



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 1002

華南地區氣候變化研究回顧

李細明、劉錦鑾^{*} & 湯仕文[#]

第二十六屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2012 年 1 月 17-19 日

^{*}廣東省氣候中心

[#]澳門地球物理暨氣象局

華南地區氣候變化研究回顧

李細明¹ 劉錦鑾² 湯仕文³

¹香港天文台 ²廣東省氣候中心 ³澳門地球物理暨氣象局

摘要

氣候變化是人類現時面對的重大挑戰。IPCC 第四次評估報告指出，過去的 100 年裏（1906—2005 年）全球平均地表溫度上升了 0.74°C，尤其在最近 50 年地表溫度以每十年 0.13°C 的速度上升，升溫率幾乎是過去 100 年的 2 倍，並預計未來氣候將持續變暖。在全球變暖的背景下，中國的氣候變化趨勢與全球的趨勢基本一致，華南地區亦不例外。華南地區人口密集，氣候變化為該區帶來的影響不容忽視。故此，粵港澳三地的氣象部門研究華南地區的氣候變化情況，以了解氣候變化帶來的影響。本文整合粵港澳三方近年有關氣候變化的研究文獻，比較華南各地的氣候與極端天氣的變化趨勢。

1. 引言

IPCC 第四次評估報告(IPCC 2007)已經指出過去一百年全球平均地表氣溫上升了 0.74°C ，並確認過去半個世紀的升溫很有可能由人類活動造成大氣中溫室氣體濃度上升所導致。在全球變暖的大背景下，中國的氣候變化基本與全球趨勢一致。華南地區人口密集，經濟相對發達，氣候變化無可避免會對該區的自然環境、農作物收成(杜堯東等 2004; 杜堯東等 2010)、社會及經濟發展造成影響。近年粵港澳三地的氣象部門已對過去幾十年各種氣象元素如溫度、降水等的氣候變化作出深入研究，並對未來一個世紀的可能變化作出推算。這些工作支援政策制定者制定合適的減排措施，支撐社會的可持續發展。

本文整合及回顧過去數年粵港澳三方與氣候變化有關的研究。第二部分集中討論過去幾十年氣候變化的觀測；第三部分會略談極端天氣的變化；第四部分討論 21 世紀的氣候趨勢預測；最後第五部分為總結。

2. 氣候變化的事實

2.1 氣溫

根據 IPCC 第四次評估報告，全球平均地表氣溫在過去 100 年已上升了 0.74°C ，增溫率為 $0.07^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ (IPCC 2007)。在此全球變暖的背景下，粵港澳三地的氣象工作者皆指出過去幾十年華南出現增溫情況，但增溫幅度因地域不同，經濟發展不同而有所差別。

表一列出粵港澳三地近年對各自地區增溫率的觀測及與全球增溫率的比較。廣東省、澳門和香港在過去幾十年的增溫率分別為 $0.21^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ (廣東氣候評估報告(節選) 2007)、 $0.10^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ (馮瑞權等 2009)及 $0.16^{\circ}\text{C}/\text{十年}$ (Ginn *et al*, 2010)。澳門的增溫率略低於廣東及香港，可能與澳門的城市化影響較低有關。

陳新光等(2006)仔細分析廣東省近 50 年年平均氣溫的趨勢，發現有兩次突變性變暖，第一次在 1987 年；第二次在 1998 年。杜堯東等(2004)也指出廣東省的平均氣溫在 1970 年代後升幅加大。鄧耀民(2008a)及 Ginn *et al* (2010)透過對溫度的時間序列的分析(表一及圖一)，指出澳門和香港的增溫在 1970、1980 年代有加快跡象，原因除了全球暖化外，和當時急速的城市化亦有關。

廣東省氣候變化評估報告(節選) (2007)顯示廣東省近 50 年平均增溫率最

高為冬季(0.36 °C/十年)，最小為春夏季(0.14 °C/十年)。陳新光等(2006)分別比較1987-2004年廣東省各月的平均溫度增幅(相對於1971-2000年的平均值)，同樣指出冬季增溫最大，達到0.6 °C；夏季增溫最小，只有0.2 °C；春季和秋季分別為0.4 °C和0.3 °C，1990年代後春季的增溫明顯加快(圖二)。鄧耀民(2008a)比較1901-2007年澳門各季的增溫率，發現春季的增溫率最大，約0.11 °C/十年，其次為冬季，約0.08 °C/十年，夏季和秋季的增溫率相對地較小。Wong *et al* (2010)的研究則發現香港1885-2005年的年極端最高氣溫增溫率(0.09 °C/十年)不及年極端最低氣溫增溫率(0.14 °C/十年)，間接顯示夏季的增溫率不及冬季。整體而言，冬季變暖的趨勢明顯，夏季的增溫趨勢相對地較少。

杜堯東等(2004)比較廣東省不同年代的年平均日最高氣溫及最低氣溫，指出1960、1970、1980年代的年平均日最高氣溫相約，變化不大，1990年代後則呈明顯上升趨勢。年平均日最低氣溫由1960年代起則逐漸上升，上升幅度也逐漸增大。澳門(鄧耀民2008a;馮瑞權等2009)及香港也有類似情況，20世紀年平均日最高氣溫的升幅小(澳門)或不明顯(香港)，而年平均日最低氣溫的升幅較大。這使得日溫差減少(圖三及圖四)，此現象除了與全球暖化的大背景有關外，有研究指出城市化也是原因之一，Karl *et al* (1993)及Zhou *et al* (2004)發現城市化對於低溫的影響大於高溫。

由此可見，城市化對珠江三角洲等經濟發展比較快的地區的氣候影響，不容忽視，並且有需要客觀量化其影響。范紹佳等(2005)透過比較廣州氣象站及佛山機場(郊區站)1973-2003年的年平均日溫差，估算出廣州因城市化熱島所導致的增溫率約為0.13 °C/十年(即0.4 °C除以30年)。Leung *et al* (2007)分析1989-2006年香港天文台及郊區的年平均日溫差為0.81 °C，並假設百年前(1885年)天文台與郊區的溫差為0 °C(因當時天文台所處地方仍為郊區)，從而得出過去百年因城市化所引致的增溫率為0.08 °C/十年，此估值低於廣州乃因平均年期較長。馮瑞權等(2009)利用同一年期(1951-2007年)廣州、澳門、香港三地的氣溫序列，觀察到澳門的增溫率明顯低於廣州及香港兩地(圖五)。若以澳門作為郊區站，則廣州和香港的城市化增溫率為0.07 °C/十年和0.09 °C/十年。

2.2 雨量

廣東省氣候中心指出1961-2006年廣東省全省年降水呈不顯著的增加趨勢，增加速率為1.15 mm/十年(圖六 a)。其中東、南部呈不顯著上升趨勢，而北、西部則呈不明顯下降趨勢(圖六 b)，而後汛期的上升速率又大於前汛期(圖六 c)。整體而言，澳門和香港年總雨量在過去百年呈上升趨勢(圖

七及圖八)，但香港 1947 年後的趨勢並不明顯(Ginn *et al* 2010)，澳門 1970 年代後更呈微弱減少趨勢(鄧耀民 2008a)，此外，兩者的年際變化都比較大。從季節分佈來看，澳門的降雨增幅以夏季最為明顯，1970 年代後，春秋兩季呈減少趨勢，估計可能與冷空氣減少南下而導致鋒面雨減少有關，但趨勢不顯著(鄧耀民 2008a)。

伍紅雨等(2011a)指出單分析降水量並不足夠，亦要分析降雨日數和降水強度的氣候變化。伍紅雨等(2011a)定義雨日為降水量 ≥ 0.1 mm 的日數，而降水強度為年總降水量/降水日數。研究發現 1961-2008 年華南地區的年雨日以 4.8 日/十年的速率減少(圖九 a)，而降水強度卻以 0.4 mm/日/十年的速率顯著增加(圖九 b)，這與近年廣東省洪澇災害增多的事實吻合。在澳門，降水強度也有上升趨勢(鄧耀民 2008a)，而香港的雨日也有明顯下降的趨勢及大雨(日雨量 ≥ 30 mm)日子在過去半個世紀明顯增多(圖十及圖十一)，反映降雨強度有所增強。

在城市化對降雨的影響方面，黎偉標等(2009)運用衛星資料如 TRMM 和 QuikSCAT 等分析珠江三角洲及臨近地區的降水分佈特徵，發現在同一緯度下，珠江三角洲城市群區域降水明顯多於其周邊地區。Mok *et al* (2006)也發現香港市區與離岸地區的年降雨量差別以 63 mm/十年的速率明顯增加(圖十二)，並推測城市化可能導致市區氣溫升高，從而增強大氣的對流性，凝結核的增加也有利於降水。

