

臺灣氣候變化統計資料與圖集簡介

詹智雄¹(Chan C.-H.) 徐嘉鴻²(Hsu C.-H.) 潘琦¹(Pan C.)

¹中央氣象局科技中心 ²中央氣象局

摘要

本文蒐集臺灣各地綜觀氣象站設站迄2020年止之觀測資料，依據世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO) 出版之《WMO氣候平均值計算指南》(WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, WMO-No. 1203, 2017 edition)和《WMO氣候作業指南》(Guide to Climatological Practices, WMO-No. 100, 2018 edition)，建立觀測資料統計及繪圖模組，以此作為未來作業化流程之基礎。使各測站不同氣象要素有相同標準的產製流程，進而在不同區域或各氣候標準平均時期下，也能有一致的比較基礎。

此外透過各式統計圖表的呈現，協助讀者更清楚了解臺灣氣候之變化，達到訊息有效傳遞與溝通之目的。

關鍵字：氣候變化統計資料，氣候變化統計圖集，氣候作業指南

一、前言

中央氣象局於2009年出版「1897~2008臺灣氣候變化統計報告」(以下簡稱前版)以月資料直接統計分析，若當月的日資料發生大量缺失時，較易造成月統計值的偏估，因此中央氣象局預計於2021年底出版之「1897~2020臺灣氣候變化統計報告」(以下簡稱新版)，將採用世界氣象組織(World Meteorological Organization, WMO) 所出版之《WMO氣候平均值計算指南》(WMO 2017)建議的缺遺規則來計算月統計值。

在氣象要素上，除了前版採用一般常見的要素外，也因近年來全球各地極端的天氣現象發生的頻率有逐年增加的趨勢，新版也新增ETCCDI (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team on Climate Change Detection and Indices)組織提供的分析工具 RClimDex(詳細資訊可參考 <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>)來進行極端氣候指標的運算。

為觀察各氣象要素長期以來的趨勢變化，採用 Mann-Kendall趨勢檢定法(Gilbert 1987)，來檢定時序資料上升或下降趨勢是否具有顯著性，而回歸斜率則是使用泰爾-森估算(Sen 1968)，也可稱Sen氏斜率法。

新版不僅強化了前版在數值應用上的可用性及可靠性，在圖表的製作上，也新增多樣化的視覺表

達效果。藉由適當的資料視覺化表現，讓數字達到訊息有效傳遞與溝通之目的。

二、資料產製流程

新版建立了從蒐集日資料開始至完成各式統計分析圖表的流程(附圖1)，以下分述各流程階段。

(一)蒐集原始資料及銜接處理

1.日資料

蒐集臺灣各地27個綜觀氣象站設站迄2020年止之觀測資料，綜觀氣象站的分布如附圖2所示。各站使用以下每日觀測氣象要素資料產製月統計值：平均氣溫(°C)、平均露點溫度(°C)、絕對最低氣溫(°C)、絕對最高氣溫(°C)、氣溫日較差(°C)、平均風風速(m/s)、平均風風向(360°)、降水量(mm)、降水時數(hr)、平均相對濕度(%)、箱外20cm蒸發量(mm)、A型蒸發量(mm)、平均雲量(10分量)、日照時數(hr)、日照率(%)、10cm地溫(°C)、100cm地溫(°C)和500cm地溫(°C)，再經WMO缺遺規則產製月統計值。另外海平面氣壓(hPa)、霧日數和雷暴日數，這3項氣象要素未使用WMO缺遺規則，而是直接使用該參數的月統計值。

日累積降水量、日絕對最高氣溫和日絕對最低氣溫，為計算ETCCDI極端氣候指標的必要參數。

2.測站資料銜接

日資料有3個綜觀氣象站需做資料的銜接(附圖3)。臺北站(氣象站代碼：466920)的資料起始於1897

年至現在，其中1992年2月到1997年8月之間因建物整修，觀測地點移至臺北(師院)站(氣象站代碼：466921)。

臺南站(氣象站代碼：467410)的資料起始於1897年至現在，其中1998年5月到2001年12月之間因建物整修，觀測地點移至臺南(永康)站(氣象站代碼：467411)。

新竹站(氣象站代碼：467570)的資料起始於1938年1月至1991年6月，之後氣象站搬遷至現址(氣象站代碼：467571)繼續觀測，資料從1991年7月持續至現在。

詳細的測站地理資料可參考中央氣象局全球資訊網(<https://www.cwb.gov.tw>)。

(二)WMO缺遺規則

依據《WMO氣候平均值計算指南》之建議，月統計值為該月日資料的平均值時，日資料缺失11天以上或連續缺失5天以上時，該月統計值視為缺值。新版計算月統計值為該月日資料的總和值、極端值和計次值時，亦採用此規則。測站每個氣象要素的日資料依此規則，統計並計算出逐年各月、年和四季統計值(以下簡稱：逐年各月季年值資料，附圖4)。單站、各區域和本島平地16站皆產製相同格式，以利後續的計算、統計分析及繪圖。

(三)月統計值和年統計值

1.月統計值：依各測站每月氣象要素的日資料缺失情況，經WMO缺遺規則後，再求得當月的氣象要素月統計值。

(1)平均參數(Mean parameter)：當月日觀測資料之平均值。

(2)總和參數(Sum parameter)：當月日觀測資料之總和值。

(3)極端參數(Extreme parameter)：當月日觀測資料之極端最大或極端最小值。

(4)計次參數(Count parameter)：計算當月發生某個事件或氣象要素達到某個閾值之次數總和。

(5)平均風風向：採盛行風風向，以當月觀測的所有日平均風風向出現風向最多次數者為當月的月平均風風向。若風向次數發生兩個以上相同值時，取相對應之日平均風風速和較大者。

