

PRECIS 对华南地区气候模拟能力的验证^{*}

许吟隆¹, 黄晓莹^{2,4}, 张 勇^{1,3}, 温之平⁴, 黎伟标⁴

(1 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

2 广州中心气象台, 广东 广州 510080

3 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

4 中山大学大气科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 分别采用 ECMWF 1979–1993 再分析数据作为准观测边界条件和由 HadAM3P 模拟的大尺度场驱动英国 Hadley 气候预测和研究中心的区域气候模式系统 PRECIS 将华南地区的模拟结果与实测资料进行比较, 验证 PRECIS 对华南地区区域气候的模拟能力, 并检验 GCM 模拟的大尺度边界场的误差对 PRECIS 模拟能力的影响。结果显示 PRECIS 模拟的年平均气温、降水的区域分布和频率分布与实测数据均有较好的一致性, 气温的相关系数为 0.95 降水超过 0.6 通过统计学方法的分析, 表明 PRECIS 能较好的模拟出华南地区气候的周期变化和时空特征分布。通过比较分析 GCM 模拟的大尺度场作为边界条件驱动 PRECIS 的模拟结果, 显示 GCM 产生的边界值的偏差对 PRECIS 的模拟效果没有明显的影响。

关键词: PRECIS 华南地区; 模式验证; 气温; 降水

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 05-0093-05

预估由于温室气体排放的持续增加引起的未来气候变化, 全球气候模式 (GCM) 被认为是一种有效的方法。由于 GCM 的水平网格距是几百 km, 分辨率低, 不能很好地描述区域的地形特征和陆面物理过程, 因此需要应用区域气候模式 (RCM) 方法对 GCM 的模拟结果进行降尺度分析 (downscaling)^[1]。RCM 已经被广泛地运用于区域尺度气候特征的模拟试验中^[2–4]。由于研究目的的不同, RCM 的侧边界条件可以有 2 种资料来源, 即再分析资料和全球环流模式的模拟结果。再分析资料作为“观测值”可认为是“精确的”, 模拟结果反映了 RCM 本身的性能。但是, 区域气候研究的一个重要目的是预测未来的区域气候变化, 因此, 必须用 GCM 所提供的未来全球大尺度背景场作为 RCM 模拟区域气候的边界值。由于 GCM 提供的边界值带有一定的偏差, 因此需要研究边界值误差对区域气候模拟结果的影响。

已有研究表明^[5–6], RCM 对气温的模拟能力大大优于对降水的模拟能力, 由于冬季大气环流形势相对夏季简单、稳定, 模式对冬季降水的模拟能力强于对夏季降水的模拟。对由观测场作边界条件的区域气候模拟验证显示, 区域 ($10^5 \sim 10^6 \text{ km}^2$) 平均气温的偏差小于 2°C , 降水的误差小于 50% ^[7]。

英国气象局 Hadley 气候预测与研究中心发展的 RCM 系统 PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies)^[8]是由 Hadley 气候中心高分辨率的 GCM 模式 (HadAM3P) 为其提供边界场和初始场。该系统包含了政府间气候变化委员会 (IPCC) 2000 年设计的《排放情景特别报告》^[9] (SRES) 情景下的气候情景数据库、RCM 本身和运行 RCM 所需的数据库。PRECIS 的水平分辨率为 50 km, 垂直方向分为 19 层, 最上层达到 0.5 hPa 在英方向中方科学家提供 PRECIS 模式系统以发展中国区域的气候变化情景后, 许吟隆等利用 ECMWF 再分析数据验证 PRECIS 本身对中国区域气候的模拟能力^[10], 分析了 PRECIS 嵌套 GCM 对中国全境当代气候的模拟能力^[11]。

本文主要从以下 2 方面验证 PRECIS 对华南地区气候的模拟能力: ① 选用 ECMWF 1979–1993 的再分析数据 (以下简称 ERA15) 作为侧边界条件驱动 PRECIS 模拟区域包括整个中国区域及附近沿海, 可更多考虑到大尺度环流对华南气候模拟的影响^[11]。② 选用 HadAM3P 模拟的大尺度场作为侧边界条件驱动 PRECIS 模拟区域同 ERA15 模拟时间段为 IPCC 确定的气候基准时段 (1961–1990 年)。

