

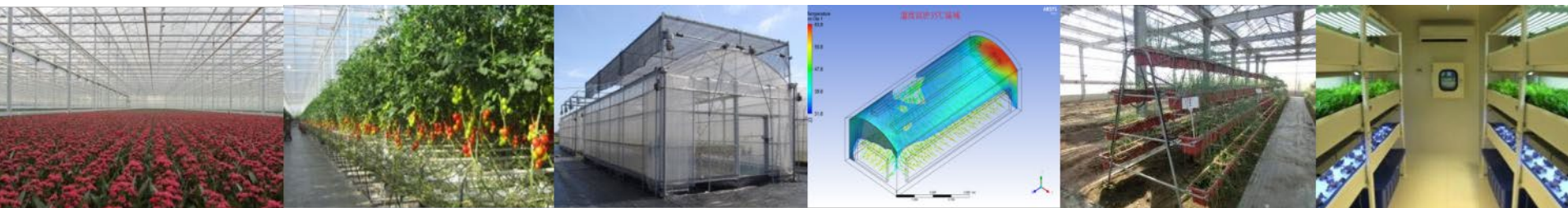


Taiwan Agricultural Research Institute

# 網格化氣象預報資料用於智慧化溫室環控系統建置

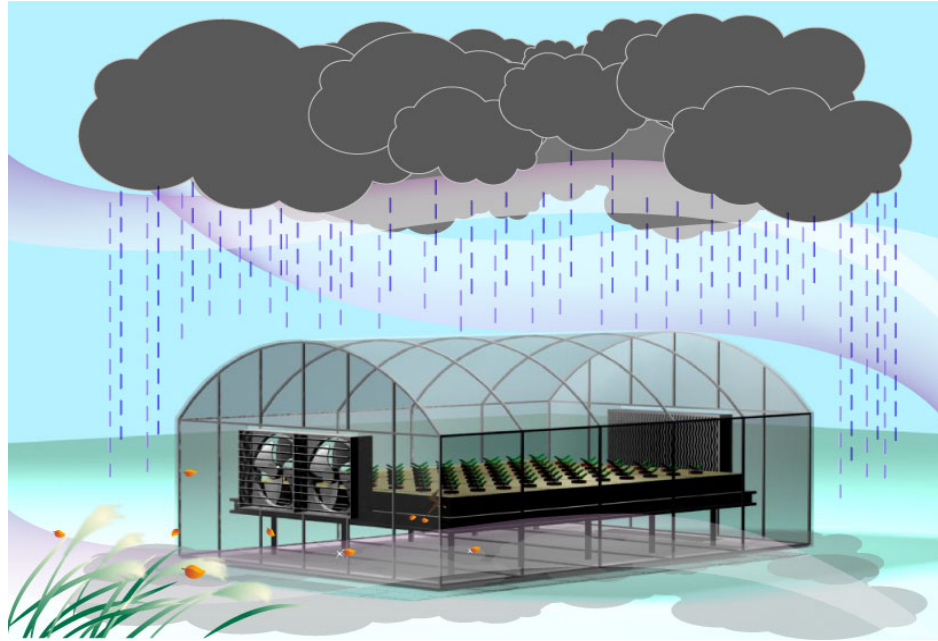
姚銘輝<sup>1</sup> 王懷慶<sup>1</sup> 張庭槐<sup>2</sup> 李育杰<sup>3</sup>

農委會農業試驗所<sup>1</sup> 交通部中央氣象局<sup>2</sup> 國立交通大學應數系<sup>3</sup>





Taiwan Agricultural Research Institute



- 產量穩定較不受氣候影響
- 品質佳，農藥施用少
- 反季節生產
- 成本及設施內氣象逆境

# 溫室智能管理系統

## 遠端APP監控系統



## 應用層

管理者

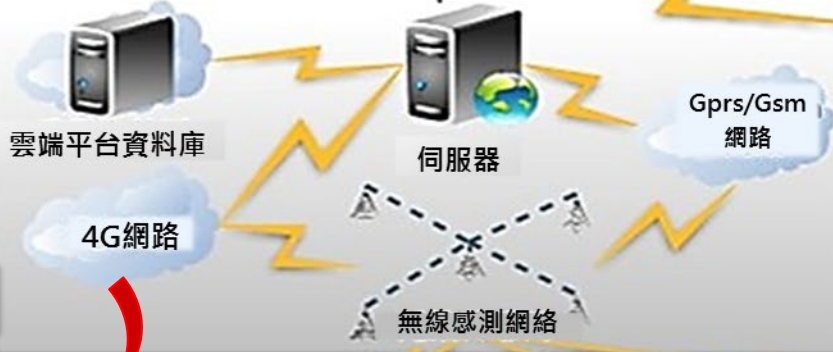
## 溫室環境資訊資料庫



管理監控平台

## 人機管理介面

## 網路層



雲端平台資料庫

伺服器

Gprs/Gsm 網路

4G網路

無線感測網路



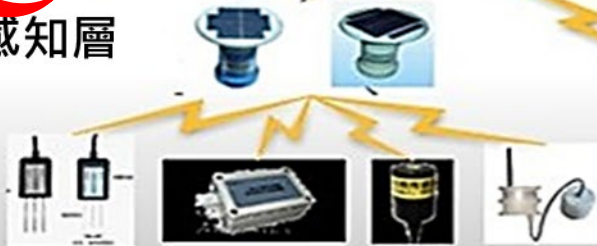
溫室內部控制設備

即時	濕度	溫度	光量	雨知	噴霧	設定
150	26.1	50.8	130			
現在溫度	26.1 °C	現在濕度	50.8 %	現在日射	130 μmol	
室內	26.1	50.8	130			
室外	25.5	60.8	135			

## 雲端參數控制

葉片	雨量	150	開	350	閉	時間	60	控制動作時間
捲簾速度	頂部	32	開	28	閉		10分	
	側上	32	上升	28	下降			
	側下	32	上升	28	下降			
	背部	32	上升	28	下降			
日射	遮陰	650	遮陰	150	不遮			警報
噴霧	溫度	35	開	30	關	風扇	開	29
	濕度	60	開	80	關	溫度	關	31

