

Reprint 1062

香港及華南地區極端天氣事件回歸期在 21 世紀的變化

陳浩新 & 唐恒偉

第二十七屆粵港澳氣象科技研討會

廣東韶關，2013 年 1 月 9-10 日

# 香港及华南地区极端天气事件回归期在 21 世纪的变化

陈浩新 唐恒伟

香港天文台

## 摘要

气候变化不仅影响气候要素的平均值，同时亦会改变极端天气事件出现的概率。本文利用 11 个 IPCC AR4 气候模式的直接输出及经统计降尺度方法得出的逐日数据，透过广义极端值分布 (Generalized extreme value distribution) 的分析方法，探讨香港及华南地区极端高温和极端降水事件的回归期从 20 世纪末到 21 世纪末的变化。研究结果显示香港及华南地区的极端天气事件回归期的变化基本一致，极端天气事件将会越趋频繁：香港在 20 世纪末「20 年一遇」的极端日高温天气事件会在 21 世纪末变为每年一遇；而在 20 世纪末「20 年一遇」的极端日降水事件会在 21 世纪末变为约「7 年一遇」。

## 1. 引言

气候变化不仅改变气候要素的平均值，也同时改变了气候要素的分布，从而影响极端天气事件出现的概率。很多研究已经指出，在全球变暖的背景下，极端高温出现的机会会增加 (Hansen et al, 2012)。香港和华南地区亦不例外，Wong et al (2010) 指出香港的酷热天气(日最高气温 $\geq 33^{\circ}\text{C}$ )日数在 1885-2008 年期间有明显上升趋势，华南地区亦有同样趋势 (广东气候评估报告(节选)2007)。至于极端降水方面，香港每小时、两小时和三小时的极端降雨次数在过去一世纪均呈显著上升的趋势(Wong et al, 2010)。在广东省，降水强度在 40 毫米/小时以上的平均出现次数由 60 年代每年 1.3 次增加到目前约 1.8 次(广东气候评估报告(节选)2007)。展望未来，政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 在 2012 年发表的特别报告 (IPCC, 2012) 指出 21 世纪东亚和东南亚地区的极端高温和极端降水事件可能会越趋频密。

未来极端天气事件出现频率的客观推算对决策者尤为重要，相关资料可用于拟定气候变化的应对措施及长远规划，因此有必要对香港和华南地区 21 世纪极端天气事件出现的频率作更深入的探讨。本文尝试利用广义极端值 (GEV) 分布的分析方法，结合 IPCC 第四份评估报告 (AR4) 中所用模式的逐日数据，探讨香港及华南地区 20 世纪末时「20 年一遇」的极端高温和极端降水事件，其回归期在 21 世纪的变化。本文第二节会简介研究中所利用的数据；第三节讨论分析方法；第四节是分析结果；最后是结语。

## 2. 数据

本文采用了 PCMDI (Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison) 网站上提供的 11 个 IPCC AR4 全球气候模式 20 世纪模拟及在 A1B、A2 及 B1 排放情景下 2046-2065 年 (21 世纪中) 和 2081-2100 年 (21 世纪末) 的逐日数据 (表一)。

全球模式的分辨率并不高，推算一个站点 (如香港) 的未来气候需要进行降尺度处理。Lee et al (2011a) 和 Lee et al (2011b) 利用 1971-2000 年 (20 世纪末) 期间华南及其上空的气象要素的平均，与香港天文台同期的每日最高温度和降水建立多元线性回归方程，再利用 AR4 气候模式在 A1B、A2 及 B1 排放情景下 21 世纪中和世纪末的逐日数据，以统计降尺度方法推算香港未来的气候。本文会沿用 Lee et al (2011a) 和 Lee et al (2011b) 经统计降尺度方法所得的 20 世纪末、21 世纪中及 21 世纪末香港逐日高温和降水数据进行分析。

至于华南地区（北纬 20-25 度，东经 105-117.5 度），由于所能掌握的历史数据有限，本文未有进行降尺度处理，只能以模式的直接输出作初步分析。由于模式的分辨率各有不同，为方便比较，所有模式的直接输出都统一插值到 2.5 x 2.5 度的网格点上，共有 11 个陆地网格点位于华南（图一）。

为评估统计降尺度方法和气候模式模拟极端天气事件的能力，本文利用香港天文台实况观测及 NCEP 20 世纪再分析数据（NCEP 20CR; Campo et al., 2011）的逐日最高气温和降水数据计算出在 20 世纪末香港及华南各个网格点的「20 年一遇」回归值，跟利用统计降尺度数据和模式直接输出计算所得的回归值作比较。

### 3. 方法

广义极端值(GEV)分布是分析极端天气事件回归期/值的常用技巧。按 GEV 分布理论，某气象要素的最大值  $X$ （例如年最高日高温）的概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \left[ 1 + \frac{\kappa(x-\zeta)}{\beta} \right]^{-1/\kappa} \exp \left\{ - \left[ 1 + \frac{\kappa(x-\zeta)}{\beta} \right]^{-1/\kappa} \right\}, \quad 1 + \kappa(x-\zeta)/\beta > 0$$

函数式中有三个参数决定分布的形状，分别是位置  $\beta$ ，规模  $\kappa$  和尾端厚度  $\zeta$ 。累积分布函数可以以积分求得：

$$F(x) = \Pr(X \leq x) = \exp \left\{ - \left[ 1 + \frac{\kappa(x-\zeta)}{\beta} \right]^{-1/\kappa} \right\}, \quad 1 + \kappa(x-\zeta)/\beta > 0$$

极端事件  $X > x$  出现的概率为  $1 - F(x)$ ，其回归期可以从以下公式求得：

$$R(x) = \frac{1}{\omega[1 - F(x)]}$$

其中  $\omega$  为平均样本取样频率，在此研究中为  $1\text{yr}^{-1}$ 。若设出现机会少于 5% 的事件为极端事件，其回归期为 20 年。