2.年統計值的計算：測站各年的年統計值，由該年無任何缺遺的1月至12月的月統計值求得，若有任一個月缺失，則該年統計值視為缺值。

(1)平均參數：由月平均參數或極端參數計算其平均值，求得該參數的年平均數。

(2)總和參數：由月總和參數計算其總和值，求得該參數的年總和值。

(3)計次參數：以年做為計次的統計單位。

(4)極端參數：由當年各月極端參數求最大或最小值。在ETCCDI極端氣候指標中，多數指標以「年」為時間尺度做分析統計。

(5)平均風風向：年平均風風向統計規則如(三)-1.-(5)，以該年觀測的所有月平均風風向出現風向最多次數者，為該年度的年平均風風向。

(6)9年移動平均：採用連續9年的年統計值取得算術平均數，計算得到的移動平均記錄在中間第5年的時間點上，且需完整無任何一年有缺漏。

(四)區域與本島平地16站的平均值

各區域包含的測站：北部：臺北，淡水，新竹；中部：臺中，梧棲，嘉義；南部：臺南，高雄，恆春；東北部：基隆，宜蘭，蘇澳，東部：花蓮，成功，臺東，大武，以上為本島平地16站。陽明山區：鞍部，竹子湖；中部山區：日月潭，阿里山，玉山；離島：彭佳嶼，澎湖，東吉島，蘭嶼，金門，馬祖。文字標底線者為8個百年站。

各區域或本島平地16站的月、季和年平均數，皆由該區域內或16站列表內所有測站的逐年各月季年值資料中月統計值、年統計值和四季統計值加總各站後求平均值。區域或本島的平均值只要有1個測站有值，即可計算，但若測站全無資料則視為缺值。

(五)氣候標準平均值

新版採用的氣候標準平均時期(Climatological standard normal)為1991年至2020年，為各變數計算距平的基準值，計算流程如下(附圖4)：

步驟1：由測站、區域或本島平地16站各變數的逐年各月季年值資料中，選取1991年至2020年這30年期間的1月到12月的月統計值資料。

步驟2：逐月計算月的氣候標準平均值，其中有效資料筆(年)數必須大於等於24筆。若未達24筆，該月的氣候標準平均值視為缺值。

步驟3：將1月至12月各月的月氣候標準平均值，經加總或平均處理，即可得年氣候標準平均值。若有1個月以上缺值，則年氣候標準平均值視為缺值。

1.各測站、區域和本島平地16站，皆以其逐年各月季年值資料計算氣候標準平均值，亦為各氣象要素距平的基準值。

2.五分位數邊界的計算：在表達月累積降水量的氣候標準平均時，依據《WMO氣候平均值計算指南》之建議計算五分位數。因為五分位數的上邊界和下邊界，分別為氣候標準平均時期的最大值和最小值。因此在計算時需要完整的30筆資料，才具有足夠的代表性。邊界的上下限計算，詳見附表1。

(六)趨勢檢定與回歸估算

1. Mann-Kendall趨勢檢定法為一個無母數的檢定方法，利用連續資料間的前後大小關係，來檢定資料的趨勢是否顯著。其優點是可以處理序列中極值和缺失值的問題，以及較不受極端值的量值影響。新版採此檢定法來判斷長期數值在趨勢變化的信心水準。計算處理流程簡述如下：假設觀測資料依時間列出為 x_1 、 x_2 、 x_3 ... x_n ，總共有 n 個的有效資料。

步驟1、求檢定統計值 S 為：計算所有 $x_j - x_k$ 差值的符號數量，即正的差值數量減負的差值數量。

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

S 可表示此時間序列資料的趨勢。若 S 為正值時，表示有上升趨勢， S 為負值時，表示有下降趨勢，若 S 為0時，表示沒有上升或下降的趨勢。

步驟2、計算 $\text{VAR}(S)$ ，當 $n > 10$ 時：

$$\text{VAR}(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]$$

q 為數列中，具有相同數值的組數； t_p 為該相同數值組內的資料個數。

步驟3、計算 z -score和 p -value，進行統計檢定：

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

$$p\text{-value} = 1 - 0.5(1 + \text{erf}\left(\frac{|Z|}{\sqrt{2}}\right))$$

若 Z 值大於1.96時， p -value <0.05 ，表示在95%的信心水準下(附表2)，此時間序列的資料有顯著地上升趨勢。當 $n \leq 10$ 時，可直接從 S 值查表得 p -value。(Gilbert 1987, Table A18, page 272)

2. 泰爾-森估算(Theil-Sen estimator)，也可稱Sen氏斜率法，為無母數統計中一種擬合直線的穩健模型，對於研究長期氣候的趨勢斜率，較不易受單一或少數極端值的影響。計算方式如下：

假設時間序列為： t_1 、 t_2 、 t_3 ... t_n ，其對應的資料序列為： x_1 、 x_2 、 x_3 ... x_n 。則該序列的趨勢(斜率)值為：

$$Q = \text{median} \left\{ Q_{j,k} = \frac{x_j - x_k}{t_j - t_k} : j \neq k, 1 \leq k < j \leq n \right\}$$

即每一筆的觀測資料差值除以時間差值，可得到對應的趨勢值，再將所有的趨勢值排序後，取中位數即可得時序資料的趨勢值。

(七) ETCCDI極端氣候指標的計算

新版採用ETCCDI組織提供的分析工具-RCLimDex(版本：rclimdex1.1_131115.r)來進行極端氣候指標的運算，也因其他不同目的需求，輔助使用NCAR Command Language(NCL)程式語言進行統計及相關的繪圖。

三、應用圖集

經上述資料產製流程後，即可繪製單站、區域或本島平地16站的所有完成統計分析的參數。較前版僅一種類的時序圖，新版新增了多樣化的分析圖表。

較前版在圖面新增有：時序資料長期上升或下降趨勢顯著性的信心水準、泰爾-森估算回歸趨勢線、氣候平均時期的氣候值、時序圖下方增加10年距平的平均值、極端天氣事件TOP10列表和較詳盡的圖例表示。

除了年統計資料的歷年時序圖，新版增加日、月、10年和30年多種的分析時段，更能細微地表達趨勢變化。依時間尺度不同，有下列圖：

(一)日資料

1. 30年間日絕對最低氣溫第10百分位圖(附圖5)。
2. 30年間日絕對最高氣溫第90百分位圖(附圖6)。
3. 1897-2020熱浪事件時序圖(附圖7)。
4. 1897-2020寒潮事件時序圖(附圖8)。
5. 1897-2020連續降雨事件時序圖(附圖9)。
6. 1897-2020連續不降雨事件時序圖(附圖10)。

(二)月資料

1. 1991-2020各月不同門檻雨日和累積降水量變化圖(附圖11)。
2. 1901-2020各月平均氣溫與累積降水量於4個30年的比較圖(附圖12)。
3. 1991-2020各月平均溫度、累積降水量、日照時數和平均風速風向的綜合比較圖(附圖13)。
4. 1991-2020區域的各月平均溫度、累積降水量和日照時數綜合比較圖。
5. 1991-2020各月月平均氣溫，月絕對高溫 and 月絕對低溫1至12月的四分位圖(附圖14)。

