

出國報告（出國類別：其他）

---

臺美農業科學合作項目  
赴美進行作物生長模式短期研習

服務機關：行政院農業委員會農業試驗所

姓名職稱：陳柱中 助理研究員

派赴國家：美國

出國時間：106年8月25日至9月24日

報告日期：106年12月26日

提要表

系統識別號：	C10604552					
相關專案：	無					
計畫名稱：	農委會國際合作計畫					
報告名稱：	臺美農業科學合作項目 赴美進行作物生長模式短期研習					
計畫主辦機關：	行政院農業委員會農業試驗所					
出國人員：	姓名	服務機關	服務單位	職稱	官職等	E-MAIL 信箱
	陳柱中	行政院農業委員會農業試驗所	農業化學組	助理研究員	薦任(派)	聯絡人 mslin@tari.gov.tw
前往地區：	美國					
參訪機關：	進行短期研習無安排參訪行程					
出國類別：	其他					
實際使用經費：	年度	經費種類	來源機關	金額		
	106年度	其他機關	行政院農業委員會	167,394元		
出國計畫預算：	年度	經費種類	來源機關	金額		
	106年度	其他機關	行政院農業委員會	282,514元		
出國期間：	民國106年08月25日 至 民國106年09月24日					
報告日期：	民國106年12月17日					
關鍵詞：	機制型，生長模式，決策支援，機制模式架構，模式驗證，參數調整					
報告書頁數：	21頁					
報告內容摘要：	<p>機制型的作物生長模式，以數值方式解析作物遺傳特性與環境之交換作用，模擬作物在不同環境與管理情境下之生長反應，提供生產者與管理者決策支援。近年來，環境的變遷趨於劇烈，作物模式應用於情境分析與決策管理的重要性愈為增加。以往國內學者主要著重於水稻模式之應用研究，旱作模式的研究相對較少。我國與美方提出合作計畫，美方提供 MAIZSIM與GLYCIM模式，協助我國應用該模式在玉米與大豆，包括機制模式架構、模式驗證與參數調整等工作。本年度美方開發MAIZSIM模式新介面，邀請我方派員赴美短期學習。在美期間，研習新介面操作、環境與管理情境的分析與確認、以及模式的機制化結構。利用台灣所蒐集的調查數據進行模擬，比較模擬與調查之植株生長趨勢，美方針對我國之情形調整模式，並協助建立甜玉米與青割玉米之生理參數。並與美方商討後續之田間規劃與數據收集。</p>					
報告建議事項：	建議事項			狀態	說明	
	<p>(一) 美方所開發之模式經初步驗證，具有可應用於我國，作為生產決策之輔助系統，美方提供我國知識與技術上支援，建議可持續投入相關資源進行研究，以加速我國之旱作模式之發展。</p> <p>建議可透過相關計畫派員至美持續進行交流，以增進我國機制模式之基礎能力。另可定期邀請美方來台，與我國模式研究相關人員交流</p>			研議中		

## 摘要

機制型的作物生長模式，以數值方式解析作物遺傳特性與環境之交換作用，模擬作物在不同環境與管理情境下之生長反應，提供生產者與管理者決策支援。近年來，環境的變遷趨於劇烈，作物模式應用於情境分析與決策管理的重要性愈為增加。以往國內學者主要著重於水稻模式之應用研究，旱作模式的研究相對較少。我國與美方提出合作計畫，美方提供 MAZSIM 與 GLYCIM 模式，協助我國應用該模式在玉米與大豆，包括機制模式架構、模式驗證與參數調整等工作。本年度美方開發 MAZSIM 模式新介面，邀請我方派員赴美短期學習。在美期間，研習新介面操作、環境與管理情境的分析與確認、以及模式的機制化結構。利用台灣所蒐集的調查數據進行模擬，比較模擬與調查之植株生長趨勢，美方針對我國之情形調整模式，並協助建立甜玉米與青割玉米之生理參數。並與美方商討後續之田間規劃與數據收集。

Mechanical crop model provides a possibility to analyze the interaction between genetic characteristic and environment and to simulate and predict the crop growth in different scenarios. Since the environment changed more dramatically than past, the application of crop model to provide reliable results for decision support becomes more and more indispensable. However, in the past years, researcher have pay more attention on the crop model on paddy field such as ORYZA, the study on crop model for dryland is relatively weak. In views of this, the cooperation project between Taiwan and U.S was started from 2015. In the project, USDA/ARS provided the MAZSIM and GLYCIM model to Taiwan, and assisting us on the model validation and calibration. Due to new interface on MAZSIM model was developed in 2017, USDA/ARS invited Taiwan to send people to learn the interface. In this short-term



visit, I learnt the usage of interface of MAIZSIM model, investigation the simulation results of scenario, and mechanical structure the crop model developed by USDA/ARS, i.e. MAIZSIM and GLYCIM model. Dataset collected from Taiwan was run in the model to compare the simulated and measured results. The MAIZSIM model was modified to meet the requirement of Taiwan and variety parameters of field corn and sweet corn was established. Future experiment design and data collection was discussed for the model validation and modification in the future.

## 一、緣起

作物生長模式以數值模型，模擬作物生理特性在不同環境下之生長反應，能應用於作物生長模擬預測，協助生產排程與規劃，以及不同環境與管理情境下之反應模擬，提供決策支援。我國以往進行 DSSAT、CERES-Rice、DNDC、Oryza 等模式應用於水稻之生長模擬，對於旱作的研究則相對起步較慢，研究亦較少，而旱作系統之土壤水份含量變化較水田系統劇烈，相關的模擬複雜性不亞於水田系統。在「2014 台美農業科學合作會議」，由農試所與美國農業部研究局 (USDA/ARS) 合作辦理「氣候變遷之作物反應評估與減排調適策略研擬」計畫。美國農部提供 ARS 開發之 Maizsim (玉米) 及 Glycim (大豆) 作物生長模式，協助台灣進行模式參數本土化工作。本年度，美方開發模式之新版操作介面，邀請我方前往學習新介面之操作，並協助我方解決模擬過程中所碰到之問題。

## 二、研習地點與行程

研習時間為 8 月 25 日至 9 月 24 日，美國農業部農業研究局 (USDA/ARS) 之「作物調適系統研究室 (Adaptive Cropping Systems Laboratory)」，位於馬里蘭州貝爾茨維爾 (Beltsville)。