## 感知層



溫室智能傳輸系統

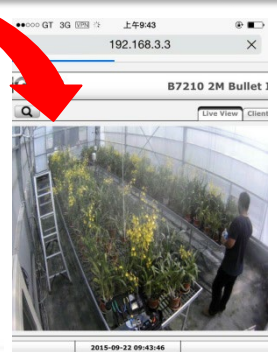


IP攝影機



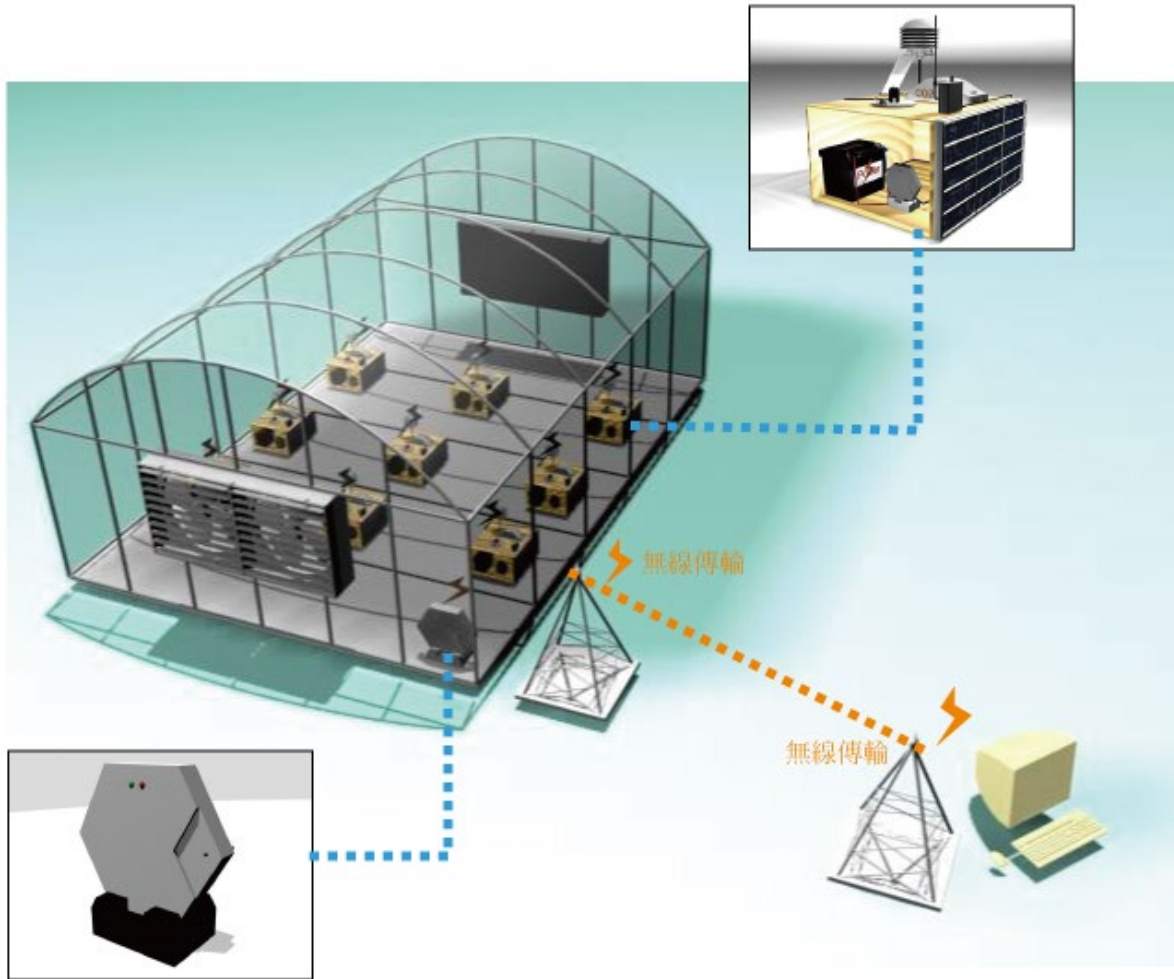
無線氣象站

## APP影像監控





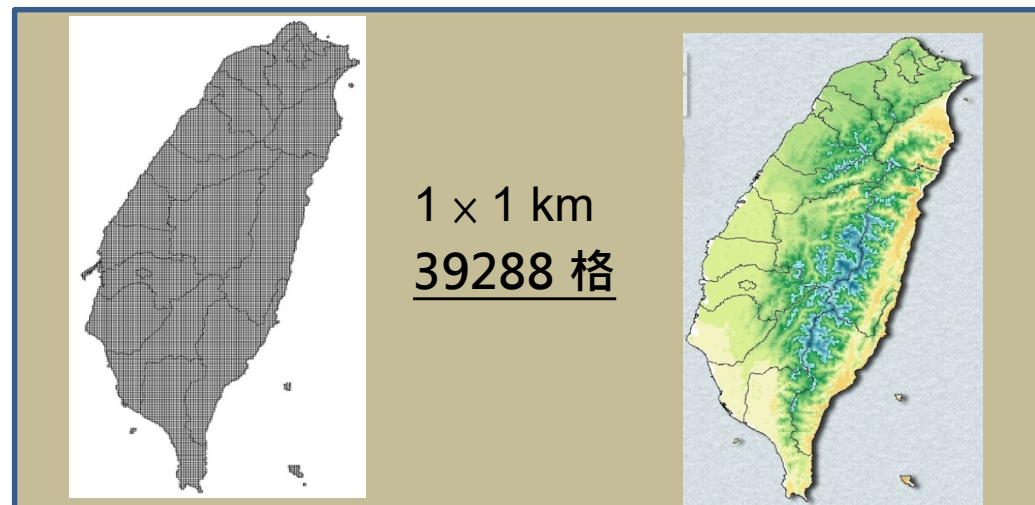
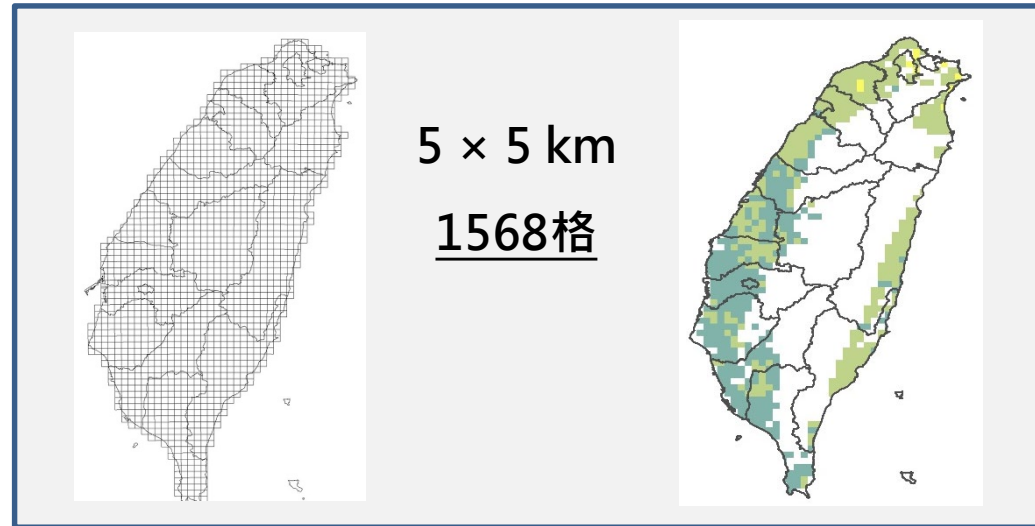
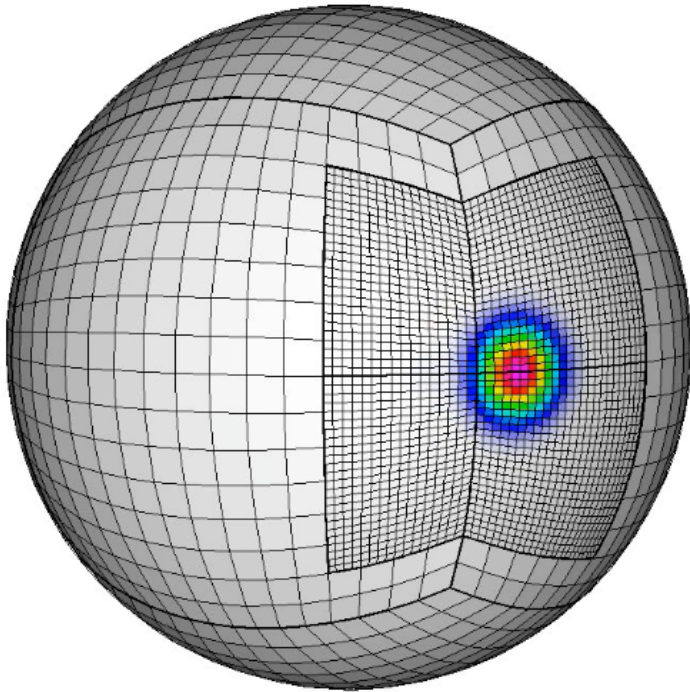
# Taiwan Agricultural Research Institute