6. 1991-2020各月月累積降水量的五分位數圖(附圖15)。
7. 1991-2020各區的疏密雲量各月佔比圖(附圖16)。

(三)年資料

1. 1897-2020各參數歷年時序圖(附圖17)。
2. 1901-2020年平均氣溫(年平均絕對高溫，年平均絕對低溫)逐十年的四分位數變化圖(附圖18)。
3. 1901-2020年平均氣溫、年平均絕對高溫和年平均絕對低溫逐十年的四分位數比較圖(附圖19)。
4. 1901-2020百年站年平均氣溫(年平均絕對高溫，年平均絕對低溫，年平均風風速)於4個氣候標準平均時期的四分位數變化圖(附圖20)。
5. 1897-2020日絕對最高氣溫 $\geq 36.38^{\circ}\text{C}$ 和日絕對最低氣溫 $\leq 10.12^{\circ}\text{C}$ 發生天數時序圖(附圖21)。

(四)極端氣候指標

1. CDD：Consecutive Dry Days，年最大連續不降雨日(附圖22)。不降雨日：日降水量 $< 1\text{mm}$ 。
2. CWD：Consecutive Wet Days，年最大連續降雨日(附圖22)。降雨日：日降水量 $\geq 1\text{mm}$ 。
3. RR1mm，R10mm，R20mm，R80mm，R200mm：日累積降水量 $\geq 1, 10, 20, 80$ 和 200mm (附圖11)。
4. 年兩日：統計一年期間，日累積降水量 $\geq 1\text{mm}$ 的總天數(附圖23)。
5. RX1day：年最大1日累積降水量(附圖24)。
6. RX5day：年最大連續5日累積降水量。
7. SDII：Simple Daily Intensity Index，降雨強度。全年所有雨日的累積雨量除以全年的總雨日(附圖25)。雨日：日降水量 $\geq 1\text{mm}$ 。
8. DTR：Daily Temperature Range，日較差(日溫差)。每日絕對最高氣溫與絕對最低氣溫之差。
9. HWDI：Heat Wave Duration Index，熱浪持續指標。為每年至少連續3日的日絕對最高氣溫大於日絕對最高氣溫基期的第95百分位之天數，再加總當年度符合前述條件的天數(附圖26)。
10. CWDI：Cold Wave Duration Index，寒潮持續指標。為每年至少連續3日的日絕對最低氣溫小於日絕對最低氣溫基期的第5百分位之天數，再加總當年度符合前述條件的天數(附圖26)。
11. TN10p：極端冷夜日數。為日絕對最低氣溫小於以基期當日為中心的5日資料的第10百分位

數的日數百分比(附圖27)。

12. TN90p：極端暖夜日數。為日絕對最低氣溫大於以基期當日為中心的5日資料的第90百分位數的日數百分比(附圖28)。
13. TX10p：極端冷晝日數。為日絕對最高氣溫小於以基期當日為中心的5日資料的第10百分位數的日數百分比(附圖29)。
14. TX90p：極端暖晝日數。為日絕對最高氣溫大於以基期當日為中心的5日資料的第90百分位數的日數百分比(附圖30)。

四、結論

新版採用世界氣象組織出版之《氣候平均值計算指南》，建立綜觀氣象站一套完整的氣候資料整集分析流程。從日資料開始，經由WMO建議的缺遺規則計算月統計值、年統計值及氣候標準平均值。對於時序資料也透過Mann-Kendall趨勢檢定和Theil-Sen回歸估算，計算趨勢的上升下降或持平的信心水準和趨勢值。

面對氣候變遷的議題，也納入ETCCDI建議的極端氣候指標，藉以觀察百年以來各測站氣溫和降水量在極端指標上的變化。

未來將規劃以下事項：增加資料來源，計算自動氣象站氣候統計值，可與全球或世界重要都市和鄰近國家的比較。增加計算其他指數，如標準化降水指數(SPI)、標準化降水蒸發散指數(SPEI)、溫溼度指數(THI)和舒適度指標等...。與其他非氣象參數的比較，如都市化程度、人口密度、死亡率或空汙指數等...。分析時間序列中的突變點，及探究其成因。

參考文獻

- 1、林李耀, 2019: 臺灣氣候變遷關鍵指標圖集, 初版, 指標與定義
- 2、Gilbert, R. O., 1987: Statistical Methods for Environment Pollution Monitoring. Chapter 16.4, Wiley, 208 pp.
- 3、Sen, p. K. 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. Journal of the American Statistical Association, 63:1379–1389.
- 4、World Meteorological Organization, 2017: WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals, WMO-No. 1203, Chapter 4., 2-11
- 5、World Meteorological Organization, 2018: Guide to Climatological Practices, WMO-No. 100
- 6、Xuebin Zhang, Yang Feng and Rodney Chan, 2018: Introduction to RCLimDex v1.9

