



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 1202

比较动力降尺度和统计降尺度方法在 21 世纪
广东地区的气候推算

张敏思、唐恒伟、李细明 & 杜尧东*

粤港应对气候变化联络协调小组

适应气候变化专责工作小组 2014-2015 年合作项目

* 广东省气象局

粤港应对气候变化联络协调小组 适应气候变化专责工作小组 2014-2015 年合作项目

比较动力降尺度和统计降尺度方法在 21 世纪广东地区的气候推算

张敏思¹ 唐恒伟¹ 李细明¹ 杜尧东²

1. 前言

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告 (IPCC, 2013, 简称 IPCC AR5) 再次确认气候系统变暖是无庸置疑的, 而人类的影响极有可能是二十世纪中期以来所观察到的暖化的重要原因。全球变暖亦会加剧水循环, 某些地区的年雨量有所增加, 但部分地区则经历了越来越长和越来越强的干旱。IPCC AR5 开发了一套代表性浓度路径情景 (Representative Concentration Pathways, 简称 RCP)。不同于以前以减排为主要考虑变量的情景, RCP 是根据大气辐射强度来设定情景, 这也是从比较科学的角度出发并着眼于适应的策略。因应最新的模式数据和温室气体浓度情景, 粤、港、澳地区的气候推算需要作出更新, 以支持适应气候变化的相关工作 (如水资源的规划)。

由于全球气候模式的水平分辨率一般比较粗疏, 大概只有 200×200 公里, 推算小范围 (例如广东地区) 的未来气候变化往往需要进行降尺度处理。降尺度方法主要有两种: 动力降尺度和统计降尺度。动力降尺度是利用全球气候模式的输出作为边界条件, 驱动一个水平分辨率较高的区域动力气候模式, 以达到降尺度的目的。统计降尺度则利用大范围的预报因子与预报量建立统计关系, 从而推算未来气候变化, 其好处是需要的计算机资源较少, 而且表现并不比动力降尺度方法差。

广东省气象局与香港天文台分别采用动力降尺度方法和统计降尺度方法来推算未来气候变化, 本文会比较这两种方法在广东地区多个站点的雨量和标准降水指数 (Standardized Precipitation Index, 简称 SPI) 方面的推算。SPI 是世界气象组织建议用来监测干旱的指数³, 可以应用于不同的时间尺度 (例如 3、6、12 和 24 个月)。举例来说, SPI-3 考虑三个月的雨量状况, 三个月的雨量异常一般只影响土壤含水量或农作物收成; SPI-24 则描述持续两年的雨量状况, 时间相对较长的旱情可能导致地下水、河川流量和水塘蓄水量不足等情况, 对长远水资源的影响尤为关键。SPI-24 指数以月雨量计算, 计算方法可参考 McKee et al.(1993)。干旱程度根据 SPI-24 值来划分等级 (表一), SPI-24 负值愈大表示干旱愈严重。本文将集中比较两种降尺度方法在推算 $SPI-24 \leq -2$ (极端干旱) 和 $SPI-24 \geq 2$ (极端湿润) 的出现概率的结果。

¹ 香港天文台

² 广东省气象局

³ Standardized Precipitation Index User Guide, WMO-No. 1090

2. 数据和方法

IPCC AR5 采用的四个温室气体浓度情景为 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5，分别对应低、中低、中高及高浓度情景。广东省气象局提供了 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下以全球气候模式 BCC-CSM-1-1 驱动区域气候模式 RegCM4 在 1980-1999 年的历史降雨模拟数据和推算 2006-2100 年的结果 (Guo et al., 2013)。RegCM4 的水平分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ，模式输出经双线性插值到香港、澳门、广州、河源、汕头和汕尾。由于 RegCM4 在历史模拟时段 (1980-1999 年) 的年均雨量与实况观测有较大偏差 (表二)，所以 RegCM4 的月雨量推算都需要先去除偏差然后才可作比较，偏差修正方法如下：

$$\text{修正后月雨量推算} = \text{模式月雨量推算} \times \frac{\text{该月份在历史模拟时段的平均实况雨量}}{\text{该月份在历史模拟时段的平均模拟雨量}}$$

