

建置臺灣高解析格點日均溫與日高低溫預報產品

陳奕翰¹ 馮智勇¹ 張惠玲²
多采科技有限公司¹ 中央氣象局科技中心²

摘要

氣象局近年為滿足農業在地化應用需求，致力利用數值模式輸出發展所需高解析預報產品。現階段數值模擬雖已具有描述未來大氣環境變化之定性趨勢，然而定量預報仍存在系統性偏差且空間解析度亦不足，無法直接作為農業單位相關模擬所需之輸入資料。

為此，本研究以氣象局 GFS 全球數值模式輸出之逐小時 15 公里解析度溫度網格預報資料為基礎，利用氣象局局屬測站逐時溫度觀測值採美國氣象作業單位發展之誤差衰退平均法(Decaying Average, 簡稱 DCA)，計算局屬測站站點位置之統計降尺度預報校正值，獲得測站 1~14 天的逐時溫度預報值。由於多數農作區所在位置並無可供利用的氣象測站，因此假設溫度空間變化趨勢為高度及緯度線性關係，進一步利用通用克利金法(Universal Kriging, 簡稱 UK)逐時內插得到 1 公里高解析網格資料，再逐格點計算日平均溫、日高溫與日低溫預報產品。

關鍵字: 農業、誤差衰退平均法、統計降尺度、通用克利金

Keyword: agriculture, statistical downscaling, decaying average, universal Kriging

一、前言

農業是高度環境依賴的產業，尤其是極端天氣造成的氣象災害發生頻率的增加，使得客製化農業氣象資訊的重要性提高。目前中央氣象局地面觀測網格已增建至500餘站，但大部分測站位於西部平地，觀測網格資料分布不均勻，對於農業實際運用而言，仍有受到侷限的地方。舉例來說許多地面自動觀測站設於各區區公所，但農民種植與10公里外的山區，臺灣山區地形複雜且多變，此資料實際運用效果不大，因此，本研究為滿足農業在地化應用需求，使用數值模式輸出發展高解析預報產品。以氣象局GFS全球數值模式輸出之逐小時15公里解析度溫度網格預報資料為基礎，利用氣象局局屬測站逐時溫度觀測值採美國氣象作業單位發展之誤差衰退平均法(Decaying Average, 簡稱 DCA)，計算局屬測站站點位置之統計降尺度預報校正值，獲得測站上1~14天的逐時溫度預報值。由於多數農作區所在位置並無可供利用的氣象測站，因此假設溫度空間變化趨勢為高度及緯度線性關係，進一步利用通用克利金法(Universal Kriging, 簡稱UK)逐時內插得到1公里高解析網格資料，再逐格點計算日平均溫、日高溫與日低溫預報產品給下游農業單位做使用。首先於使用資料與研究方法中簡述本研究使用之預報資料以及觀測資料，並且簡介誤差衰退平均法以及通用克利金法，第三段敘述數值模式溫度偏差校正與統計降尺度的流程並應用空間統計方法產製1公里解析度網格點溫度預報，最後為結論。

二、使用資料與研究方法

(一)使用資料:

1. 預報資料使用氣象局所發展之CWB GFS模式，層場使用地表上兩公尺的溫度場，目前由氣象局作業化產出00Z、06Z、12Z、18Z一天四報，水平解析度為15公里，預報長度為逐時到384小時，本產品目前依農業單位需求僅作業化00Z的預報。
2. 觀測資料使用氣象局局屬人工站和自動觀測站資料，現階段總共使用426個測站作為校正目標。
使用之資料表格與測站分布詳見表1與圖1

(二)誤差衰退平均法(Decaying Average:DCA):

Cui et al. (2012)針對美國GEFS模式與加拿大系集模式輸出包含溫度在內共35個具空間分布均勻特性變數的系統性偏差，發展採簡化形式卡門濾波(Kalman Filter)的偏差衰退平均校正方法，目前已實作於解析度1°x1°的逐6小時模式輸出場作業流程，證實可有效剔除系統偏差。校正步驟如下：

1. 誤差估計

以下式估計時刻測站的 τ 時間預報場偏差值 $b_i^\tau(t)$ 。其中， $f_i^\tau(t)$ 為時刻測站的 τ 時間預報場預報值，而 $a_i(t)$ 為時刻測站的分析值真實值。

$$b_i^\tau(t) = f_i^\tau(t) - a_i(t)$$

2. 更新系統性偏差值

以下式與 $t-1$ 時刻校正結果計算系統偏差值更新值 $B_i^\tau(t)$ 。其中權重係數 w 代表該更新值包含幾次計算的偏差資訊(圖A-1)。若以每日00Z演算模式一次為例，權重係數為0.02代表掌握約為最近100-150次(天) (權重係數倒數的二至三倍)之模式模擬與分析場的系統偏差。

$$B_i^\tau(t) = (1-w) \cdot B_i^\tau(t-1) + w \cdot b_i^\tau(t)$$

3. 以系統偏差值更新值修正預報值，完成校正作業將時刻測站的 τ 時間預報場預報值減去系統偏差值更新值 $B_i^\tau(t)$ ，得到時刻測站的 τ 時間預報場校正預報值 $F_i^\tau(t)$ ，即：