以 GEV 分布去拟合观测需要找出三个参数的最佳值，一般而言有两个方法，一是极大似然法，二是 L-moments (Wilks, 2006)。在样本比较小的情况下，用 L-moments 去拟合观测较为合适 (Wilks, 2006)，所以本文会一致采用 L-moments 进行拟合。

我们把 20 世纪末、21 世纪中及 21 世纪末的数据各自拟合找出其极

端值分布，从 20 世纪末的极端值分布中算出「20 年一遇」的回归值，然后检视这回归值在 21 世纪中、世纪末的极端值分布中相对应的回归期。

## 4. 结果

### 4.1 香港的情况

图二显示香港在 20 世纪末实况及统计降尺度数据的「20 年一遇」极端日高温回归值（利用 GEV 分布拟合所得），可见大部分统计降尺度结果跟实况相差不远。图三以盒须图形式综合显示这些回归值在 21 世纪中及世纪末 A1B、A2、B1 排放情景下相对应的回归期。图中黄/蓝色盒包含了各模式三个排放情景的回归期推算中第 25 至 75 百分位的成员，上下黑色棒的尽头分别是最大和最小值。由黄/蓝色盒子的大小可以评估推算的不确定性，盒子中间的红线是中位数。从图三可见，所有模式预测极端日高温的回归期在 21 世纪中、世纪末都会缩短。若以模式的中位数作参考的话，20 世纪末属「20 年一遇」的极端日高温事件在 21 世纪中变为约「两年一遇」，到 21 世纪末更成为每年一遇。

图四显示香港在 20 世纪末实况及统计降尺度数据的「20 年一遇」极端日降水回归值，图中可见实况与个别统计降尺度结果存在颇大差异，某程度上反映一般模式对降水的模拟仍有改善空间。跟上述盒须图的表达形式一样，图五综合显示这些极端日降水回归值在 21 世纪中及世纪末 A1B、A2、B1 排放情景下相对应的回归期。模式预测回归期的变化方向并不完全一致，部份模式预测回归期在 21 世纪中和世纪末会变长，表示极端降水事件会越来越罕见，但整体而言，有超过一半的模式预测回归期会缩短，即极端降水会越来越常见。另外，与极端日高温相比，模式对极端日降水回归期推算的不确定性明显较大。若以模式的中位数作参考的话，20 世纪末属「20 年一遇」的极端日降水事件会在 21 世纪中变成约「12 年一遇」，到 21 世纪末变为约「7 年一遇」。

### 4.2 华南的情况

图六显示各模式模拟华南各网格点 20 世纪末「20 年一遇」极端日高温回归值，同时也显示 NCEP 20 世纪再分析数据同期的「20 年一遇」极端日高温回归值以作比较。个别模式（例如 CGCM31\_T63）在部分网格点的回归值明显偏高，但整体而言，大部份模式的模拟结果尚算合理。图七综合显示三个排放情景下华南各网格点极端日高温事件的回归期在 21 世纪中和世纪末时的变化，所有网格点都呈现回归期缩短的趋势。假如综合各网

格点作为华南整体趋势的考虑，图十显示华南地区 20 世纪末「20 年一遇」的极端日高温事件到 21 世纪中会变成约「3 年一遇」，到 21 世纪末更接近每年一遇。

图八显示华南各网格点上 NCEP 20CR 数据与各模式模拟的 20 世纪末「20 年一遇」极端日降水回归值，部分模式(例如 GISS\_AOM 和 IAP\_FGOALS)模拟的数值明显偏低。此外，无论是 NCEP 20CR 数据或是各模式的模拟结果，其「20 年一遇」回归值都远低于香港的实况数值(图四的灰色棒)。因为 NCEP 20CR 数据和模式的模拟雨量都是网格平均，所以不宜与香港的站点观测作直接比较(Gober et al, 2008)。图九综合显示三个排放情景下华南各网格点极端日降水事件的回归期在 21 世纪中和世纪末时的变化。除珠江口附近的三个网格点外，其他网格点在 21 世纪中已呈现回归期缩短的趋势；在 21 世纪末，各网格点极端日降水事件的回归期均较 20 世纪末短。综合各网格点作为华南整体趋势的考虑，图十一显示华南地区极端日降水事件的回归期会在 21 世纪呈缩短趋势，20 世纪末「20 年一遇」的事件到 21 世纪末会变成约「8 年一遇」。

## 5. 结语

本文检视了香港及华南地区的极端日高温和极端日降水事件的回归期在 21 世纪的可能变化。研究发现香港 20 世纪末「20 年一遇」极端日高温事件在 21 世纪中可能变成「两年一遇」，而到 21 世纪末时更可能变成每年一遇。至于极端日降水方面，其回归期从 20 世纪末的 20 年缩短至 21 世纪中的约 12 年，然后到世纪末约 7 年。华南的极端日高温事件回归期也有类似香港的缩短趋势，但极端日降水事件的回归期变化可能存在一些地区性的差异。由于模式对降水的模拟能力仍然有限，日后有需要降尺度处理再作分析。随着模式的分辨率逐步提高，以及模拟物理过程的改善，模式对极端天气事件的模拟能力理应逐步提升。未来我们会尝试以 IPCC AR5 的气候模式逐日数据作基础，透过统计降尺度手段，对香港及华南地区极端天气事件回归期的变化再作评估。

## 鸣谢

感谢各模式组提供模式结果，气候模式分析及比较计划 (PCMDI) 和世界气候研究计划 (WCRP) 的耦合模式工作小组 (WGCM) 在 CMIP3 中的贡献，美国能源部科学办公室对各模式数据储存的支持及美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 提供 NCEP 20CR 数据。

## 参考

Hansen, J., M. Sato and R. Ruedy, 2012: Perception of climate Change. Proc. Natl. Acad. Sci., USA 109(37) 14726-14727

Wong M. C., H. Y. Mok and 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.

