上，每個環節各具有其角色分工。在面臨不同的任務時，也代表不同的風險所在——而風險所在之處，便也是其利潤核心。層層分工的產業鏈分散了彼此的風險：當一處發生問題時，所衍生之風險將在一定程度地止損在該節點附近，整條產業鏈上下游的其他夥伴，因還有不同的手段能夠進行調整，進而能夠不受到波及、此減少系統性風險。

同時，相對於工業產品的供應鏈，農業是一具有明顯季節性、保鮮期之產業。農產業的供貨量、品規不僅會受到外在環境干擾而不易掌握，同時由於農產品的品質、口感等價值會隨著時間下降，也因此在整體供貨上，對於倉儲、物流，都會是不小的挑戰。

盤商的核心利潤在於其能夠一次提供足夠多、且穩定的量，並據此透過差價賺取利潤。對於其下游廠商、或農產品的終端使用者方(End-user)而言，其銷貨的需求變化相對受到外在環境干擾較小，而盤商就在此就在供貨、銷貨之間成為了很好的緩衝，來分散承擔一部份的供貨風險。

但同時，過多的產銷鏈也會造成過多的運銷時間，上架期進而相對被擠壓，也使得整體來看，農產價值上可能並未得到妥善發揮。這樣的情形，將特別在儲藏期不長、對品質特別敏感的品項(如：毛豆、本次研究的水果玉米)造成影響，也進而可知本研究關乎於農產適採期、時間管理的發展，從商業機制上是確實回應到鮮綠農產在農產鏈中的角色核心。

十、 後記：本篇論文寫法與閱讀說明

本文的撰寫手法與一般常見論文十分不一樣，以下將在此說明背後考量。

在一般的研究主題中，主要以「證明假說」、「探究關係」為主——然而本篇中，需做到的主軸反而是「產品開發」，即從現場出發探索出使用者需求後，再加以提出技術解方、設計產品使用流程。這樣偏向探索式的過程便和「規畫縝密的實驗設計」截然相反，得在定義出每一步的結果後，才能知道下一步的方向。

在這個過程中，不僅是做出了什麼，同時探索過程的順序、前後銜接的合理性、及背後的權衡思考，才是真正最重要、具啟發性的成果。也因此，本文難以如同普通的論文一樣書寫，只好採取目前的這種形式。

具體來說，難以做到的原因是什麼呢？主要有三：

- (1) 材料方法集中書寫的矛盾——若將文中所有的材料方法直接集中來寫，不僅行文上摧毀了整個探索流程中最重要脈絡先後關係，同時也會引入一個極大的自我矛盾，即：本篇是為了根據使用者的需求來建立系統，若在採訪完成之前直接先寫出、並假定使用技術，則代表一開始就是根據研究者自己的濾鏡來進行。筆者認為，這般實質上說一套做一套的行為，並非真的考慮使用者需求，有需要在書寫邏輯上直接做出更動。
- (2) 訪得脈絡同時為結果與背景之二元性——訪得結果確實也是後續每一步的背景，但若將訪查脈絡當作背景來寫，卻又不符合「此脈絡是訪查所得結果」的重要事實。這樣的二元性帶來了書寫上安排的挑戰，而筆者認為：訪得脈絡是試驗開始後訪得，並非試驗開始前的背景，同時將現場脈絡放入結果之中更能協助閱讀者掌握龐大又複雜的現場邏輯，故如此書寫。
- (3) 筆者角色的變化所需——在本篇之中，筆者有三種不同面向的思考：前期先做為觀察者探索現狀、中期成為農學科學人員定義問題與解方、最後並用設計師的眼光建構系統。三種面向關注點截然不同，最重要的核心在於「對於資訊是否進行批判」與「如何處理資訊」，並能夠避免單一視角而會落入的僵化陷阱。然而，一種視角會帶出一種對應的書寫方

式(如附表 4)，也因此在本研究之行文中，常透過附註來補足背後的脈絡，藉以讓資訊更加豐富、立體，並不過度簡化而曲解了現狀。

附表 4 不同角色之聚焦點與思考面向

角色	聚焦點	思考面向
觀察者	梳理脈絡、理解現況	是什麼？還有什麼？和什麼有關？
科學人員	剖析議題、提出針對性解法	為什麼？原因是什麼？如何解決？
設計師	形成可能的下一步	現在能夠什麼？限制是什麼？不只是什麼？未來的發展是什麼？

此外，還有一個次要的原因：在定位上，本文是將知識整合轉換成實際應用的環節，實帶有行為改變、社會溝通的性質在。換而言之，本試驗在一開始進行時，便須連同社會溝通的能動性一併考慮進去，這樣的性質也同樣地反映至本篇論文的寫作上。

一般來說，國內從事實際農業生產的族群多不具有較深的農學知識，同時閱讀習慣、背景知識都與科學體系內專業人員截然不同——這也因此使這些產業第一線的夥伴即便有意願，但從最基礎的語彙上便難以去理解現今的技術進展，進而變相地成為在知識獲取的壁壘、與他們做出改變的阻礙。筆者認為，這樣的現況無助於產業發展，因此特別在本篇研究如此應用面向的定位中，書寫上有著更加親近大眾面向閱讀習慣、理解的偏好。

筆者完全同意：這樣的安排確實會讓這本論文更像是一本書，讓科學人員無法如同過去的閱讀習慣一樣「快速地」看懂（但實際上，現場脈絡極為複雜，並不該過度簡化到科學人員能夠「如他們預期般快速地」閱讀的程度）。這樣的方向卻也代表著：當這本論文在農業生產體系中之非相關科學人員手上時，隨著去細細品味，他們或許能夠更容易去掌握書中的內容，並成為真正的改變、啟發。

這樣的一個取捨，也是筆者所能做出的最佳答案。謝謝每一個閱讀的你，希望你能足夠享受這趟旅程。