



Reprint 627

人類天氣舒適度指數的長期趨勢分析

葉嘉敏、梁延剛、張文瀾

第二十屆粵港澳氣象科技研討會，
中國，澳門，2006年1月18-20日

人類天氣舒適度指數的長期趨勢分析

葉嘉敏 梁延剛 張文瀾

香港天文台

摘要

本文分析了淨有效溫度指數(Net Effective Temperature Index)、視溫度(遮蔽)指數(Apparent Temperature (shade) Index)、酷熱指數(Heat Index)、濕熱指數(Humidex)、風寒指數(Windchill Index)及濕黑球溫度指數(Wet Bulb Globe Temperature Index)在香港的長期趨勢。在冬天，指數值越小代表越容易令人因寒冷而感到不適。在夏天，指數越大則代表越容易令人因酷熱而感到不適。

1983 至 2004 年，淨有效溫度指數的冬天(11 月到 3 月)年平均值每 10 年顯著上升 8.85%，視溫度(遮蔽)指數及風寒指數(Windchill Index)的冬天年平均值則每 10 年分別顯著上升 5.89% 及 3.82%。在夏天(5 月到 9 月)，視溫度(遮蔽)指數年平均值每 10 年顯著上升 1.24%。

Long term trend analyses of weather stress indices for human

Cleo Yip, Y K Leung and W L Chang

Hong Kong Observatory

Abstract

This study analyzed long-term trends in the weather stress indices: the Net Effective Temperature Index, Apparent Temperature (Shade) Index, Heat Index, Humidex, Windchill Index and Wet Bulb Globe Temperature Index in Hong Kong. In winter, the lower the index, the more stressful is the weather. In summer, the higher the index, the more stressful is the weather.

Between 1983 and 2004, the mean winter (November-March) Net Effective Temperature Index increased significantly at 8.85% per decade, the mean winter Apparent Temperature (Shade) Index and the Windchill Index increased at 5.89% and 3.82% per decade respectively. The mean summer (May to September) Apparent Temperature (Shade) Index also increased significantly at 1.24% per decade.

1. 引言

人類生物氣象學(Human Biometeorology)專門研究氣象對人類健康的影響，以往很多這方面的文獻(例如 WHO/WMO/UNEP 1996, WHO/WMO/UNEP 2003)均指出氣候及其轉變可直接或間接影響人類的健康。在眾多氣象元素中，由極端炎熱或寒冷情況引致的發病及死亡率是最高的 (WHO/WMO/UNEP 1996)。2003 年夏天在西南歐出現的熱浪，引致超過 21,000 人死亡(WMO 2003)便是其中一例。

人類是溫血動物，對氣溫的轉變會作出生理的反應以保持體溫在 37°C 左右。冬天的嚴寒及盛夏的酷熱能為人類帶來不適，尤以生理調節能力較差的幼兒、長者或長期病患者為嚴重，增加誘發心、肺、呼吸道等有關疾病的機會(WHO/WMO/UNEP 2003)。

除了氣溫外，其他氣象條件例如濕度及風速等都會影響人體的舒適度。舉例來說，在炎熱的天氣下，高濕度會減少人體因透過蒸發而流失的熱量，低風速亦會減低人體熱量的流失，增加不適程度。基於以上原因，結合上述氣象條件的人類天氣舒適度指數應運而生。

從文獻中(如 Kalkstein and Valimont 1986)可以看到，人類天氣舒適度指數的研究集中在指數值的地域變化。本文利用香港的氣象數據分析了 6 種常用的舒適度指數的日及月變化，並探討這些指數在全球變暖及城市化的影響下的長期趨勢。初步分析結果顯示在 1983-2004 年，冬天及夏天的年平均指數都有上升的趨向。

2. 氣象數據和舒適度指數

2.1 數據

本研究計算各舒適度指數所用的氣象數據源自香港天文台。這些數據包括由 1968 至 2005 年 3 月天文台總部錄得的每小時氣溫、相對濕度、水汽氣壓及風速等資料。將每小時計算所得的舒適度指數進行平均，可得

到日平均、月平均和年平均舒適度指數。

2.2 舒適度指數

本文分析及比較 6 種不同的舒適度指數的日、月變化和趨勢。這 6 種指數為淨有效溫度指數(Net Effective Temperature Index, 簡稱 NET)、酷熱指數(Heat Index, 簡稱 HI)、濕熱指數(Humidex, 簡稱 HMI)、視溫度(遮蔽)指數(Apparent Temperature (shade) Index, 簡稱 AT)、風寒指數(Windchill Index, 簡稱 WCI)及濕黑球溫度指數(Wet Bulb Globe Temperature Index, 簡稱 WBGT)。有關這 6 個指數所用的氣象參數、計算公式、適用範圍及參考文獻等見表 1。

6 個指數中, NET、AT 適用於冬天及夏天, WCI 只適用冬天, HI、HMI 及 WBGT 只適用於夏天。跟 Li and Chan (2000)一樣, 本文的冬天是指 11 至 3 月, 夏天則指 5 月至 9 月。在冬天, 指數值越小代表越容易令人因寒冷而感到不適。在夏天, 指數越大則代表越容易令人因酷熱而感到不適。

3. 舒適度指數的日、月變化及相互關係

3.1 日變化

圖 1 及圖 2 分別顯示各冬天及夏天指數的每小時平均分佈。從圖中可以得知, 各指數值都以下午 1 時至 3 時為最大, 早上 5 時至 7 時為最小。無論是冬天或夏天, 指數的日變化與氣溫的日變化一致(圖 3a 及 3b)。這與各計算指數的公式中, 氣溫佔較大的比重有關。

3.2 月變化

各冬天指數的月平均分佈頗相似, 指數值以 1 月及 2 月份最小(圖 5)。圖 6 是各夏天指數的月平均圖, 指數值最大在 7 月, 其次是 8 月, 然後依次為 6 月、9 月及 5 月。無論是夏天或冬天, 指數的月變化也與氣溫的月變化相符(圖 4a 及 4b)。