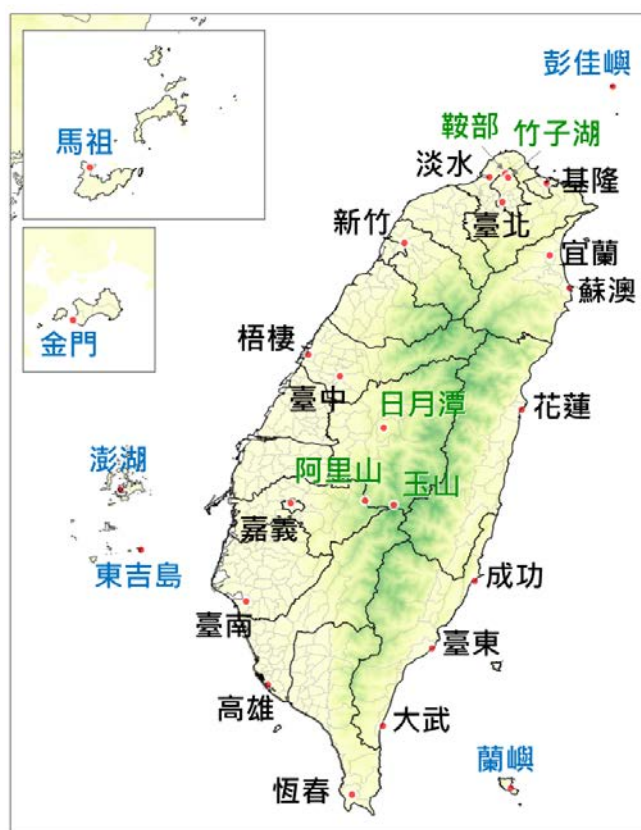
附錄圖表

五分位數邊界	數據內容
五分位數 5 的上限	平均時期的最高觀測
五分位數 4 的上限	平均時期第 $1+4(n-1)/5$ 位觀測
五分位數 3 的上限	平均時期第 $1+3(n-1)/5$ 位觀測
五分位數 2 的上限	平均時期第 $1+2(n-1)/5$ 位觀測
五分位數 1 的上限	平均時期第 $1+(n-1)/5$ 位觀測
五分位數 1 的下限	平均時期的最低觀測

附表1、五分位數邊界的計算(n=30)

z-score	p-value	Confidence Level
<-1.650 或 >+1.650	<0.10	90%
<-1.960 或 >+1.960	<0.05	95%
<-2.580 或 >+2.580	<0.01	99%