* 收稿日期: 2006–10–10

基金项目: 国家科技攻关基金资助项目 (2004BA611B02); 中英气候变化合作研究基金资助项目

作者简介: 许吟隆 (1964 年生), 男, 博士, 研究员; Email: xuyi@an.i.ac.cn

将其中华南地区的模拟结果与实测资料进行比较, ERA15 结果验证 PRECIS 本身的模拟能力, 而 HadAM3P 气候基准时段的结果用于检验 GCM 边界场的误差对 PRECIS 模拟效果的影响。

1 资料来源

(1) 日平均气温、日平均降水量资料来自华南地区 (广西、广东、福建和海南省) 72 个台站 1961 – 1993 年的实测数据, 观测点分布见图 1。

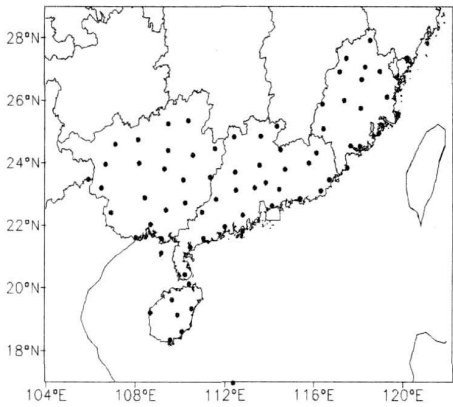


图 1 华南地区 72 个观测站分布图

Fig. 1 Seventy two meteorological observation stations in South China

(2) ERA15 作为侧边界驱动 PRECIS 模拟所得的相应华南地区 15a 日平均气温、降水量资料。

(3) 由高分辨的 HadAM3P 模拟的大尺度场在侧边界单向嵌套驱动 PRECIS 模拟所得的气候基准时段华南地区日平均气温、降水量资料。

2 ERA15 驱动 PRECIS 模拟华南气候能力的验证

2.1 年平均日气温、降水量区域分布的比较验证

图 2 显示 PRECIS 对华南地区气温的模拟效果优于降水。模拟和实测的气温均呈现由北向南梯度增温的趋势, 模拟的气温介于 16 ~ 26 °C 之间, 中北部的模拟气温比观测值高约 1 °C; 南部沿海地区的气温比观测值高约 2 °C。图 2 (b) 所示福建省的戴云山脉对应一个气温低值中心, 模式未能准确地将这地形低温模拟出来, 这与模式描述地形的能力有关。PRECIS 模拟的华南地区降水分布基本与实测资料相符, 区域平均日降水为 4 ~ 5 mm。华南地区降水主要是汛期降水, 前汛期降水主要是由入侵华南地区的北方冷空气与热带海洋向华南地区输送的暖湿空气共同作用的结果, 降水落区主要在华南北部; 后汛期降水则主要由热带天气系统引起,