3.3 相互關係

表 2a 顯示冬天每小時指數的相互關係，相關係數介乎 0.78 至 0.94，在統計學上達 5% 顯著水平。夏天各指數的相互關係更大，相關係數介乎 0.83 至接近 1(表 2b)，在統計學上也達 5% 顯著水平。其中以 WBGT 和 HMI 的相關係數最大，達 0.998。

4. 舒適度指數的長期趨勢

計算及測試長期趨勢的統計方法很多，包括參數化方法(如線性迴歸和 t-測試 (Easterling *et al.* 1997))及非參數化方法(如 Mann-Kendall 測試(Qian and Giorgi 2000))等。本文採用線性迴歸方法，以最小二乘法求取迴歸線，以迴歸線的斜率作為趨勢的量值，並利用雙尾 t-測試檢驗趨勢是否達 5% 顯著水平。

天文台總部的年平均風速在 1982 年前、後分別有上升及下降的趨勢，所以本文除 1968-2004 年外，還分析了 1968-1982 年和 1983-2004 年的冬天及夏天平均指數的長期趨勢。

4.1 冬天指數

各冬天指數的長期趨勢見圖 7。可以看到 3 個指數都呈上升趨勢。WCI、AT 和 NET 在 1968-2004 年的上升速率分別為每 10 年 1.52%、2.59% 及 2.89%。各指數在 1968-1982 年也上升，但上升幅度不及在 1983-2004 年的大。在 1983-2004 年，WCI 和 AT 的上升速率分別為每 10 年 3.82% 和 5.89%，約為 1968-2004 年的兩倍。NET 在 1983-2004 年間的上升速率(每 10 年 8.85%)最大，是 1968-2004 年的 3 倍左右。除 1968-1982 年各指數的趨勢在統計學上未達 5% 顯著水平外，所有指數在 1968-2004 年及 1983-2004 年的趨勢都達 5% 顯著水平。

指數的長期上升與氣溫的長期上升及風速的長期下降有關。受全球變暖及城市熱島效應影響，香港天文台總部的 12 月至 2 月平均氣溫自二次

大戰後上升(Leung *et al.* 2004)。1968-2004 年、1968-1982 年和 1983-2004 年的冬天氣溫上升速率分別為每 10 年 2.13%、3.10% 和 4.34% (表 3a)。80 年代中期以後天文台總部的風速呈下降趨勢，可能與高密度的城市發展有關(梁延剛等 2004)。1983-2004 年冬天風速的下降速率為每 10 年 10.12% (表 3a)，風速下降有助冬天的指數在 1983 年後加速上升。

4.2 夏天指數

圖 8 顯示各夏天指數的長期趨勢。在 1968-2004 年，各指數的變化不大。各指數在 1968-1982 年呈下降趨向但在 1983-2004 年呈上升趨向。在 1983-2004 年，各指數的上升速率介乎最低的 0.19% (WBGT) 至最高的 1.24% (AT)，與這段時期因受全球暖化及高密度的城市發展氣溫呈上升及風速呈下降的趨向相符(表 3b)。除 1983-2004 年 AT 的趨勢外，上述所有指數的趨勢在統計學上都未達 5% 顯著水平。

在 1983-2004 年，夏天指數的上升速率相比冬天指數的上升速率為小，與氣溫的上升速率及風速的下降速率在夏天不及冬天的大有關(表 3a 及 3b)。

5. 結論

本文所用的 6 個人類天氣舒適度指數都顯示相似的日和月變化。各指數值都以下午 1 時至 3 時最大，早上 5 時至 7 時最小。各冬天指數值以 1 月及 2 月最小，而各夏天指數值以 7 月和 8 月最大。

無論是冬天及夏天，各指數的年平均在 1983-2004 年都呈上升趨勢，與全球變暖及高密度城市發展的影響下氣溫上升及風速下降有關。在這段期間，冬天指數的上升速率介乎 3.82% 至 8.85%，而夏天指數的上升速率較小，介乎 0.19% 至 1.24%。

參考文獻

- Bureau of Meteorology, Australia: About the WBGT and Apparent Temperature Indices. Available online: http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/
- Easterling, D.R., B. Horton, P.D. Jones, T.C. Peterson, T.R. Karl, D.E. Parker, M.J. Salinger, V. Razuvayeu, N. Plummer, P. Jamason, C.K. Folland, 1997: Maximum and Minimum Temperature Trends for the Globe. *Science* **277**, 364-367.
- Environment Canada: Humidity – Brochures. Available online: http://www.msc-smc.ec.gc.ca/cd/brochures/humidity_e.cfm#3
- Hentschel, G., 1987: A human biometeorology classification of climate for large and local scales. In *Proc. WMO/HMO/UNEP Symposium on Climate and Human Health, Leningrad 1986*, Vol I, WCPA – No.1, WMO.
- Kalkstein, L. S. and K. Valimont, 1986: An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **67**, 842-848.
- Leung, Y.K., K.H. Yeung, E.W.L. Ginn and W.M. Leung, 2004a: Climate change in Hong Kong. *Hong Kong Observatory Technical Note No. 107*.
- Li, P.W. and S.T. Chan, 2000: Application of a weather stress index for alerting the public to stressful weather in Hong Kong. *Meteorol. Appl.* **7**, 369-375.
- National Weather Service Birmingham, AL, NOAA, USA: Heat Index. Available online: <http://www.srh.noaa.gov/bmx/tables/hindex.html>
- Qian, Y. and F. Giorgi, 2000: Regional climatic effects of anthropogenic aerosols? The case of Southwestern China. *Geophys. Res. Lett.* **27**, 3521-3524.
- Steadman, R.G., 1984: A universal scale of apparent temperature. *J. Climate Appl. Meteorol.* **23**, 1674-1687.
- WHO/WMO/UNEP, 1996: *Climate and Human Health* (edited by Kalkstein, L.S., W.J. Maunder and G. Jendritzky). WMO No. **843**. World Meteorological Organization.
- WHO/WMO/UNEP, 2003: *Climate Change and Human Health – Risks and Responses* (edited by McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalan, K.L. Ebi, A.K. Githeko, J.D. Scheraga and A. Woodward). World Meteorological Organization, Geneva.
- WMO, 2004: *Global Temperature in 2003 Third Warmest*. WMO Statement on the Status of the Global Climate in 200. Press Release. WMO-No **702**. World Meteorological Organization (http://www.wmo.ch/web/Press/Press702_en.doc)
- 梁延剛、鄭婉圓及胡文志，2004：香港大氣能見度的長期變化。 *Hong Kong Observatory Reprint No. 565*.