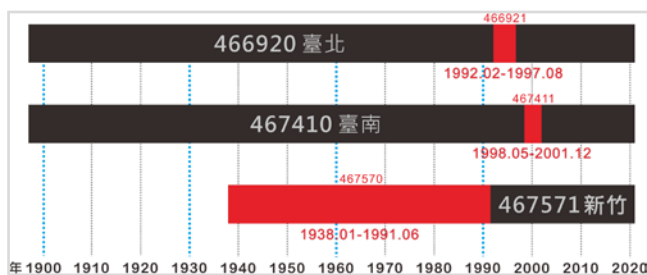
附表2、z-score, p-value 和 Confidence Level



附圖2、27個綜觀氣象站分布圖



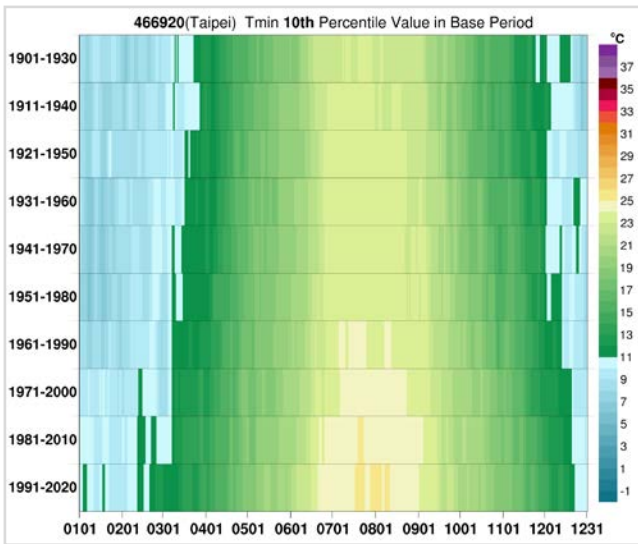
附圖1、資料產製流程圖



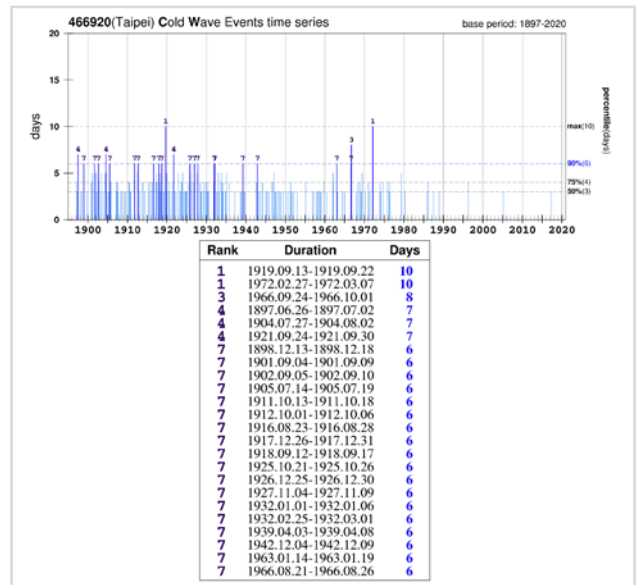
附圖3、3個綜觀氣象站銜接示意圖



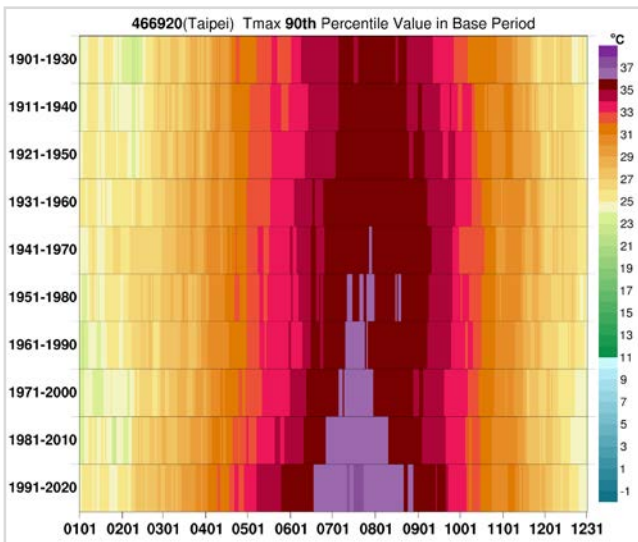
附圖4、逐年各月季年值資料及氣候標準平均值計算流程



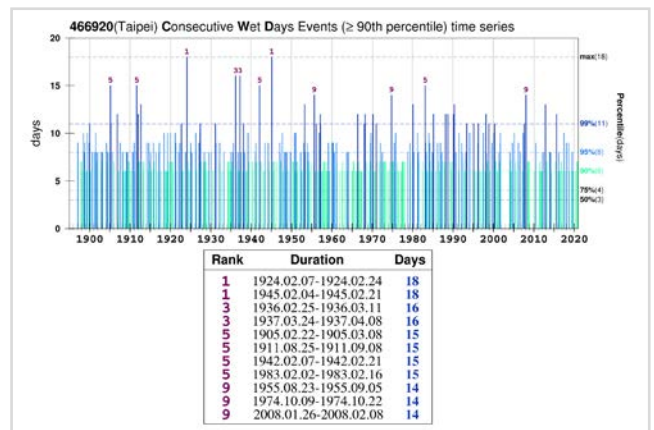
附圖5、30年間日絕對最低氣溫第10百分位圖



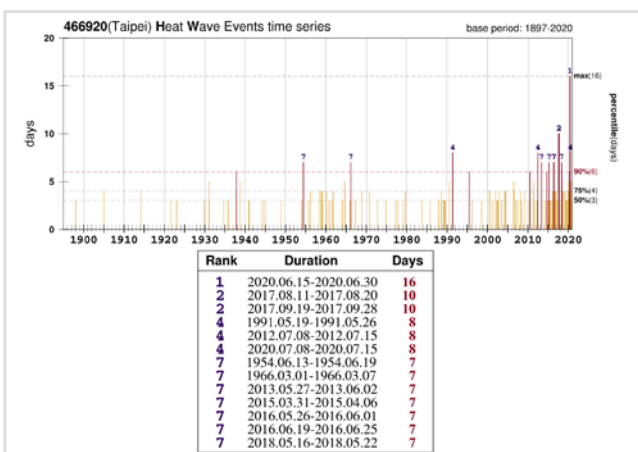
附圖8、1897-2020寒潮事件時序圖



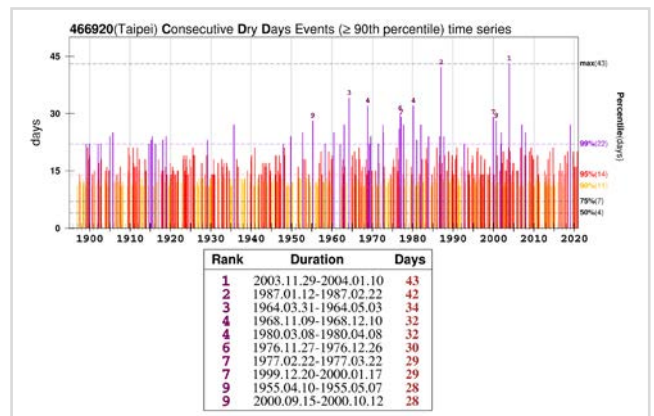
附圖6、30年間日絕對最高氣溫第90百分位圖



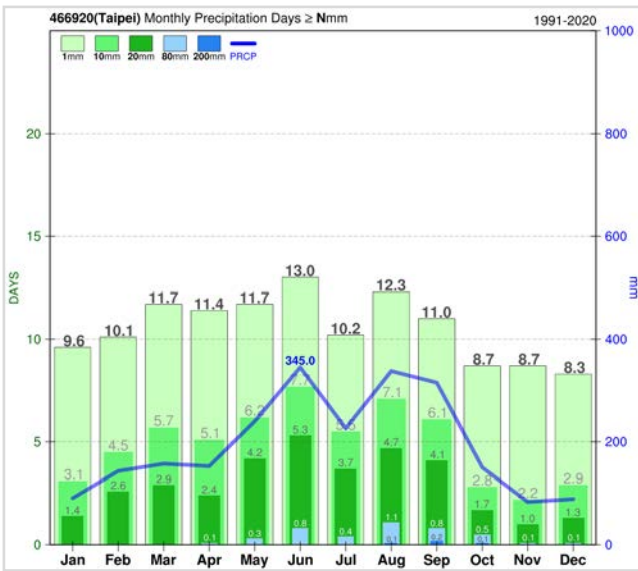
附圖9、1897-2020連續降雨事件時序圖