8 月 28 日開始研習並簽屬相關文件，美國農部規範研習人必須完成資訊安全訓練，並且通過測試之後才能使用農部之電腦。在未通過測試之前，與實驗室主管 Dr. Reddy、研習指導者 Dr. Dennis 報告台方之工作進度、所面臨之疑問等，另參觀研究室所開發之 SPAR Chamber。8 月 31 日，資訊安全測試結果出爐，開始研習玉米模式 Maizsim 之操作，以台灣調查的資料進行模擬，比對田間調查與模式模擬之結果，並研習模式中環境情境的確認、參數調整以及機制模型。

9月21日，研習大豆模式 GLYCIM 機制與參數分析。工作情形詳見摘要表(表一)。

表一、2017年8月25日至9月24日研習日程及內容摘要表

日期	工作內容與研習項目
8月25日(五)	離境 (台灣桃園機場)
8月26日(六)	抵達 (美國 華盛頓 Dulles 機場)
8月28日(一)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 至本次研習單位辦理報到與簽署相關資料，進行資訊安全訓練與測試。</li> <li>2. 向實驗室負責人 Dr. Reddy 報告美方的模式在台灣使用的情形與本次研習之目標。</li> </ol>
8月29日(二)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 至辦公室報到，電腦作業環境。</li> <li>2. 與指導人員 Dr. Dennis 報告目前模式使用結果、疑問，並說明本次研習目標。</li> </ol>
8月30日(三)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 參加實驗室會議。</li> <li>2. 了解 SPAR chamber 運作情形以及相關研究運作情形。</li> </ol>
8月31日(四) 至 9月3日(日)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 學習玉米模式 Maizsim 所需的輸入參數意義。</li> <li>2. 將台灣的田間管理資料、品種資料、氣候資料建置成 Mazisim 所需之輸入檔。</li> <li>3. 使用美國農部開發之 excel 操作介面，將參數轉換成模式可讀取之作業檔。</li> <li>4. 協助 Dr. Dennis 進行 excel 操作介面之除錯 (debug)。</li> <li>5. 與台灣同仁測試 excel 操作介面，確認該介面是否在中文環境之作業系統以及不同版本之作業系統、visual studio 下可進行操作。</li> </ol>
9月4日(一) 至 9月6日(三)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 學習 Mazisim 主要程式 - 2Dsoil 進行玉米生長模擬。</li> <li>2. 研讀模擬報表檔之讀取，並比較台美雙方對於田間調查資料之定義，進行模擬結果與田間調查結果比較。</li> <li>3. 9月6日協助進行玉米田間調查，比較台灣與美國之調查方法。</li> </ol>
9月7日(四) 至 9月10日(日)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 取得台灣試驗資料之逐時氣候資料，將逐時氣候資料彙整為 Mazisim 模式所需之格式。</li> <li>2. 參加實驗室圖形化介面開發之工作會議，針對</li> </ol>



	<p>目前的模式使用結果提出心得，並針對新模式之介面提出建議。</p> <p>3. 利用逐時氣候資料進行生長模擬。比較逐時氣候資料與逐日氣候資料模擬結果。</p>
	<p>4. 在台同仁發現在他的系統進行 maizsim 模擬時會出現錯誤訊息，雙方進行系統與資料之交叉比對與除錯。</p> <p>5. 撰寫 Maizsim 操作手冊。</p>
<p>9 月 11 日(一) 至 9 月 13 日(三)</p>	<p>1. 向 Dr. Dennis 報告比對結果，係因 excel 介面在匯出時間格式不同造成無法辨識。與 Dr. Dennis 以及在台同仁進行三方視訊，確認問題造成之原因。</p> <p>2. Dr. Dennis 修改 Maizsim 之資料讀取格式，確認可排除該項問題。</p> <p>3. 美國的 Mazisim 模式模擬之葉數有過早之趨勢，進行相關參數之研讀與嘗試，以及調查方式確認，發現模式所述續之葉數與台灣之調查方式不同，模式模擬總葉數(包埋在莖中之葉片)、台灣調查可見葉數。</p> <p>4. Dr. Dennis 修改 Maizsim 模式匯出檔，新增可見葉數之模擬結果。發現 Maizsim 模式不需進行調參，模擬之葉數資料與現地調查結果相近。</p> <p>5. 參加實驗室會議，報告學習進度。實習毛豆資料調查與收集。</p>
<p>9 月 14 日(四) 9 月 15 日(五)</p>	<p>1. 彙整玉米的模擬結果，比較模擬與實際之葉面積、乾重累積趨勢。</p> <p>2. 核對土壤環境之模擬結果，確認模擬結果是否符合田間現況。</p>
<p>9 月 18 日(一) 至 9 月 20 日(三)</p>	<p>1. 發現葉面積有高估之趨勢，針對葉面積的參數進行研析。</p> <p>2. 研析玉米模式葉片的萎凋參數。</p> <p>3. 研析灌溉對於模擬結果之影響。</p> <p>4. 與 Dr. Dennis 商討下一年度田間資料收集之內容。</p>
<p>9 月 21 日(四)</p>	<p>1. 學習毛豆模式 GLYCIM 之土壤參數建立方式。</p> <p>2. 重新進行毛豆模式 GLYCIM 之模擬。</p>
<p>9 月 22 日(五)</p>	<p>1. 向 Dr. Dennis 報告玉米與大豆之模擬結果。</p> <p>2. 討論後續年度大豆田間試驗與收集工作。</p>

### 三、研習內容

研習內容主要為模式之操作以及機制架構，研習的模式為美國濃度所開發之 Maizsim 模式 (玉米生長模擬) 與 Glycim 模式(大豆生長模擬)。兩個模式皆為美國農部所開發之機制模式，在模式建立的過程中包含二氧化碳對於作物之影響，可將模式應用於氣候變遷之情境分析。

#### 1. Maizsim 模式

Maizsim 模式是美國農部農業研究局所開發的玉米模擬模式，該模式為逐時 (hourly) 作物生長模擬系統，輸日的氣候資料可以是逐日或逐時，當氣候資料為逐日資料時，模式將針對逐日資料進行解析，模擬每一小時之氣候資訊，再依據逐時氣候資料進行每小時作物生長模擬。該模式包括了兩個主要元件：土壤運算元件(2D soil)與植物運算元件。