广东省气候变化评估报告编制课题组, 2007: 广东气候变化评估报告(节选), 广东气象, 29(3), 1-7。

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor, and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

Lee, T. C., K. Y., Chan and W. L. Ginn, 2011a: Projection of extreme temperatures in Hong Kong in the 21<sup>st</sup> century. Acta Meteor. Sinica, 25(1), 1 - 20

Lee, T. C., K. Y., Chan, H. S., Chan and M. H. Kok, 2011b: Projections of extreme rainfall in Hong Kong in the 21<sup>st</sup> century. Acta Meteor. Sinica, 25(6), 691-709

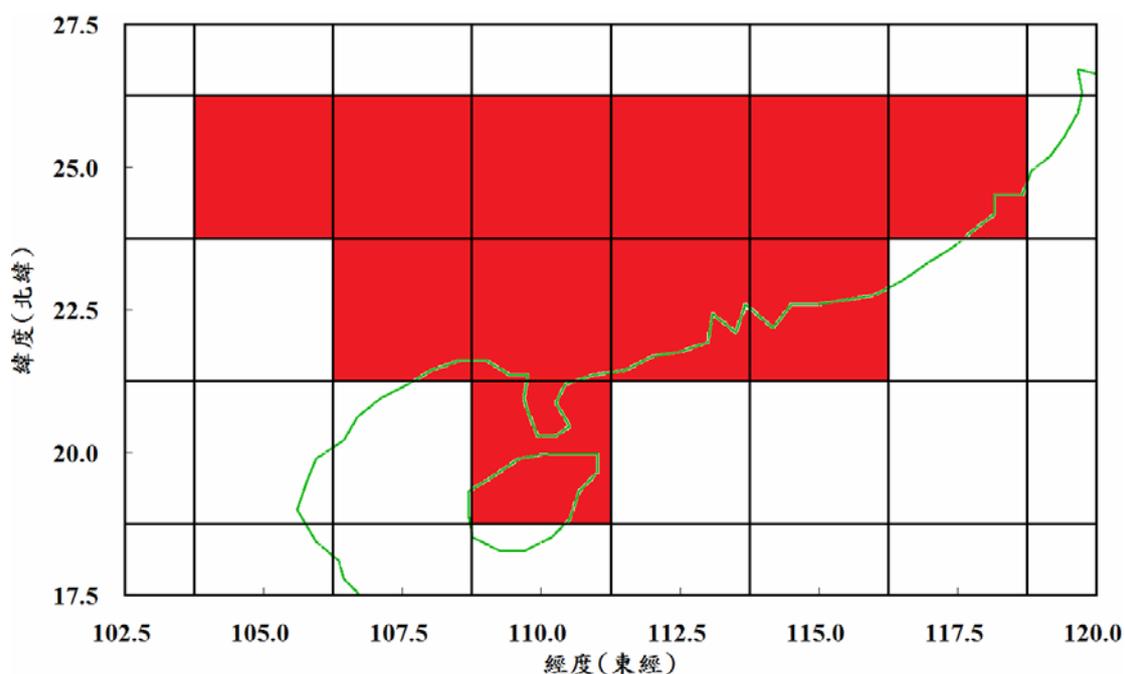
Campo et al, 2011: The Twentieth Century Reanalysis Project. Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc., 137, 1-28. DOI: 10.1002/qj.776.

Wilks, D. S., 2006: Statistical methods in the atmospheric sciences. 2<sup>nd</sup> Edition. Academic Press, USA.

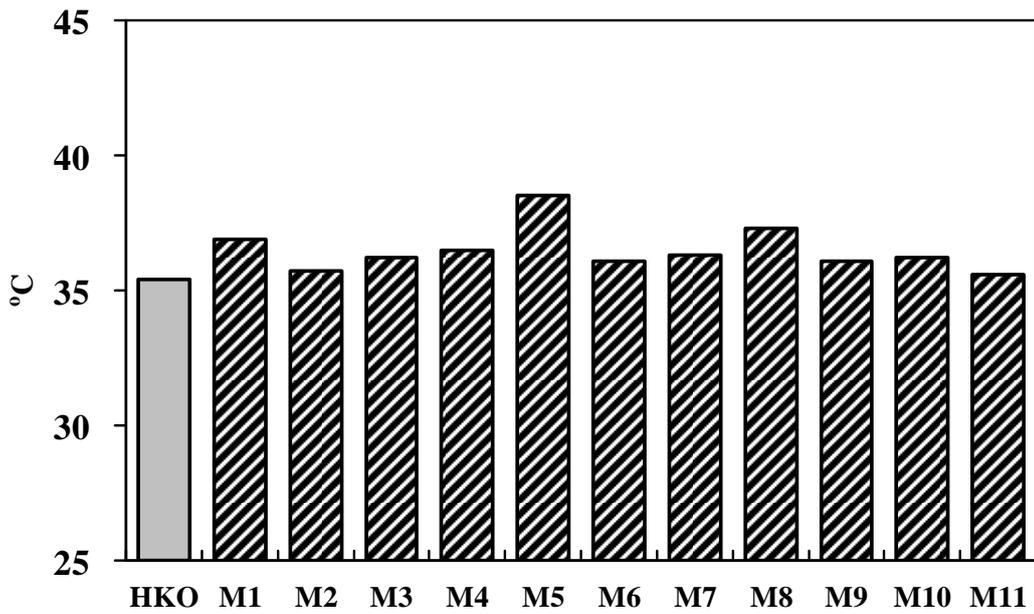
Gober, G, E. Zsoter, D. S. Richardson, 2008: Could a perfect model ever satisfy a naïve forecaster? On grid box mean versus point verification. Meteorol. Appl., 15, 359-365