Taiwan Agricultural Research Institute

## 網格氣象資源



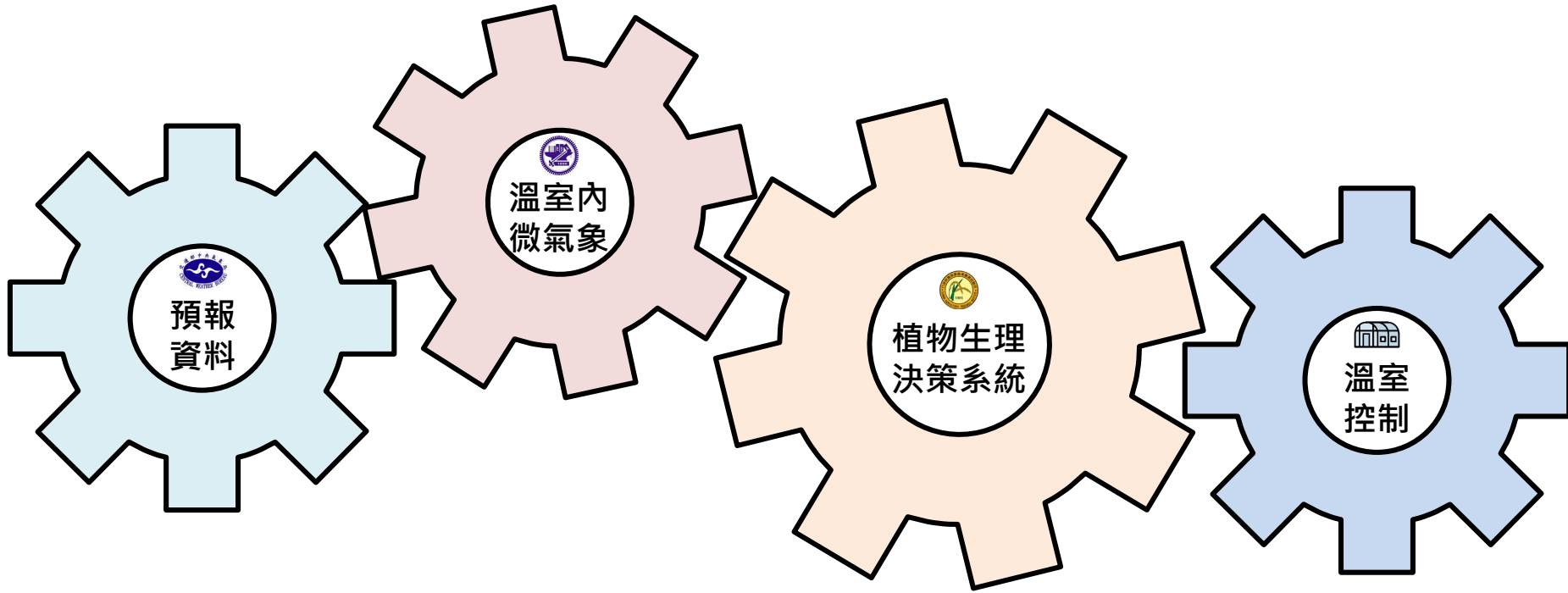
<https://www.intechopen.com/books/climate-change-and-regional-local-responses/grids-in-numerical-weather-and-climate-models>