2.3 能見度、雲量與日照時間

伍紅雨等(2011b)分析華南 192 個觀測站 1961-2008 年地面氣象觀測資料，發現平均霾¹日以 5.8 天/十年的速率顯著增加(圖十三 a)，這種趨勢在珠江三角洲、廣東西北部、廣西中部及東北部最為明顯，其中心在深圳，達到 38.8 天/十年(圖略)，與急速城市化、經濟急速發展密切相關。在澳門，1990 年代以前甚少出現煙霞²情況，但 1990 年代後則以 37 小時/年的速率急速增加(圖十三 b)。香港能見度變差的情況同樣受到市民和遊客的關注。在香港，低能見度的時數³由 1968-1987 年之間以 53 小時/十年的速率增加，到 1988-2008 年其增加速率上升至 554 小時/十年(圖十三 c)。Leung and Lam (2008)指出香港的能見度與直徑大於 2.5 mm 的懸浮粒子(PM_{2.5})的濃度有密切關係，而在香港和華南地區懸浮粒子的主要源頭為建築、汽車廢

¹ 霾是一種由大量極細微的乾塵粒等均勻地浮游在空中，使能見度小於 10 公里，空氣普遍渾濁的天氣現象。

² 澳門地球物理暨氣象局定義煙霞為能見度低於 5 公里，相對濕度低於 80%。

³ 能見度低於 8 公里的時數(相對濕度高於 95%、有雨、薄霧或霧的時數排除在外)。

氣排放、和燒煤發電等人類活動。

廣東及香港均有雲量增多的趨勢(廣東氣候變化評估報告(節選) 2007; Ginn *et al* 2010), 原因可能與凝結核的濃度增加有關(Ginn *et al* 2010)。雲量增多, 日照時間自然減少(Ginn *et al* 2010; 伍紅雨等 2011c), 澳門自 1960 年代後的年日照時數也呈減少趨勢(馮瑞權等 2010)。

3. 極端天氣的變化

氣候的平均值改變, 同時會改變極端天氣發生的頻率。以溫度為例, 若平均溫度升高, 出現極端高溫的頻率會升高, 而出現極端低溫的頻率則會降低。

事實上, 伍紅雨及杜堯東(2010a)分析華南 110 個觀測站 1961-2008 年的極端高溫及極端低溫的變化, 發現兩者都有上升趨勢, 而極端低溫上升的速率要比極端高溫快。換句話說, 出現嚴寒天氣的機會越來越低。伍紅雨和杜堯東(2010b)的研究表明華南發生特強寒潮⁴和中等寒潮的比率從 20 世紀 1980 年代後逐漸減少, 而發生弱寒潮的比率則顯著增加。

廣東氣候評估報告(節選)(2007)指出廣東每年的高溫日數(日最高氣溫 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)呈顯著上升趨勢, 上升幅度為 0.27 天/年。另一方面, 每年的低溫日數(日最低氣溫 $\leq 5^{\circ}\text{C}$)則呈顯著減少趨勢。香港也有類似趨勢, Wong *et al* (2010) 指出每年酷熱天氣(日最高氣溫 $\geq 33^{\circ}\text{C}$)日數和熱夜(日最低氣溫 $\geq 28^{\circ}\text{C}$)日數皆呈明顯上升趨勢, 而寒冷天氣(日最低氣溫 $\leq 12^{\circ}\text{C}$)日數則呈減少趨勢。Wong *et al* (2010)又利用廣義極端值分佈(GEV)技巧, 計算出日最低溫度 $\leq 4^{\circ}\text{C}$ 的回歸期由 1900 年的 6 年, 增加到 2000 年的 163 年。澳門每年的酷熱天氣(日最高氣溫 $\geq 33^{\circ}\text{C}$)日數在 20 世紀呈數十年的周期性變化, 沒明顯趨勢。每年的熱夜(日最低氣溫 $\geq 27^{\circ}\text{C}$)日數則跟廣東和香港一樣明顯上升, 寒冷天氣(日最低氣溫 $\leq 12^{\circ}\text{C}$)日數則明顯減少(鄧耀民 2008a)。

極端降水方面, 廣東省降水強度在 40 mm/小時以上出現的平均次數由 1960 年代每年 1.3 次增加到目前約 1.8 次(廣東氣候評估報告(節選) 2007)。澳門每年日雨量大於 20、50、100 mm 的日數在 20 世紀都呈顯著增加趨勢, 日雨量達 250 mm 的回歸期由 1901-1930 年的 30 年縮短到 1978-2007 年的

⁴ 伍紅雨和杜堯東(2010b)綜合考慮了寒潮過程的最大降溫幅度、極端低溫和降溫的持續性, 定義了寒潮強度指數 I_2 。根據此指數, 把寒潮分為特強($I_2 \geq 2$)、強($0.2 \leq I_2 < 2$)、中($-0.6 \leq I_2 < 0.2$)和弱($I_2 < -0.6$)四個等級。

5 年。香港每小時、每兩小時和每三時的極端降雨的出現次數在過去一個世紀均呈顯著上升趨勢，而每小時雨量超過 100 mm 的極端降水事件的回歸期由 1900 年的 37 年縮短到 2000 年的 18 年。香港天文台有一個有趣但令人擔憂的觀測，就是總部的最高時雨量紀錄刷新得越來越密(圖十四)，某程度上反映了極端降雨事件越來越多。

4. 未來氣候推算

4.1 未來地面溫度變化的推算

黃曉瑩等(2008)利用英國 Hadley 氣候預測和研究中心的區域氣候模式系統 PRECIS，模擬分析 IPCC 2000 年發佈《排放情景特別報告》(SRES) 中設計的 B2 情景下華南區域 2071-2100 年的溫度的可能變化。結果顯示 2071-2100 年華南地區的年平均氣溫較 1961-1990 年平均上升約 2-3°C。廣東及福建沿海的增幅較小，約 2.2-2.6°C 之間(圖十五)。廣東省氣候變化評估報告則總結了 20 多個全球氣候模式在 B2 情景下廣東的增溫幅度，到 2020 年全省的年平均地面氣溫可能增溫 0.8°C；2050 年可能增溫 1.7°C；2100 年可能增溫 3.0°C。

鄧耀民(2008b)利用 IPCC 第四次評估報告所採用的不同溫室氣體排放情景(排放情景由低至高排列: B1, A1B, A2)和氣候模式預測格點資料，再結合澳門及華南地區的歷史溫度資料，預測世紀末(2091-2100 年)澳門的平均氣溫很有可能較 1971-2000 年平均高 1.9-3.4°C，多模式多情景的平均為 2.7°C (圖十六)。以季節變化而言，各季節皆呈上升趨勢，當中以冬季增幅最大，多模式多情景的平均達 2.9°C；夏季最小，約 1.9°C。

Leung *et al* (2007) 同樣利用 IPCC 第四次評估報告中多個全球氣候模式在多個不同的溫室氣體排放情景下(排放情景由低至高排列: B1, A1B, A2)得到的模擬結果，結合過去香港及華南地區的氣溫，使用統計降尺度的方法推算香港未來氣溫的趨勢。由於城市化是都市氣溫上升的原因之一，因此推算香港未來氣溫時，亦考慮了城市化的影響。Leung *et al* (2007) 假設城市化下限為 2007 年的水平，而上限為持續以過往速率增長。根據推算，若考慮低排放情景及城市化凍結於 2007 年的水平、所有排放情景及上述兩種城市化情況的平均、高排放情景及城市化持續以固定速率增長，香港 2091-2099 年的平均氣溫較 1980-1999 年平均分別高 3.0°C、4.8°C、6.8°C (圖十七)。總括來說，21 世紀的平均氣溫會持續上升，上升幅度則視乎減排力度及未來城市化的速率會否放緩。

4.2 未來雨量推算

黃曉瑩等(2008)同樣利用 PRECIS，模擬 B2 排放情景下 2071-2100 年華南地區降水量的可能變化，推算夏季 22°N 以北的地區降水量較 1961-1990 年平均有所增加，22°N 以南地區則減少(圖十八 a);冬季則全區域呈減少趨勢(圖十八 b)。廣東氣候中心總結了 20 多個全球氣候模式在 B2 情景下廣東省的降水變化，2020 年、2050 年、2100 年全省的降水量會較 1961-1990 年平均分別增加 3%、5%和 8%，而降水量的空間差異也會更大。

澳門和香港兩地利用與類似推算氣溫的方法推算未來的降水趨勢。鄧耀民(2008b)預測澳門的年降水(多模式多情景平均，排放情景由低至高排列為 B1, A1B, A2)在 2040 年前呈減少趨勢，2040 年後則呈增加趨勢(圖十九)。唯不同模式的差異很大，不確定性高。從多模式多情景的平均來看，冬春兩季未來降水量較 1971-2000 年平均少，其中冬季降水偏少的情況尤為明顯，這與黃曉瑩等(2008)的結果吻合。夏秋兩季的降水則在 2040、2050 年代後呈增多趨勢。