$$F_i^\tau(t) = f_i^\tau(t) - B_i^\tau(t)$$

(三) 通用克利金法

克利金法(Kriging technique)是根據資料在空間中分布的統計特性，決定線性內插係數的一種技術，在資料符合不同趨勢條件假設下，首先是進行空間結構統計特性分析，再透過最佳線性不偏估(Best Linear Unbiased Estimation, 簡稱BLUE) 期望值與最小估計誤差平方和(Least Squares)原理求解測站觀測的權重係數值。而通用克利金法是假設「隨機變數平均值為某種空間趨勢函數」的克利金法，其平均趨勢函數分析是由觀測或歷史資料分析台灣地區天氣要素隨空間變化而來。以台灣地表溫度為例，可將緯度和海拔高度的視為線性趨勢函數，去除趨勢後的溫度殘差值的協變異數圖具有定常性。

UK 法的線性估計方程式為式(3-1)，假設天氣要素

$Z(\mathbf{u})$ 的趨勢函數如下， y 與 h 為趨勢因子， β_0 、 β_y 和 β_h 為趨勢因子係數。

$$\hat{Z}(\mathbf{u}_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{u}_i) \quad (3-1)$$

$$E[Z(\mathbf{u})] = \beta_0 + \beta_y y + \beta_h h \quad (3-2)$$

不偏估條件要求：

$$\begin{aligned} E[\hat{Z}(\mathbf{u}_0)] &= E\left[\sum_{i=1}^n \lambda_i Z(\mathbf{u}_i)\right] \\ &\Rightarrow \beta_0 + \beta_h h_0 + \beta_y y_0 = \sum_{i=1}^n \lambda_i (\beta_0 + \beta_h h_i + \beta_y y_i) \\ &\Rightarrow \beta_0 \left(1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right) + \beta_h \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i h_i - h_0\right) + \beta_y \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i y_i - y_0\right) = 0 \end{aligned} \quad (A-8) \quad (3-3)$$

選擇下列條件滿足不偏估要求：

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i = h_0 \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i = y_0 \quad (3-4)$$

利用Lagrange multiplier v_1, v_2, v_3 結合最小估計誤差變異數

條件的 n 個方程式與此 3 個不偏估條件式，得到 $n+3$ 組聯立方程式，解 $n+3$ 個未知數 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, v_1, v_2, v_3$

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot cov(d_{ij}) + v_1 + v_2 y_i + v_3 h_i = cov(d_{i0}) & \text{for } i = 1, 2, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 & \sum_{i=1}^n \lambda_i h_i = h_0 & \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i = y_0 \end{cases} \quad (3-5)$$

估計誤差變異數為：

$$E\left[\left\{\hat{Z}(\mathbf{u}_0) - Z(\mathbf{u}_0)\right\}^2\right] = \sigma_z^2 - v_1 - v_2 y_0 - v_3 h_0 - \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot cov(d_{i0}) \quad (3-6)$$

三、預報模式逐時溫度偏差校正

本研究使用局屬測站逐時溫度觀測值以DCA法校正 CWB GFS 全球數值模式輸出之逐時整點溫度並同步得到各測站點預報資訊，可再後製計算為日平均、日高溫與日低溫預報。目前DCA誤差衰減權重係數採0.1，每日排程校正前一日預報，產出426測站逐時溫度預報數據檔。以DCA法進行CWB GFS統計尺度的流程是利用測站整點溫度觀測資料每日先行更新模式格點系統性偏差(資料配對示意圖請參考圖2)，並以此校正包圍該測站的四個模式格點逐時溫度預報後，再選擇與測站觀測最高相關的模式格點預報校正值為測站逐時預報，同時完成偏差校正與統計降尺度步驟。測站鄰近四格點的相關係數計算方式係參考 Guan et al. (2015)，給予近期資料較大權重的方式，如圖3藍色右方所示(左方為基本的相關係數算法)，其中 $\overline{S_{xx}}$ 、 $\overline{S_{yy}}$ 、 $\overline{S_{xy}}$ 的估計方法如綠色框所表示，會先讀取上一個時間的 $\overline{S_{xx}}$ 、 $\overline{S_{yy}}$ 、 $\overline{S_{xy}}$ 並且乘上時間權重係數(1-w)，w值的設定為使用者自訂，端看使用者希望納入多久的資訊，並且與本次計算所得到的 S_{xx} 、 S_{yy} 、 S_{xy} 乘上w加權後相加得到本次更新後的 $\overline{S_{xx}}$ 、 $\overline{S_{yy}}$ 、 $\overline{S_{xy}}$ ，而 $\overline{S_{xx}}$ 、 $\overline{S_{yy}}$ 、 $\overline{S_{xy}}$ 計算中所需的 S_{xx} 、 S_{yy} 、 S_{xy} 與 \bar{x} 、 \bar{y} 則可以從灰色與橘色區域的算式中得到，式子中的 x 、 y 則是當次的預報與觀測值。