表 1. 6 個舒適度指數的簡介

舒適指數	氣象參數	公式	適用範圍	參考文獻/機構
淨有效溫度指數 (NET)	氣溫(T)、相對濕度(RH)及風速(v)	$37 - \frac{37 - T}{0.68 - 0.0014RH + 1/(1.76 + 1.4v^{0.75})} - 0.29T(1 - 0.01RH)$	夏天、冬天	Hentschel, G (1987)
酷熱指數 (HI)	氣溫(T)及相對濕度(RH)	$-42.379 + 2.04901523(T) + 10.1433127(RH) - 0.22475541(T)(RH) - 6.83783 \times 10^{-3}(T^2) - 5.481717 \times 10^{-2}(RH^2) + 1.22874 \times 10^{-3}(T^2)(RH) + 8.5282 \times 10^{-4}(T)(RH^2) - 1.99 \times 10^{-6}(T^2)(RH^2)$	夏天	National Weather Services, NOAA, USA
濕熱指數 (HMI)	氣溫(T)及水氣壓(e)	$T + \frac{5}{9}(e - 10)$	夏天	Environment Canada
視溫度(遮蔽)指數 (AT)	氣溫(T)、水氣壓(e)及風速(v)	$-2.7 + 1.04T + 2e - 0.65v$	夏天、冬天	Steadman (1984)
風寒指數 (WCI)	氣溫(T)及風速(v)	$13.12 + 0.6215T - 11.37v^{0.16} + 0.3965Tv^{0.16}$	冬天	Environment Canada
濕黑球溫度指數 (WBGT)	氣溫(T)、水氣壓(e)	$0.567T + 0.393e + 3.94$ $e = \left(\frac{RH}{100}\right) \times 6.10 \times \exp\left(17.27 \times \frac{T}{237.7 + T}\right)$	夏天	Bureau of Meteorology, Australia

表 2. (a)冬天及(b)夏天每小時指數的相互關係，數字顯示相關係數。所有係數在統計學上達 5% 顯著水平。

(a)

	淨有效溫度指數(NET)	視溫度(遮蔽)指數(AT)	風寒指數 (WCI)
淨有效溫度指數(NET)	1		
視溫度(遮蔽)指數(AT)	0.78	1	
風寒指數(WCI)	0.94	0.81	1

(b)

	淨有效溫度指數(NET)	酷熱指數(HI)	濕熱指數(HMI)	視溫度(遮蔽)指數(AT)	濕黑球溫度指數(WBGT)
淨有效溫度指數(NET)	1				
酷熱指數(HI)	0.84	1			
濕熱指數(HMI)	0.86	0.94	1		
視溫度(遮蔽)指數(AT)	0.89	0.83	0.84	1	
濕黑球溫度指數(WBGT)	0.85	0.93	0.998	0.83	1

表 3. (a)冬天及(b)夏天氣溫、風速及相對濕度的長期趨勢。數字代表每 10 年的趨勢。
*號代表趨勢在統計學上達 5% 顯著水平。

(a)

年份	1968-2004	1968-1982	1983-2004
氣溫	+2.13%*	+3.10%	+4.34%*
風速	-0.91%	-16.96%	-10.12%*
相對濕度	+0.90%	+0.79%	+0.86%

(b)

年份	1968-2004	1968-1982	1983-2004
氣溫	+0.26%	-1.28%	+0.42%
風速	+3.88%	+7.26%	-9.26%*
相對濕度	-0.42%	+0.67%	-0.71%