在统计降尺度方面，天文台利用 1961-1990 年香港、澳门、广州、河源、汕头和汕尾六个站的实测雨量结合 NCEP 20 世纪再分析数据中一些气象参数 (如平均海平面气压) 的大范围平均值作为预报因子，建立多元线性回归方程，然后利用这些回归方程和 IPCC 25 个模式 (包括 BCC-CSM-1-1) 的相关参数的输出来进行雨量推算。天文台同时考虑数个预报因子的不同组合，得出共 125 个成员的集合 (ensemble)，并计算其集合平均以评估未来变化，以第五百分位和第九十五百分位之间作为推算的可能范围。详情请参考 Cheung et al. (2015)。

3. 年雨量推算

统计降尺度方法的推算结果显示在 RCP4.5 或 RCP8.5 的情景下，各站点的年代际平均年雨量整体都有上升趋势 (图一、图二)。在 RCP8.5 情景下，2081-2100 年香港、澳门、广州、河源、汕头和汕尾的平均年雨量分别较 1986-2005 年实测平均上升 170、360、100、350、140 和 250 毫米；在 RCP4.5 情景下的升幅较小。此外，从推算的可能范围可见，集合成员之间的差异颇大，尤其是 RCP8.5 情景，这在某程度上反映了推算的不确定性。

至于 RegCM4 的推算结果，各个站点在 21 世纪大部份时段的推算都在统计降尺度方法推算的可能范围之内 (图一、图二)，长期趋势与统计降尺度方法的结果也大致相若，因此可说两种降尺度方法的雨量推算大致吻合。RegCM4 的推算呈现明显的年代际变化，可能是自然变化的一部分 (Ding et al., 2008)，但必须指出 RegCM4 的降雨变化位相不一定反映真实的情况，因为 IPCC 的全球气候模式都没有进行大气和海洋再初始化。此外，统计降尺度方法的集合平均比较平滑，是因为各个集合成员的自然变化互相抵消。

4. SPI-24 指数推算

图三显示广东地区各站在 1963-2005 年期间逐月 SPI-24 指数的时间序列，可见多个站点曾经在 1963 年经历极端干旱，当时香港需要实施制水。我们把 21 世纪余下时间（2015-2100 年）分成两等份，即 2015-2057 年和 2058-2100 年，时间长度与 1963-2005 年相等，从而方便比较 $SPI-24 \leq -2$ （极端干旱）和 $SPI-24 \geq 2$ （极端湿润）的出现概率在不同时段的变化。

统计降尺度方法的推算显示在 RCP4.5 或 RCP8.5 情景下（图四、图五），出现极端湿润的概率在 21 世纪都有上升趋势，概率的上升趋势在 RCP8.5 情景较为明显；动力降尺度方法推算在 RCP4.5 情景下极端湿润出现的概率不变或微升，概率的上升趋势在 RCP8.5 情景较为明显，两种方法的推算结果大致相若。无论在 RCP4.5 或 RCP8.5 情景下，统计降尺度方法推算大部份站点在 21 世纪出现极端干旱的概率不变或上升；然而，动力降尺度方法则倾向推算极端干旱的概率会减少。两种降尺度方法均一致推算澳门在 21 世纪出现极端干旱的概率会减少。

5. 总结和讨论

本文比较了粤、港、澳地区 21 世纪动力降尺度方法和统计降尺度方法的气候推算，结果显示两种降尺度方法在年代际平均年雨量和极端湿润出现概率的推算较为一致，在 21 世纪皆有上升趋势。两种降尺度方法亦一致推算澳门在 21 世纪出现极端干旱的概率会减少，但在其他各站却出现分歧，统计降尺度方法推算极端干旱出现的概率会不变或增加，而动力降尺度方法则推算概率会减少。