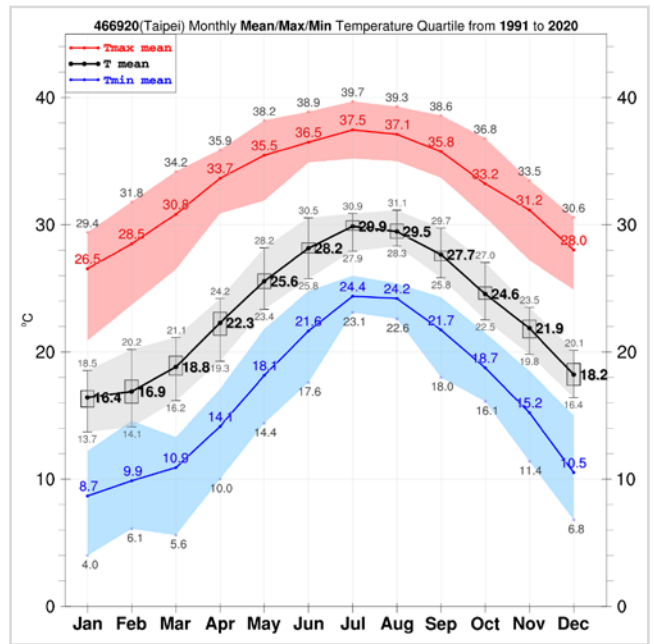
附圖7、1897-2020熱浪事件時序圖



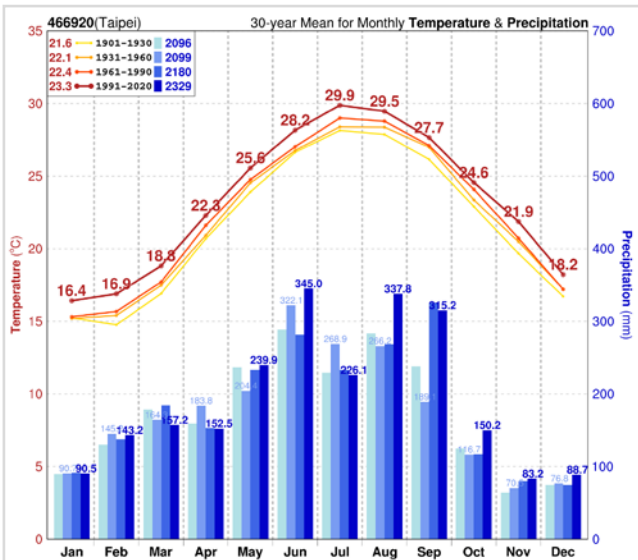
附圖10、1897-2020連續不降雨事件時序圖



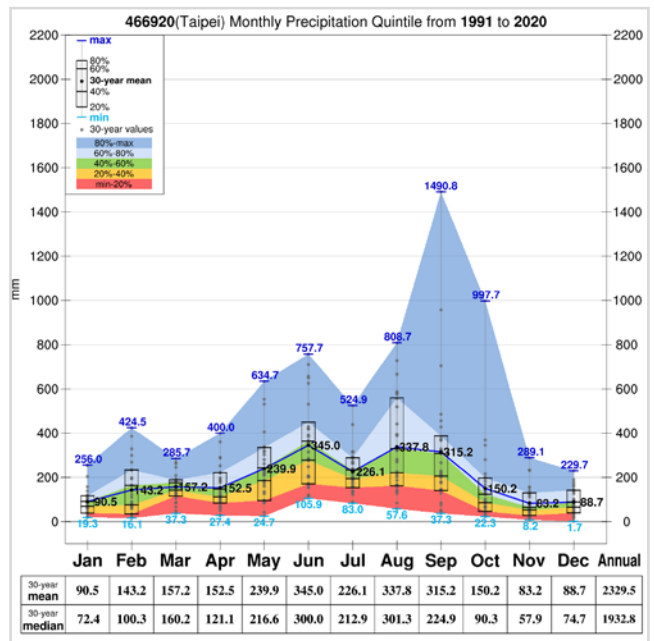
附圖11、1991-2020各月不同門檻雨日和累積降水量變化圖



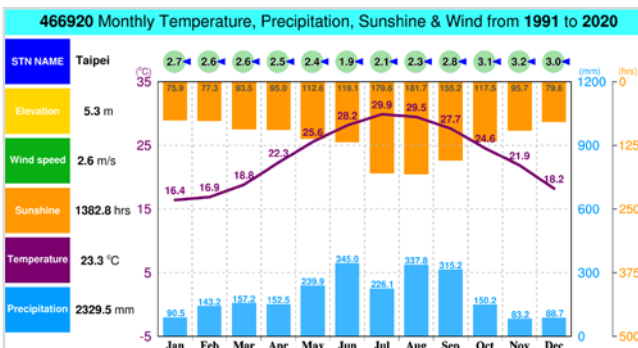
附圖14、1991-2020各月月平均氣溫，月絕對高溫 and 月絕對低溫的四分位圖



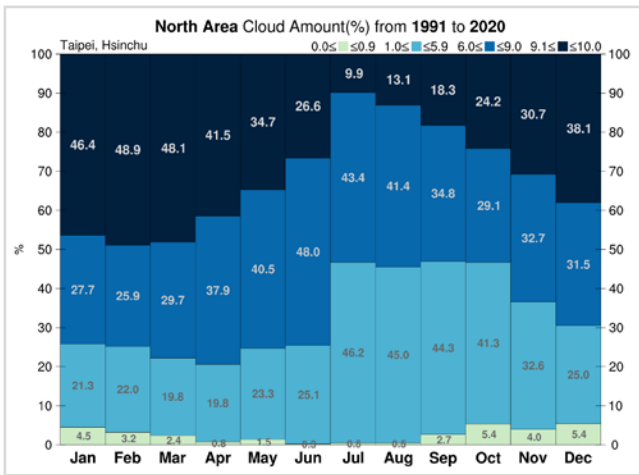
附圖12、1901-2020各月平均氣溫與累積降水量於4個30年比較圖



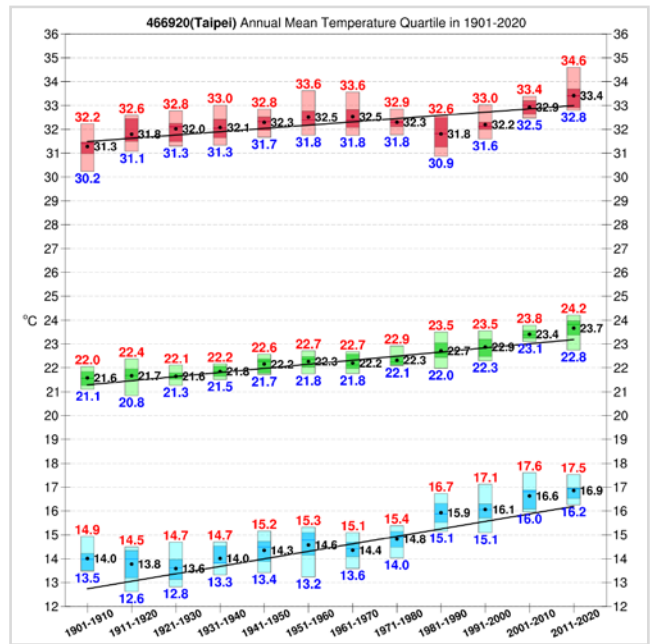
附圖15、1991-2020各月月累積降水量五分位數圖



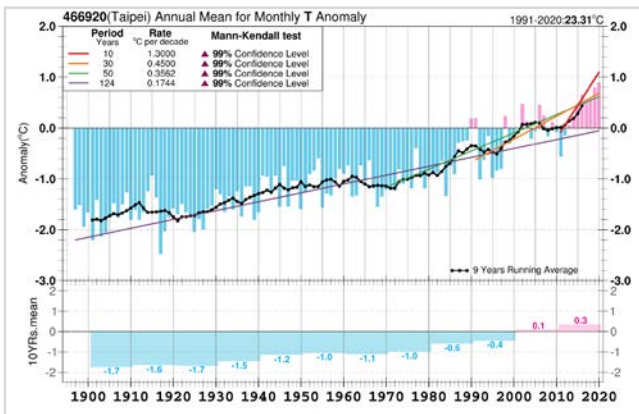
附圖13、1901-2020各月平均溫度、累積降水量、日照時數和平均風速風向的綜合比較圖