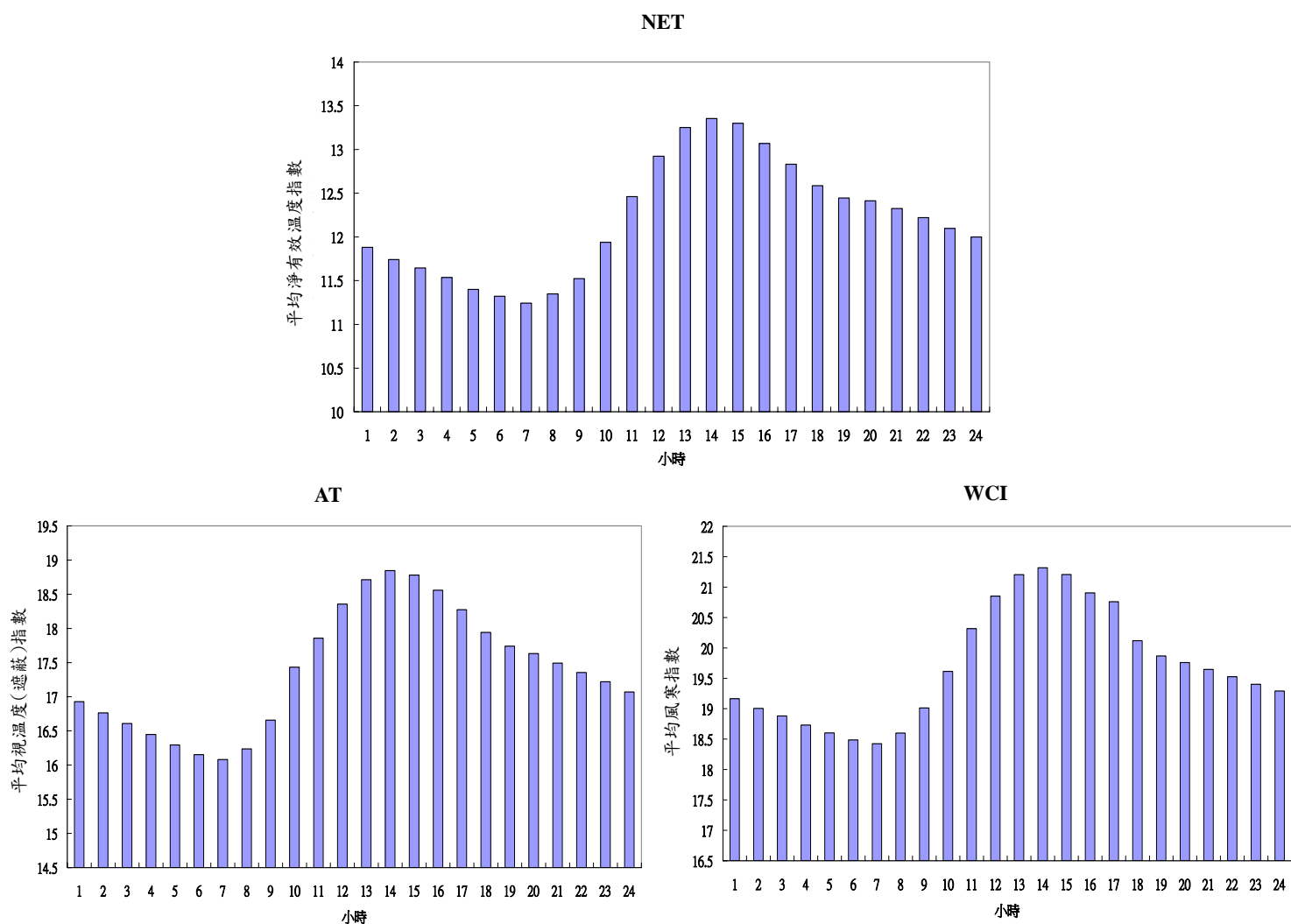


圖 1. 各冬天指數的日變化(1968-2004)

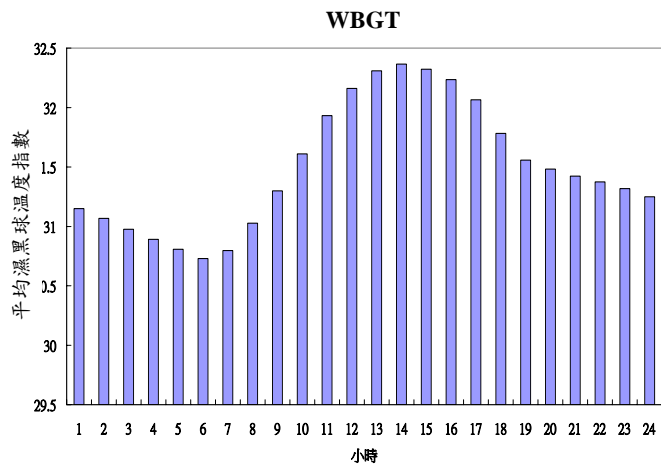
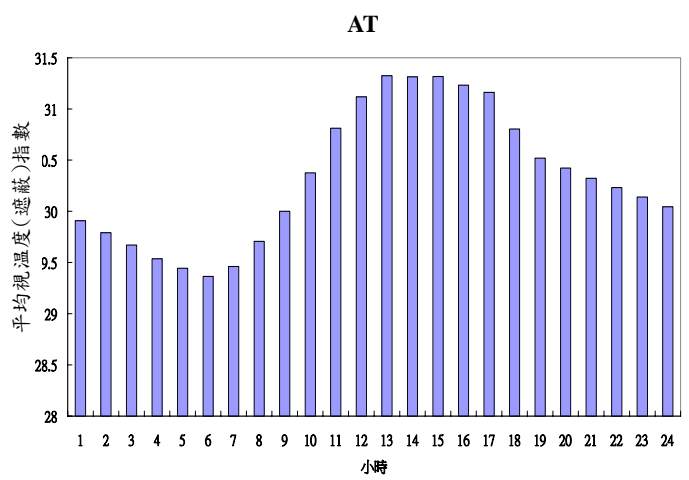
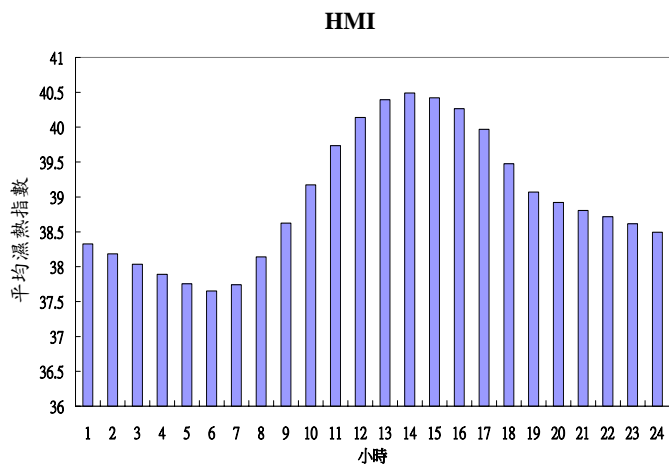
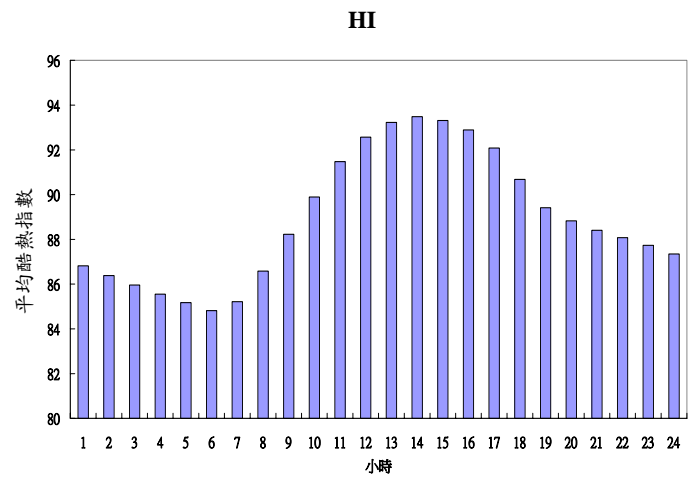
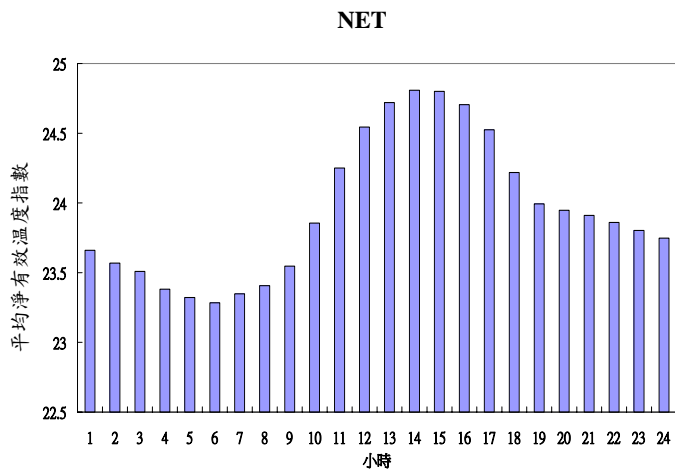