由于 RegCM4 只利用了一个全球气候模式作为边界条件，所以本文的结论无可避免有其局限性。缺少了由多个全球气候模式驱动而产生的多个区域气候模式推算结果，两种降尺度方法推算结果的可能范围有多少重叠便无法评估。

此外，本文只考虑了 SPI-24 指数，它的好处是容易计算，缺点是只考虑未来雨量变化的影响。科学文献中有很多不同的干旱指数，部分指数会考虑温度改变对蒸发量的影响，因此以不同的指数来分析和比较可能会得出不同的结论。

参考

Cheung, M. S., H. S. Chan and H. W. Tong, 2015: Rainfall projection for Southern China in the 21st Century using CMIP5 models. *HKO Reprint No. 1165*

Ding, Y., Z. Wang and Y. Sun, 2008: Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: Observed evidences. *Int. J. Climatol.*, **28** 1139-1161.

Gao, S. J., M. L. Wang and F. Giorgi, 2013: Climate change over China in the 21st century as simulated by BCC_CSM1.1-RegCM4.0. *Atmos. Oceanic Sci. Lett.*, **6**, 381-386

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [Stocker, R.F., D. Qin, G. - K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)] *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA*, 1535 pp.

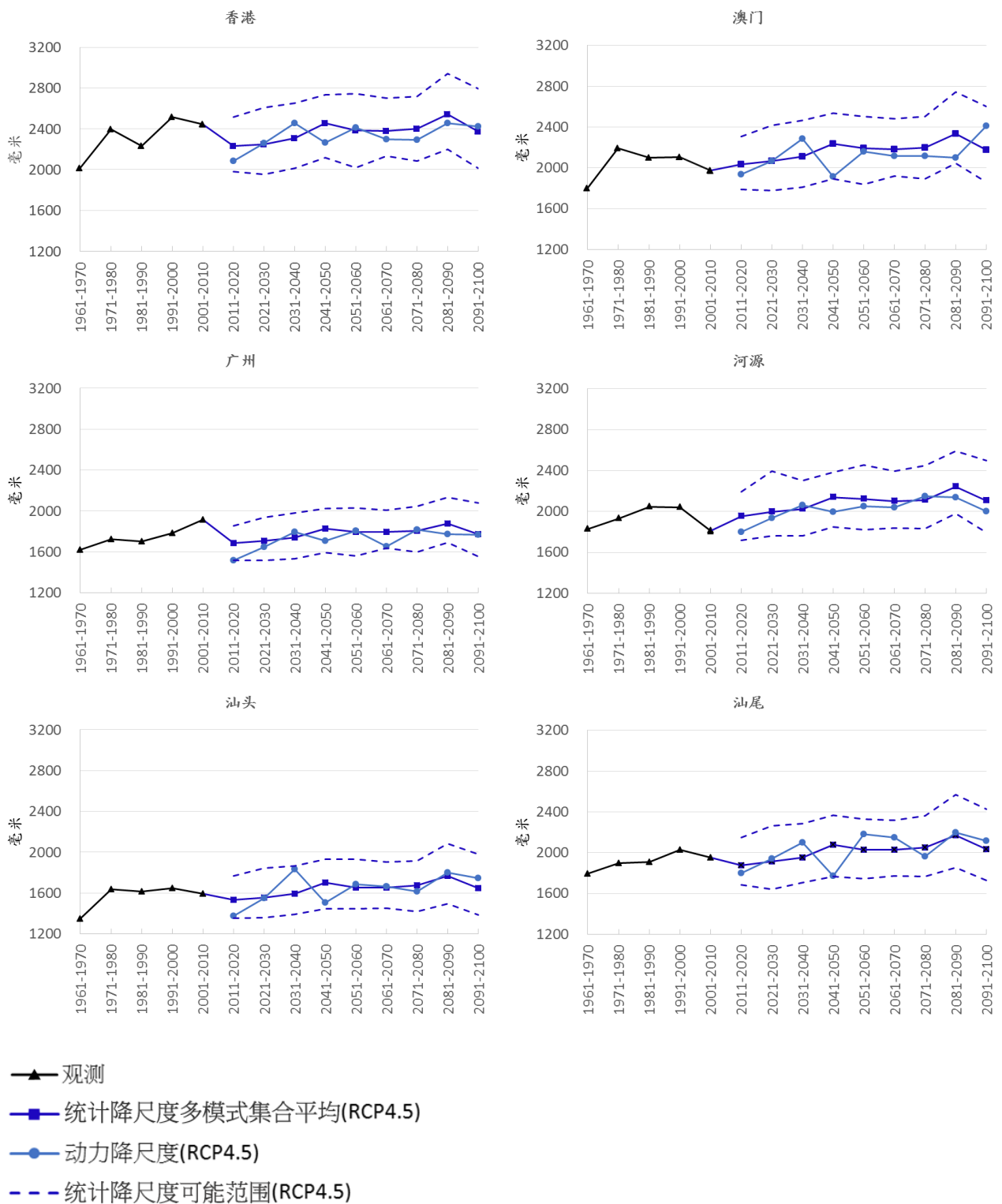
McKee, T. B., N. G. Doesken and J. Kleist, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proc. 8th Conf. on Applied Climatology, January 17-22, 1993, American Meteorological Society, Boston Massachusetts*, pp. 179-184.