考量溫度變化隨海拔高度與緯度有顯著關係，於此應用氣象局預報中心發展的通用克利金法(UK法)產製1公里解析度網格點資料。

UK法是將網格點溫度視為所在位置之緯度和海拔高度的線性趨勢函數，並利用上述得到之CWB GFS測站降尺度預報值，逐時估計一組線性函數係數並用以產製該小時之高解析度網格點溫度預報。待完成高解析網格點逐時溫度預報後，計算每一個格點的24筆溫度預報的最小值、最大值與平均值即可得到1公里解析度之日低溫、日高溫與日均溫網格預報產品。

圖4左上為2020年1月30日之日低溫觀測資料，往下、往右則依序為1月29日預報第一天、1月28日預報第二天、1月27日預報第三天...之日低溫網格資料，右下角則為1月16日預報第14天之日低溫網格化圖，整體表現除受模式原始解析度僅15公里而變化較為平滑外，可以看到事件日前1~3天的預報已掌握低溫10°C以下的空間範圍，尤以第一天預報的溫度分布已與觀測相近，平地部分略微修低於觀測，特別是彰化與花東縱谷明顯偏低，而山區則是略高於觀測；事件日前4~6天仍可看出台北盆地有低於10的訊息。

圖5左上為2020年6月4日之日高溫觀測資料，往下、往右則依序為6月3日預報第一天、6月2日預報第二天、6月1日預報第三天...之日高溫網格資料，右下角則為5月21日預報第14天之日高溫網格化圖，事件日前1~7天的日高溫預報空間分布特徵已與觀測相近，但台北盆地與花東縱谷部分地區過度預報，而在桃竹沿海一帶、台中、彰化、雲林、嘉義平地地區則稍微預報不足；事件日前8~14天預報趨勢較不一致，例如台北盆地於第11、13與14天預報過高而其他日則較為低估；而事件日前第12日預報則是全台灣明顯低報。

圖6左上為2020年6月4日之日均溫觀測資料，往下、往右則依序為6月3日預報第一天、6月2日預報第二天、6月1日預報第三天...之日均溫網格資料，右下角則為5月21日預報第14天之日均溫網格化圖，顯示除事件日前第12天預報明顯偏低外，其餘各日預報均可正確掌握日均溫空間分布特徵，僅在平地區域些微低報。

四、總結

本研究使用氣象局局屬測站逐時溫度觀測值採美國氣象作業單位發展之誤差衰退平均法，計算局屬測站站點位置之統計降尺度預報校正值，獲得測站1~14天的逐時溫度預報值。並且使用溫度空間變化趨勢為高度及緯度線性關係，進一步利用通用克利金法(Universal Kriging，簡稱UK)逐時內插得到1公里高解析網格資料，再逐格點計算日平均溫、日高溫與日低溫供給下游端農業單位一個客觀預報產品。

五、參考文獻

- 交通部中央氣象局，2014:「氣候變遷應用服務能力發展計畫103年氣候資料整及分析系統發展」。
- 交通部中央氣象局，2015:「氣候變遷應用服務能力發展計畫104年氣候資料整及分析系統發展」。
- 交通部中央氣象局，2016:「氣候變遷應用服務能力發展計畫105年氣候資料整及分析系統發展」。
- 交通部中央氣象局，2017:「氣候變遷應用服務能力發展計畫106年氣候資料整及分析系統發展」。
- 高裕哲，馮智勇，詹智雄，沈里音 2016: 應用Decaying Average發展測站即時溫度觀測檢核技術,105年天氣分析與預報研討會。
- 交通部中央氣象局，2014:「氣候變遷應用服務能力發展計畫103年氣候資料整及分析系統發展」。

五、附圖、表

表 1 建置臺灣高解析格點溫度預報產品所使用之即時資料

資料名稱	Observation	CWB_GFS
時間解析	1 hr	1 hr
空間解析	X	約15公里
資料長度	2017/01/01→至今	2020/04→至今
模擬範圍	X	Global
預報長度	X	預報長度: 00-384/1hr
層場	整點溫度	兩米高整點溫度