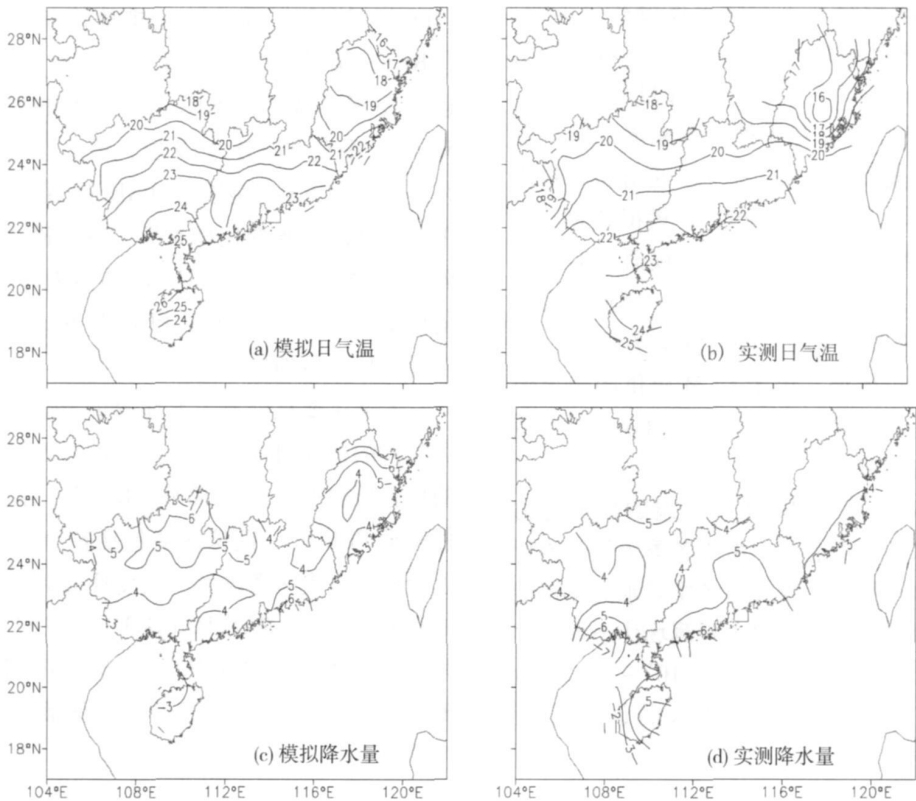


图 2 华南地区 1979 – 1993 年年均日气温 (°C)、降水量 (mm · d⁻¹) 模拟值与实测值的地理分布比较

Fig. 2 Comparison of spatial distribution of annual mean daily temperature precipitation over South China for 1979 – 1993

降水落区主要在华南沿海地区。在实测降水分布图中, 上述相应地区的日均降水值较大, 对比发现模式也较好地模拟出这些降水大值区, 但没有很好地模拟出海南省降水量东部大于西部的特征。

2.2 日平均气温、降水量的概率分布比较

挑选与华南地区 72 个观测站经纬度最临近的 72 个模式格点, 将 72 个站点与 72 个格点 15 a (1979 – 1993 年) 的日气象要素进行发生频率的统计比较 (图 3)。结果显示模拟和实测的日平均气

温的发生概率分布在大于 25 °C 频段的相似性较好, 模拟和实测年均气温发生频率的相关为 0.95。

对夏、冬季降水发生频率的统计比较发现, 模式对冬季降水的模拟能力优于夏季降水, 这与国内外的研究结论相近, 夏季降水发生频率的相关系数为 0.61, 冬季的为 0.73。在小雨量级降水事件频率分布中, 模拟与实测值的分布相似性较高, 而在强降水事件的频率分布上尤其夏季降水则存在一定的偏差。