表一 SPI-24 指数分级

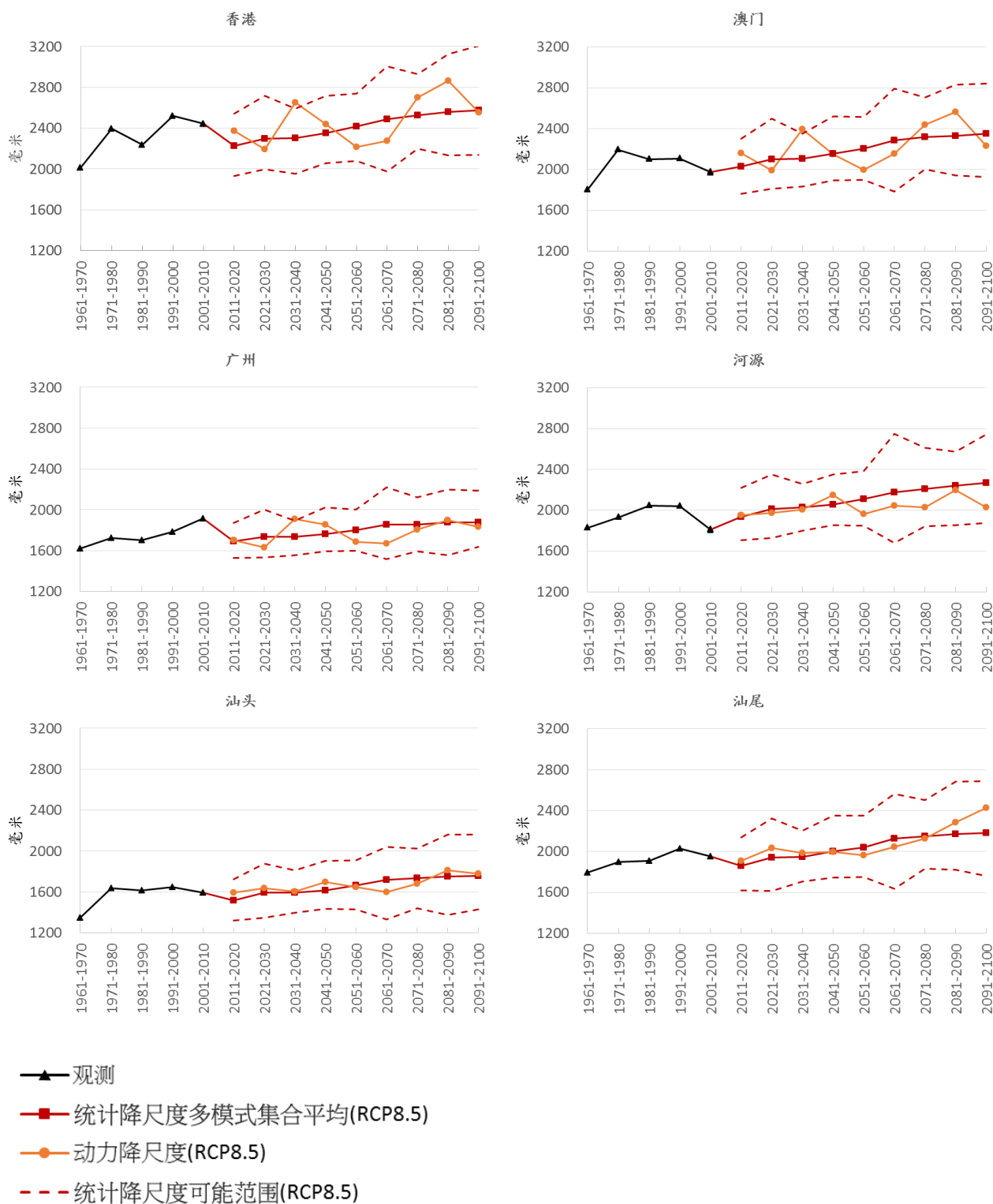
SPI-24 指数	级别
≥ 2.0	极端湿润
1.5 - 1.99	非常湿润
1.0 - 1.49	中等湿润
-0.99 - 0.99	接近正常
-1.49 - -1.0	中等干旱
-1.99 - -1.5	非常干旱
≤ -2.0	极端干旱