Lee *et al* (2008) 及 Lee *et al* (2011b)分別利用全球氣候模式不同排放情景(排放情景由低至高排列: B1, A1B, A2)的逐月及逐日資料結合統計降尺度模型去推算 21 世紀香港降水的可能變化，同樣得出 2040 年代前香港的降水呈減少趨勢；2040 年代後呈增多趨勢(圖二十)，不同模式的差異亦很大，與澳門的降水推算相約。Ginn *et al* (2010)指出 2040 年代前的減少趨勢可能與年代際變化有關，2040 年代後的增加趨勢則與大氣中水氣增加及東亞夏季季風增強有關。

5. 總結

在全球暖化的大背景下，華南地區的氣候展現不同程度的轉變。在氣溫方面，過去粵港澳的研究可總結為：

- 1) 過去半個世紀，廣東、澳門和香港的增溫情況明顯，唯幅度各有不同；
- 2) 增溫在 1970、1980 年代之後有加快跡象；
- 3) 冬天的變暖趨勢明顯，夏天的變暖趨勢相對地緩和；
- 4) 日最高氣溫的增溫幅度不及日最低氣溫，可能與城市化有關；
- 5) 增溫現象的大背景是全球暖化，不同程度的城市化造成地區性的差別。

在降水方面可總結為：

- 1) 香港和澳門的年雨量在過去一個世紀有上升趨勢，但 1950 年代後此趨勢變得不明顯(香港)，或有輕微下降趨勢(澳門)；
- 2) 華南整體的年雨量在過去半個世紀只有微弱的上升趨勢；

- 3) 澳門降雨的增幅以夏季最為明顯，春秋兩季呈不顯著減少趨勢；
- 4) 華南的年雨日明顯減少，但降水強度增大。

其它的氣象要素可總結為：

- 1) 能見度顯著下降，主要受人類活動的增加影響；
- 2) 雲量增多及日照時間減少。

極端天氣的長期變化可歸納為：

- 1) 極端高溫天氣顯著增加，而極端低溫天氣顯著減少；
- 2) 強降水出現的次數越來越頻密，極端降雨事件的回歸期越來越短。

對於未來氣候推算，結論主要有：

- 1) 年平均氣溫的上升趨勢會持續；
- 2) 澳門和香港在 2040 年前可能受年代際變化影響，年雨量呈減少趨勢，2040 年代後則呈增加趨勢，但不確定性高；
- 3) 廣東的年雨量在未來一個世紀會持續上升。

澳門和香港基於歷史原因有過百年的氣象觀測紀錄，而廣東省在 50 年代開始也建立起密集的觀測網絡，這些長年而地域廣泛的氣象觀測資料對氣候研究人員來說彌足珍貴。在此基礎上，粵港澳三方宜加強合作交流，建立氣候資料的分享平台，讓研究人員可以輕易比對各種氣候資料。

在研究方法上，各自不同的氣候基準時段令研究結果的比較變得困難。若在往後的研究各方都使用相同的參考時段，比較結果會變得更直接、更有意義。

此外，因為各自的氣候不同，對極端天氣事件的定義難免會有差異，為方便評估未來極端天氣事件的變化，宜採用同一分析方法，例如，統一分析二十年一遇的極端天氣事件在未來的變化。

參考文獻

IPCC 2007: Climate Change 2007: The Physical Basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Avergt M. Tignor and H. L. Miller Eds., Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom, and New York, USA, 996pp

- 杜堯東、宋麗莉、毛慧琴、湯海燕及徐安高，2004：廣東地區的氣候變暖及其對農業的影響與對策，*熱帶氣象學報*，20(3)，302-310。
- 杜堯東、段海來及唐力生，2010：全球氣候變化下中國亞熱帶地區柑桔氣候適宜性，*生態學雜誌*，29(5)，833-839。
- 廣東省氣候變化評估報告編制課題組，2007：廣東氣候變化評估報告(節選)，*廣東氣象*，29(3)，1-7。
- 馮瑞權、吳池勝、王安宇、何夏江、王婷、梁嘉靜及黎婉文，2009：1901-2007年澳門地面氣溫變化的分析，*氣候變化研究進展*，5(1)，12-17。
- Wong, M. C., H. Y. Mok, T. C. Lee, 2010: Observed changes in extreme weather indices in Hong Kong, *Int. J. Climatol.*, Published online in October 2010, DOI: 10.1002/joc.2238, 12pp.
- Ginn, W.L., T.C. Lee and K.Y. Chan, 2010: Past and future changes in the climate of Hong Kong, *Acta Meteor. Sinica*, 24(2), 163-175.
- 鄧耀民，2008a：澳門氣候變化狀況，澳門地球物理暨氣象局(內部參考文件)，17pp。
- 陳新光、錢光明、陳特固、李春梅及余克服，2006：廣東氣候變暖若干特徵及其對氣候帶變化的影響，*熱帶氣象學報*，22(6)，547-552
- Karl, T.R., P. D. Jones, R. W. Knight, G. Kuk la, N. Plummer, V. Razuvayev, K. P. Gallo, J. Lindsay, R. J. Charlson, and T. C. Peterson, 1993: A new perspective on recent global warming asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 74, 1007-1023.
- Zhou, K. M., R. E. Dickinson Y, H Tian et al., 2004: Evidence for a significant urbanization effect on climate in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9540-9544.
- 范紹佳、董娟、郭璐璐、王安宇、宋麗莉、劉愛君及謝艱衛，2005：城市發展對廣州溫度場影響的分析，*熱帶氣象學報*，21(6)，623-627。
- 廣東省氣候中心(內部參考文件)：氣候變化對廣東極端事件的物理風險和影響評估，21pp。
- 伍紅雨、杜堯東、潘蔚娟及段海來，2011a：華南雨日、雨強的氣候變化，[尚未發表]。
- 黎偉標、杜堯東、王國棟、吳美雙及許吟隆，2009：基於衛星探測資料的珠江三角洲城市群對降水影響的觀測研究，*大氣科學*，33(6)，1259-1266。
- Mok, H. Y., Y. K. Leung, T. C. Lee, and M. C. Wu, 2006: Regional rainfall characteristics of Hong Kong over the past 50 years. *Conference on "Changing Geography in a Diversified World"*,

- Hong Kong Baptist University, Hong Kong, China, 1-3 June 2006.
Hong Kong Observatory Reprint No. 646.
- 伍紅雨、杜堯東、何健及潘蔚娟，2011b: 華南霾日和霧日的氣候特徵及變化，*氣象*，37(5)，607-614.
- Leung, Y. K. and C. Y. Lam, 2008: Visibility impairment in Hong Kong—a wind attribution analysis. *Bull. H. K. Meteor. Soc.*, 18(838), 33-48.
- 伍紅雨、杜堯東及潘蔚娟，2011c: 近 48 年華南日照時數的變化特徵，*中山大學學報(自然科學版)*，50(6)，18-23。
- 馮瑞權、吳池勝、王安宇、王婷、何夏江、梁嘉靜、劉吉及梁必騏，2010: 澳門近百年氣候變化的多時間尺度特徵，*大氣科學進展*，26(4)，452-474。
- 伍紅雨及杜堯東，2010a: 1961-2008 年華南地區極端氣溫的非對稱變化，*生態學雜誌*，29(11)，2241-2248。
- 伍紅雨及杜堯東，2010b: 1961-2008 年華南區域寒潮變化的氣候特徵，*氣候變化研究進展*，6(3)，192-197。
- 黃曉瑩、溫之平、杜堯東及許吟隆，2008: 華南地區未來地面溫度和降水變化的情景分析，*熱帶氣象學報*，24(3)，254-258。
- 鄧耀民，2008b: 澳門氣候的變化趨勢預測，澳門地球物理暨氣象局(內部參考文件)，20pp。
- Leung, Y. K., M. C. Wu, K. K. Yeung and W. M. Leung, 2007: Temperature projections for Hong Kong based on IPCC fourth assessment report, *Bull. HK. Met. Soc.*, 17, 2007, HKO Reprint No. 764.
- Lee, T.C., W. H. Leung, E. W. L. Ginn, 2008: Rainfall projections for Hong Kong based on the IPCC Fourth Assessment Report. *Bull. HK MET. SOC.*, 18, 12-22.
- Lee, T.C., K. Y. Chan, H. S. Chan and M. H. Kok, 2011b: Projections of extreme rainfall in Hong Kong in the 21st century. Accepted by *Acta Meteor. Sinica*