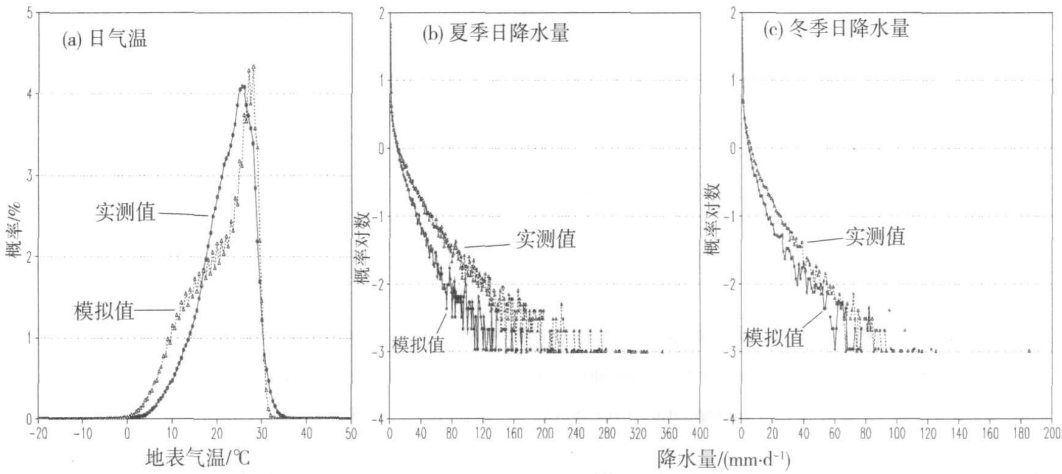


图 3 华南地区 1979 – 1993 年全年日气温均值、夏季日降水量、冬季日降水量模拟值与实测值之间的发生频率比较

Fig. 3 Statistical comparison of simulated and observed daily temperature and precipitation over South China for 1979 – 1993

过去对 RCM 的模式验证主要采用的方法是将模拟结果的区域分布场或时间场分布与实测资料作比较。本文尝试运用统计学方法, 进一步验证 PRECIS 对华南地区气象要素在周期变化和时空特征分布上的模拟能力。

2.3 季平均气温、降水量的周期分布比较

对华南地区 1979 – 1993 年四季的季均气温、降水各 60 个模拟和实测样本值进行 Morlet 小波分析比较, 结果显示气温和降水的模拟值均可以反应出与实测值相似的周期变化 (周期图略)。值得注意的是对小波模 (反映能量的周期变化) 的比较显示, 实测季均气温在 1 年周期变化中, 在 1983 – 1985 年有一个能量的大值中心; 与之相应, 模拟的季均气温能量分布中同样存在一个大值中心 (图 4a、b)。降水的实测和模拟值的能量分布亦很相似 (图 4c、d), 分别有 3 个年份段存在相应的能量大值中心。这种吻合性很好地说明 PRECIS 模式对华南地区气温、降水量的周期变化模拟能力。

2.4 年平均气温、降水量的时空特征分布比较

对华南地区 1979 – 1993 年 15 a 的年均气温、年均日降水量进行 EOF 分析。前两个模态的累积

方差贡献都接近或超过 50%, 表明其收敛速度较快, 前两个模态基本代表了华南区域平均气温、降水的主要特征 (图略)。

模拟与实测气温第一模态的空间形态均表现为全区距平正值分布, 大值中心位于广西南部, 时间系数相关为 0.45 (通过 $\alpha=0.1$ 的信度检验); 模拟和实测气温的第二模态均表现为南正北负的距平空间分布, 时间系数的相关为 0.46 (通过 $\alpha=0.1$ 的信度检验)。

模拟与实测降水相应前两个模态的空间分布较为相似, 但海南省的空间分布与实测值分布相反。实测降水的第一模态为全区一致型, 中心最大值位于广东省的中北部地区; 第二模态基本呈纬向带状正 – 负 – 正值的距平空间分布。模拟值的第一模态除了海南省外, 华南大部表现为全区正值分布, 大值区与实测降水分布相似; 第二模态为南北正 – 负值距平分布。前两个模态的时间系数分布存在相似走势, 相关系数分别为 0.47 和 0.49 (均通过 $\alpha=0.1$ 的信度检验)。