Taiwan Agricultural Research Institute

中央氣象局、交通大學、農業試驗所

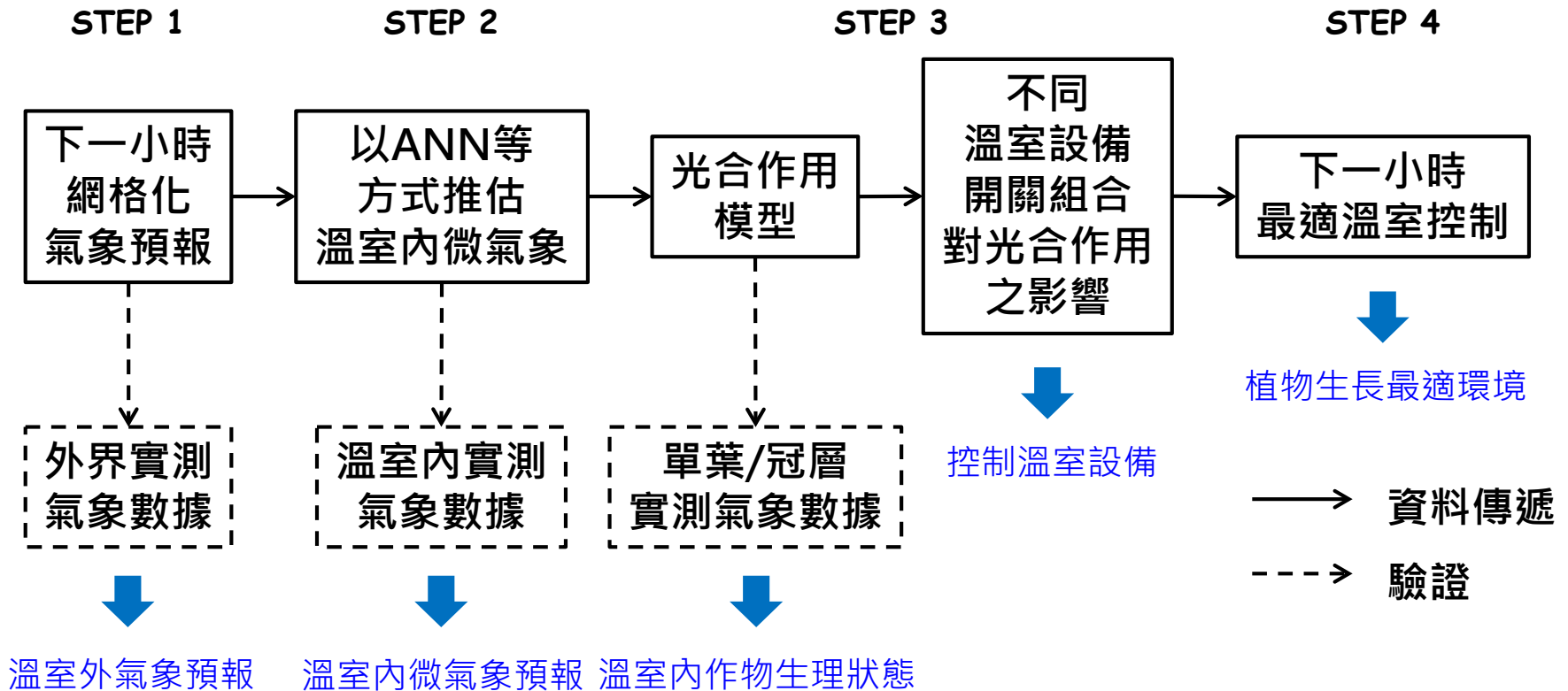
## AI溫室控制新系統





Taiwan Agricultural Research Institute

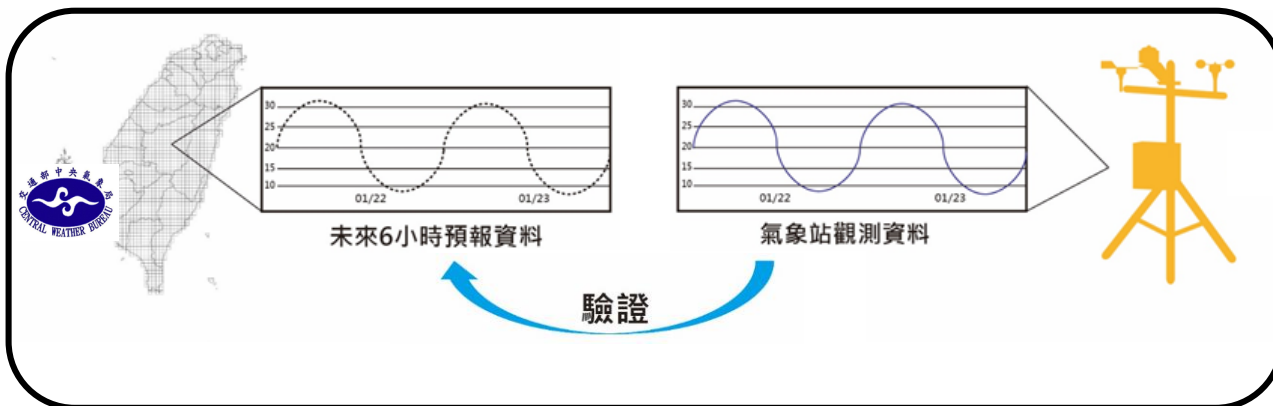
# 中央氣象局、交通大學、農業試驗所



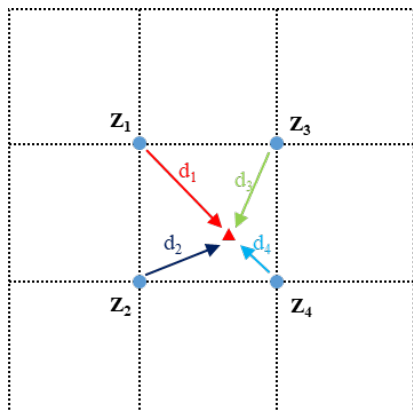


Taiwan Agricultural Research Institute

中央氣象局



## STMAS-WRF極短期預報模式



$$w_i = \frac{(d_i)^{-2}}{\sum_{i=1}^n (d_i)^{-2}} \Rightarrow \hat{Z} = \sum_{i=1}^n (w_i Z_i)$$

IDW (Inverse Distance Weighted)空間內插演算法

## 逐6小時預報

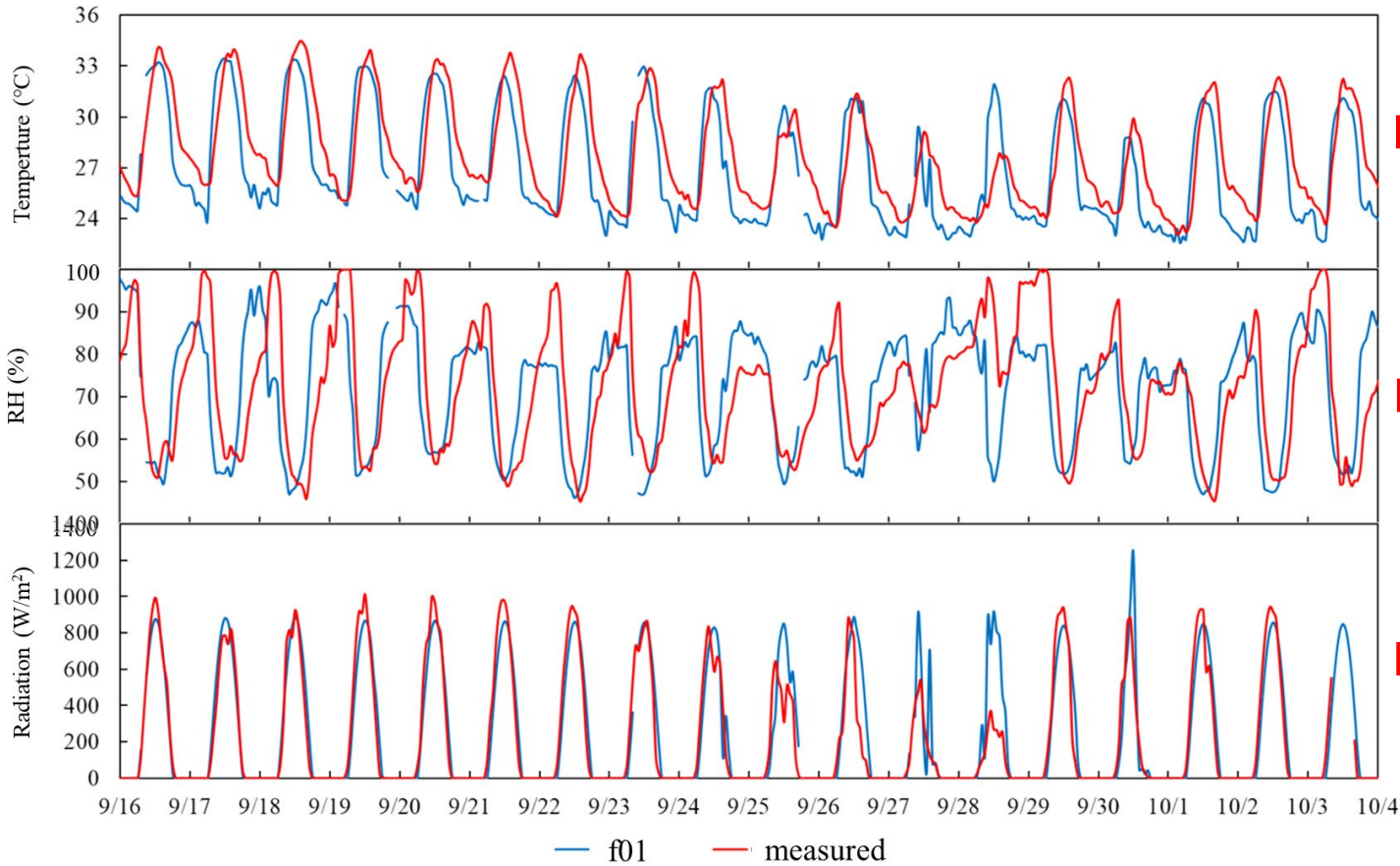
- 溫度
- 濕度
- 短波輻射
- 長波輻射
- 蒸氣壓差
- 露點溫度
- 海平面大氣壓
- 地面大氣壓