圖 2. 各夏天指數的日變化(1968-2004)

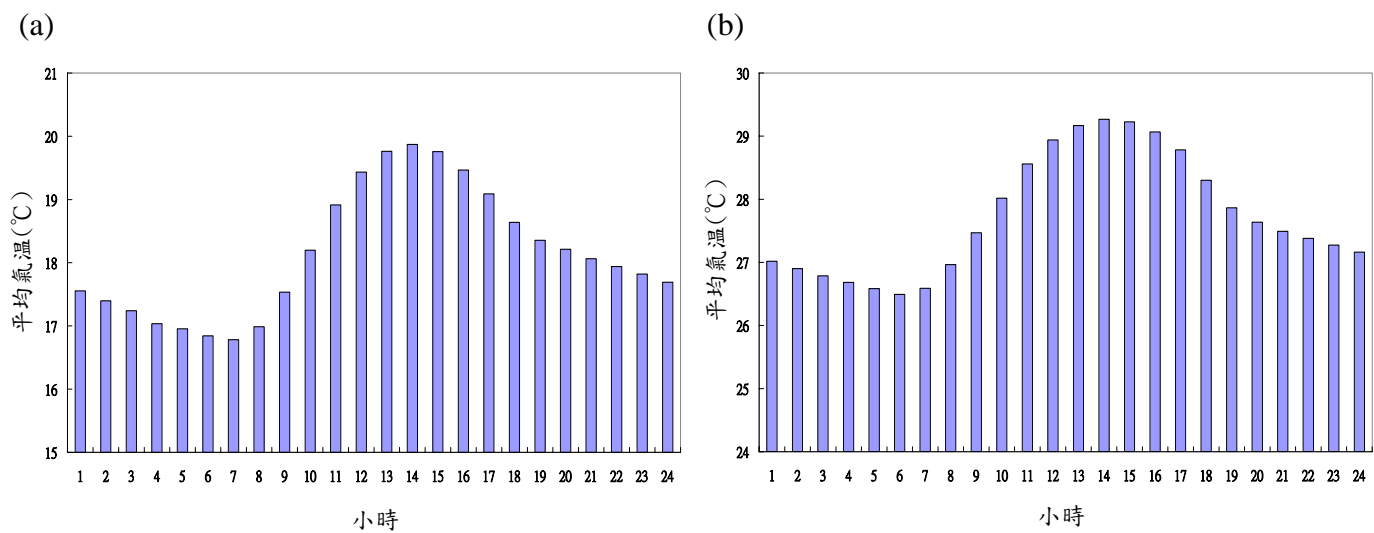


圖 3 (a)冬天及(b)夏天氣溫的日變化。

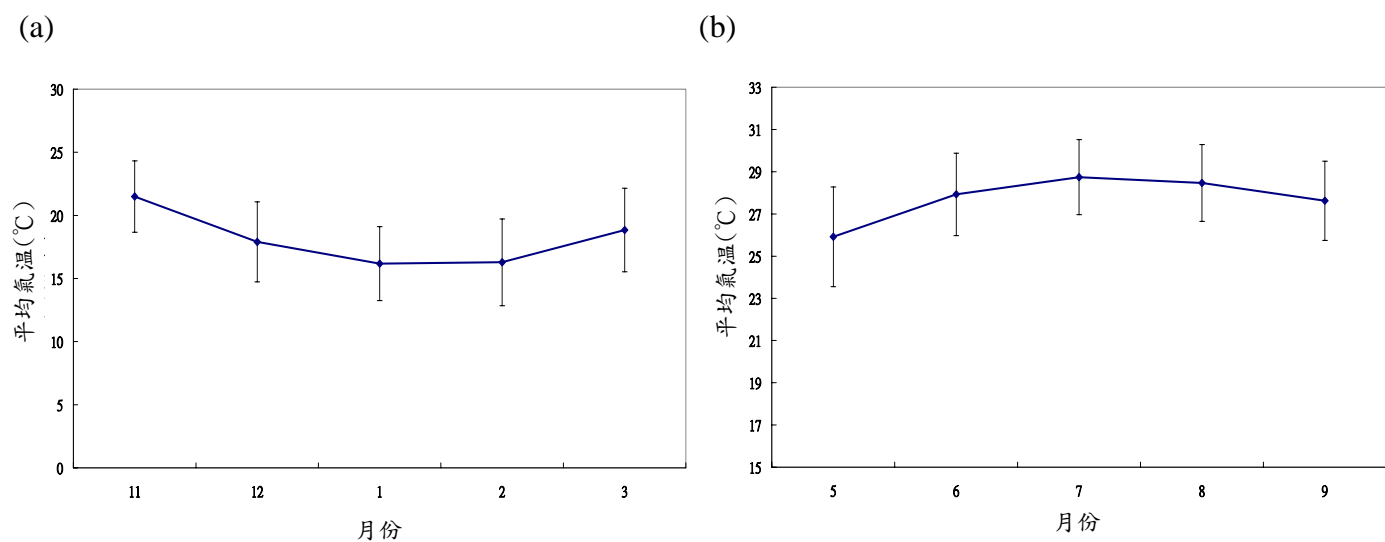
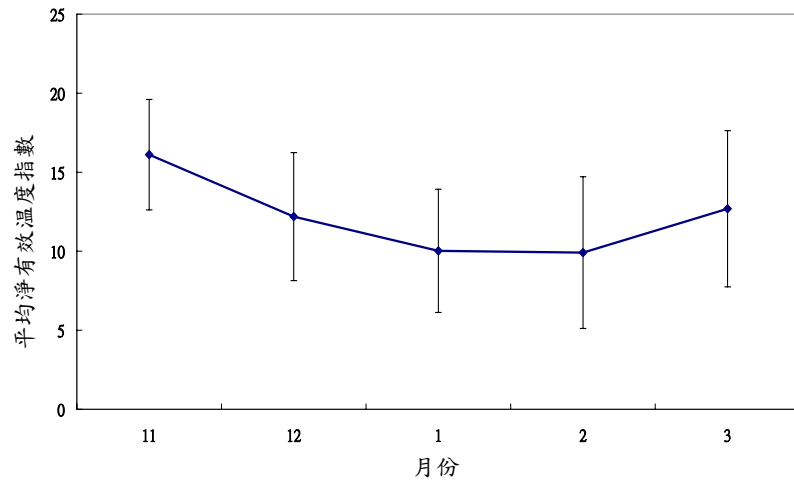
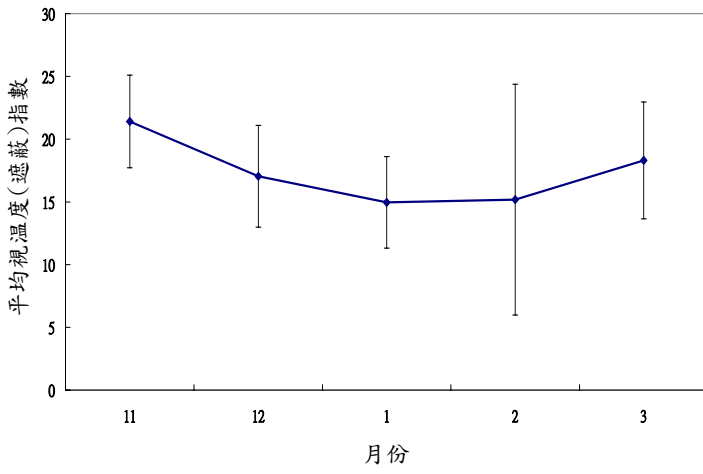