表一 全球及粵港澳三地不同年期的增溫率比較

	全球	廣東省	澳門	香港
年期	1906-2005		1901-2007	1885-2008
增溫率 (°C/十年)	0.07 ^[1]		0.07 ^[3]	0.12 ^[5]
年期	1956-2005	1961-2007	1952-2007	1947-2008
增溫率 (°C/十年)	0.13 ^[1]	0.21 ^[2]	0.10 ^[3]	0.16 ^[5]
年期			1971-2007	1979-2008
增溫率 (°C/十年)			0.34 ^[4]	0.27 ^[5]

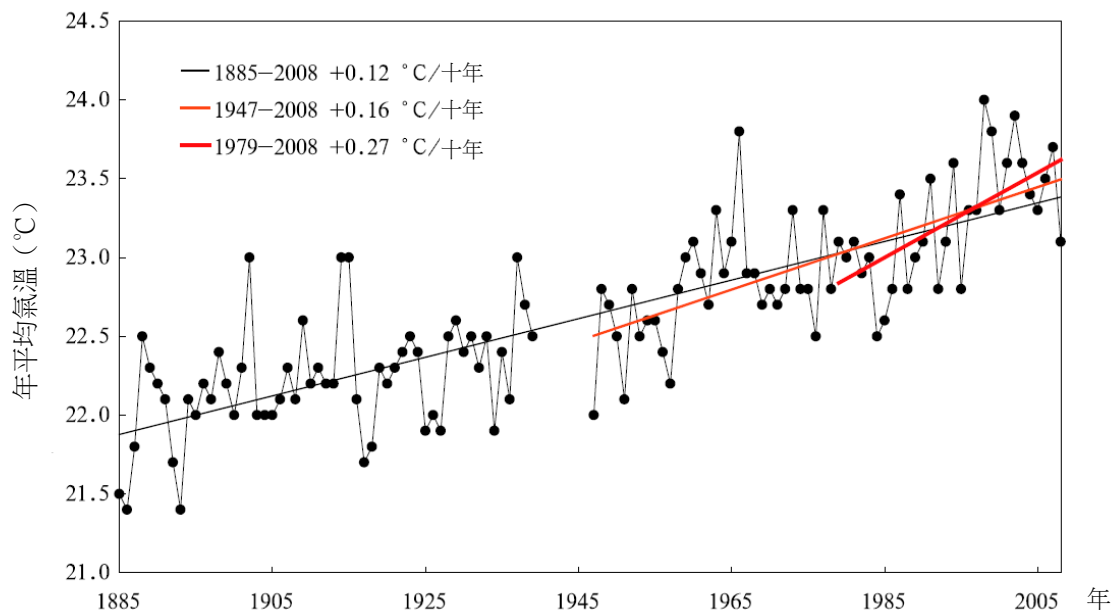
[1]: 根據 IPCC (2007)

[2]: 根據 廣東氣候評估報告(節選) (2007)

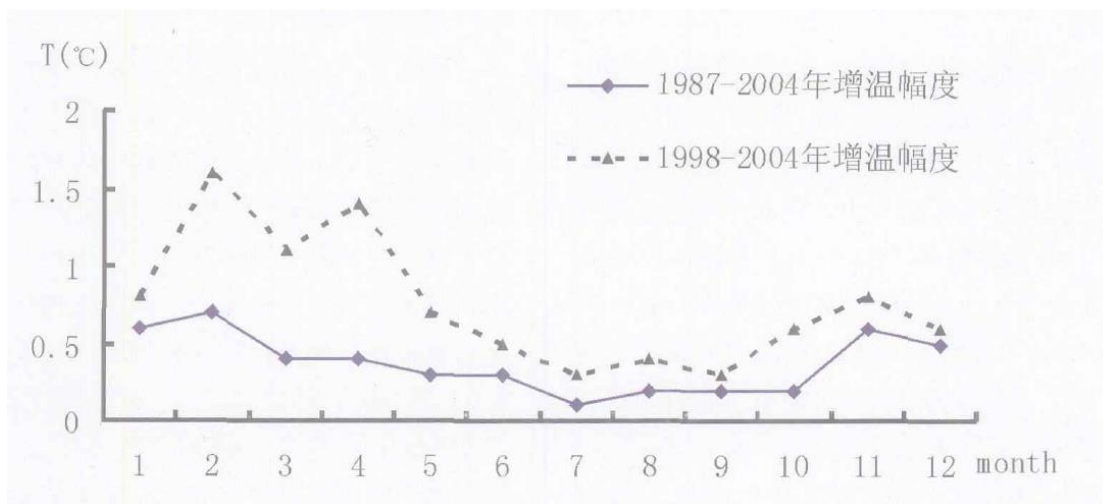
[3]: 根據馮瑞權等(2009)

[4]: 根據鄧耀民(2008a)

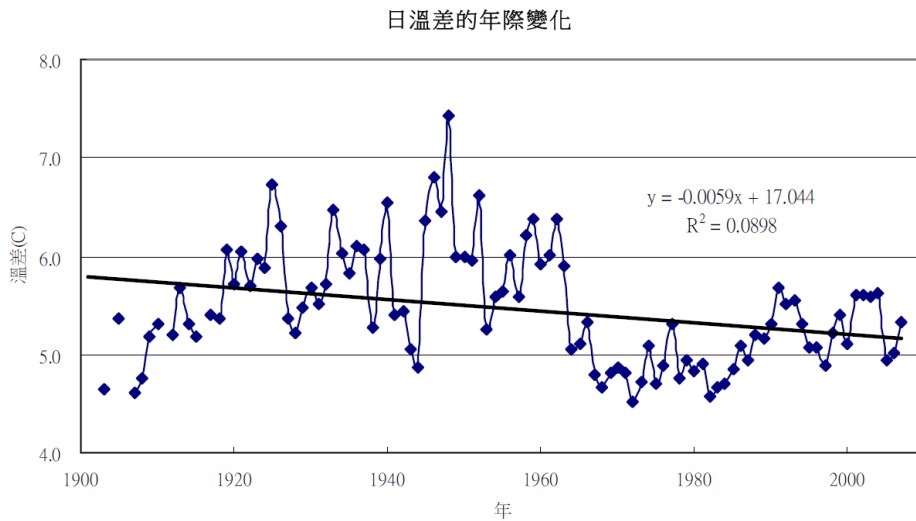
[5]: 根據 Ginn *et al* (2010)



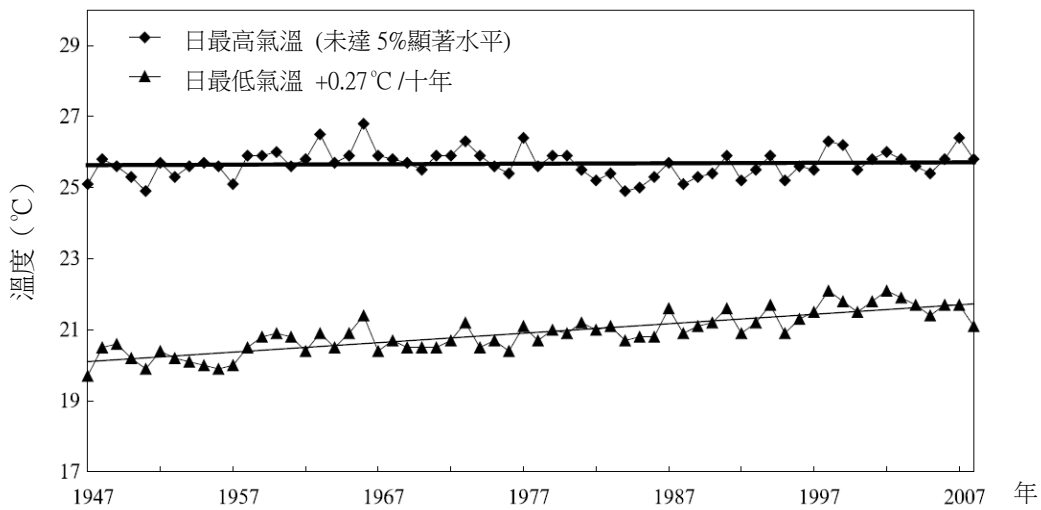
圖一 香港天文台 1885-2008 年錄得的年平均氣溫，1940-1946 年因二次大戰而無資料。黑色實線為 1885-2008 年的線性趨勢；紅色幼線為 1947-2008 年的線性趨勢；紅色粗線為 1979-2008 年的線性趨勢。來源：Ginn *et al* (2010)