表一 本文采用的模式和排放情景模拟  
 (√表示本文采用的模式数据； NA表示PCMDI网站没有提供)

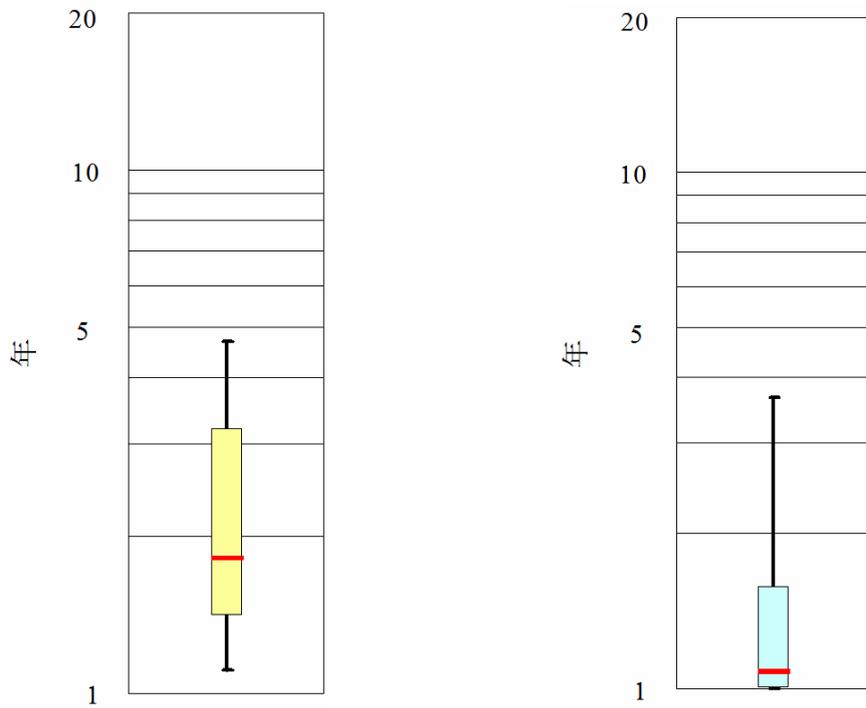
模式	本文简称	20世纪模拟	A1B	A2	B1
CGCM31_T63	M1	√	√	NA	√
CNRM_CM3	M2	√	√	√	√
CSIROMk35	M3	√	√	√	NA
GFDL_CM21	M4	√	√	√	√
GISS_AOM	M5	√	√	NA	√
IAP_FGOALS	M6	√	√	NA	√
INGV_ECHAM4	M7	√	√	√	NA
IPSL_CM4	M8	√	√	√	NA
MIROC3_2_HIRES	M9	√	√	NA	√
MIUB_ECHO_G	M10	√	√	√	√
MPI_ECHAM5	M11	√	√	√	√



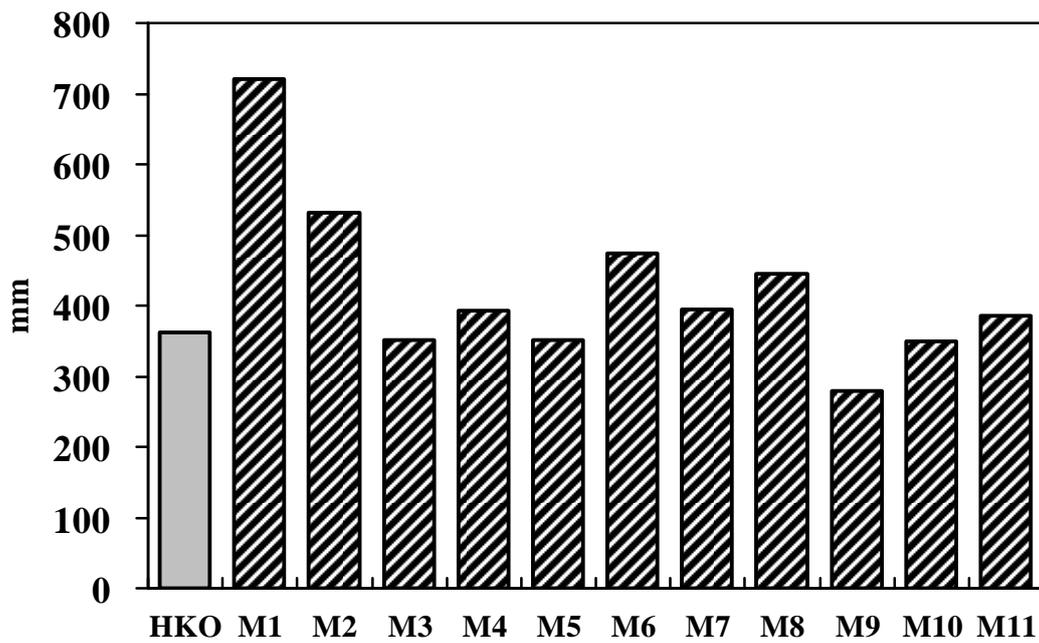
图一 模式经插值后的华南陆地网格(红色格)