圖 4 (a)冬天及(b)夏天氣溫的月變化。垂直線的上下限分別代表平均±標準差。

NET



AT



WCI

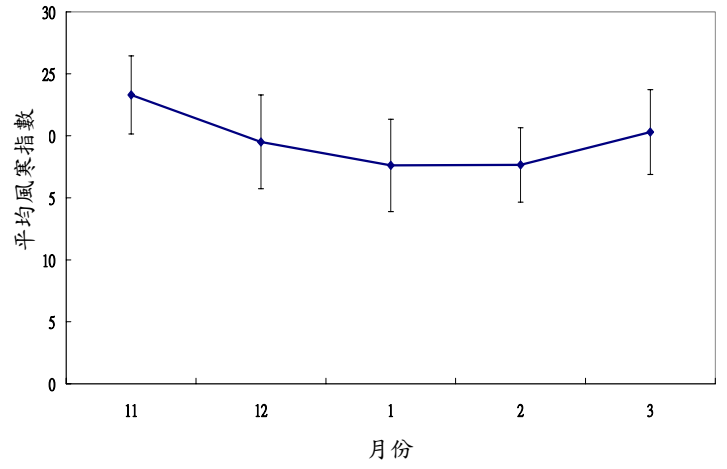


圖 5. 各冬天指數的月變化。圖中各直線的上下限分別代表平均±標準差。

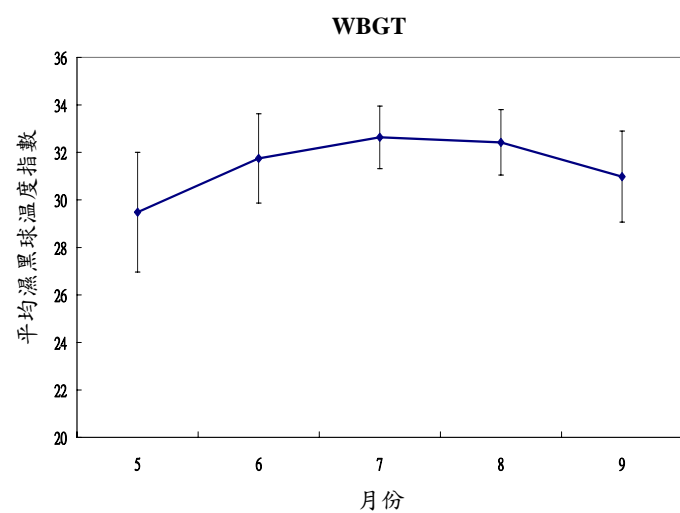
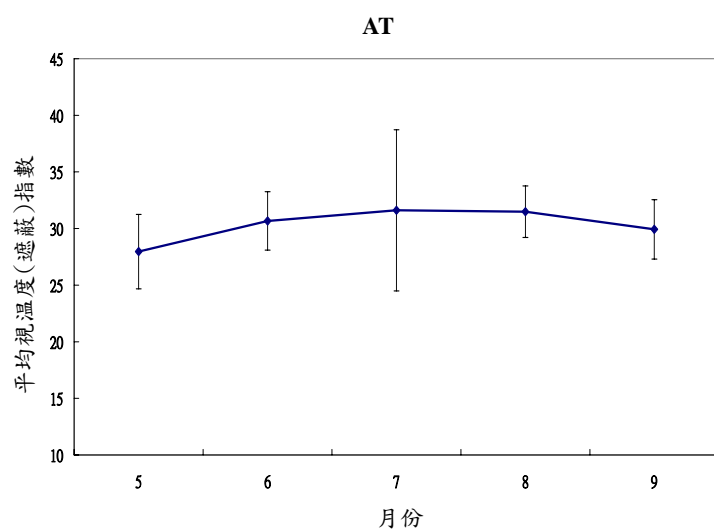
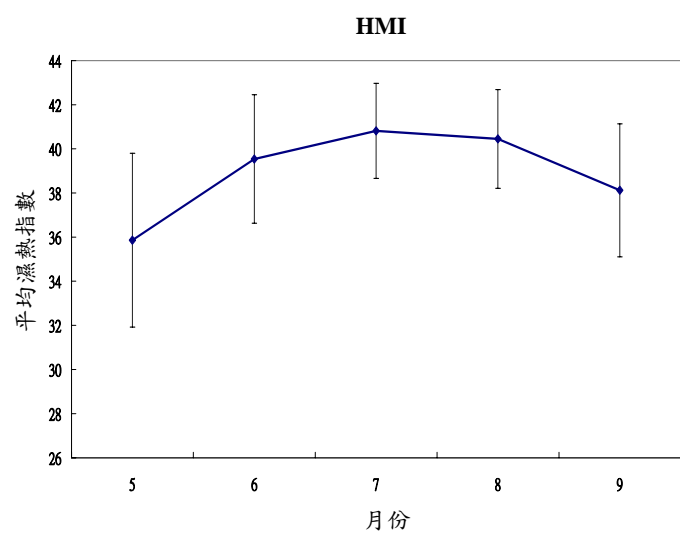
