

中国西部地区未来气候变化趋势预测*

张英娟^{1,2)} 董文杰³⁾ 俞永强⁴⁾ 冯锦明^{1,2)}

1) (中国科学院大气物理研究所东亚区域气候—环境重点实验室, 全球变化东亚区域研究中心, 北京 100029)

2) (中国科学院研究生院, 北京 100039)

3) (中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

4) (中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029)

摘 要 用中国科学院大气物理研究所的全球环流耦合模式 (IAP/LASG GOALS), 对中国西部地区由于 CO₂ 含量增加引起的未来气候变化进行了模拟预测分析。预测 CO₂ 含量每年以 1% 速度递增, 对此进行了控制试验和扰动试验两个长期积分, 并用它们的差值来表示中国西部地区的气候变化。结果表明, CO₂ 增加以后, 在初始阶段平均温度、降水和湿度变化不大, 随着 CO₂ 含量的增加, 中国西部地区温度、降水及湿度均呈显著的增加趋势, 且比全球增加大得多。到 2050 年全球温度相对于现在增加 1.5 °C, 而中国西部地区温度升高在 1.2~2.2 °C, 其中最大增温区出现在青藏高原附近; 西南地区降水将增加 200 mm 以上, 比湿增加最大, 达 0.8 g kg⁻¹ 以上, 新疆西部和西北部地区降水减少 50 mm 左右, 平均降水增加 15%, 整个西部地区气候变暖变湿。

关键词: 中国西部; 气候变化; 温室效应; 二氧化碳

文章编号 1006-9895 (2004) 02-0342-08 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

1 引言

随着社会经济的发展, 人类活动对气候变化的影响越来越显著, 与自然变化对气候变化的影响相比, 人类活动对未来气候的影响将占主要地位^[1~3], 由于人类活动导致大气中 CO₂ 等温室气体含量的增加, 将造成全球气候变暖。据估计到 2030 年大气中温室气体 CO₂ 的体积分数可能比工业化前的 280×10^{-6} 增加 1 倍, 达到 560×10^{-6} ^[4]。

气候变暖是一个全球性问题, 气候和气候变化问题已成为影响国家可持续发展的核心问题之一, 现在的气候变化不仅是大气本身状态的一种表现, 而且是由海洋、陆面、冰雪圈和生物圈所组成的复杂系统总体状态的表现。耦合各圈层的气候系统模式是了解气候变化规律特别是预测未来气候变化最重要甚至是不可替代的研究工具, 也只有用完全耦合的大气-海洋环流模式才能对温室气体增加造成的气候变化做出比较可靠的估计^[5]。

全球气候变暖必然对中国西部环境产生影响, 目前对中国西部地区 (内蒙古—甘肃—四川—云南以西的地区) 的研究还很少。由于其气候变化对中国和东亚地区气候变化具有重要作用, 不仅关系到西部开发自身经济发展的问题, 也关系到整个中国经

2004-02-16 收到, 2004-03-31 收到修改稿

* 中国科学院知识创新工程重大项目 KZCX1-10-07、国家重点基础研究发展规划项目 G1999043408 和国家自然科学基金资助项目 40231006 共同资助

济腾飞的问题，因此研究中国西部地区未来气候变化将为政府有关决策提供必要的科学依据，对西部大开发具有重要和深远的指导意义。

本文采用中国科学院大气物理研究所的全球环流耦合模式，对中国西部地区在 CO₂ 等温室气体加倍情况下的气候变化进行了初步模拟研究，目的是通过全球海气耦合模式来预测评估 CO₂ 含量加倍以后中国西部地区的区域气候变化。

2 模式简介及实验设计

本文采用的模式为中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 (IAP/LASG) 研制开发的海陆气耦合模式 (简称 GOALS)，由 9 层大气模式、20 层海洋模式、热力学海冰、3 层土壤和 1 层植被组成。其中的大气部分为菱形截断 15 波 9 层全球大气环流谱模式 (R15L9)，该模式最初由 Bourke 等^[6] 和 McAvaney 等^[7] 设计，后经 Simmonds 等^[8]、林元弼^①和吴国雄^[9] 等改进。模式的水平分辨率为 $7.5^\circ \times 4.5^\circ$ ，时间步长为 1 800 s，在垂直方向为不等距分层，800 hPa 以下有 3 层，最低层离地面只有几十米，便于与海洋和陆面模式进行耦合。

模式中包含了较为完善的物理过程，包括太阳短波辐射、地面和大气的长波辐射、大尺度凝结和小尺度的积云对流等加热过程，以及大气和下垫面之间的热量、水份和动量的湍流交换过程。模式考虑了水平和垂直次网格扩散，边界层采用了 Monin-Obukhov 参数化理论。

该海气耦合模式已被 IPCC 第 3 次评估报告引用^[10]，并参加了国际耦合模式计划第 1 阶段和第 2 阶段，显示了很好的模拟能力，而且也能合理地模拟出大气中二氧化碳等温室气体含量增加引起的东亚区域气候变化^[11]。

本文利用 GOALS 模式作了两个长期积分试验，其中一个试验为控制试验，以 CO₂ 含量保持现有的水平 (体积分数为 345×10^{-6}) 不变连续积分 80 年；另一个试验为扰动试验，即 CO₂ 浓度以每年 1% 的速度递增，连续积分 80 年。通过这两个试验来预测由于 CO₂ 等温室气体浓度增加引起的中国西部地区未来的气候变化。