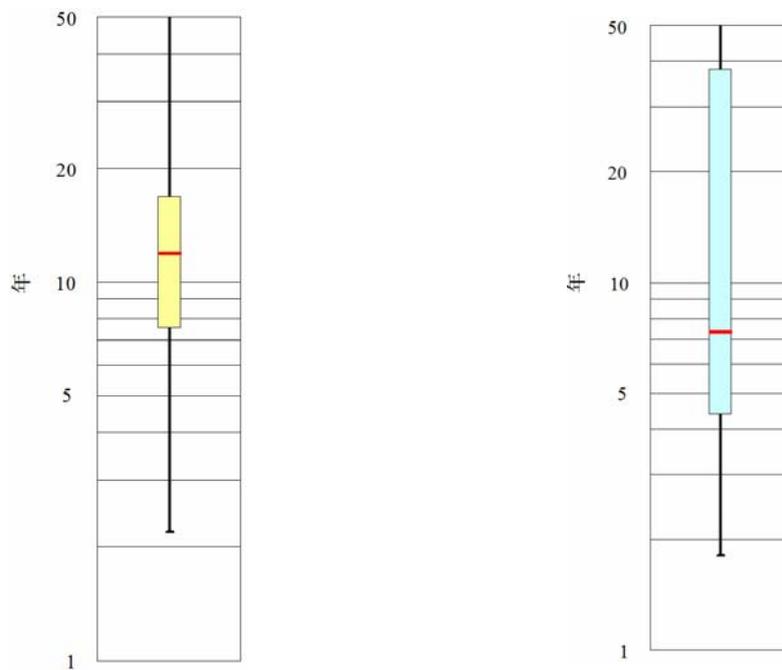
图二 香港在 20 世纪末「20 年一遇」极端日高温回归值：灰色棒为实况，斜纹棒为统计降尺度结果，单位为摄氏度



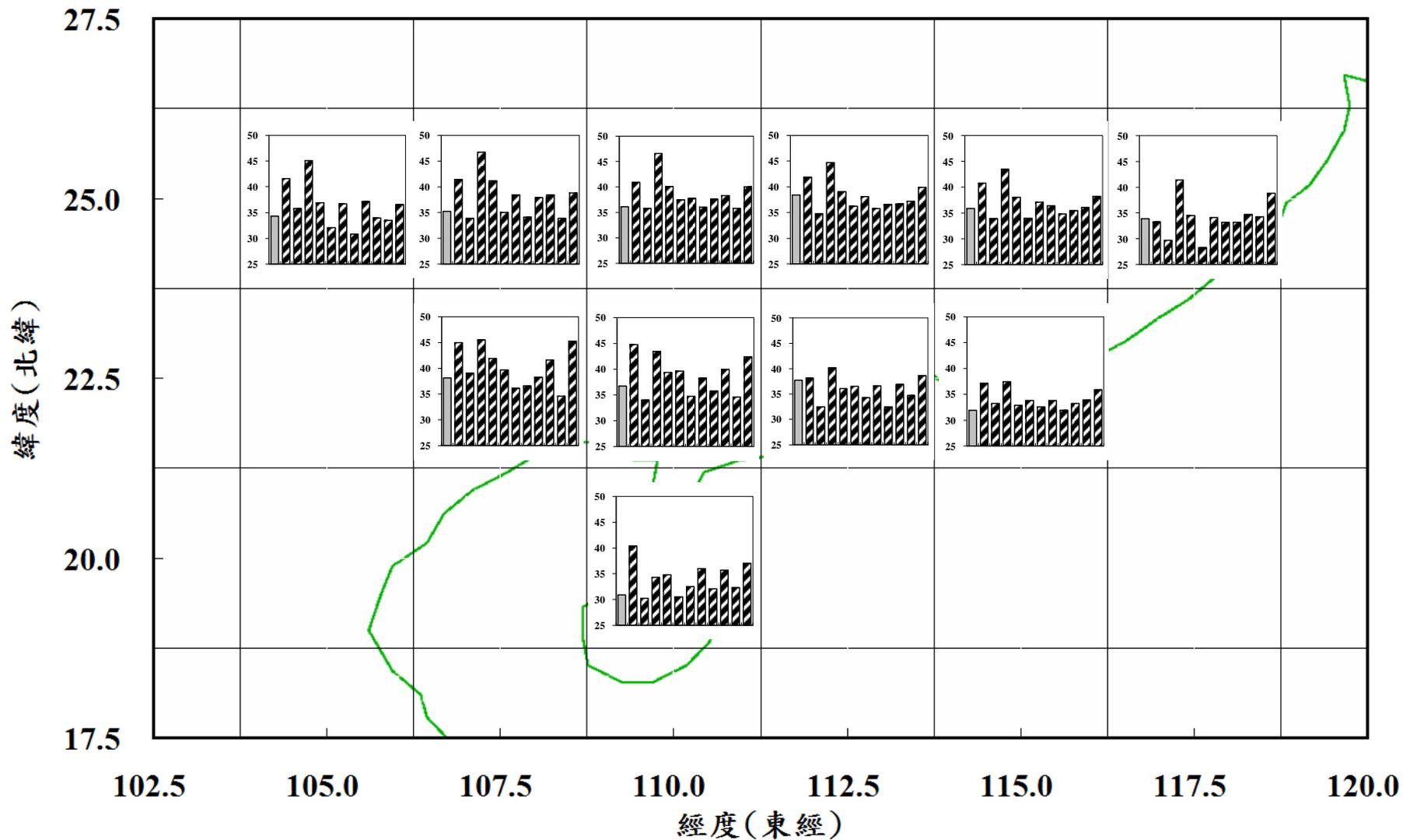
图三 在 A1B、A2 和 B1 排放情景下，香港 20 世纪末「20 年一遇」的极端日高温事件 21 世纪中（左）和 21 世纪末（右）的回归期变化，单位为年