综合以上的比较分析, 可以证明 PRECIS 模式本身对华南地区气候具有较好的模拟能力, 基本与

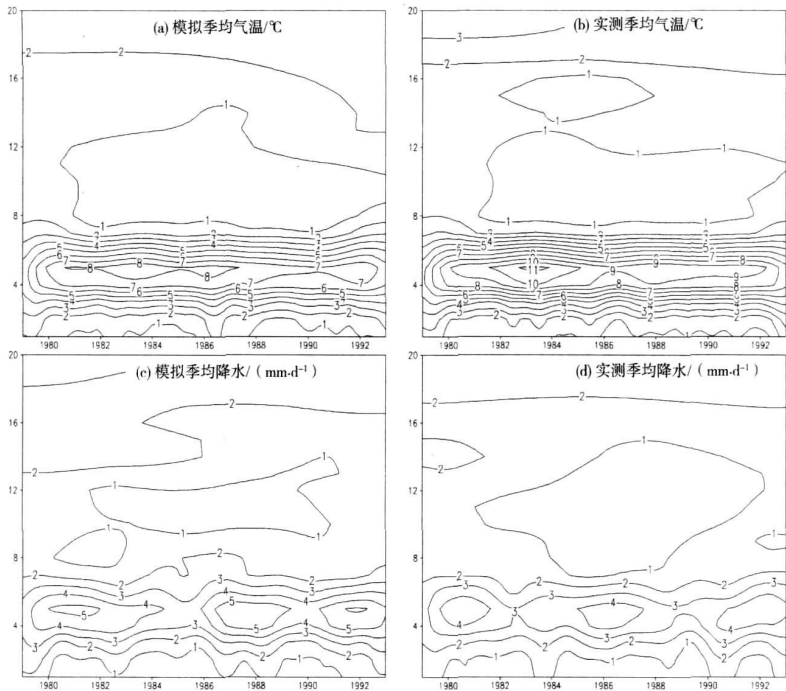


图 4 华南地区 1979 – 1993 年季均气温和季均降水模拟值与实测值的小波变换模的分布图

Fig. 4 The wavelet power spectrum distribution of simulated and observed temperature precipitation over South China for 1979 – 1993

国内外各模式的综合水平相近。不可否认，PRECIS 模式仍存在需要改进的地方：①对高海拔地区气温的模拟能力不强；②对降水尤其是强降水的模拟能力有待改进；③对特殊地形（如海南岛这这样的海陆交错地区）降水模拟结果不理想的原因有待进一步探讨。

3 PRECIS 模拟能力验证

为了验证用 GCM 模拟的大尺度场为边界时对 PRECIS 的模拟能力是否造成影响，将满足该模拟条件下对华南地区气候基准年气温、降水的模拟结果与实测值进行比较。结果显示气温模拟值的分布

形势（图 5a）与观测值（图略，与图 2a、d 很相似）基本相同，模式很好地模拟了华南北部的气温分布，中南部的模拟气温比观测值高约 1 ~ 2 °C，但是对福建省戴云山脉的低温中心未能模拟出来。华南地区模拟的平均日降水量为 3 ~ 4 mm（图 5b），比观测的降水值（图略）略小，但模式仍能模拟出位于广东南部、广西北部降水高值区。

通过对 ERA 15 和 HadAM 3P 模拟的大尺度场作为边界条件驱动 PRECIS 所得的模拟结果相比较发现，GCM 边界值误差对 PRECIS 的模拟效果影响不明显。

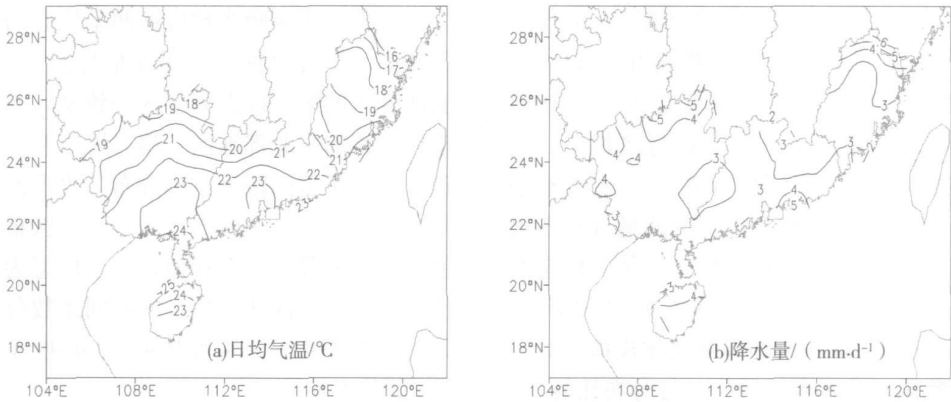


图 5 华南地区气候基准时段年均气温、降水量模拟值的空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of simulated annual temperature precipitation over South China for 1961 – 1990