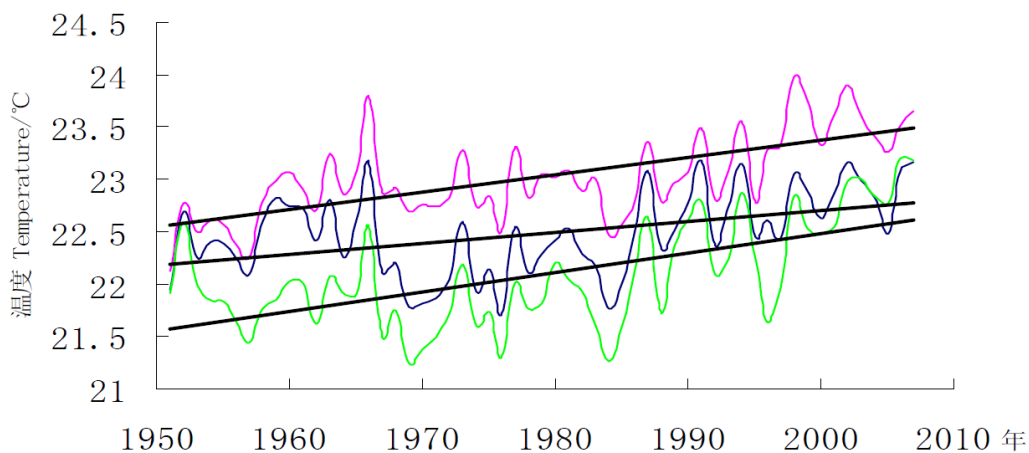
圖二 廣東省 1987-2004 年(虛線)及 1998-2004 年(實線)每月平均地面氣溫增幅(與 1971-2000 年平均比較)。來源：陳新光等(2006)



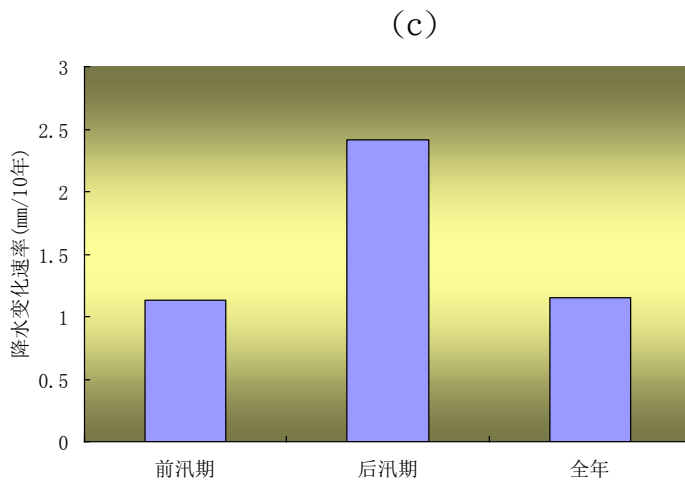
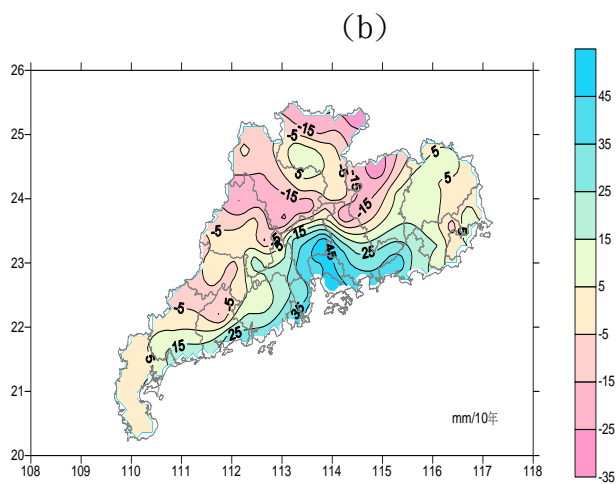
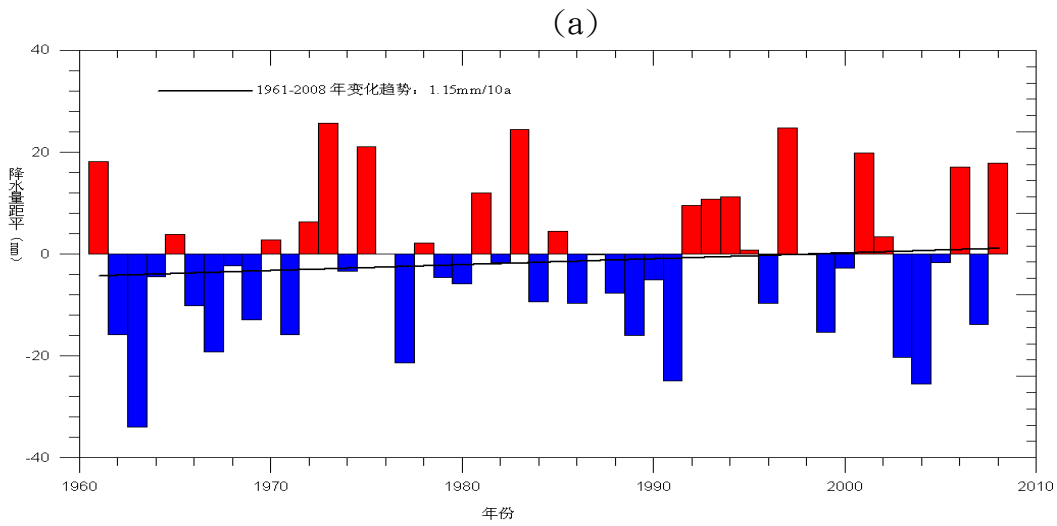
圖三 澳門 1901-2007 年年平均日溫差，黑色實線為線性趨勢。來源：鄧耀民 (2008a)



圖四 香港天文台總部 1947-2008 年年平均日最高及日最低氣溫。來源：Ginn *et al* (2010)

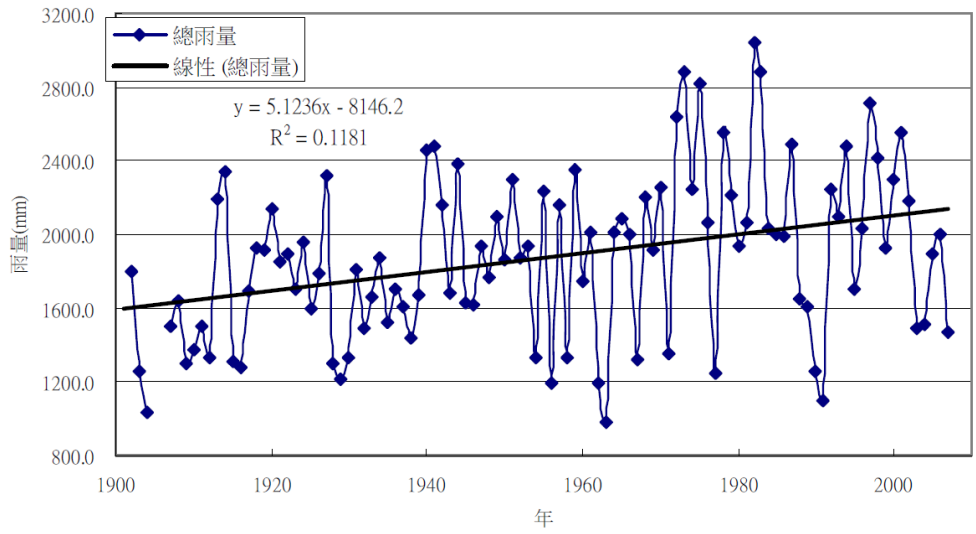


圖五 香港(紅色)、廣州(綠色)和澳門(藍色)1951-2007 年年平均氣溫，粗實線為線性趨勢。來源：馮瑞權等(2009)

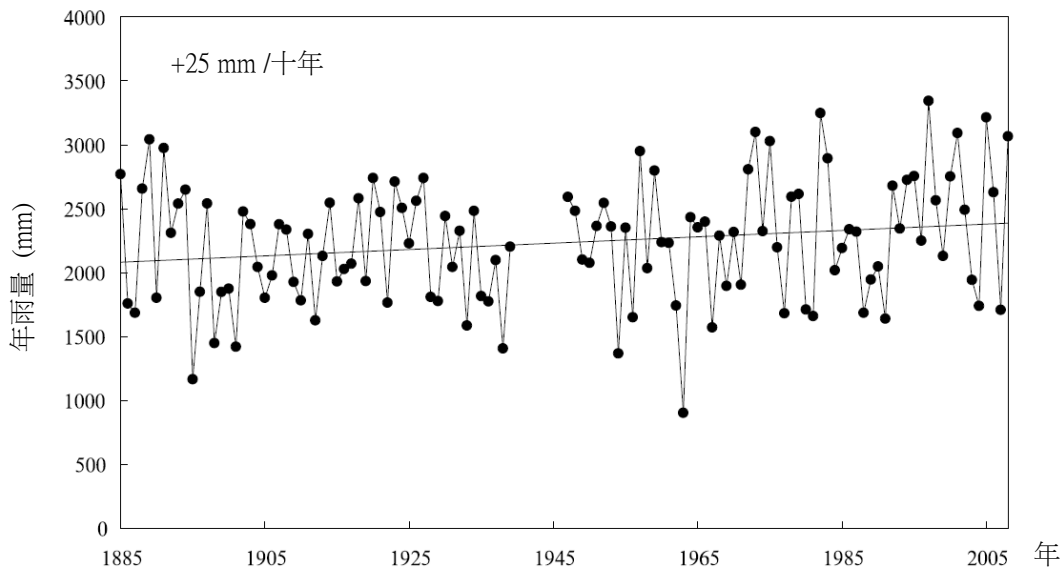


圖六 (a) 1960-2009 年廣東省全省平均年降水量的距平變化，黑色實線為 1961-2010 年的線性趨勢；(b) 廣東省降水變化速率空間分佈(mm/十年)；(c) 廣東省前汛期、後汛期及全年的降水變化速率 (mm/十年)。來源：廣東省氣候中心