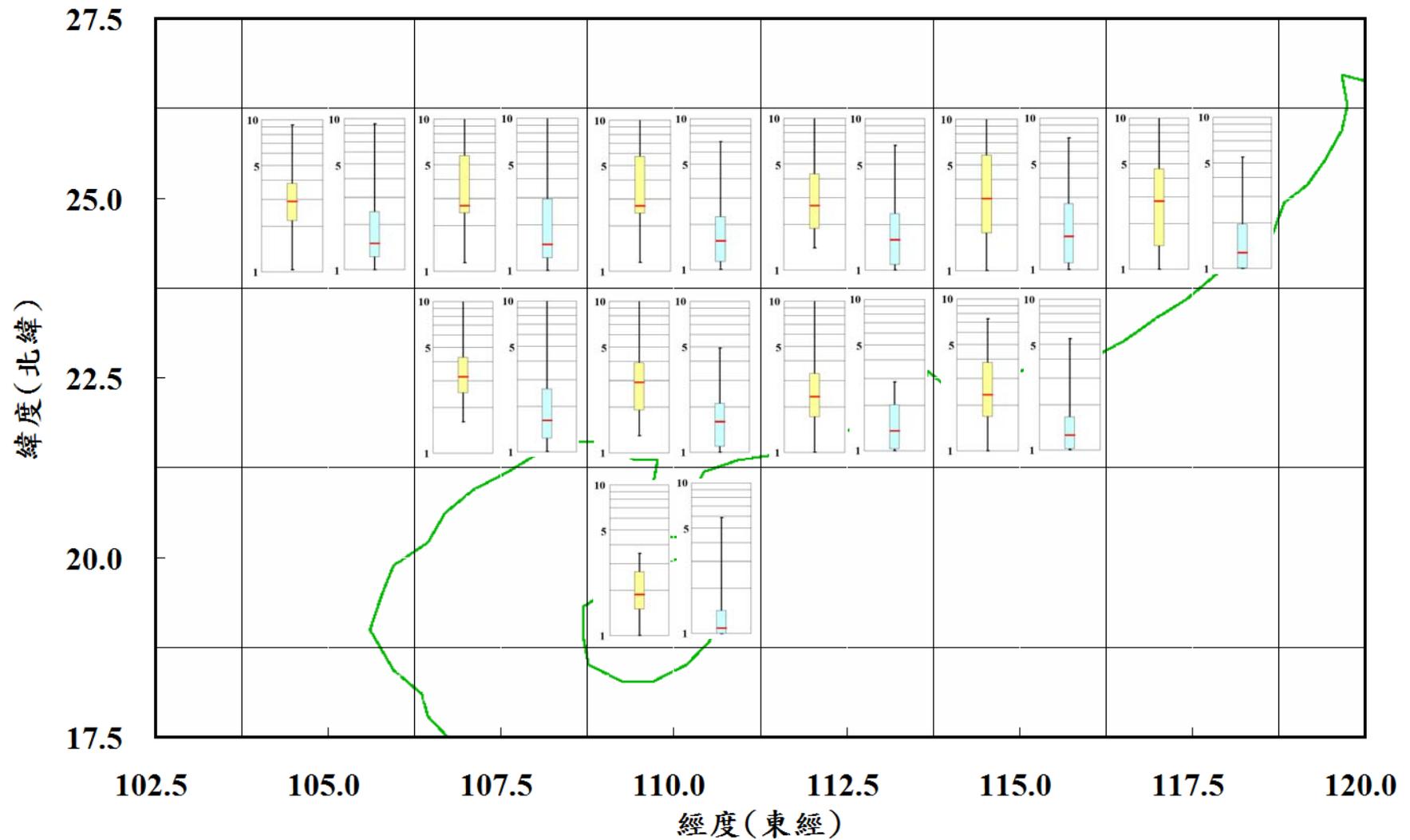
图四 香港在 20 世纪末「20 年一遇」极端日降水回归值：灰色棒为实况，斜纹棒为统计降尺度结果，单位为毫米



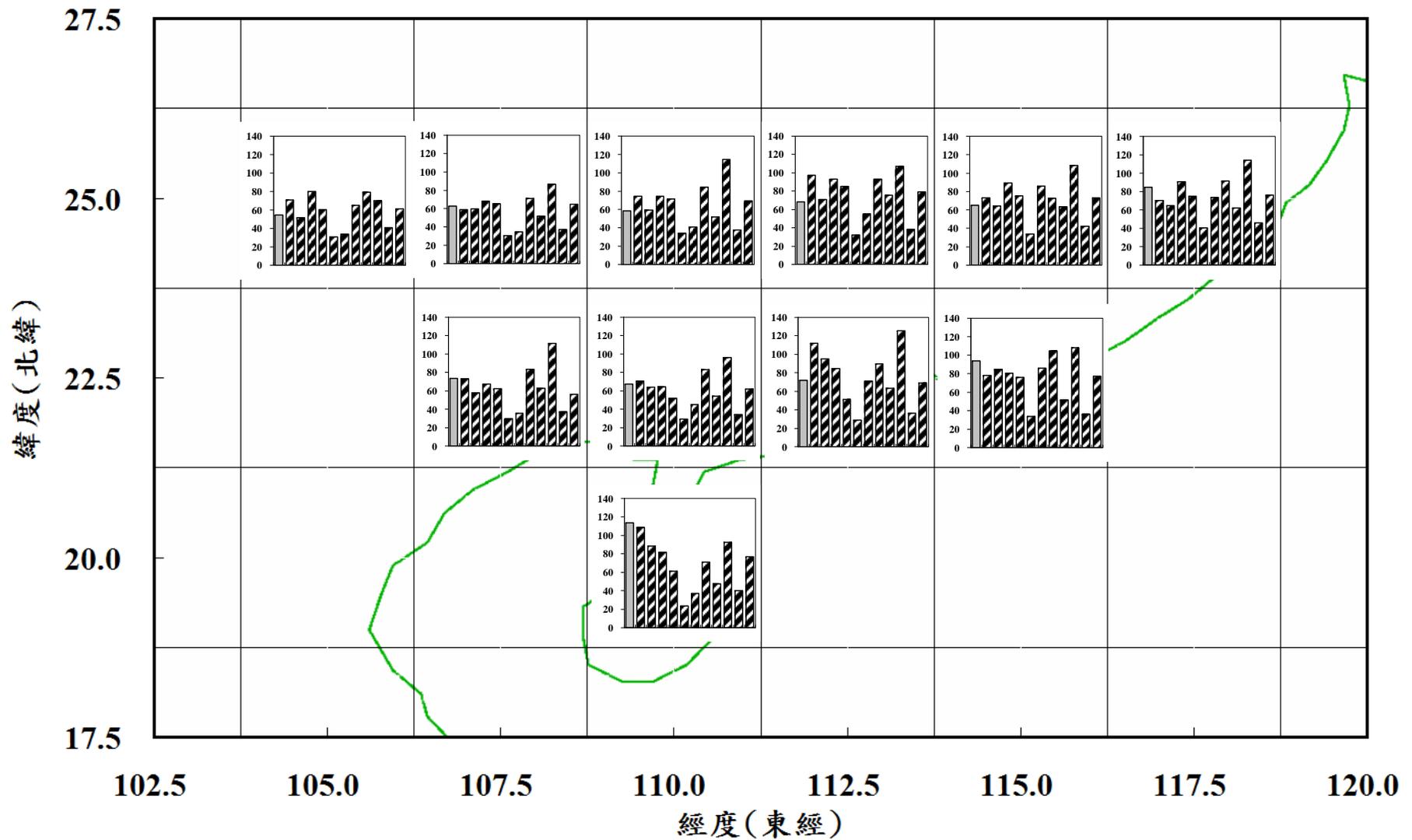
图五 在 A1B、A2 和 B1 排放情景下，香港 20 世纪末「20 年一遇」的极端日降水事件在 21 世纪中（左）和 21 世纪末（右）的回归期变化，单位为年