2D soil 模擬土壤養分動態、水分傳輸、溫度傳輸與土-植物-大氣三系統間之能量與質量平衡。2D soil 最大特色之一為 2D 模擬，包含植株水平(X軸) 與垂直 (Y軸) 之模擬，成為包含深度與寬度之網點，2D soil 能夠模擬每個節點上之水分特性變化，亦即模擬植物的蒸發散對於節點上的土壤水分含量以及土壤節點間的水分傳輸情形。

Maizsim 模式所需輸入的參數包括描述檔、施肥、氣候、起始資訊(17項)、灌溉、品種(27項參數，僅需調整3項參數即可符合台灣的作物需求)、土壤(25項參數)、節點規劃等資訊。產出檔共有 g01、g02、g03、g04、g05 與 g06 等6個檔案，產出的結果相當多。其中 g01 是作物模擬結果的資料，包括生理時期、葉面積、各部位乾重、



水分供需、養分供需等資料，詳細結果如表 2 所示。其餘檔案模擬結果簡述如下

G02: 每小時之葉片生長模擬結果，各葉齡葉片之葉面積、乾重、潛勢葉面積、積溫、相對葉面積、生長狀態。

G03: 每小時之土壤節點資訊，每節點之水分含量、水分勢能、總氮含量、溫度。

G04: 每小時之土壤節點與根之交互資訊，每節點上之根重量(根密度)、根的水分吸收量、根的養分吸收量、氣體吸收量。

G05: 土-植物-大氣系統水分平衡，包括逐時之土壤潛勢蒸散量、土壤實際蒸散量、蒸發作用、降雨量、入滲量、表面逕流，以及全栽培時期之土壤蒸散、降雨量、入滲量、蒸發作用。

G06: 每日土壤剖面水分平衡，土壤剖面之蒸發與入滲。

表 2. Maizsim 模擬結果(G01)

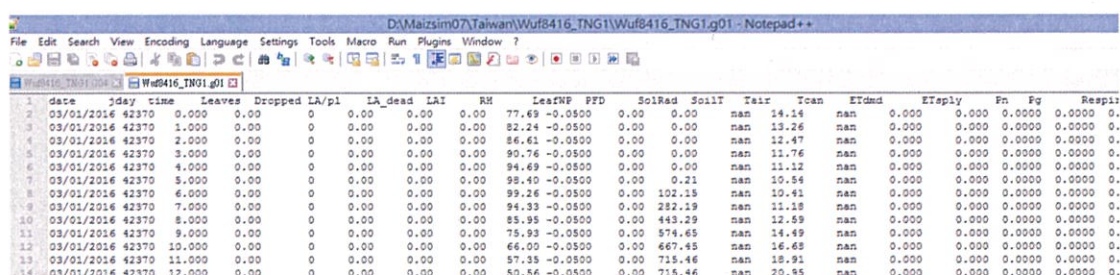
代號	描述	單位
Date	日期	
Jday	每年第 X 日	
time	時間	
Leaves	葉尖數	numbers/plant
Maturelvs	成熟葉數	number/plant
Dropped	萎凋葉數	numbers/plant
LA/pl	全部葉面積	cm <sup>2</sup> /plant
LA_dead	萎凋葉面積	cm <sup>2</sup> /plant
LAI	葉面積指數	
RH	相對溼度	%
LeafWP	葉片水分勢能	
PFD	photon flux area density	μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
SolRad	日射量	MJ/m <sup>2</sup>
SoilT	土溫	°C
Tair	空氣溫度	°C
Tcan	葉冠溫度	°C
ETdmd	蒸發散需求量	g water per plant
ETsply	蒸發散供給量	g water per plant
Pn	淨光合作用	g carbon/ plant/h
Pg	總光合作用	g carbon/ plant/h
Respir	呼吸作用	g carbon/ plant/h
av_gs	平均氣孔導度	mmol (CO <sub>2</sub> ) m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup>
VPD	水蒸氣壓差	kPa
Nitr	氮含量	g/plant
N_Dem	氮需求量	g/plant
NUpt	氮吸收量	g/plant
LeafN	葉片氮含量	g/plant
PCRL	碳送到根的潛勢	g/plant
totalDM	全株乾重	g/plant
shootDM	地上部乾重(leaf+stem+ear)	g/plant
earDM	穗乾重	g/plant
ToltleafDM	葉片乾重(萎凋葉片+存活葉片)	g/plant
DrpLfDM	萎凋葉片乾重	g/plant
stemDM	莖乾重	g/plant
rootDM	根乾重	g/plant
SoilRt	剖面最底層土壤到根底部距離	cm
MxRtDep	最大根深度	cm
AvailW	土壤有效水分	
solubleC	可溶性碳	g/plant
Note	本欄列出生理時期	

綜合以上，模式產出的 6 個資料檔中，有 2 個是作物反應模擬結果，4 個模擬結果是模擬情境的描述檔。因此，模式除了可探討氣候對於作物的影響，並可探討對於耕地環境之影響。

Maizsim 模式的特色在於：(1) 逐時模擬、(2) 逐葉模擬、(3) 導入溫度反應曲線用於描述溫度影響、(4) 2 維土壤模擬。以下依次說明

### (1) 逐時模擬

Maizsim 能計算每小時之作物生長與土壤環境資訊，以進行同一天中多事件對於作物生長影響之模擬。輸入的資料格式可為：逐時 (hourly) 或逐日 (daily) 氣候資料，若使用逐日氣象資訊，模式將氣候資訊解析為逐時資訊再行模擬。若使用逐時資料，則更能夠精準的模擬單日內劇烈的氣候變化，對於作物生長之影響。



1	date	jday	time	Leaves	Dropped	LA/pl	LA_dead	LAI	RH	LeafNFP	FFD	SolRad	SoilT	Tair	Tcan	ETdmd	ETaply	Fn	Fg	Respi:
2	03/01/2016	42370	0.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	77.69	-0.0500	0.00	0.00	nan	14.14	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
3	03/01/2016	42370	1.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	82.24	-0.0500	0.00	0.00	nan	13.26	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
4	03/01/2016	42370	2.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	86.61	-0.0500	0.00	0.00	nan	12.47	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
5	03/01/2016	42370	3.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	90.76	-0.0500	0.00	0.00	nan	11.76	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
6	03/01/2016	42370	4.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	94.69	-0.0500	0.00	0.00	nan	11.12	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
7	03/01/2016	42370	5.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	98.40	-0.0500	0.00	0.21	nan	10.54	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
8	03/01/2016	42370	6.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	99.26	-0.0500	0.00	102.15	nan	10.41	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
9	03/01/2016	42370	7.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	94.33	-0.0500	0.00	282.19	nan	11.18	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
10	03/01/2016	42370	8.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	85.99	-0.0500	0.00	443.29	nan	12.59	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
11	03/01/2016	42370	9.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	78.93	-0.0500	0.00	574.65	nan	14.49	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
12	03/01/2016	42370	10.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	66.00	-0.0500	0.00	667.45	nan	16.68	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
13	03/01/2016	42370	11.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	57.35	-0.0500	0.00	715.46	nan	18.91	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.
14	03/01/2016	42370	12.000	0.00	0	0.00	0.00	0.00	50.56	-0.0500	0.00	715.46	nan	20.95	nan	0.000	0.000	0.0000	0.0000	0.