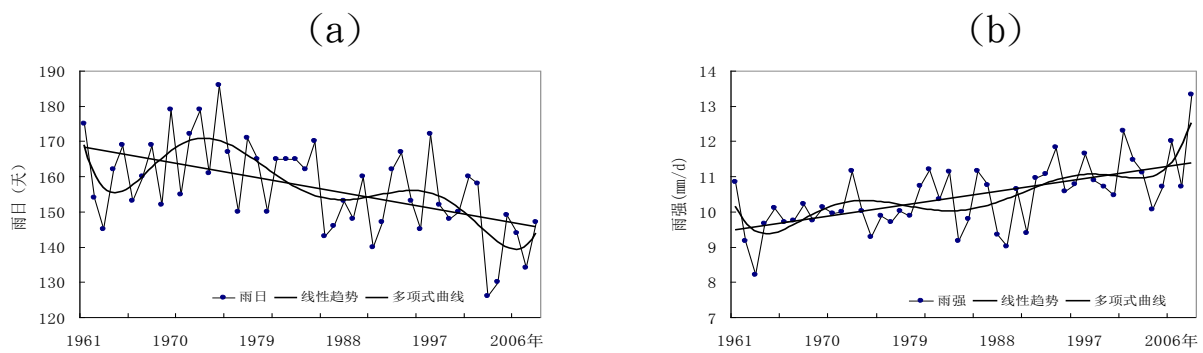
年總雨量的年際變化



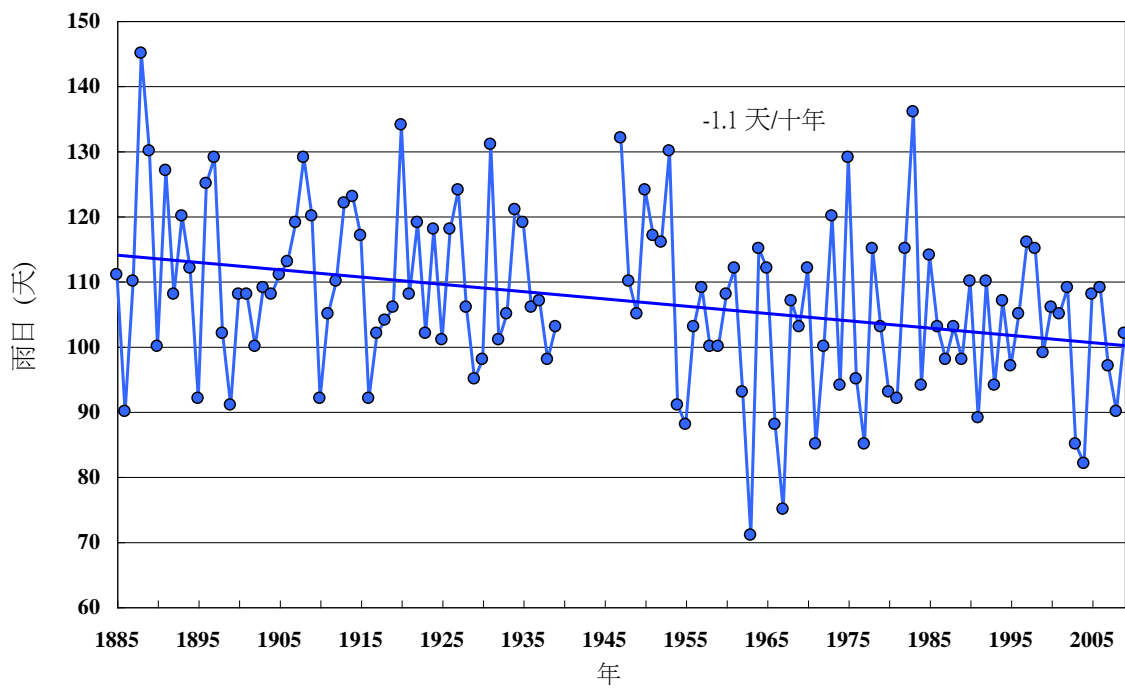
圖七 澳門 1901-2007 年年總雨量的變化，黑色實線為線性趨勢。來源：鄧耀民 (2008a)



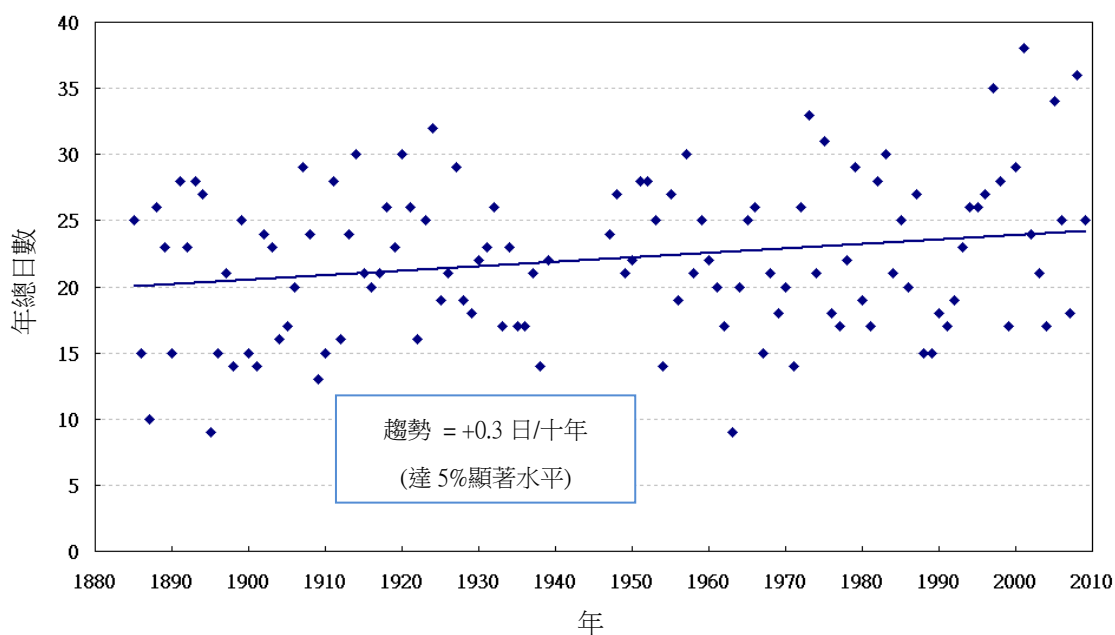
圖八 香港天文台總部 1885-2008 年的年總雨量變化，1940-1946 年因二次大戰而無資料。來源：Ginn *et al* (2010)



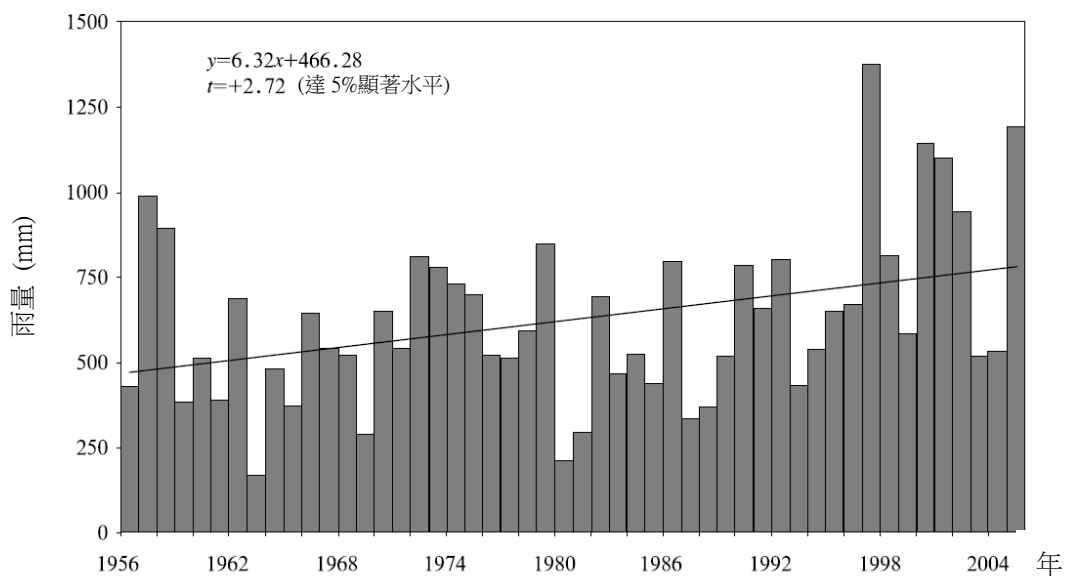
圖九 廣東省1961-2008年的(a)年雨日；及(b)降水強度的變化。來源：伍紅雨等(2011a)