表二 1980-1999 年各站实况与 RegCM4 模拟的平均年雨量比较

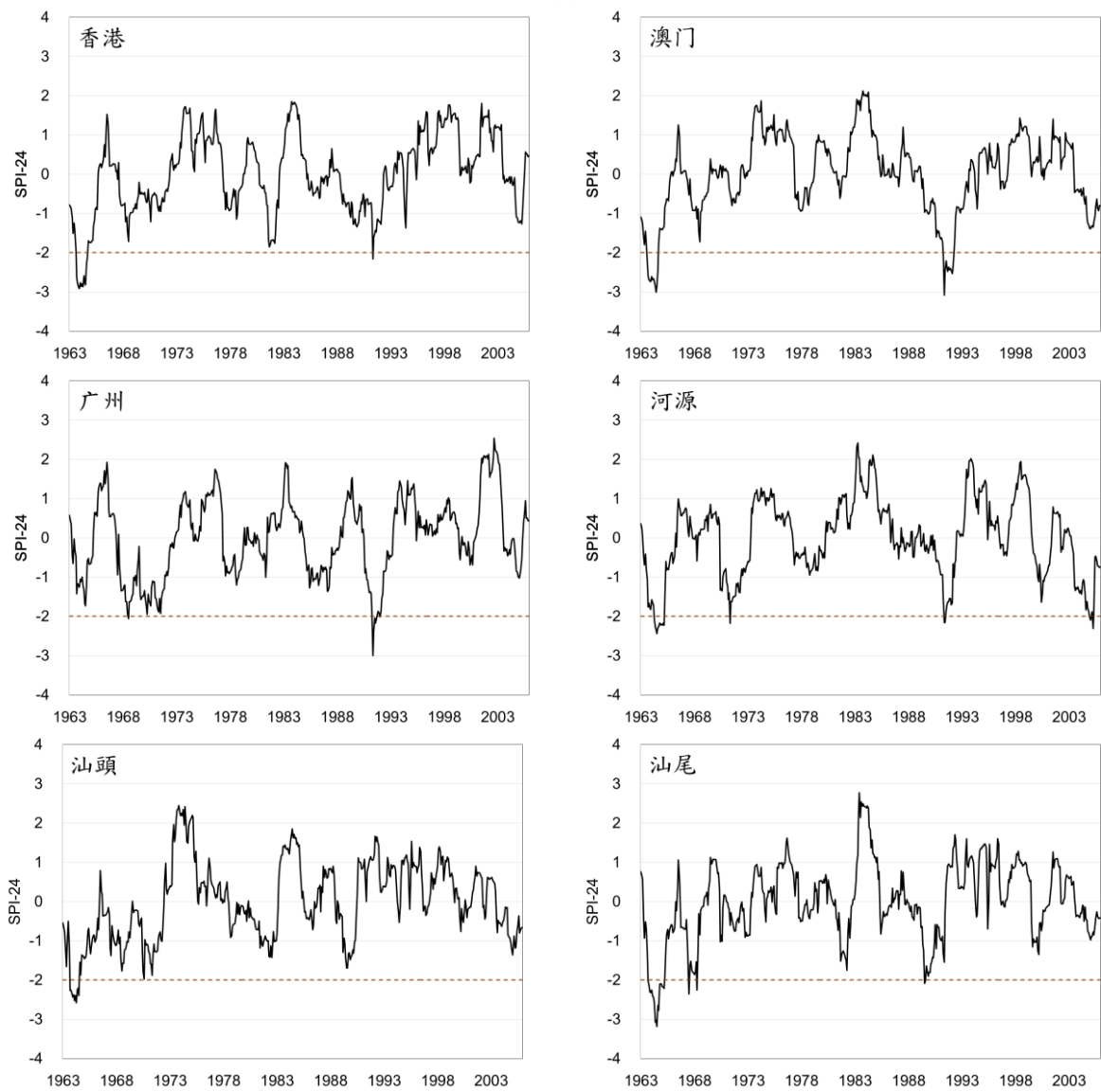
	实况 (毫米)	模拟 (毫米)	相差 (%)
香港	2324	1753	-24.6
澳门	2085	1507	-27.7
广州	1728	1803	4.3
河源	2046	1957	-4.3
汕头	1624	2091	28.8
汕尾	1954	1920	-1.7