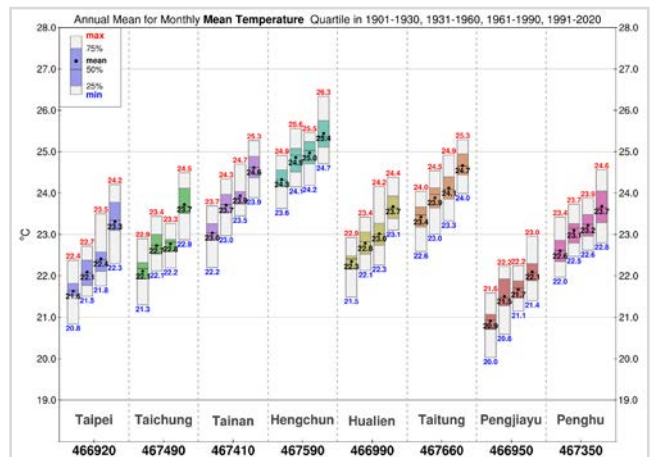
附圖16、1991-2020北部疏密雲量各月佔比圖



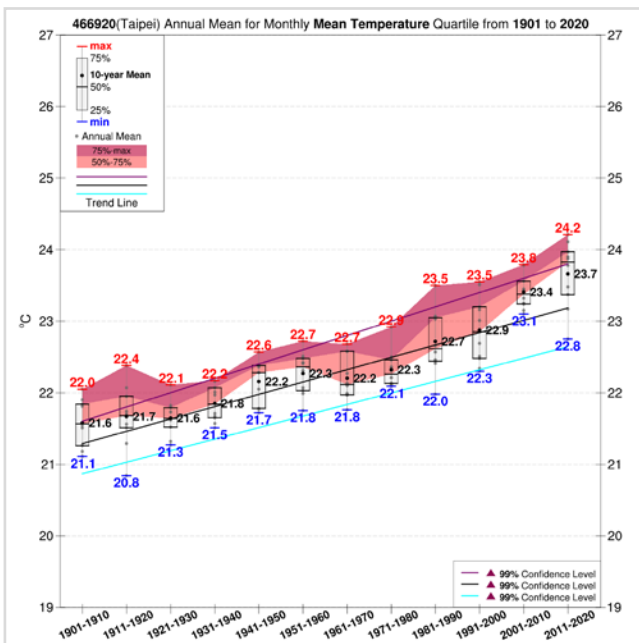
附圖19、1901-2020年平均氣溫、年平均絕對高溫 and 年平均絕對低溫逐十年的四分位數比較圖



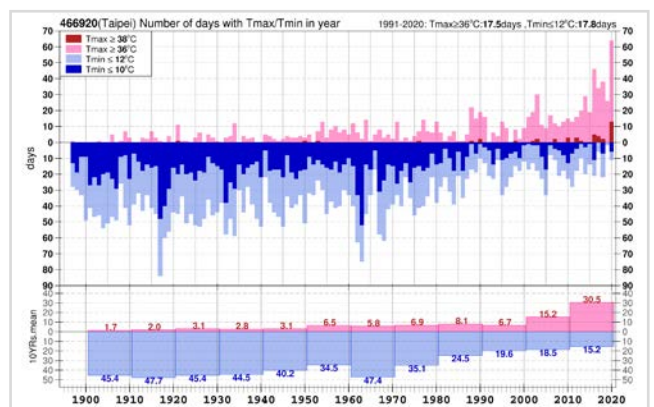
附圖17、1897-2020年平均氣溫歷年時序圖



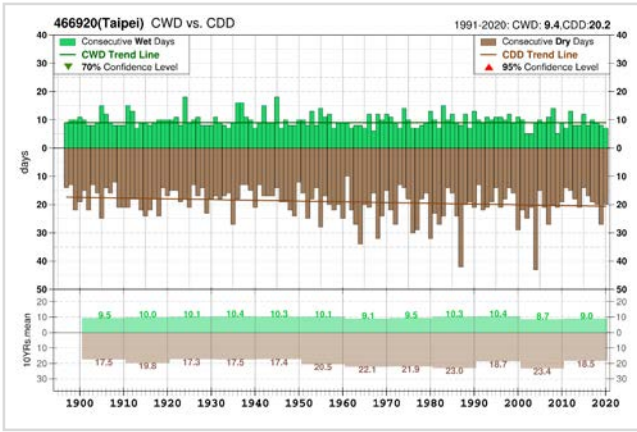
附圖20、1901-2020百年站年平均氣溫於4個氣候標準平均時期的四分位數變化圖



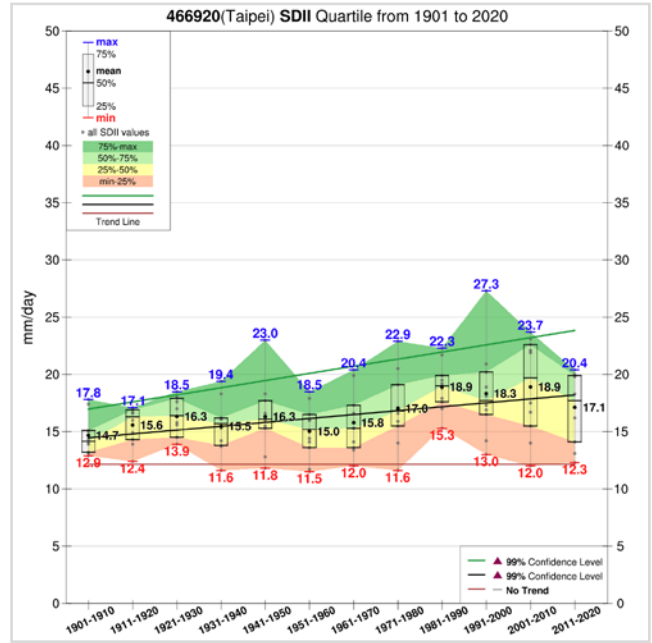
附圖18、1901-2020年平均氣溫逐十年的四分位數變化圖



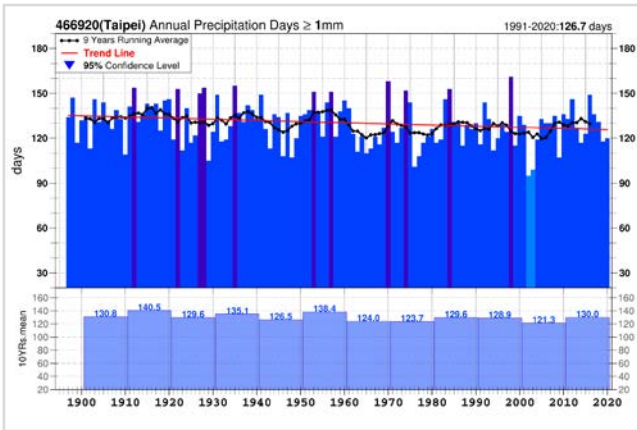
附圖21、1897-2020日絕對最高氣溫 $\geq 36, 38^{\circ}\text{C}$ 和日絕對最低氣溫 $\leq 10, 12^{\circ}\text{C}$ 發生天數歷年時序圖