圖 1. 逐時之模擬結果示意圖。

### (2) 逐葉模擬 - 改變大葉片模型為逐葉模擬

傳統上模式使用大葉片模型 (big leaf model) 來描述作物生長，該模型是將葉冠視為平行的單一大葉片，如葉面積指數 (Leaf area index, LAI) 為 2 時，則視為模擬的範圍內有兩層，計算每一層葉片的光能穿透度，在利用光反應曲線計算作物之最大光合作用。

Maizsim 模式則改為逐葉模擬，可利用該模式進行個別葉齡之葉片生育模擬，Fournier and Andrieu (1998) 比較 30 種品種之玉米，各葉齡之葉面積存在一特定數學關係與模型，隨著總葉數的增加，各葉片之葉面積亦增加。Maizsim 於此基礎上，發展出數學模型如下：



$$Ae_i = Ae_m \exp \left[ a \left( \frac{NL_i}{N_m} - 1 \right)^2 + b \left( \frac{NL_i}{N_m} - 1 \right)^3 \right]$$

其中  $Ae_i$  為第  $i$  葉片之面積、 $N_m$  為最大葉面積之葉齡、 $NL_i$  為第  $i$  葉之葉齡。其中，

$$N_m = 5.93 + 0.33 N_t$$

$$a = -10.61 + 0.25 N_t$$

$$b = -5.99 + 0.27 N_t$$

其中  $N_t$  為特定品種之最大葉片數。

因此，僅需輸入該品種之最大葉片數，即可知道每一個葉片之葉面積以及全株之葉面積。

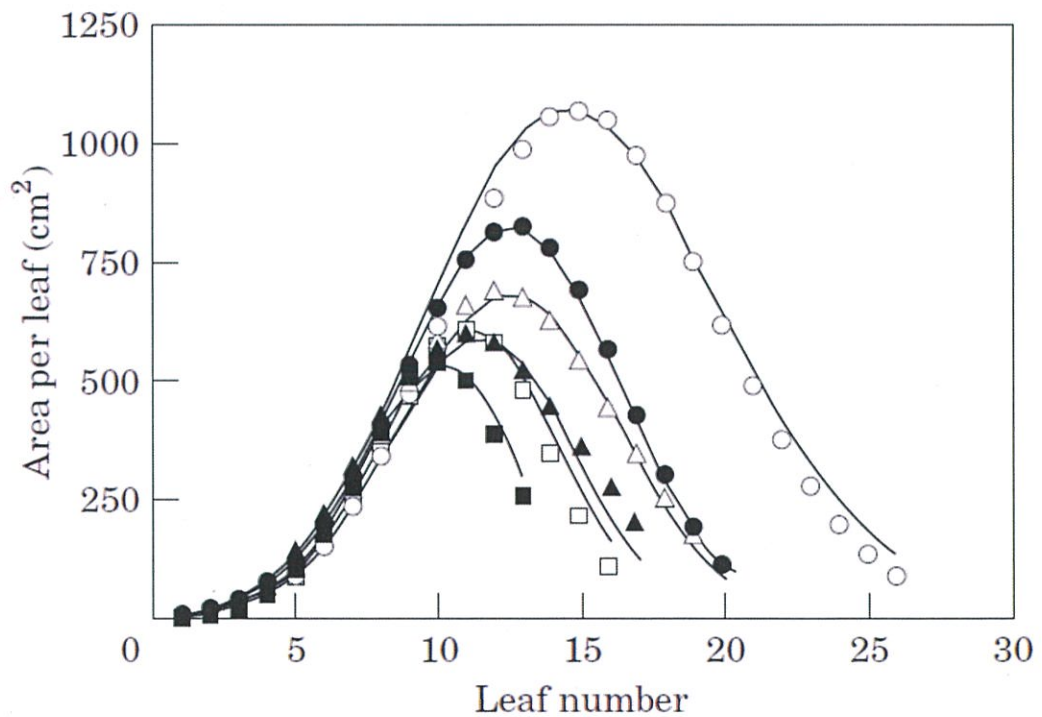


圖 2. 玉米每一葉之葉面積關係圖。

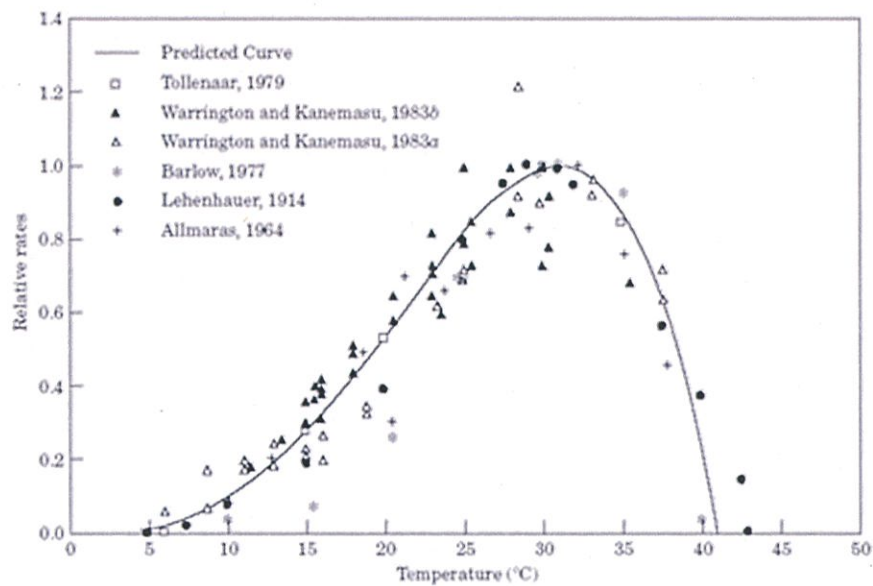
因 Maizsim 模式建構時已調查多種玉米品種之生長資訊，並解析出能跨品種之生長特性，雖然模式之參數多，但僅需調整 1 至 3 個參數，及能夠良好的敘述不同玉米之品種特性。