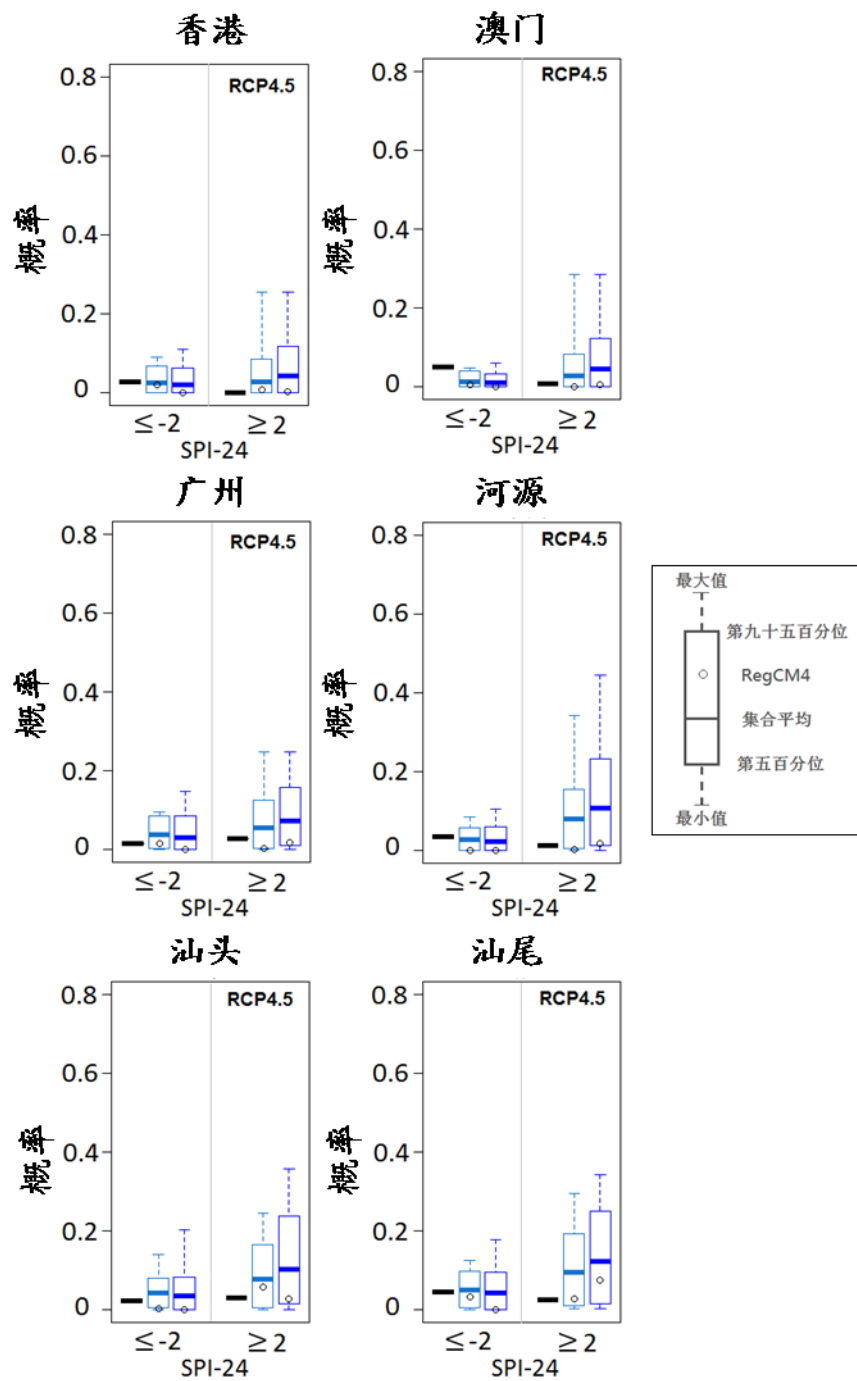
图一 各站点在 RCP4.5 情景下 21 世纪逐年代的平均年雨量推算 (毫米)。深蓝实线为统计降尺度方法多模式集合平均，虚线之间为推算的可能范围；浅蓝实线为 RegCM4 修正后的推算。