Taiwan Agricultural Research Institute

中央氣象局



可抓到日溫趨勢  
但夜溫較為低估



濕度仍然  
需要校正



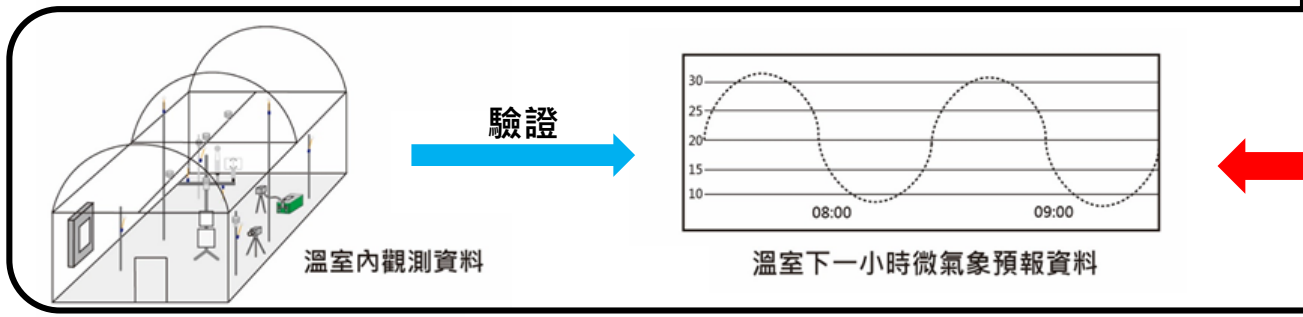
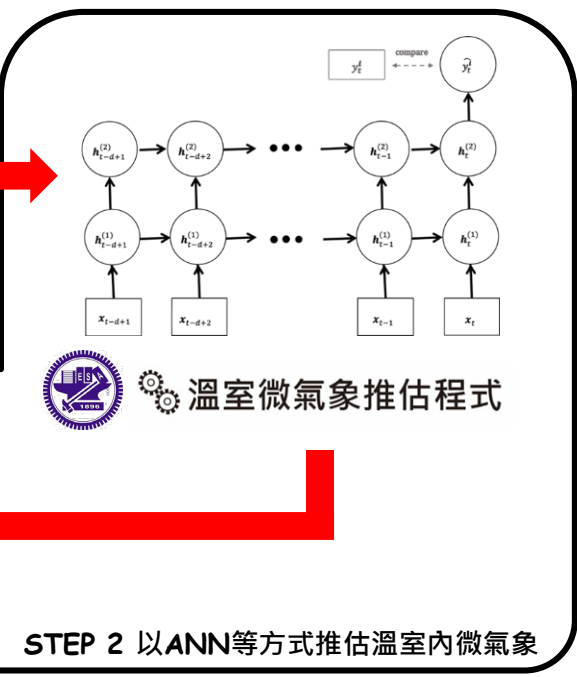
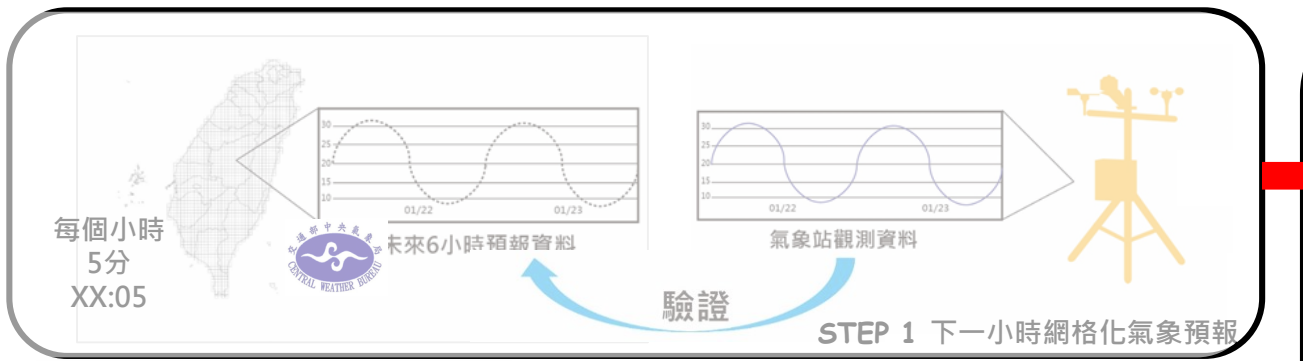
日射量於陰天時  
波盪較大

農試所網格點下1小時預報與示範基地溫度、濕度、日射量之比較。



Taiwan Agricultural Research Institute

# 交通大學應用數學系、台灣科技大學資訊工程系





Taiwan Agricultural Research Institute

## 交通大學應用數學系、台灣科技大學資訊工程系

- 目的：  
最終目的為藉由外部因子（氣象局預報資料）推估內部因子（溫室內微氣候）；因子包含內部溫度(Temp.)、濕度(RH)與光度(PPFD)，藉此達到，在維持推估精準度下，降低內部感知器的建置成本。
- 執行進度：  
目前已初步完成示範溫室、伸港溫室（因資料完整性較佳）內「各微氣候預測模型」—即溫度、濕度與光度內部因子預測模型。
- 分析過程
  1. 外部因子變數：

表 1 變數與其資料示範 (以農試所示範溫室—氣象站為例)

number	AirTC_Avg(溫度)	RH_Avg (濕度)	PPFD (光度)	Year	Month	Day	Hour	Minute
0	18.62	88.6	0.088	2018	11	26	3	0
1	18.72	91.1	0.075	2018	11	26	3	10
2	18.74	91.5	0.069	2018	11	26	3	20
3	18.77	91.9	0.063	2018	11	26	3	30
4	18.77	91.6	0.06	2018	11	26	3	40
5	18.78	92.6	0.057	2018	11	26	3	50
6	18.76	92.6	0.072	2018	11	26	4	0

"Hour" recording complies with 24-hour clock.

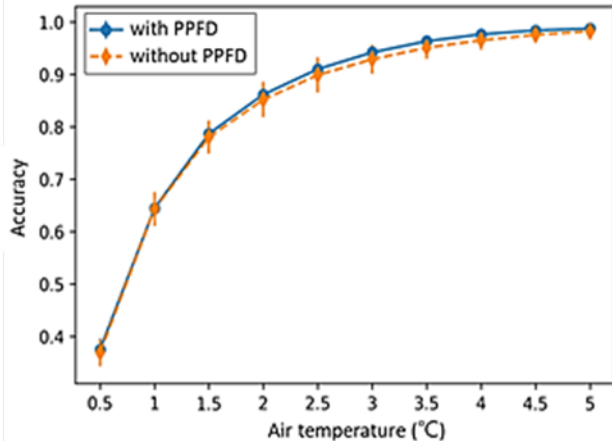


Taiwan Agricultural Research Institute

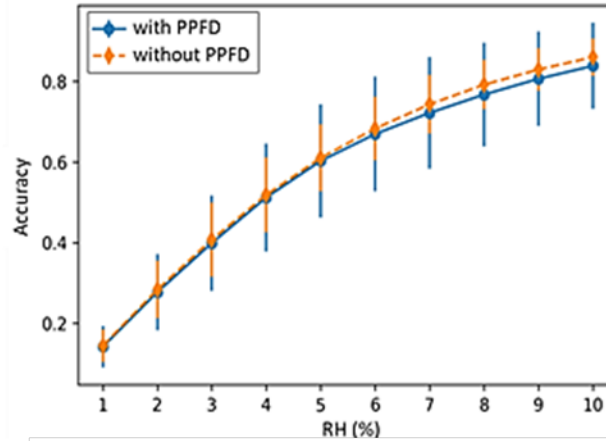
交通大學應用數學系、台灣科技大學資訊工程系

- 分析過程：
  - 分析模型：「長短期記憶網路模型 ( Long Short-Term Memory; LSTM)
- 分析結果：
  1. 由於各作物耐受性不同，以下呈現 ( 以示範溫室為例 ) 各預測模型在各誤差容許值 ( x軸 ) 內，各LSTM內部因子預測模型的估計精準度。
  2. 以番茄為例，溫度、濕度與光度誤差分別在在 $3^{\circ}\text{C}$ 、 $5\%$ 與 $100\mu\text{mol}$ 以內，皆是可容忍的水準。此標準下，模型估計的最佳平均正確率 (  $\pm\text{SD}$  ) 分別為 $94.21 ( \pm 0.92 ) \%$ 、 $61.02 ( \pm 8.34 ) \%$ 和 $82.41 ( \pm 6.00 ) \%$ 。