### (3) 導入溫度反應曲線用於描述溫度影響

生長積溫具備良好的生理意義，皆是作物生長模式所用來描述生理週期發展之主要依據。然而，單純使用積溫之計算容易忽略高溫逆境對於作物之負面影響，另外溫度之影響並非為純粹線性之反應，因此 Maizsim 導入溫度反應曲線用來描述玉米在不同溫度下之生長速率變化，其公式如下：

$$r = R_{\max} \left( \frac{T_{\max} - T}{T_{\max} - T_{opt}} \right) \left[ \left( \frac{T}{T_{opt}} \right)^{\left( \frac{T_{opt}}{T_{\max} - T_{opt}} \right)} \right]$$

其中， $R_{\max}$  為最大生長速率、 $T_{\max}$  為最高溫度，為作物所能夠忍受之最高溫度、 $T_{opt}$  為最適溫度，為作物生長速率最高之溫度。其生長曲線如下，能夠更為精細的表現作物對於溫度之反應。



g. 3. Measured relative rates of all development or growth of maize, together with predicted relative rates based on a single curve with  $T_{\max} = 41$  and  $T_{opt} = 31$  °C.

圖 3. 溫度反應曲線示意圖

### (4) 2 維土壤模擬

傳統上作物生長模式使用 1 維土壤模型，將土壤視為均一的平面

所疊起的介質，每一層平面內無水分、養分之差異，利用位能差描述土壤水分在垂直方向之移動，包括水分與養分的入滲、毛細現象、擴散作用、蒸發作用、作物的吸收。導入作物在每一層的根密度，以模擬根對於養分與水分的吸收。

2 維土壤模式 (2D soil) 是 Maizsim 模式的一大特色，該模式由 Dr. Timlin 一手開發。土壤模擬由不同深度模擬，再加上與作物不同水平距離之模擬，建立不同深度與不同水平距離的節點，探討根的生長對於土壤剖面中每個節點養分與水分收支，另外該模式亦能模擬土壤溫度變化，因此能利用播種到萌芽出土前之土壤溫度及水分含量資訊，模擬玉米之出土速率。因為 2 維模擬之建立，該模式更能夠有精細的描述施肥位置、灌溉位置、根的生長，對於養分與水分的影響，具有相當大的應用彈性與潛力。

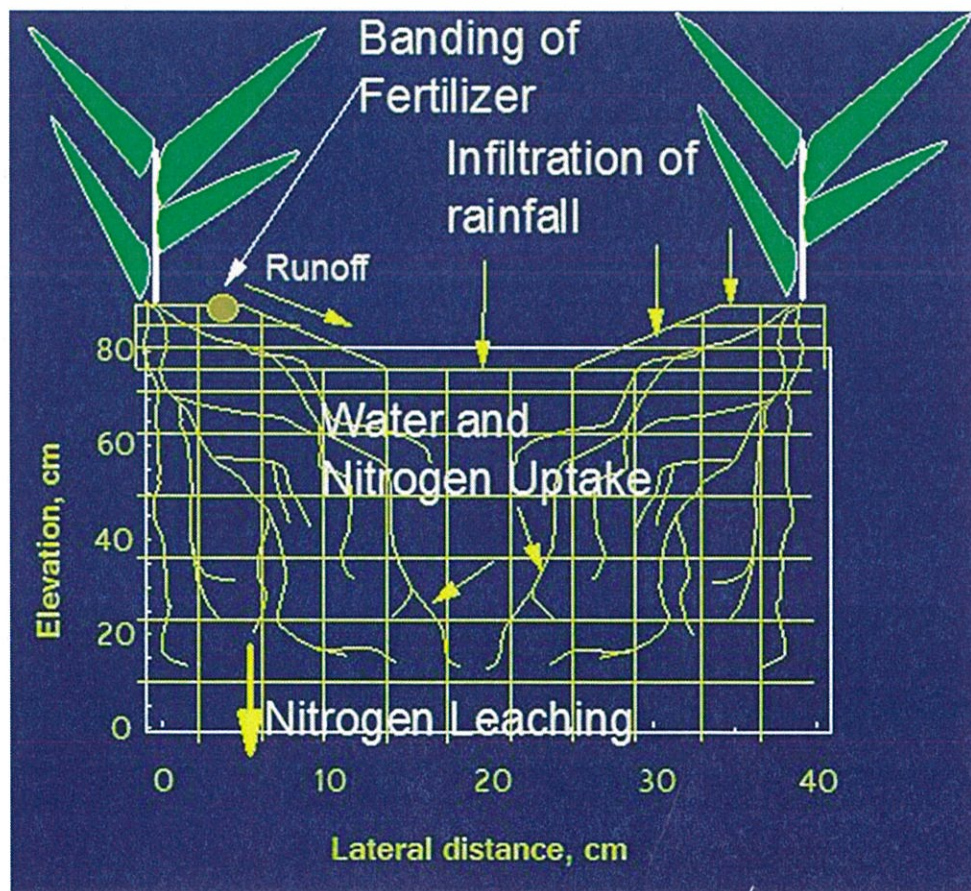




圖 4.2 維土壤模式 (2D soil) 之描述示意圖。

	Date time	Date	X	Y	hNew	thNew	VZ	VX	Q	ConcN	Temp	GasCon
1												
2	42349.000000	02/09/2016	0.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.829E-02	33.0	28.0	0.00
3	42349.000000	02/09/2016	0.50	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.166E-01	33.0	28.0	0.00
4	42349.000000	02/09/2016	1.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.249E-01	33.0	28.0	0.00
5	42349.000000	02/09/2016	2.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.332E-01	33.0	28.0	0.00
6	42349.000000	02/09/2016	3.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.415E-01	33.0	28.0	0.00
7	42349.000000	02/09/2016	4.50	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.498E-01	33.0	28.0	0.00
8	42349.000000	02/09/2016	6.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.663E-01	33.0	28.0	0.00
9	42349.000000	02/09/2016	8.50	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.829E-01	33.0	28.0	0.00
10	42349.000000	02/09/2016	11.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.912E-01	33.0	28.0	0.00
11	42349.000000	02/09/2016	14.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.133	33.0	28.0	0.00
12	42349.000000	02/09/2016	19.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.149	33.0	28.0	0.00
13	42349.000000	02/09/2016	23.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.133	33.0	28.0	0.00
14	42349.000000	02/09/2016	27.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.166	33.0	28.0	0.00
15	42349.000000	02/09/2016	33.00	55.00	-100.	0.381	-2.32	0.00	-0.182	33.0	28.0	0.00