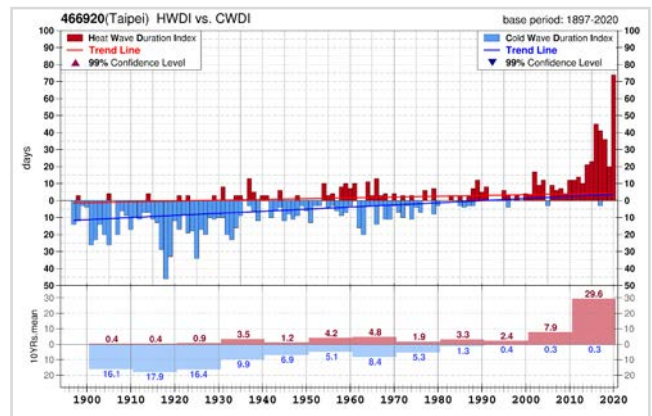
附圖22、1897-2020年最大連續降雨日數(CWD)與年最大連續不降雨日數(CDD)歷年時序圖



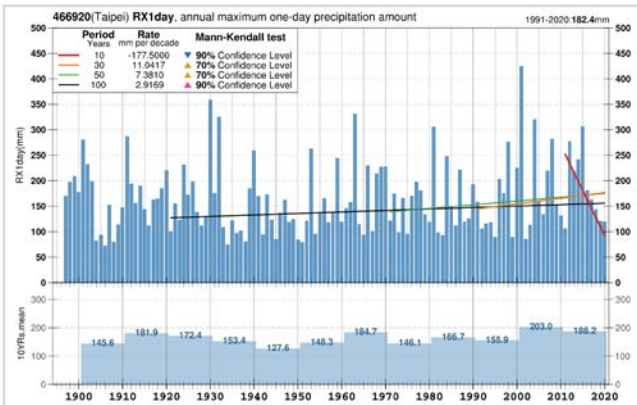
附圖25、1901-2020年降雨強度(SDII)逐10年的四分位數變化圖



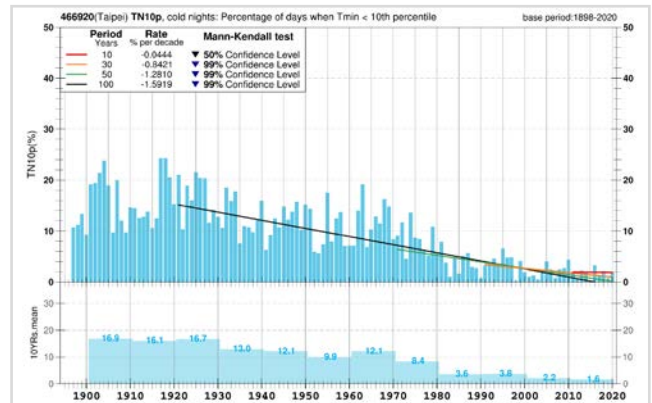
附圖23、1897-2020年累積雨日歷年時序圖



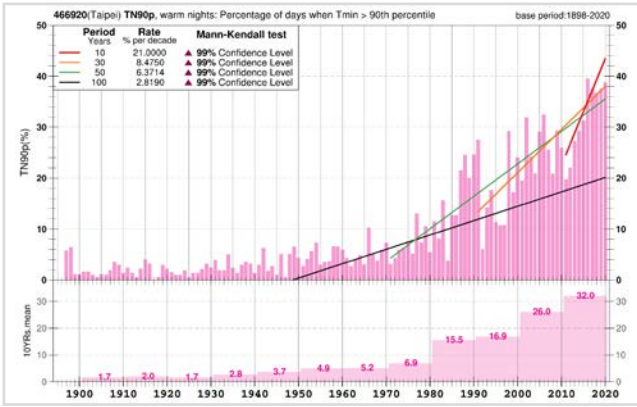
附圖26、1897-2020熱浪持續指標(HWDI)與寒潮持續指標(CWDI)歷年時序圖



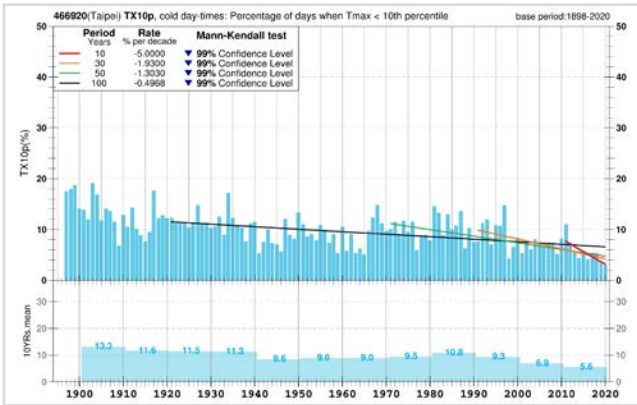
附圖24、1897-2020年最大1日累積降水量(RX1day)歷年時序圖



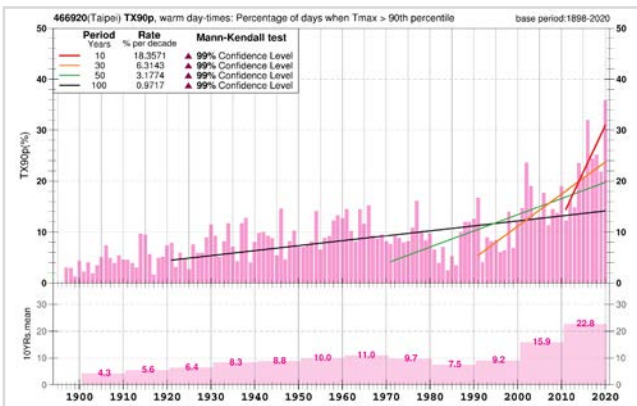
附圖27、1897-2020極端冷夜日數(TN10p)歷年時序圖



附圖28、1897-2020極端暖夜日數(TN90p)歷年時序圖



附圖29、1897-2020極端冷晝日數(TX10p)歷年時序圖



附圖30、1897-2020極端暖晝日數(TX90p)歷年時序圖