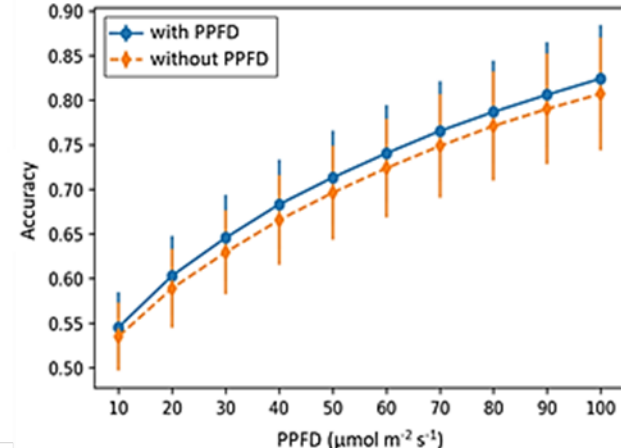
Temperature (5-folds)



Relative Humidity (5-folds)



PPFD (5-folds)

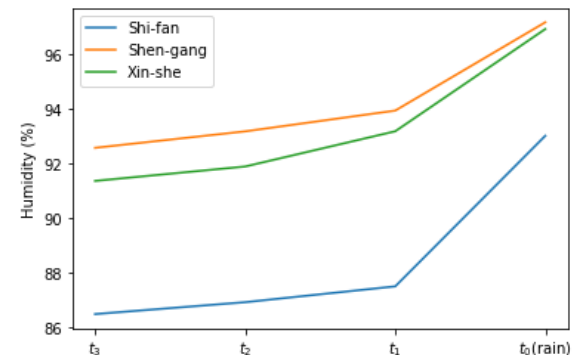




## 交通大學應用數學系、台灣科技大學資訊工程系

- 目的：  
最終目的為藉由氣象局各自動感知站資料來逐時（即下個小時）預測鄰近地區的降雨機率；以此作為鄰近溫室，其開頂智慧關閉的決策依據。
- 分析方法：  
初步使用最簡易的邏輯回歸模型(Logistic Regression)來試驗預測「是否降雨（或其機率）」的可能性；並以此作為基準(Baseline)模型，作為未來開發模型之比較基準。
- 分析過程：
  - 反應(二分)變數：Is\_Rain（是否下雨）
  - 預測變數：包含以下變數，其當下( $t$ )或過去( $t - 1, \dots, t - k$ )小時的資訊（）
    - Is\_Rain 的過去資訊( $t - 1, \dots, t - k$ )亦可作為當下( $t$ )模型預測的「預測變數」
    - 以下預測變數（包含過去資訊），因與Is\_Rain 當下( $t$ )相關性皆達顯著，而被選取。

Is_Rain	0	降雨量 = 0
	1	降雨量 > 0





Taiwan Agricultural Research Institute

# 農業試驗所

每個小時  
5分  
XX:05

未來6小時預報資料

氣象站觀測資料

驗證

STEP 1 下一小時網格化氣象預報

溫室微氣象推估程式

STEP 2 以ANN等方式推估溫室內微氣象

溫室內觀測資料

驗證

溫室下一小時微氣象預報資料

STEP 3  
光合作用模型  
& 溫室設備開關組合  
對光合作用之影響

輸入  
溫度、濕度、CO<sub>2</sub>

預估光合作用速率

計算  
光合作用速率

溫室  
控制選項

- (1) 開啟前方捲揚 溫度 X 80%
- (2) 開啟右邊捲揚 溫度 X 50%
- (3) 開啟上方捲揚 溫度 X 40%
- (4) 開啟遮陰網 溫度 X 40%

以上的其他組合

$P_{leaf} = P_{max} \cdot [1 - e^{(-Q_E \cdot PFD / P_{max})}]$

作物生長模式



## 決策系統判斷因子之一 光合作用速率

農業試驗所

$$P_{leaf} = \frac{\left\{ Q_E \cdot PFD \cdot P_{max} - \sqrt{[(Q_E \cdot PFD + P_{max})^2 - 4\Theta \cdot Q_E \cdot PFD \cdot P_{max}]} \right\}}{2\Theta}$$

$$P_{canopy} = P_{sun} \cdot LAI_{sun} + P_{shd} \cdot LAI_{shd}$$

$$LAI_{sun} = \left( \frac{1}{K_d} \right) \cdot [1 - e^{(-K_d \cdot LAI)}]$$

$$PFD \text{ on } LAI_{sun} \quad PFD_{sun} = (1 - \sigma) \cdot K_d \cdot PFD$$

$$P_{sun} = P_{max} \cdot [1 - e^{(-Q_E \cdot (1 - \sigma) \cdot K_d \cdot PFD / P_{max})}]$$

Sunlit

$$LAI_{shd} = LAI - LAI_{sun}$$

$$PFD \text{ on } LAI_{shd} \quad PFD_{shd} = \sigma \cdot PFD \cdot [1 - e^{(-K_d \cdot LAI_{shd})}] / LAI_{shd}$$

$$P_{shd} = P_{max} \cdot [1 - e^{(-Q_E \cdot PFD_{shd} / P_{max})}]$$

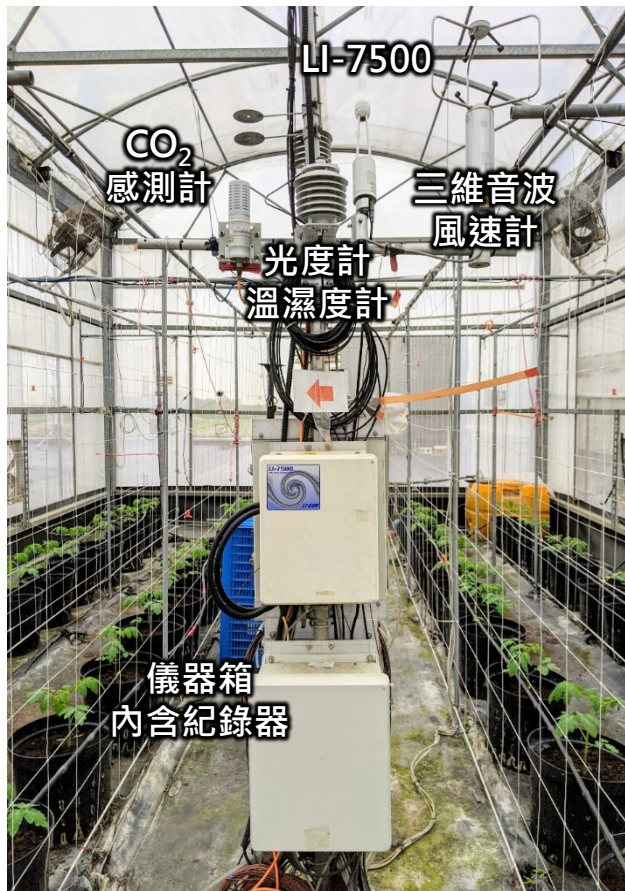
Shade

(Boote and Jones, 1987; Johnson and Thornley, 1984)