圖 5.2 維土壤模式 (2D soil) 每個節點上模擬結果

## 2. Glycim 模式

Glycim 模式為美方較早開發之模式，約在 1982 年已經完成主要架構，並經多次之修改與調整。Glycim 模式也是逐時模擬之模式，輸入的氣候參數為逐日資料，模式將逐日的氣候資料解析為逐時資訊再進行模擬。模式所需輸入的資料包括氣候資料(7 項)、土壤資料(13 項參數)、初始狀態資料(22 項參數)、品種資料(29 項參數)與灌溉資料(2 項參數)，共 73 項參數。

GLYCIM 模式包含產期預估與逐日修正之功能，其可讀取之氣候資料有二檔案，分別為標準氣候資料與實測氣候資料，在美國的經驗為：以歷年之平均作為標準氣候資料，當模擬日期缺乏實測氣候資料時，模式將自動讀取標準氣候資料補齊氣候資料進行模擬，因此可利用歷史資料作為栽種前的預估，並逐日更新實測資料，重新進行模擬，以動態更新模擬結果，供生產者作為管理資訊。

擬出的資料檔包括 g01、sum、out 以及 tab 等檔案。G01 包含逐日的模擬結果(詳見表 3)，sum 包含採收期之產量、水分逆境之日期、開花日期、結莢日期以及大豆產量等資訊，其中水分逆境日期可做為預估灌溉日期之參考。Out 檔包括每日特定時間之各部位乾重、葉面

積、生理時期、固氮能量、養分平衡、水分平衡等詳細資訊。

---

表 3. GLYCIM 模擬結果檔產出之資料與單位(G01)

代號	描述	單位
Jday	每年第 X 日	
GAREAB	側支葉面積	inch <sup>2</sup> /plant
GAREAM	主幹葉面積	inch <sup>2</sup> /plant
GAREAT	總葉面積	inch <sup>2</sup> /plant
GSTEMH	主幹高度	inch
NBBNCH	側枝數量	numbers/plant
NFLRS	花數	numbers/plant
PODS	莢數	numbers/plant
RSTAGE	生殖生長期	
VSTAGE	營養生長期	
SEEDP	種子數	numbers/plant
GSEEDWT	種子重	pounds/plant
CLIMATE(2)	最高溫	°F
CLIMATE(3)	最低溫	°F
CLIMATE(1)	降雨量	inch/day
CLIMATE(5)	日射量	Langley
CLIMATE(4)	風速	miles/day
SHTWT	地上部乾重	pounds/plant
ROOTWT	根乾重	pounds/plant
PSIM	土壤水分勢能	
WSTRESS	水分逆境	
LSTRESS	葉片水分逆境	

### 3. 模擬結果

#### (1) 玉米之模擬結果

使用農業試驗所 2017 年調查之數據進行模擬與實測資料分析，栽種品種包括 236 與華珍二品種。

模式中有 28 個作物生理特性參數，但僅需調整全生育期累積溫度(GDD)、最大葉齡與葉片存活等 3 個參數，就能良好模擬出玉米各階段的生長時期。與美方研討各項分析後，發現因台灣所使用的甜玉米，葉片之萎凋速度較飼料玉米快，因此，須將葉片存活時間參數調



低，而飼料玉米可使用美方所研究之結果，不須調參即可進行模擬。

2017 年春作 (2 月播種與 3 月底播種) 模擬與田間實際調查結果，生理時期的預估結果良好，葉面積有略為高估之趨勢，2 月播種之田區高估情形較為嚴重，然葉片乾重模擬與實測結果差異不大，僅略高於實測值。整體而言，在相對低溫環境下 (約 20 度)，模擬之生質量與生長趨勢有高估之情形，中後期之模擬情形良好(圖 6)。

針對此情形，美方希望持續與我方合作，在台收集最大葉之葉面積、葉片氮濃度、土壤水分含量，綜合台美雙邊調查結果，以釐清該情形來自於葉面積成長公式、氮利用公式或缺水反應之公式，而作為進行模式機制調整之基礎。針對低溫期生長模擬高估之情形，美方與我方共同收集低溫情境之生長資料，利用該時期的調查資料進行溫度反應修改之依據。