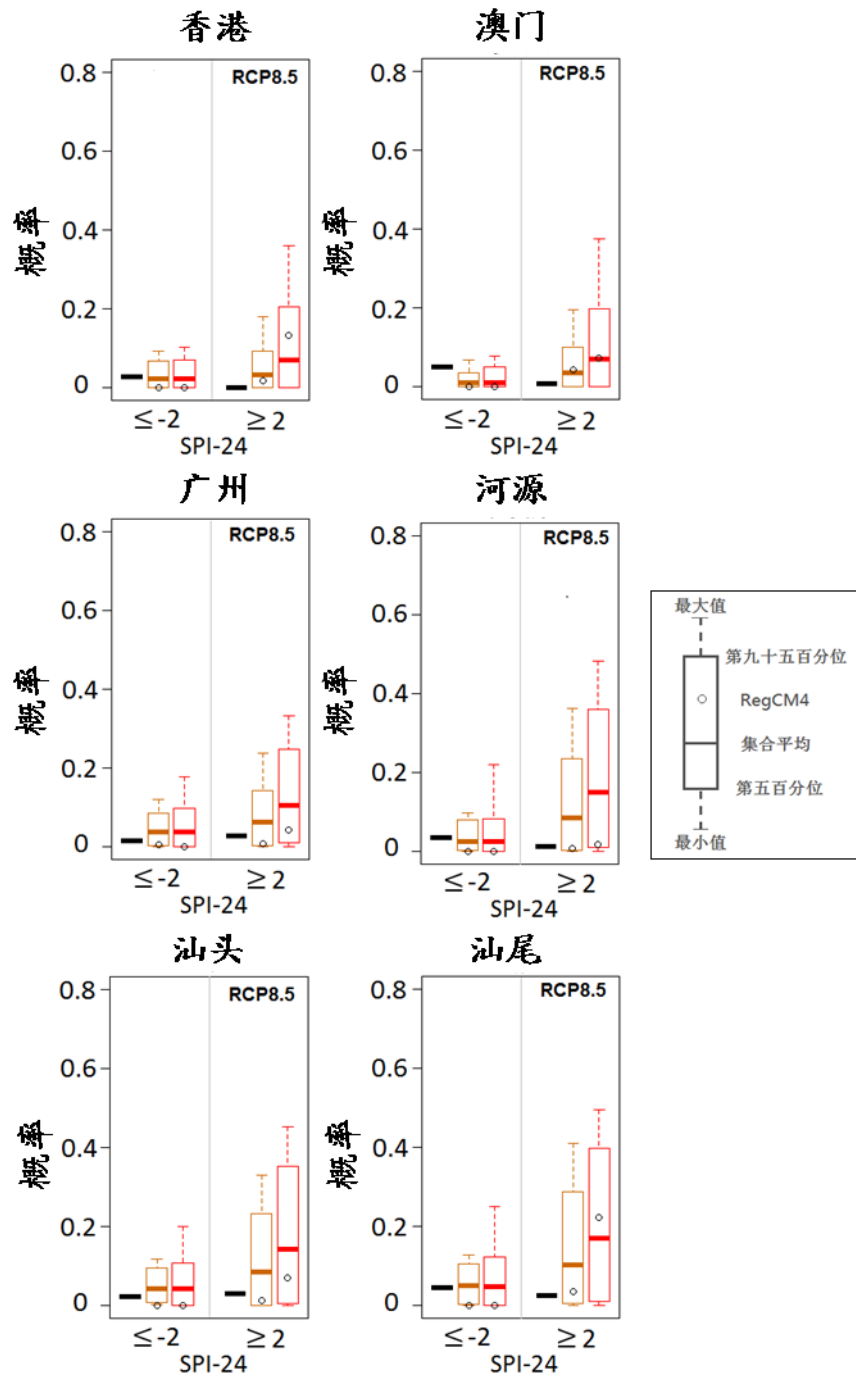
图二 各站点在 RCP8.5 情景下 21 世纪逐年代的平均年雨量推算 (毫米)。红色实线为统计降尺度方法多模式集合平均, 虚线之间为推算的可能范围; 橙色实线为 RegCM4 修正后的推算。



图三 各站点在 1963-2005 年的逐月 SPI-24 指数。



图四 在 RCP4.5 情景下，各站出现 SPI-24 ≤ -2 和 SPI-24 ≥ 2 的概率推算。黑色水平粗线为 1963-2005 年实况观测，浅蓝色及深蓝色盒须图分别为统计降尺度方法在 2015-2057 年和 2058-2100 年的推算，圆圈为 RegCM4 修正后的推算。



图五 在 RCP8.5 情景下，各站出现 $SPI-24 \leq -2$ 和 $SPI-24 \geq 2$ 的概率推算。黑色水平粗线为 1963-2005 年实况观测，橙色及红色盒须图分别为统计降尺度方法在 2015-2057 年和 2058-2100 年的推算，圆圈为 RegCM4 修正后的推算。