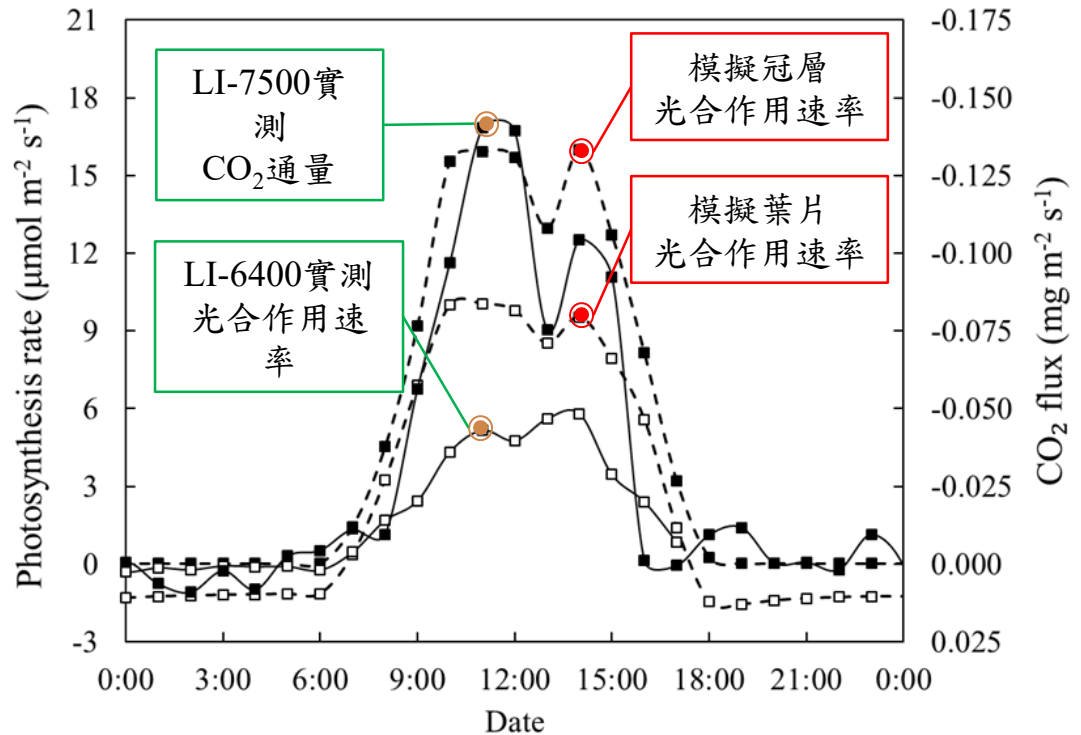
➔ 影響光合作用因子：溫度、光度、CO<sub>2</sub>濃度

## 決策系統判斷因子之一 光合作用速率

農業試驗所



示範基地內儀器



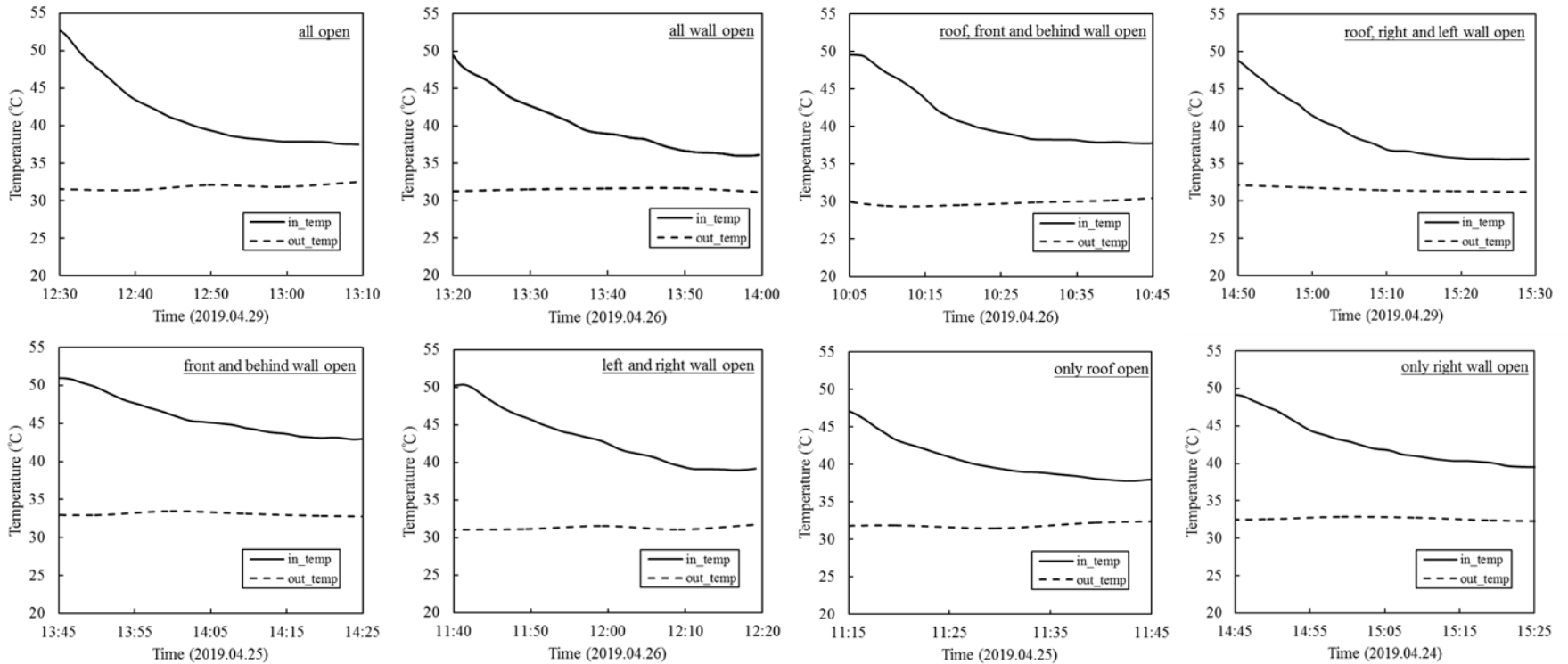
- □ - Simulated leaf photosynthesis rate
- ■ - Simulated canopy photosynthesis rate
- □ - Measured leaf photosynthesis rate
- ■ - Measured canopy CO<sub>2</sub> uptake