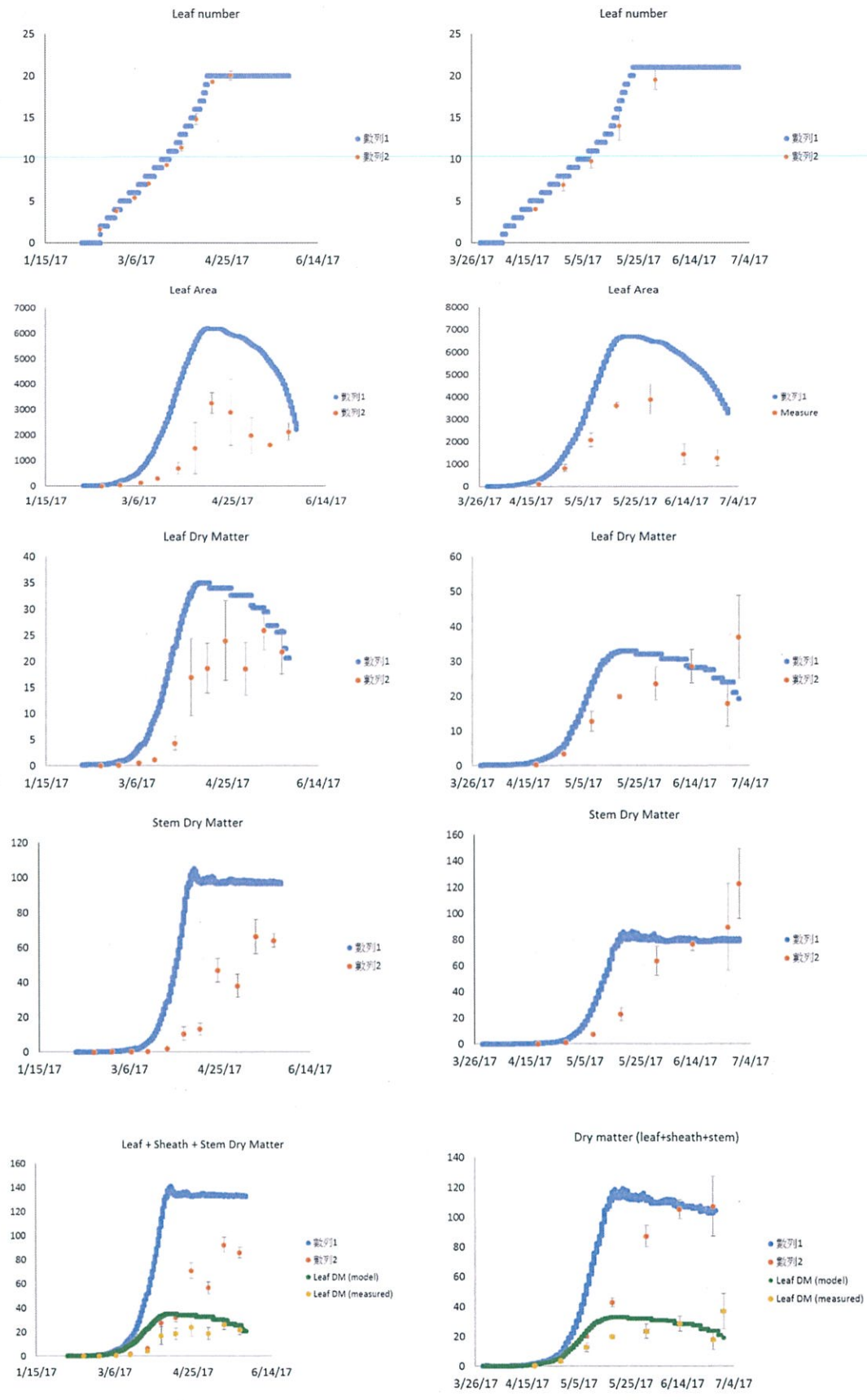


圖 6. MAZSIM 模擬結果

## (2) 大豆之模擬結果

使用農業試驗所 2016 年、2017 年，高雄區農業改良場 2017 年之調查結果進行模擬。以下以 2017 年高雄區調查與模擬結果進行說明。

營養生長期(V-stage): GLYCIM 模式中的起始日期為大豆發芽日，高雄 9 號發芽日約在播種後 3-5 日，選擇以播種後三日作為預設之起始日期，最大營養生長期 V7，出葉間格 (phyllochron) 為 0.01 (1/degree days)。結果顯示，以播種後 3 日作為起始日，營養生長期模擬與實測接近。

生殖生長期：生殖生長期的模擬相對複雜，為解決有些大豆對於日照周期敏感，GLYCIM 中分別針對不同時間點設定生長期進程之參數 (類似 phyllochron)，在 R2、R5、R6 使用平台的觀念描述開花、始莢與豆仁發育等進程 (Acock et al., 1985, Reddy et al., 1995)。結果顯示，高雄 9 號在旗南與屏東兩區域春作與秋作，模擬結果與實際調查結果相近(圖 3)。

葉面積：高雄 9 號之葉面積變化趨勢與實測調查結果接近，然而，在模式中，高雄 9 號之葉面積萎凋速率有較實測結果塊的趨勢，需再行進行參數的調校。整體而言，GLYCIM 模式已大致能對於葉面積的變化趨勢正確描述，因此 GLYCIM 模式應能有效兩品種之在全株生質量變化，可後續進行各部位之乾重進行更加細密之調查，建置更具代表性之乾物質在根、莖、葉、種子的分配資訊，以進行產量之模擬。



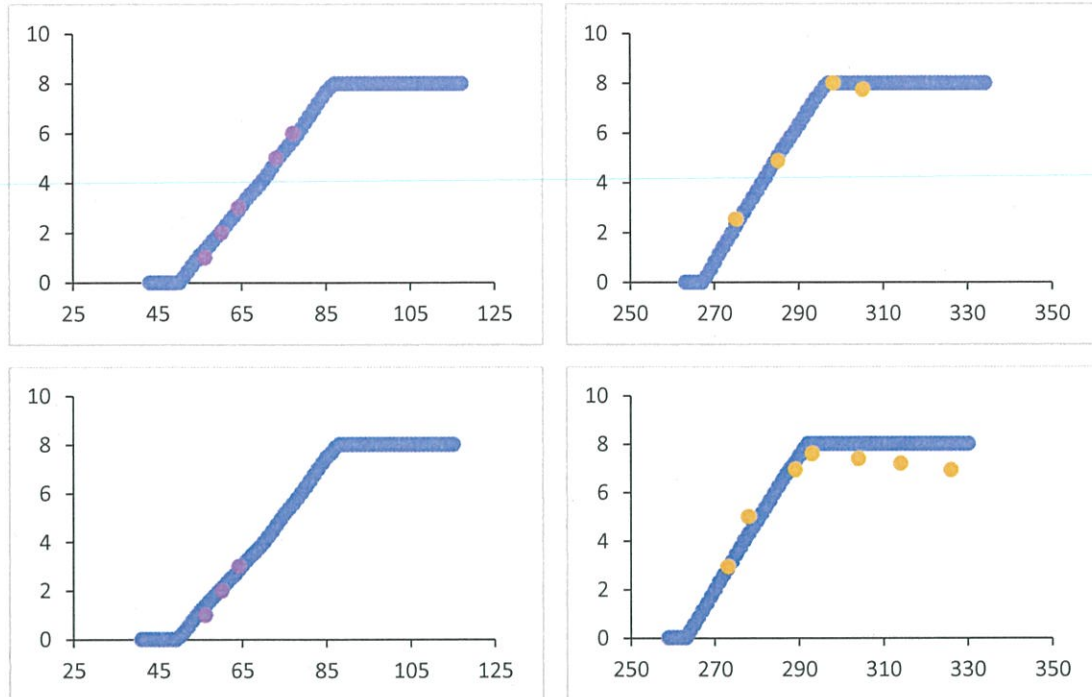


圖 7. 高雄 9 號營養生長期模擬與實際調查結果，縱軸為營養生長期(V1 至 V8)，橫軸為日次。左上、右上、左下與右下圖，分別為屏東一期作、屏東二期作、旗南一期作、旗南二期作。