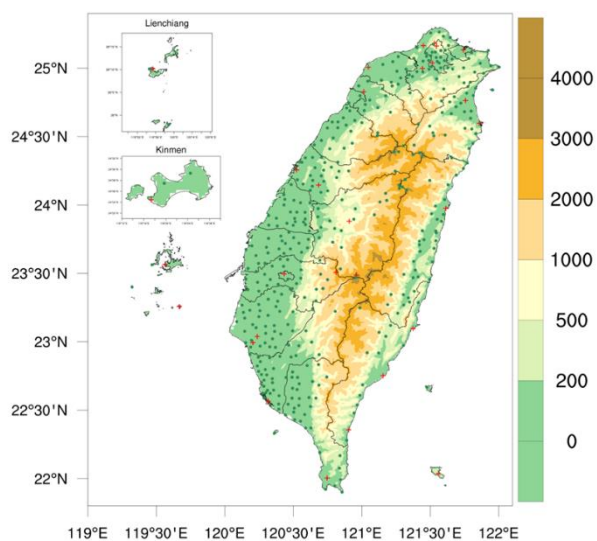


圖 1 臺灣 1 公里解析度地形高度與溫度測站分布圖。
局屬人工測站為紅十字，自動氣象站採綠點代表。

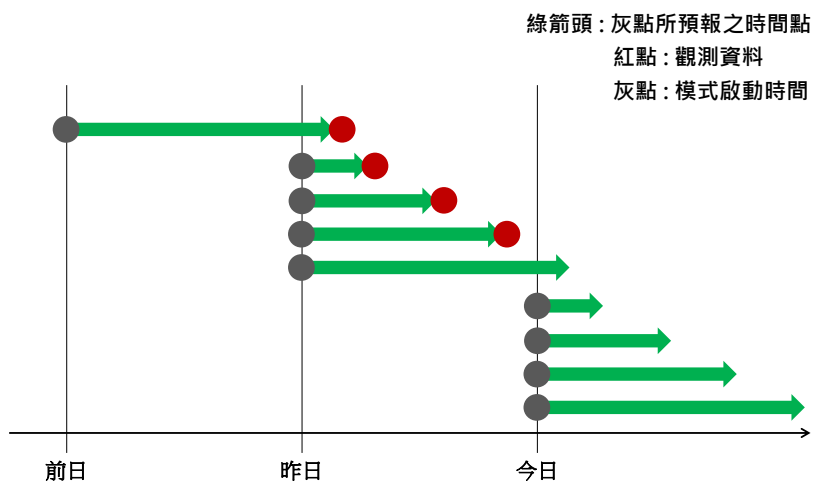
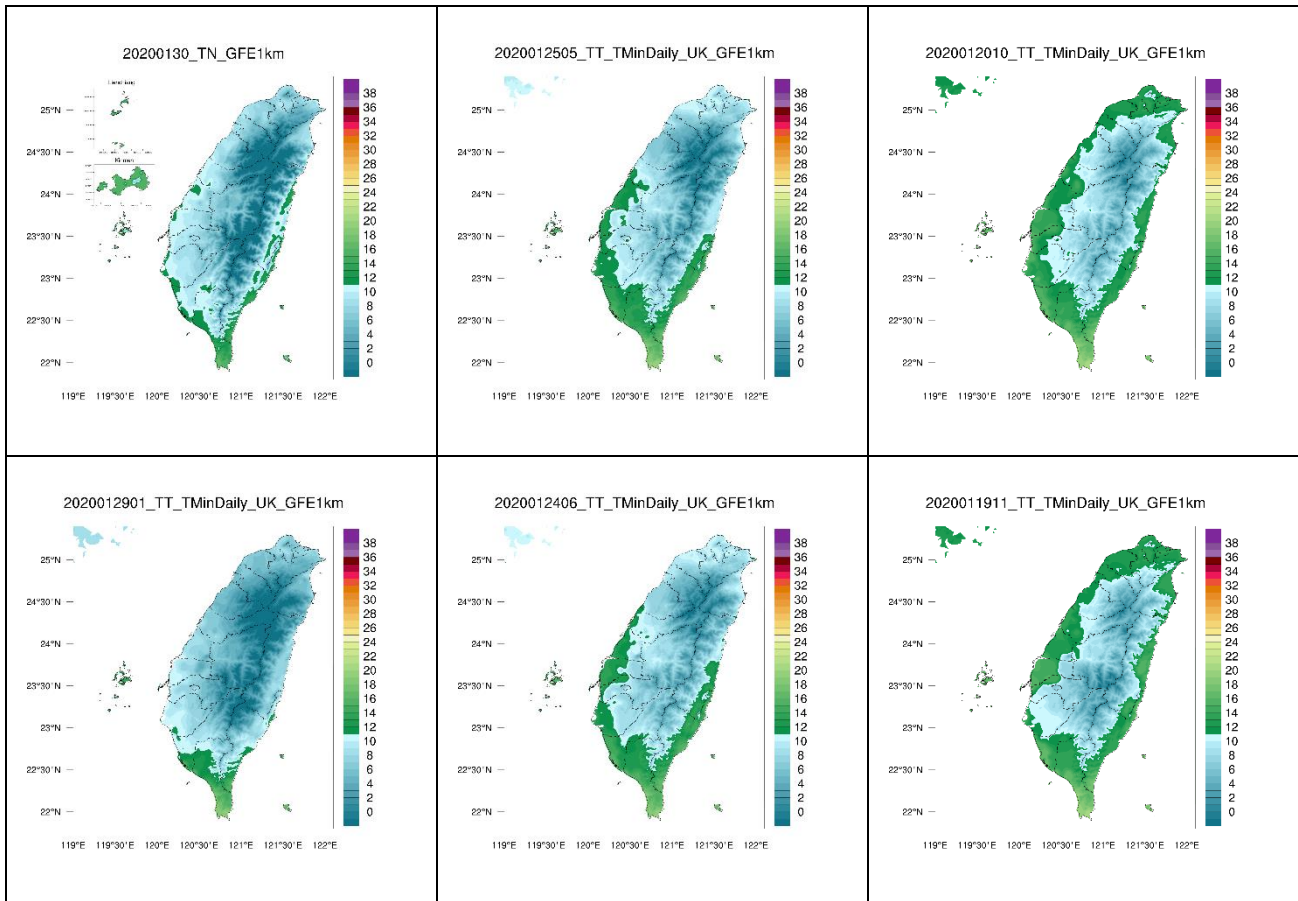