4 结 论

本文分析了 ERA 15 和 HadAM 3P 模拟的大尺度场作为边界条件驱动 PRECIS 所得的模拟结果, 验证了 PRECIS 模拟华南地区气候的能力。通过以上分析可以得出以下结论:

(1) ERA 15 驱动 PRECIS 模拟的年平均气温、日降水的区域分布和频率分布与实测数据均有较好的一致性, 气温的相关系数达到 0.95 降水超过 0.6 但模式对高海拔地区气温的模拟能力不够, 对降水尤其是强降水的模拟能力有待改进;

(2) 通过统计学方法的比较分析, 证明 PRECIS 能较好地模拟华南地区气候的周期变化和时空特征分布。对特殊地形 (如海南岛这样的海陆交错地区) 的空间分布结果不理想, 还有待对模式进行进一步的改进;

(3) 比较 HadAM 3P 模拟的大尺度场作为边界条件驱动 PRECIS 模拟的结果显示, 边界场的误差对模式模拟效果没有明显的影响。这为将来应用 PRECIS 模式系统预估华南地区未来的气候变化情景奠定了坚实的基础。

致谢: 本文所应用的 PRECIS 模式系统由 Hadley 气候中心提供, 观测数据由中国气象局气象信息中心气象资料室提供, 作者在此一并致谢!

参考文献:

[1] 气候变化国家评估报告编写委员会. 气候变化国家评

估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.

[2] G D R G I E B A T E S G T. The climatological skill of a regional model over complex terrain [J]. Mon Wea Rev 1989 117: 2325 – 2347

[3] G D R G I E. Sensitivity of simulated summertime precipitation over the western United States to different physics parameterizations [J]. Mon Wea Rev 1991 119: 2870 – 2888

[4] 赵宗慈, 罗勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展 [J]. 气象学报, 1998 56(2): 225 – 246

[5] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 I : 模式对中国气候模拟能力的检验 [J]. 气象学报, 2003 61(1): 20 – 28

[6] 刘鸿波, 张大林, 王斌. 区域气候模拟研究及其应用进展 [J]. 气候与环境研究, 2006 11(5): 649 – 668

[7] IPCC. Climate Change 2001 [C] // Houghton J T, et al eds. The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 881.

[8] JONES R G, NOGUER M, HASSELL D G, et al. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS [M]. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004: 35.

[9] IPCC. 2000 Special Report on Emissions Scenarios [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 599.

[10] 许吟隆, JONES R. 利用 ECMWF 再分析数据验证 PRECIS 对中国区域气候的模拟能力 [J]. 中国农业气象, 2004 25(1): 5 – 9.

[11] 许吟隆, 张勇, 林一骅, 等. 利用 PRECIS 分析 SRES B2 情景下中国区域的气候变化响应 [J]. 科学通报, 2006 51(17): 2068 – 2074.

Validating PRECIS’ Capacity of Simulating Present Climate over South China

XU Yin-long¹, HUANG Xiao-ying^{2, 4}, ZHANG Yong^{1, 3}, WEN Zhi-ping⁴, LI Wei-biao⁴

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. Guangzhou Meteorological Observatory, Guangzhou 510080, China; 3. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 4. Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract To validate PRECIS’ capability of simulating present climate over South China, 15-year (1979 – 1993) ECMWF reanalysis data were used as quasi-observational boundaries to drive PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies), which is developed in the Hadley Climate Centre. It is shown from the analyses that the overall spatial distribution characteristics and occurrence frequency of simulated surface air temperature and precipitation are similar with the observation. The correlation coefficients of simulation and observation were 0.95 for surface air temperature and above 0.6 for precipitation. It is also found that the simulated surface air temperature and precipitation have almost the same maximum power spectrum with the observation. Employing the large-scale baseline (1961 – 1990) field simulated by HadAM 3P to drive PRECIS, the analyses showed that the bias of the GCM boundaries had not obvious impacts on PRECIS’ capability of simulating present climate over South China.

Key words PRECIS, South China, model’s validation, surface air temperature, precipitation