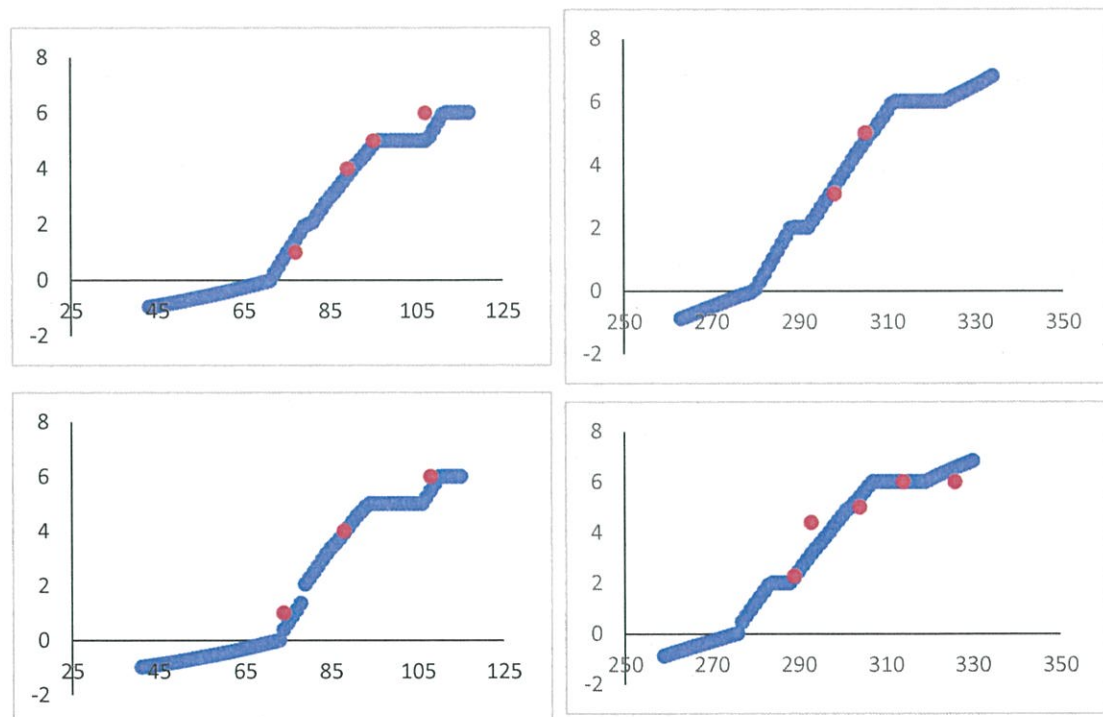


圖 8. 高雄 9 號生殖生長期模擬與實際調查結果，縱軸為營養生長期(R1 至 R6)，橫軸為日次。左上、右上、左下與右下圖，分別為屏東一期作、屏東二期作、旗南一期作、旗南二期作。

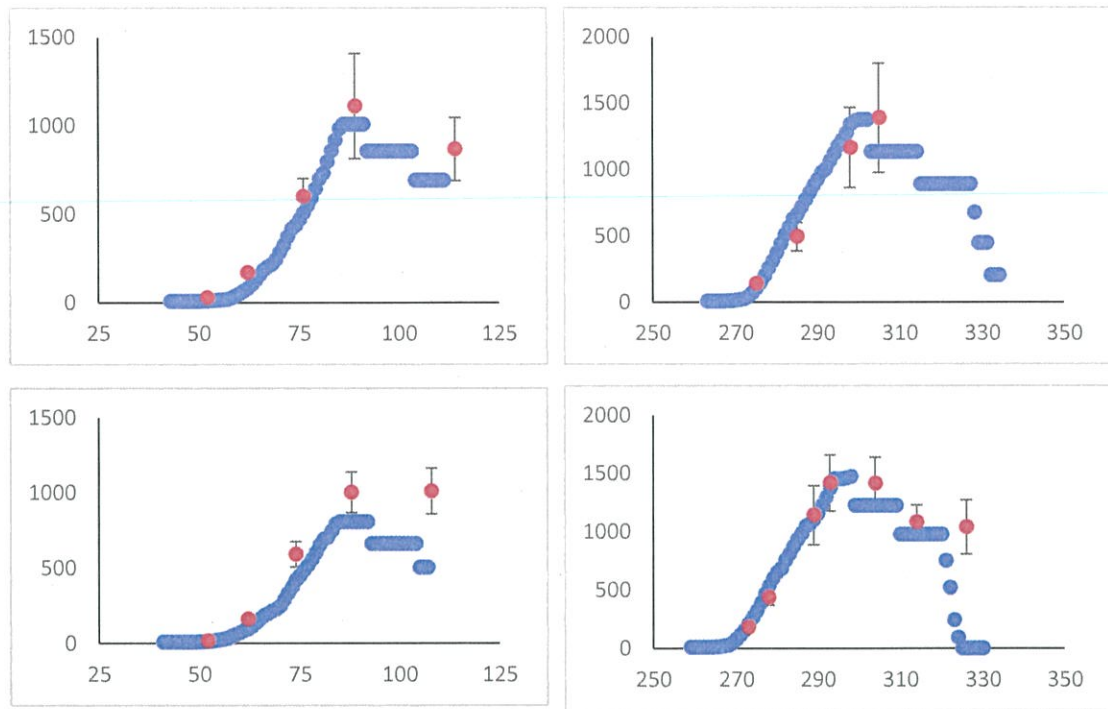


圖 9. 高雄 9 號葉面積模擬與實際調查結果，縱軸為每株葉面積( $\text{cm}^2$ )，橫軸為日次。左上、右上、左下與右下圖，分別為屏東一期作、屏東二期作、旗南一期作、旗南二期作。

#### 四、心得與建議

- (一) 美方所開發之模式經初步驗證，具有可應用於我國，作為生產決策之輔助系統，美方提供我國知識與技術上支援，建議可持續投入相關資源進行研究，以加速我國之早作模式之發展。
- (二) 在目前的作物系統中，美國農部所開發的模式機制性高，導入的新觀念多，值得我國學習或引進。美方歡迎我國派員赴美短期研習，建議可透過相關計畫派員至美持續進行交流，以增進我國機制模式之基礎能力。另可定期邀請美方來台，與我國模式研究相關人員交流，提供試驗設計、田間調查、資料蒐集、資料分析與模擬等方向建議。