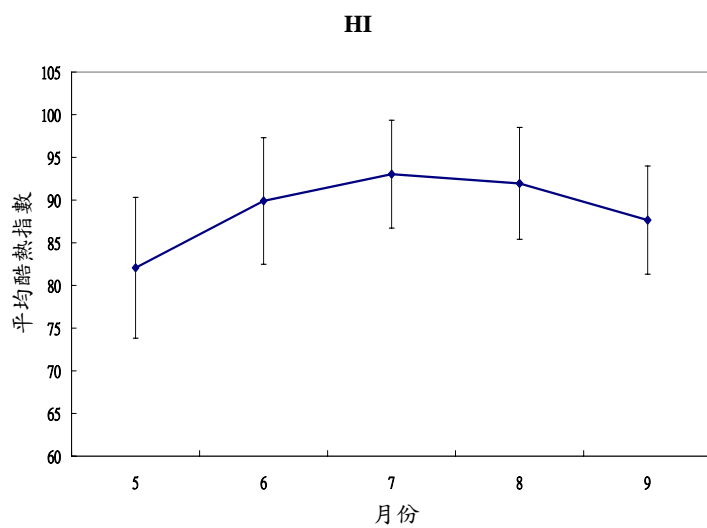
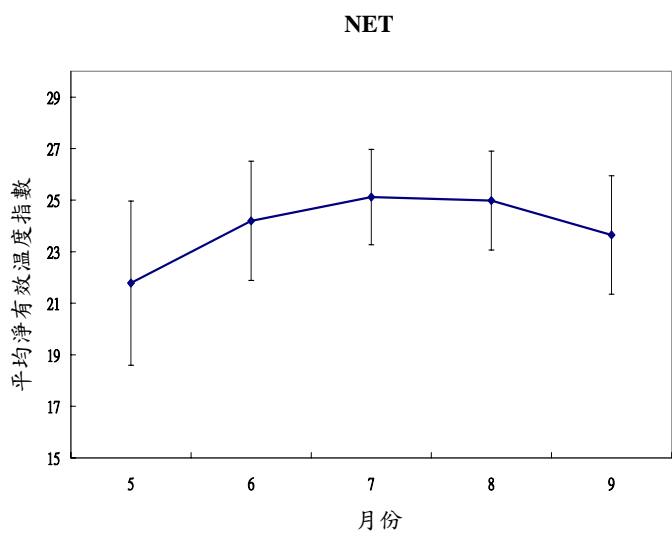


圖 6 各夏天指數的月變化。圖中各直線的上下限分別代表平均±標準差。

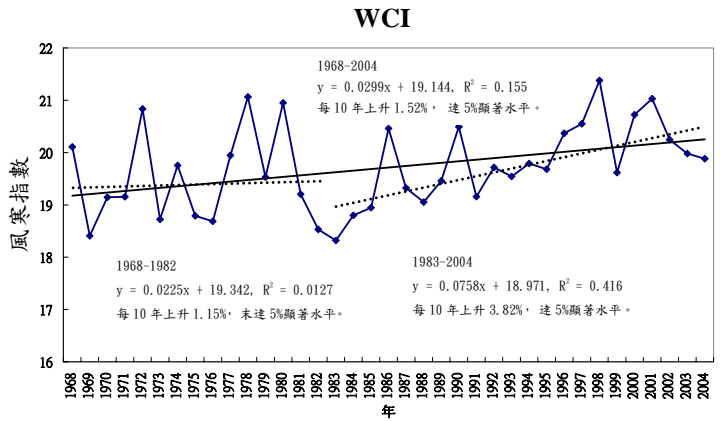
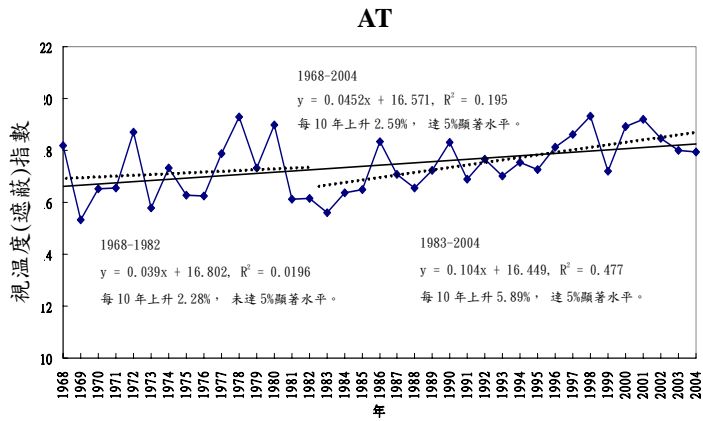
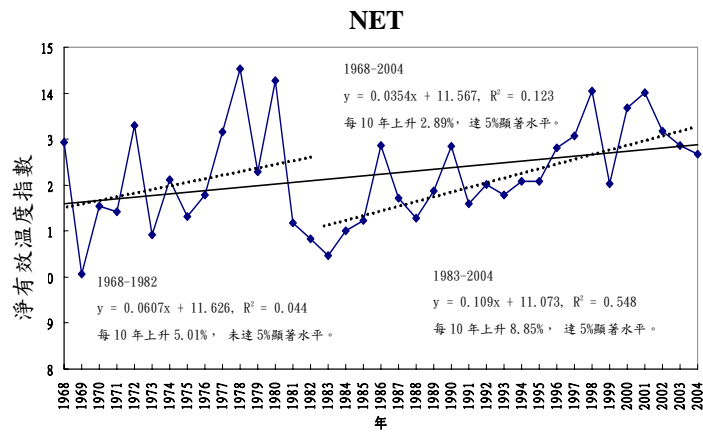