圖 2 讀取過去預報與近期觀測配對示意圖

- 1 $r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{xx} * S_{yy}}} \longrightarrow \overline{r_{xy}} = \frac{\overline{S_{xy}}}{\sqrt{\overline{S_x} * \overline{S_{yy}}}}$
- 2 $\overline{S_{xy}}(t) = \overline{S_{xy}}(t-1) * (1-w) + S_{xy}(t) * w$
 $\overline{S_{xx}}(t) = \overline{S_{xx}}(t-1) * (1-w) + S_{xx}(t) * w$
 $\overline{S_{yy}}(t) = \overline{S_{yy}}(t-1) * (1-w) + S_{yy}(t) * w$
- 3 $S_{xx}(t) = (x - \bar{x})(x - \bar{x})$
 $S_{yy}(t) = (y - \bar{y})(y - \bar{y})$
 $S_{xy}(t) = (x - \bar{x})(y - \bar{y})$
- 4 $\bar{x}(t) = \bar{x}(t-1) * (1-w) + x * w$
 $\bar{y}(t) = \bar{y}(t-1) * (1-w) + y * w$

圖 3 格點相關係數動態計算方式



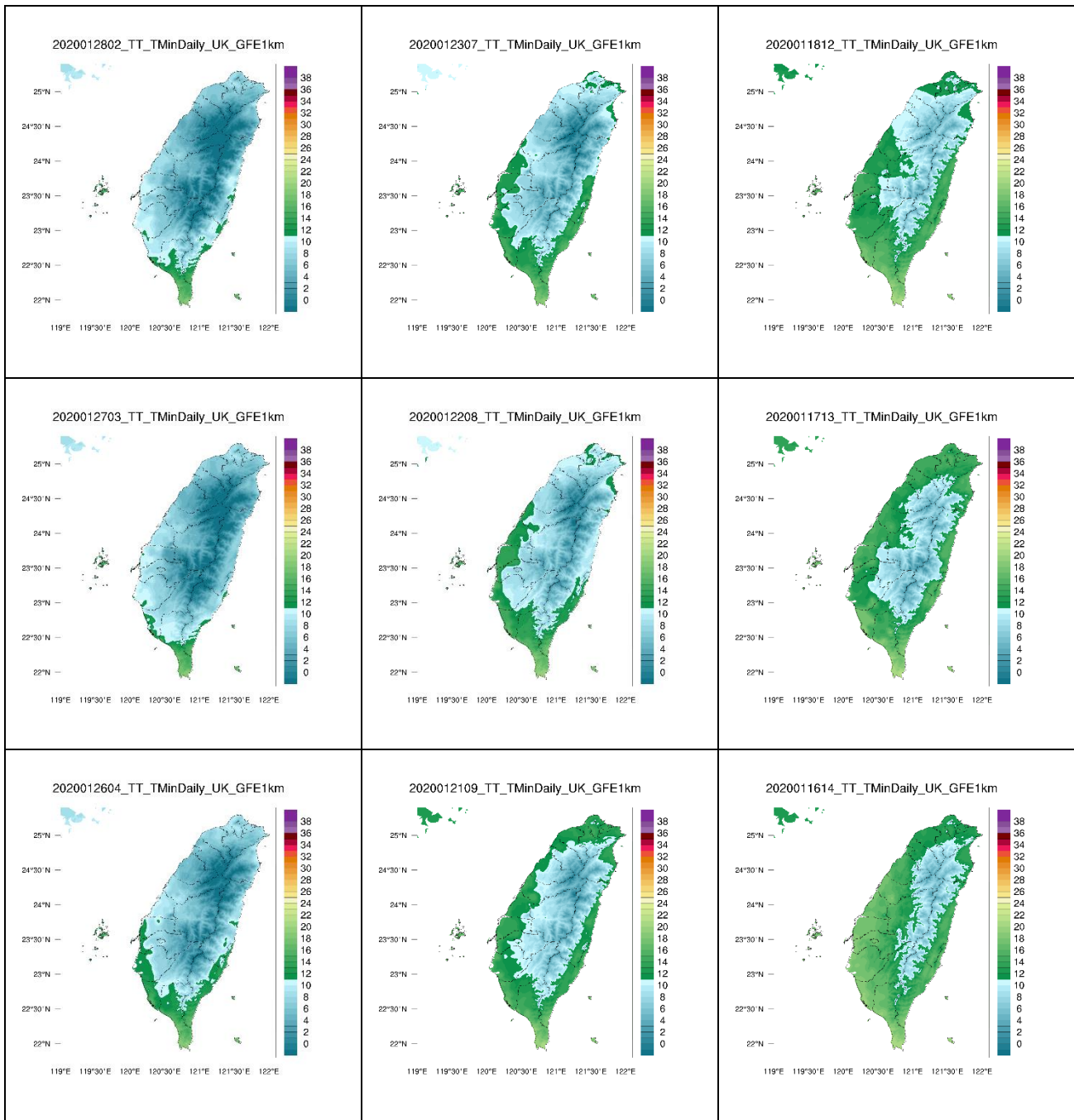
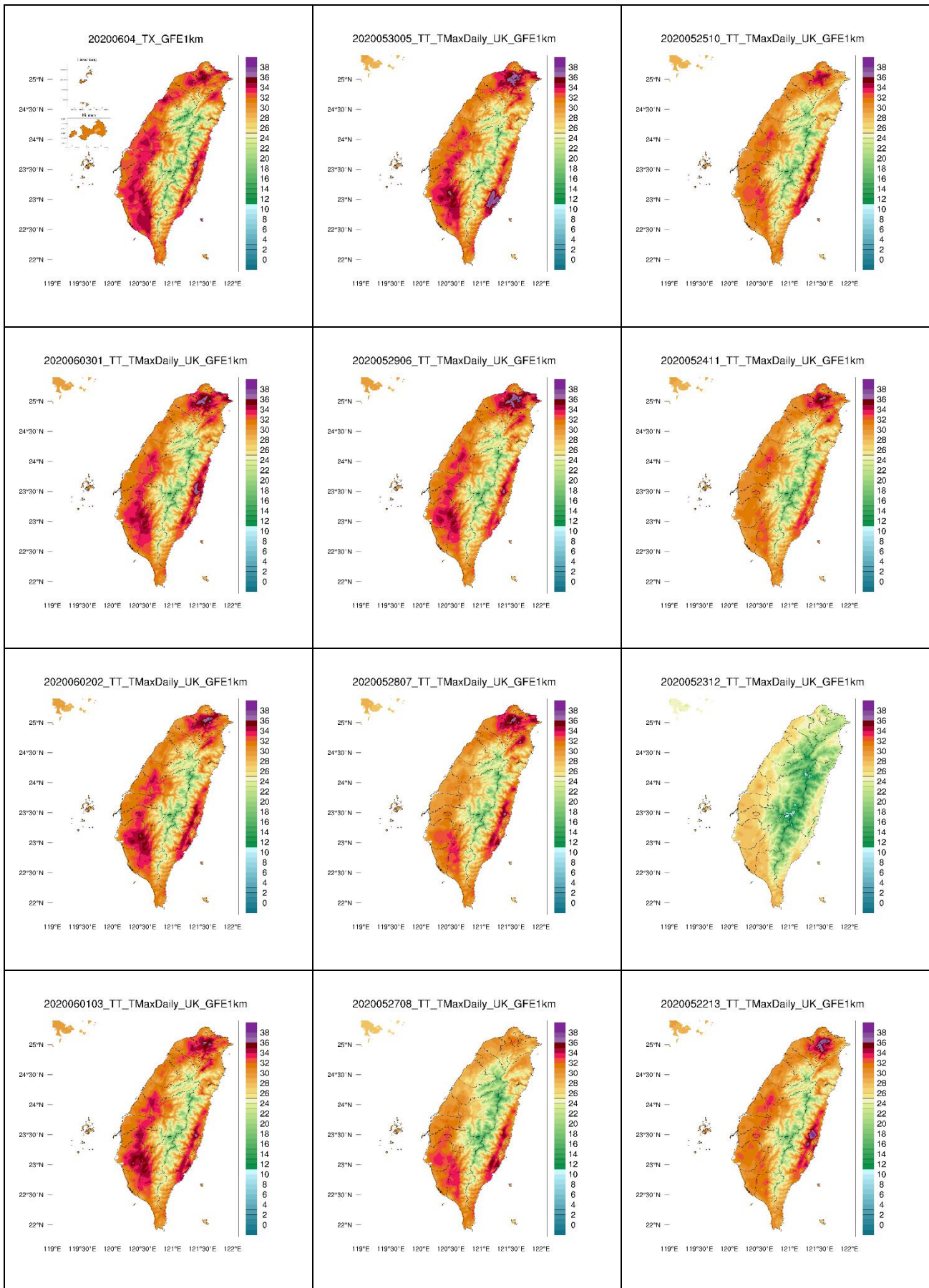