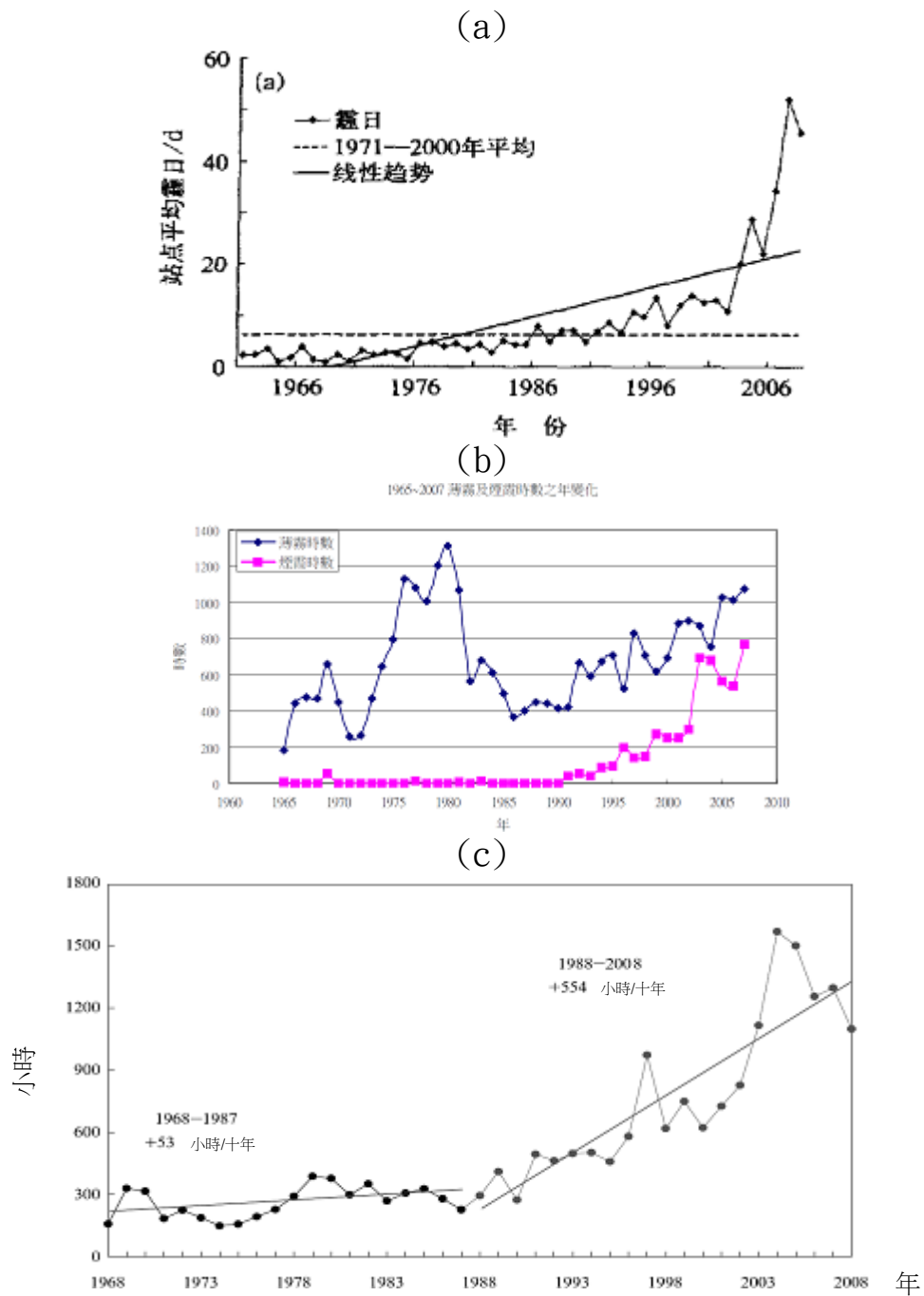
圖十 香港1885-2008年的年雨日變化，藍色實線為線性趨勢。



圖十一 香港 1885-2010 年日雨量大於 30mm 的日數變化，藍色實線為線性趨勢。



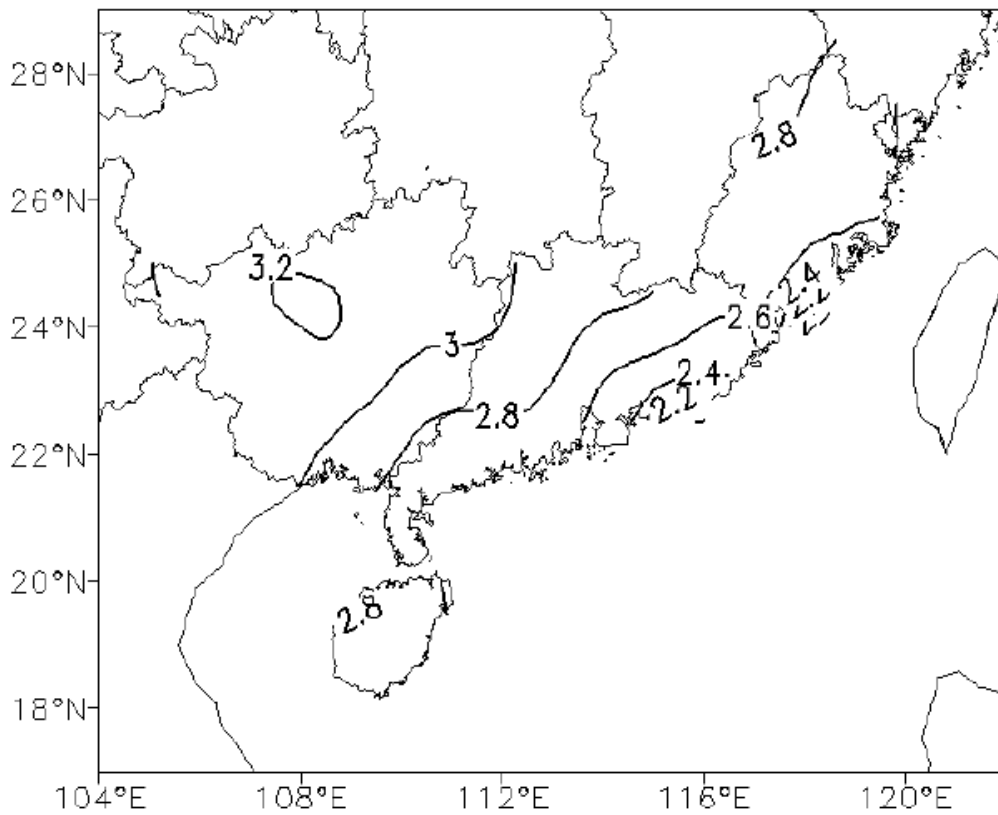
圖十二 香港市區和離岸地區的年降水差異(1956-2005 年)，實線為線性趨勢。來源：Mok *et al* (2006)



圖十三 (a) 華南 1961-2008 年的霾日變化。來源：伍紅雨等 (2011b)；(b) 澳門 1965-2007 年薄霧(藍線)及煙霞(紅線)時數之年變化。來源：鄧耀民 (2008a)；(c) 香港天文台總部 1968-2008 年能見度低於 8 公里的時數變化(相對濕度高於 95% 及有雨、薄霧或霧的時數排除在外)。來源：Ginn *et al* (2010)