圖 7. 1968-2004 年、1968-1982 年及 1983-2004 年冬天各指數的長期趨勢。

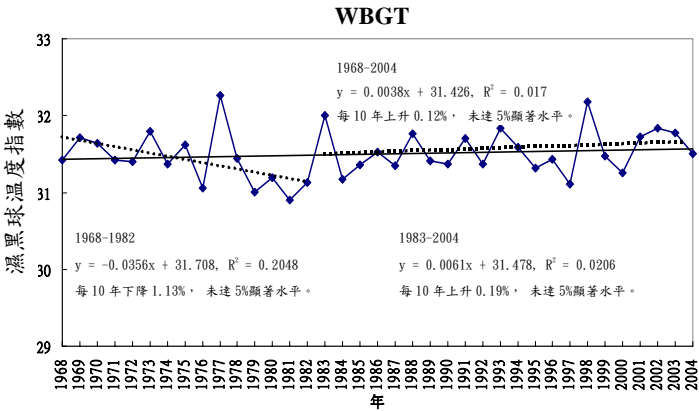
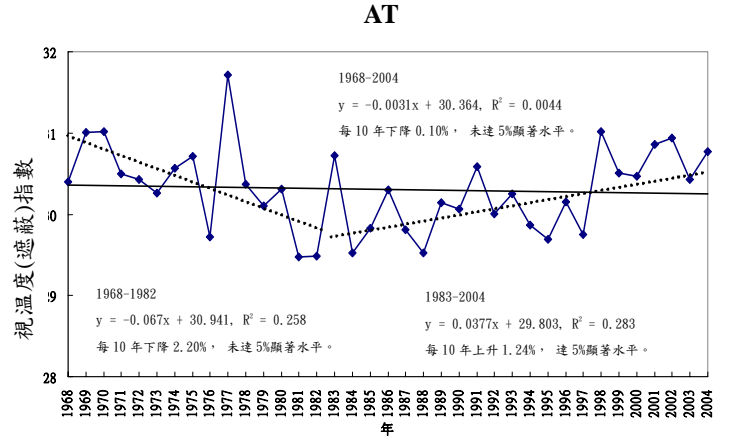
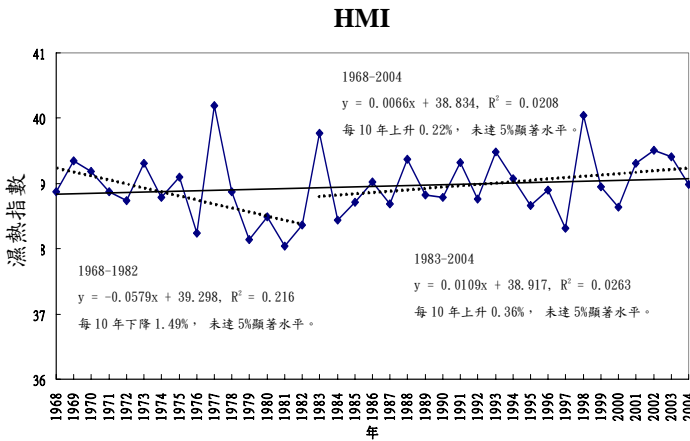
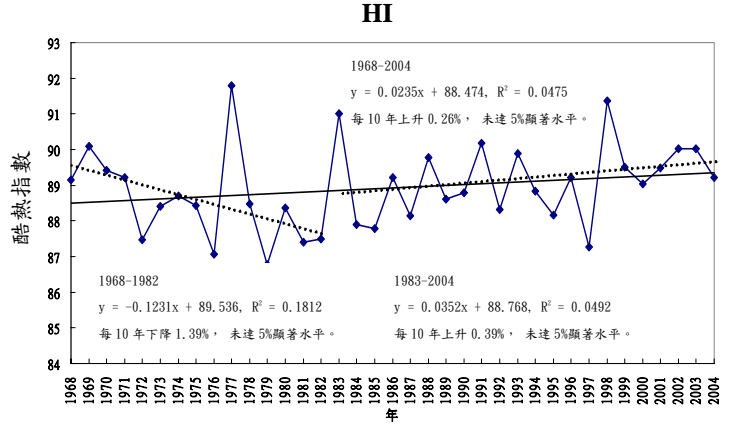
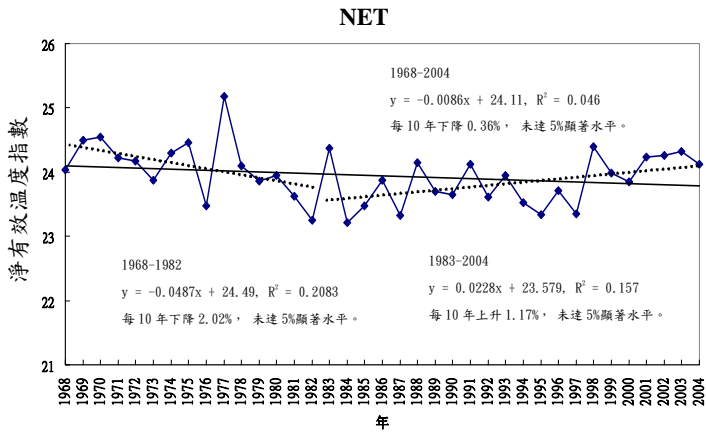


圖 8. 1968-2004 年、1968-1982 年及 1983-2004 年夏天各指數的長期趨勢。