圖 4 2020 年 1 月 30 日的日低溫測站網格化圖(左上)與 CWB GFS 自 1 月 29 日回溯至 1 月 16 日的逐日預報經 DCA 校正後降尺度至網格點上日低溫網格圖



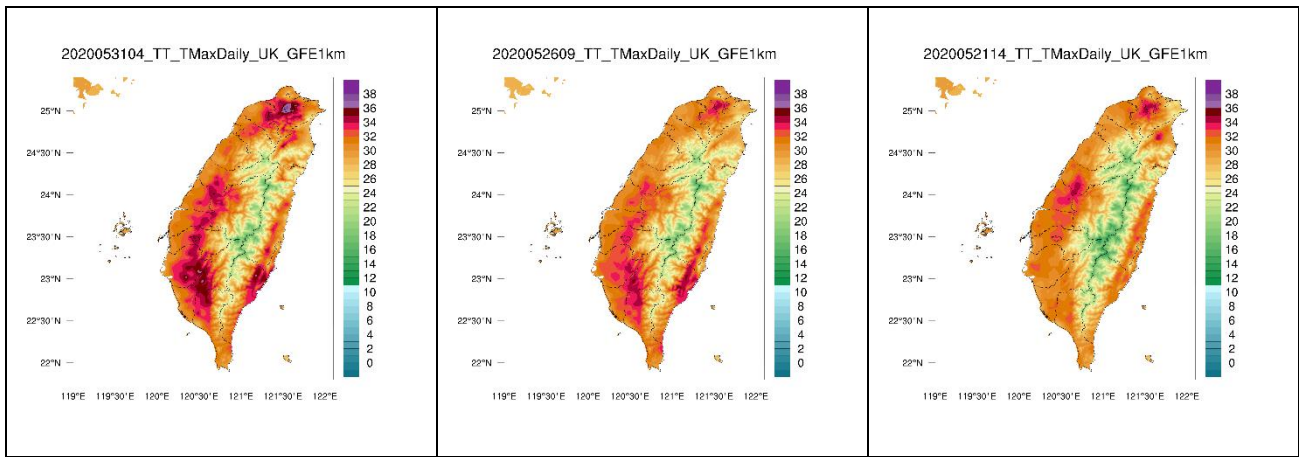
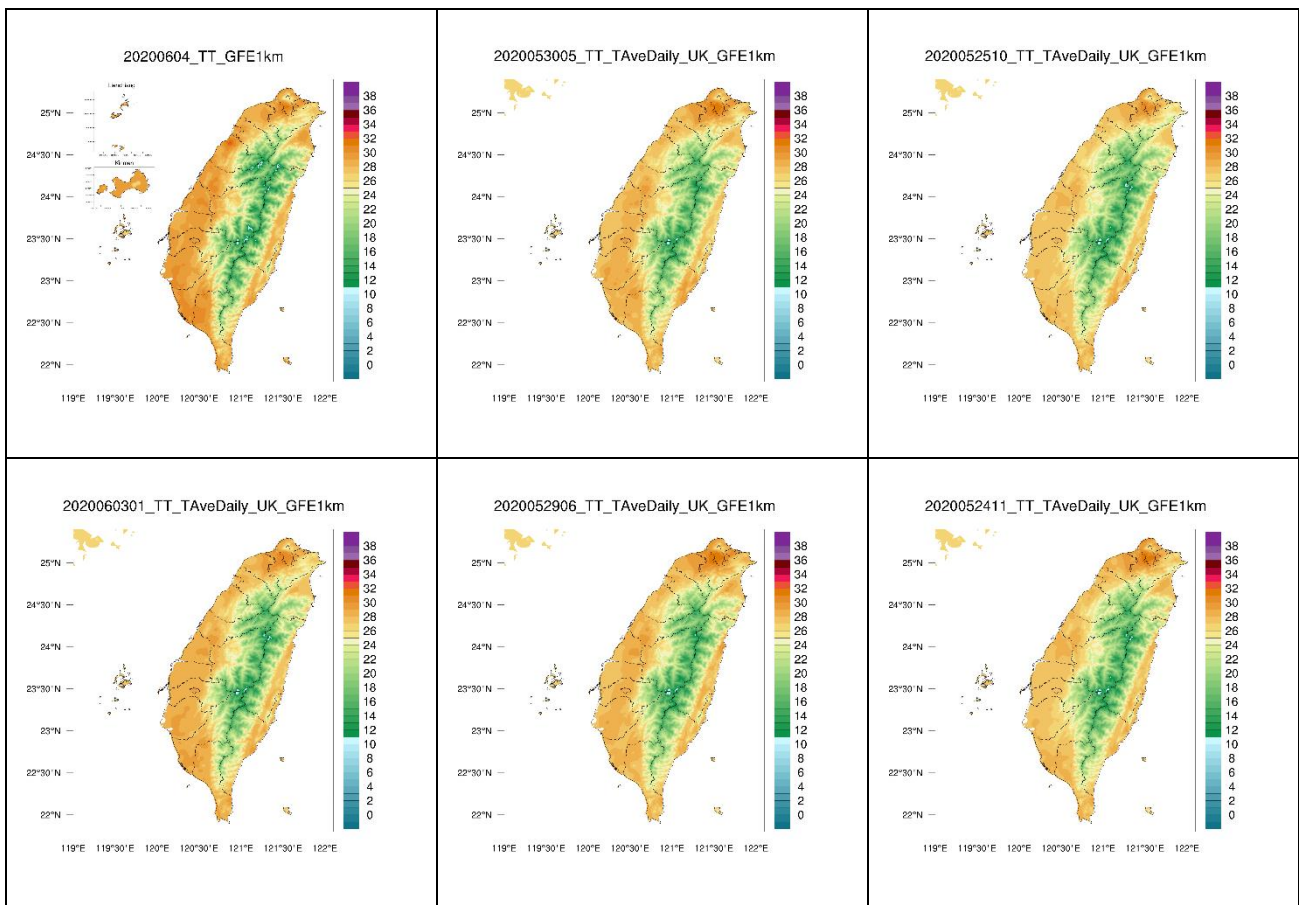


圖 5 2020 年 6 月 4 日的日高溫測站網格化圖(左上)與 CWB GFS 自 6 月 3 日回溯至 5 月 21 日的逐日預報經 DCA 校正後降尺度至網格點上日高溫網格圖