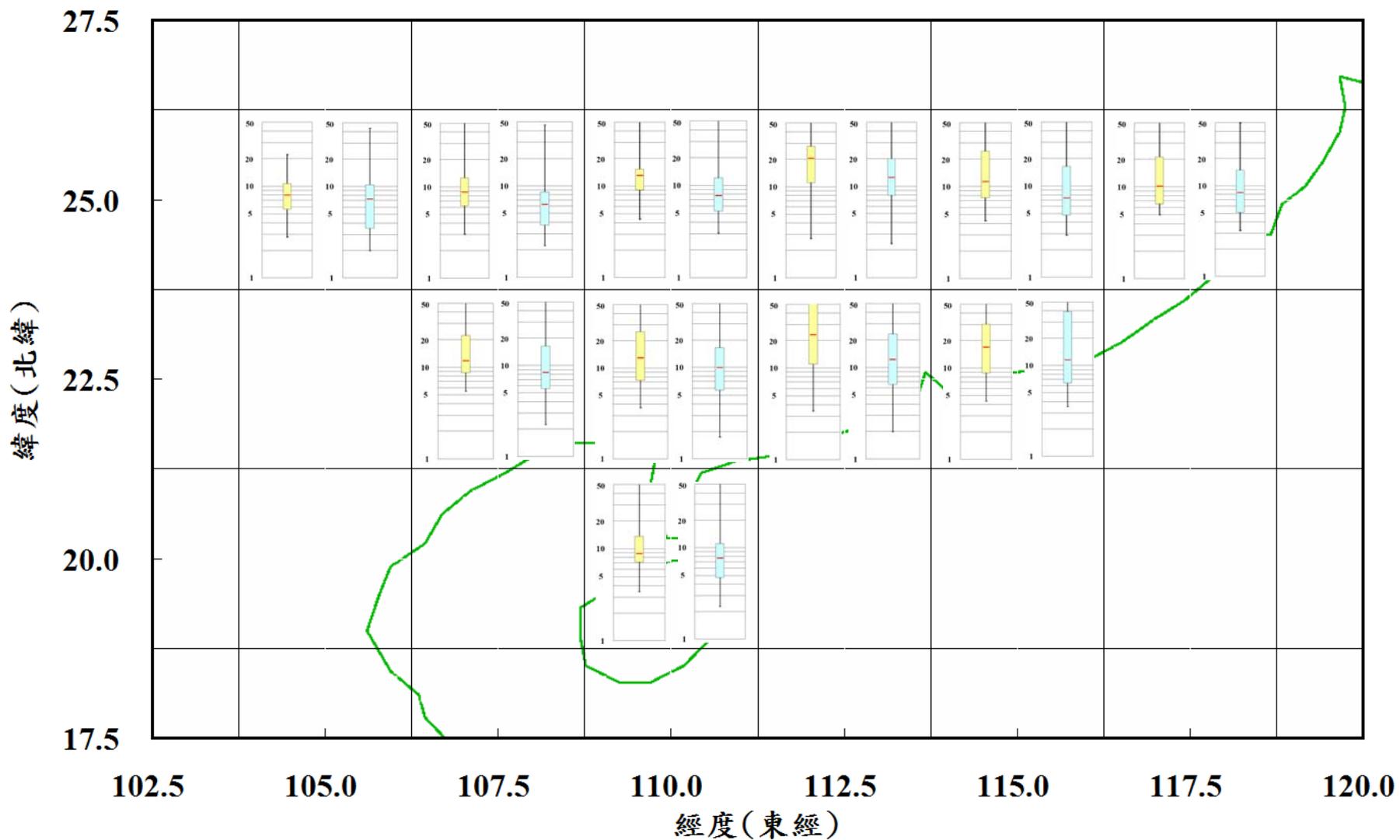
图六 华南各网格点在 20 世纪末「20 年一遇」极端日高温回归值：灰色棒为 NCEP 20CR 数据，斜纹棒为模式数据(M1 至 M11 由左至右顺序排列)