實測光合作用速率與模擬光合作用速率之關係





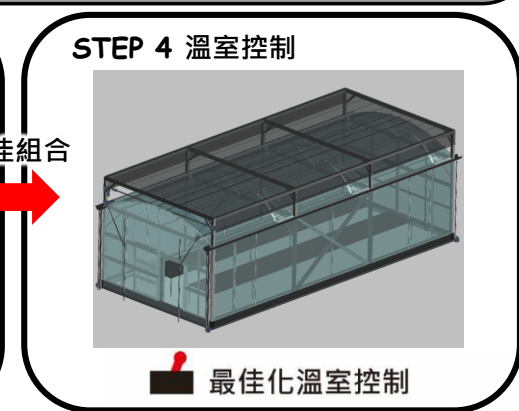
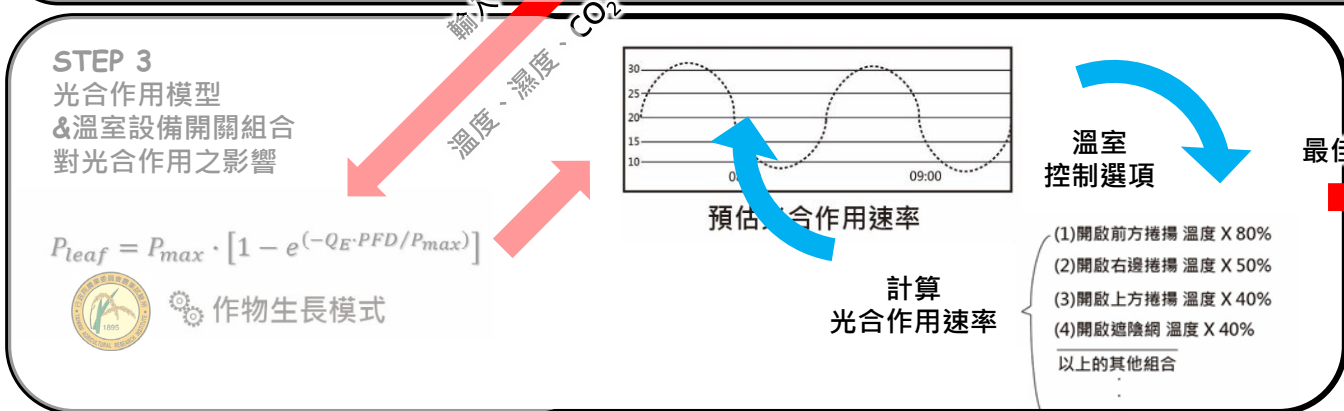
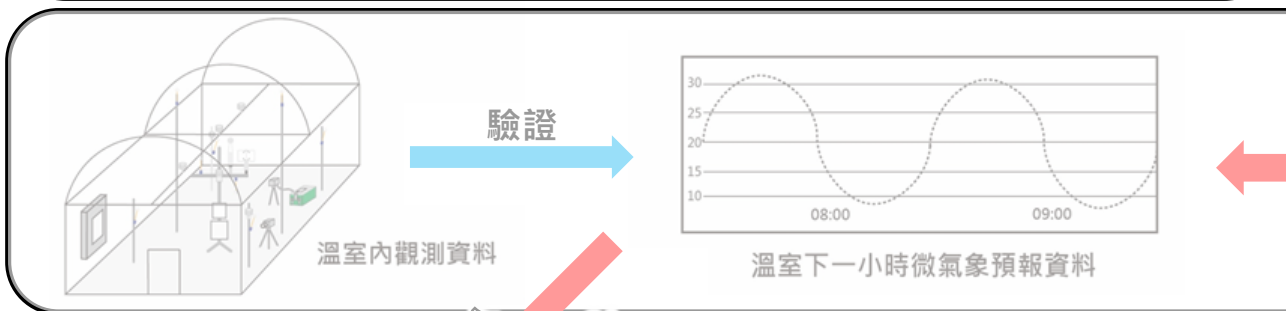
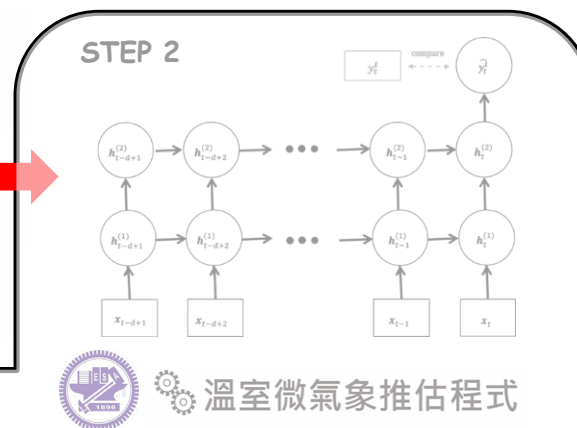
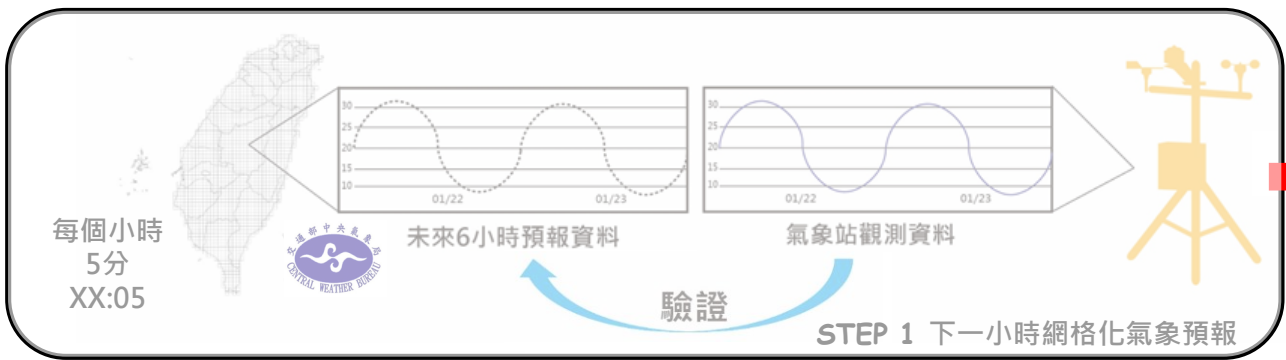
## 捲揚開關影響溫室內微氣象



不同屋頂及捲揚組合開關對溫室內部降溫之變化  
(實線為溫室內部溫度、虛線溫室外部溫度)

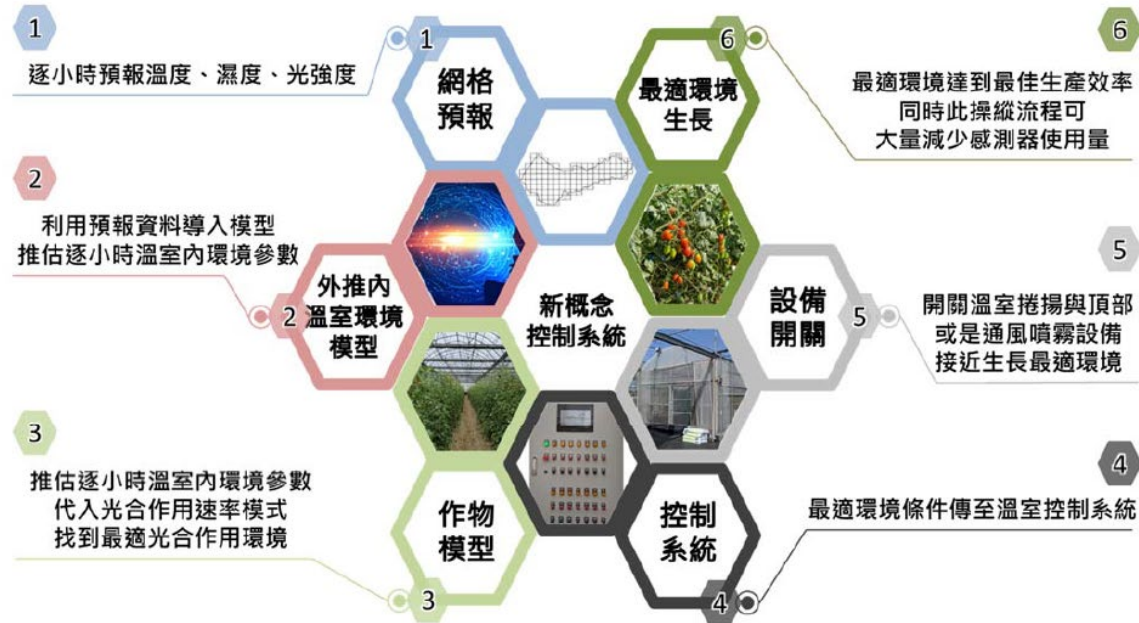


# Taiwan Agricultural Research Institute





# Taiwan Agricultural Research Institute



傳統溫室環境控制系統：40萬

VS



新溫室環境控制系統：4萬



Taiwan Agricultural Research Institute



感謝聆聽