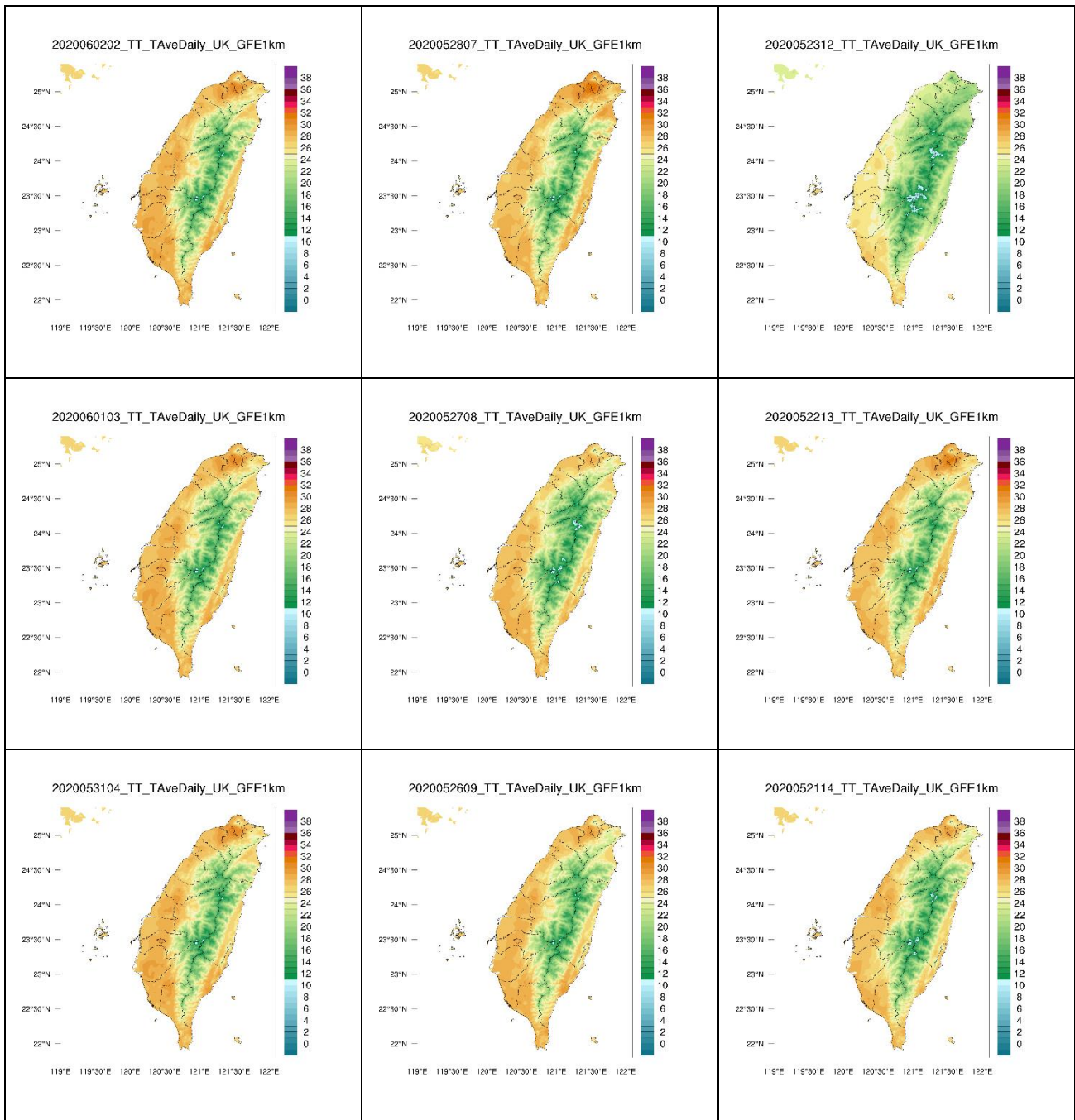


圖 6 2020 年 6 月 4 日的日高溫測站網格式圖(左上)與 CWB GFS 自 6 月 3 日回溯至 5 月 21 日的逐日預報經 DCA 校正後降尺度至網格式上日均溫網格式圖

Building Taiwan high-resolution grid point daily average temperature and daily maximum and minimum temperature forecast products

Yi-Han Chen¹, Chih-Yung Feng¹, Hui-Ling Chang²

Manysplendid InfoTech, Co. Ltd.¹

Research and Development Center, Central Weather Bureau²

Abstract

The Central Weather Bureau (CWB) has been devoted to producing high-resolution forecasting products with numerical models for development needs to meet the demands of localized agricultural applications in recent years. Although the numerical simulations can describe future atmospheric environmental changes qualitatively, the quantitative forecasts contain systematic bias and insufficient spatial resolution, which may not directly serve as the input data for relevant simulations of agricultural organizations.

Therefore, based on the hourly 15-kilometer resolution gridded temperature forecast data from the CWB Global Forecast System (GFS) numerical model, this study utilizes the CWB hourly temperature observations and uses Decaying Average (DCA) to do bias correction and downscaling to ground observation and obtain their hourly temperature forecast to 14 days. Since no ground observations are available in most agricultural areas, this study assumes that the temperature's spatial variation tendency is a linear relationship between altitude and latitude and hourly interpolates with Universal Kriging (UK) to obtain the 1-kilometer high-resolution gridded data. The daily average, maximum and minimum temperatures forecasting products are then calculated grid by grid point.

Keyword: agriculture, statistical downscaling, decaying average, universal Kriging