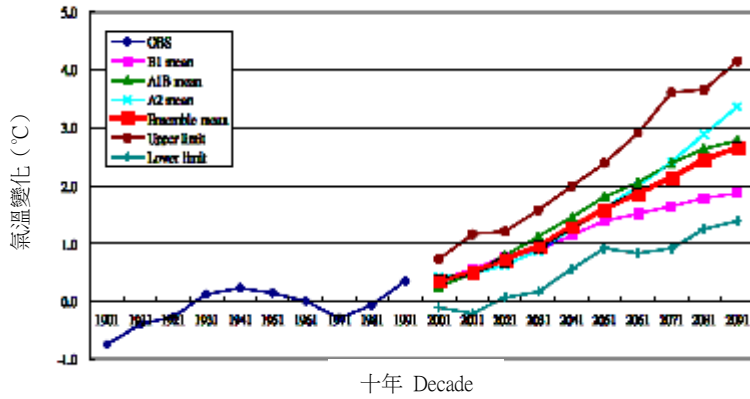


圖十四 香港天文台每小時降雨量的最高紀錄 (mm) (1885-2010 年)

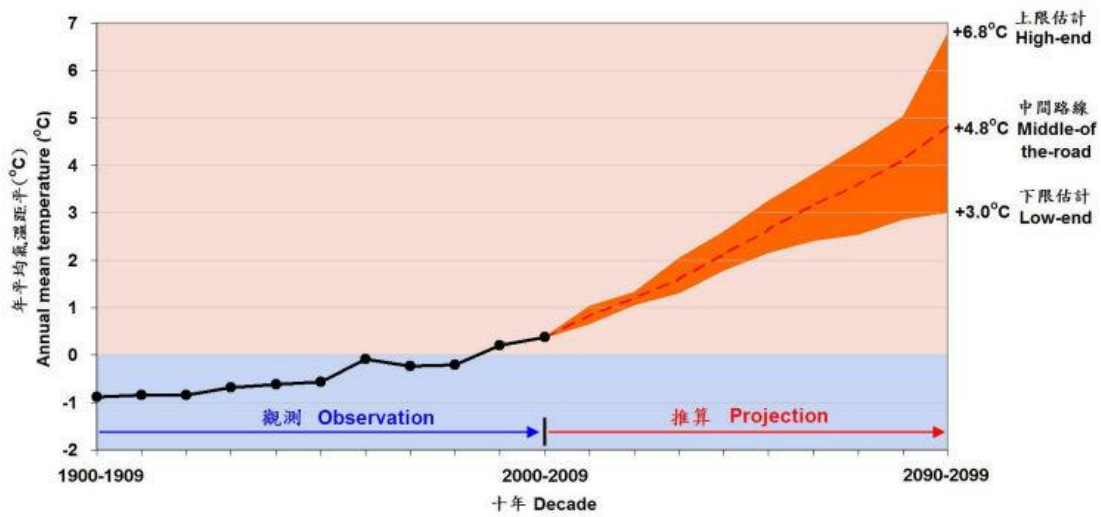


圖十五 華南地區 2071-2100 年的年均地面溫度升幅(°C)的空間分佈(相對於 1961-1990 年平均)。來源：黃曉瑩等(2008)

年均氣溫變化 (相對於 1971-2000 年平均)



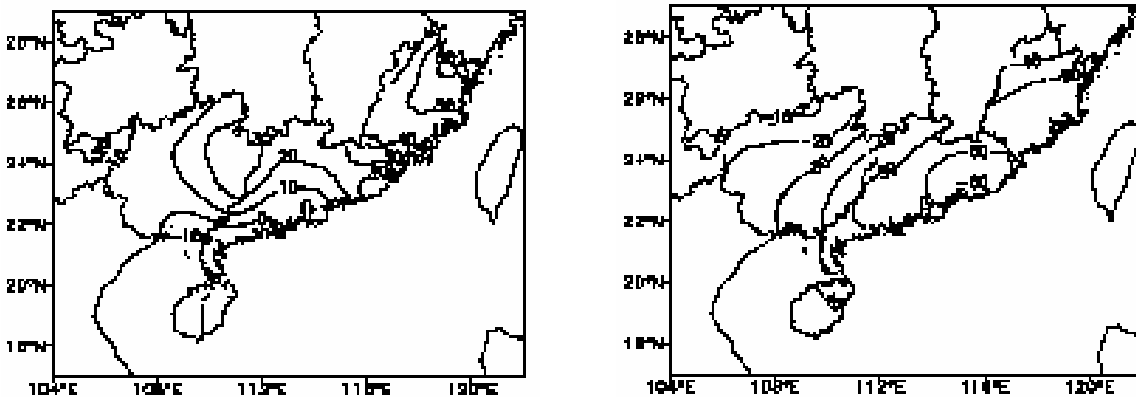
圖十六 澳門 21 世紀的年均地面氣溫推算。來源：鄧耀民(2008b)



圖十七 香港 20 及 21 世紀的年均地面氣溫距平 (相對於 1980-1999 年平均)。來源：Leung *et al* (2007)

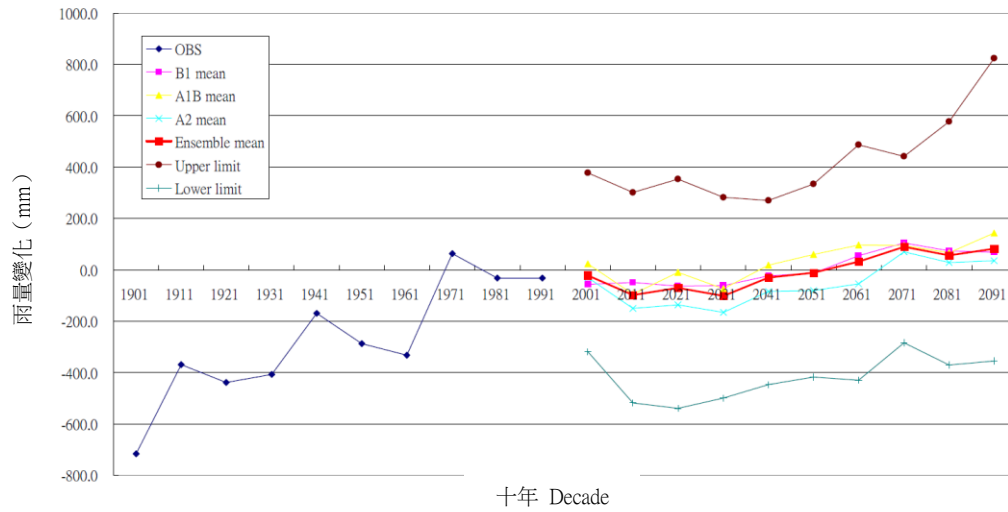
(a)

(b)

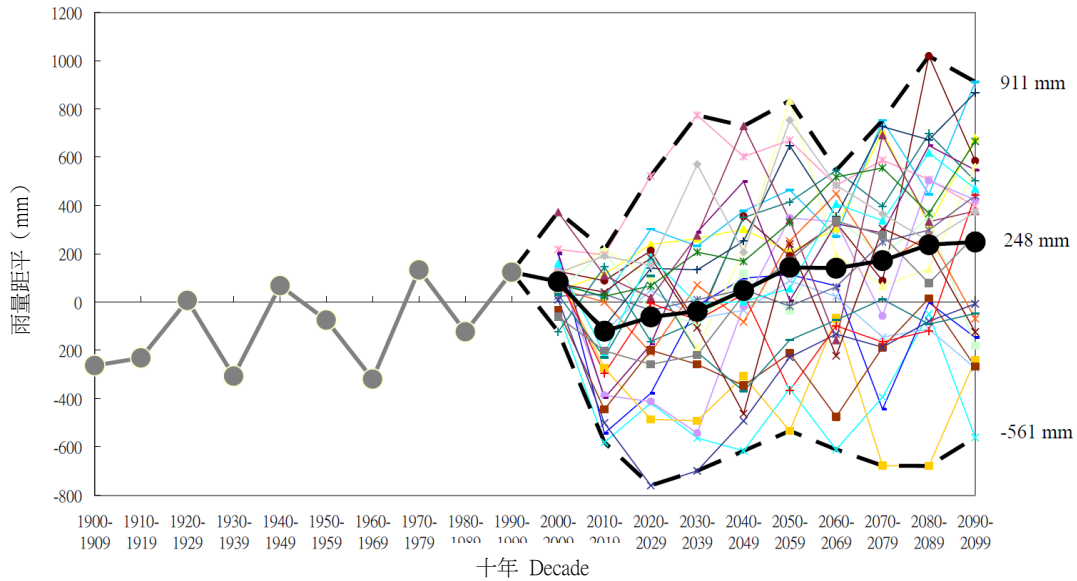


圖十八 華南地區 2071-2100 年(a)夏季和(b)冬季的降水量變化(%);相對於 1961-1990 年平均。來源：黃曉瑩等(2008)

澳門的年雨量變化推算 (相對於 1971-2000 年平均)



圖十九 澳門 21 世紀的年降雨(mm)推算。來源: 鄧耀民(2008b)



圖二十 香港 21 世紀的年降水(mm)推算。來源: Lee *et al* (2008)