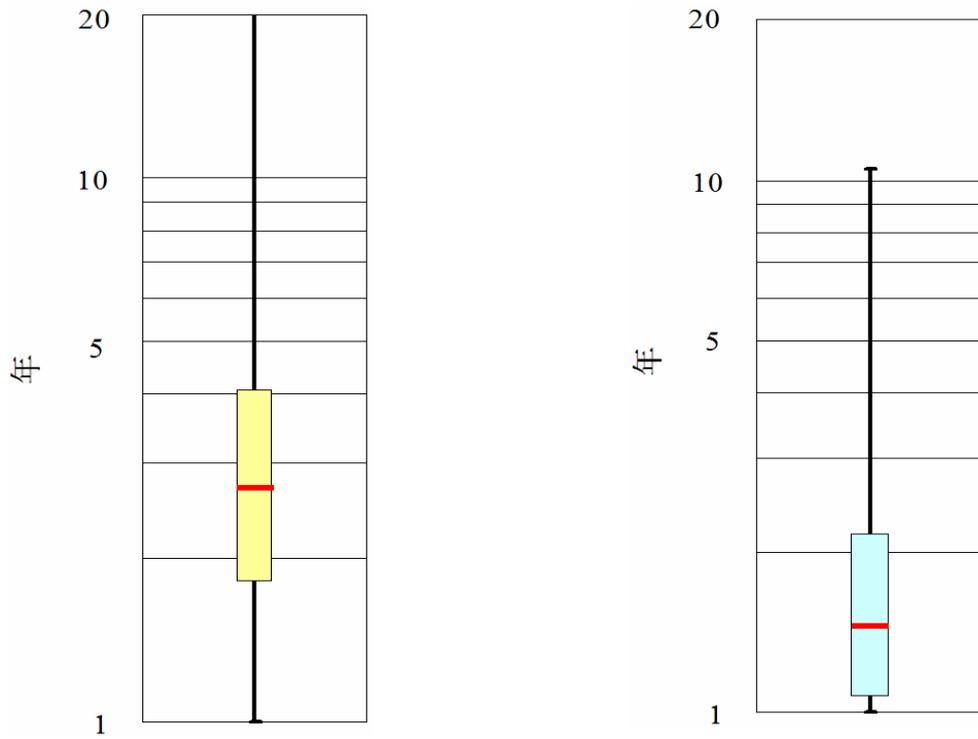
图七 在A1B、A2和B1排放情景下，各网格点在20世纪末「20年一遇」极端日高温事件在21世纪中（黄色盒须图）和21世纪末（蓝色盒须图）的回归期变化，单位为年



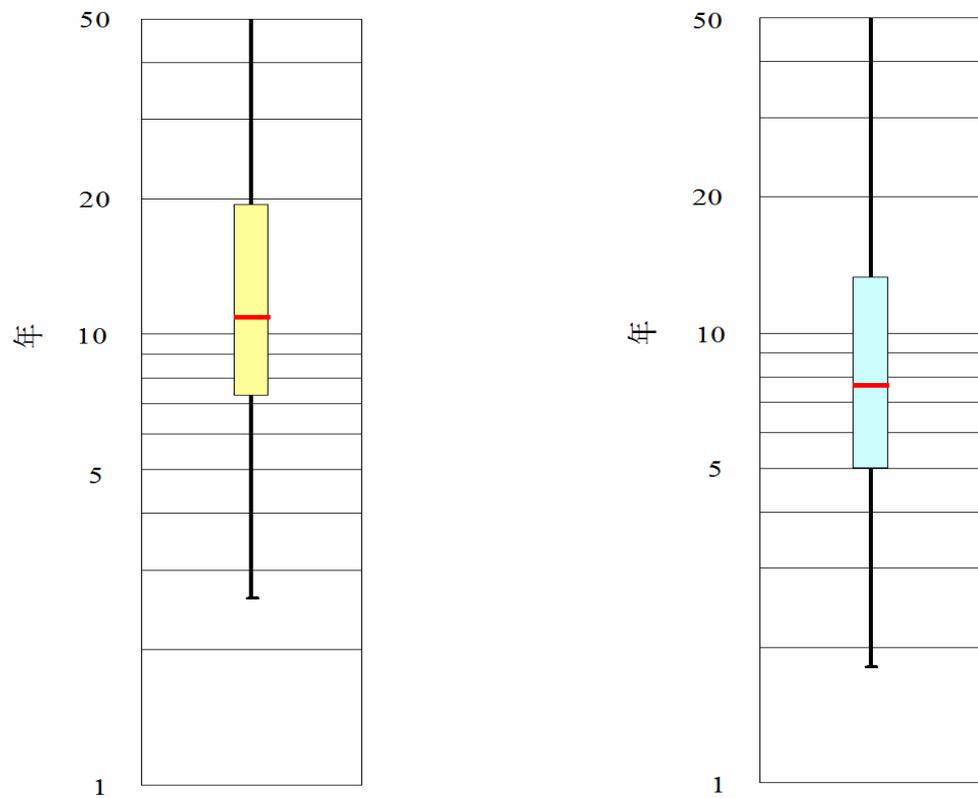
图八华南各网格点在 20 世纪末「20 年一遇」极端日降水回归值：灰色棒为 NCEP 20CR 数据，斜纹棒为模式数据(M1 至 M11 由左至右顺序排列)



图九 在A1B、A2和B1排放情景下，各网格点在20世纪末「20年一遇」极端日降水事件在21世纪中（黄色盒须图）和21世纪末（蓝色盒须图）的回归期变化，单位为年



图十 在 A1B、A2 和 B1 排放情景下，华南地区 20 世纪末「20 年一遇」的极端日高温事件在 21 世纪中（左）和 21 世纪末（右）的回归期变化，单位为年



图十一 在 A1B、A2 和 B1 排放情景下，华南地区 20 世纪末「20 年一遇」的极端日降水事件在 21 世纪中（左）和 21 世纪末（右）的回归期变化，单位为年