3 模拟结果分析

本文利用 GOALS 模式对中国西部未来 10、30 和 50 年的气候变化进行模拟预测，并同全球的气候变化趋势进行了对比研究分析。将模拟结果进行年平均，得到全球、中国区域以及中国西部地区的温度、降水和比湿的年平均时间序列，并将扰动试验与控制试验预测结果相减得到各气象要素场的偏差，对此进行分析，结果如下：

3.1 温度

图 1 给出的是全球未来 80 年温度时间序列。图中的温度变化是用未来年的温度与起始年的温度相减得到的，反映了未来相对于现在的温度变化。从图中可以看出，未来 80 年随着 CO₂ 浓度的递增，全球温度呈上升趋势。在刚开始的前 10 年，温度基本没有什么

① 林元弼，南京大学大气科学系环流实验，南京大学大气科学系，1987.

变化,从第12年开始呈上升趋势,到2030年全球平均温度达到 15°C ,2050年达到 15.4°C ,2080年已达 16°C ,相对于现在温度升高 1.5°C 。这与大多数模式模拟结果基本相近,在所有35个SRES (Special Report on Emissions Scenarios)情景下,并基于许多气候模式得出,在1990~2100年期间全球平均温度预计升高 $1.4\sim 5.8^{\circ}\text{C}$ 。

图2给出 CO_2 递增后中国及其西部地区未来80年温度变化时间序列。从图中可以

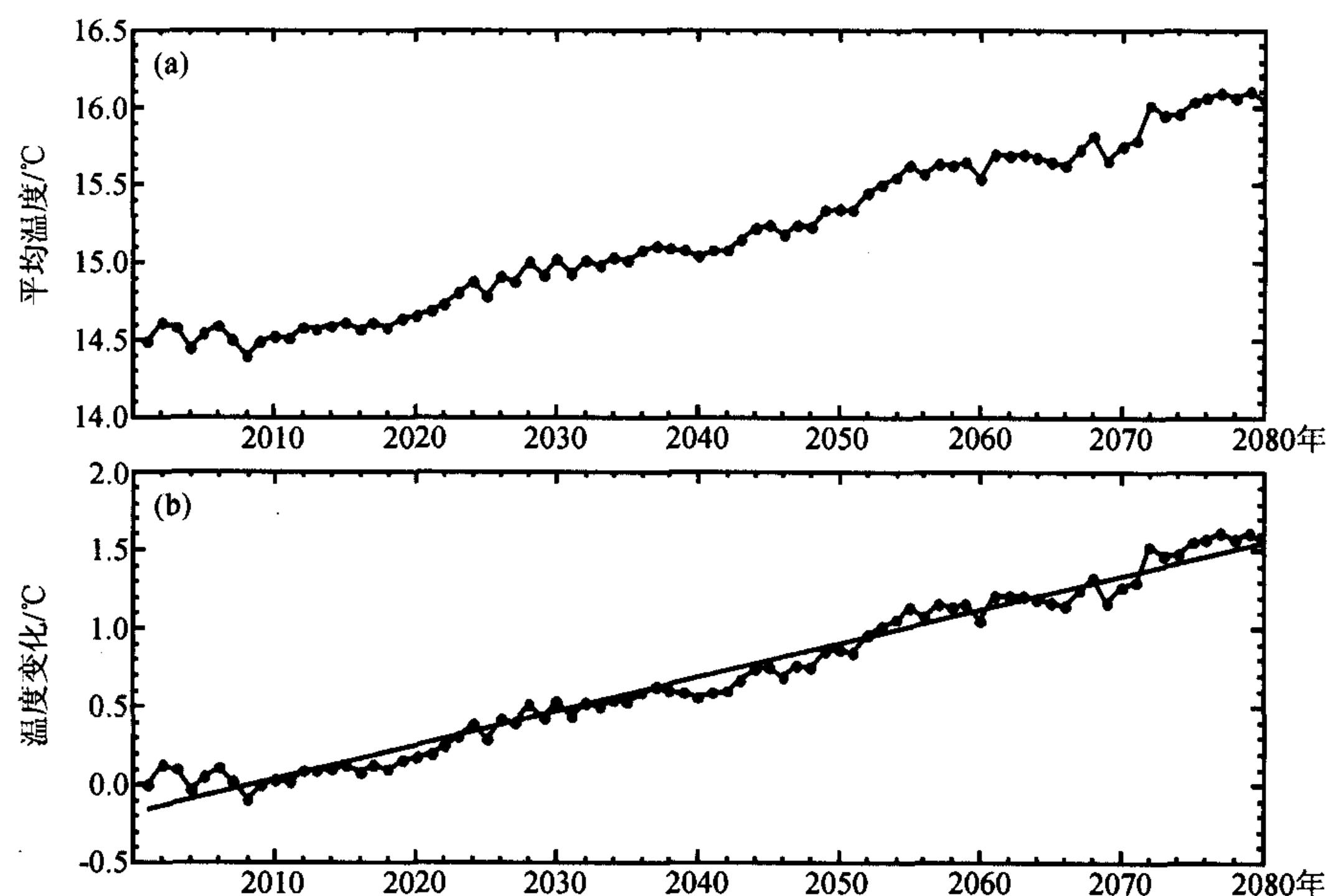


图1 CO_2 递增全球未来80年年平均温度时间序列(直线表示温度变化趋势)

(a) 80年年平均温度; (b) 温度变化

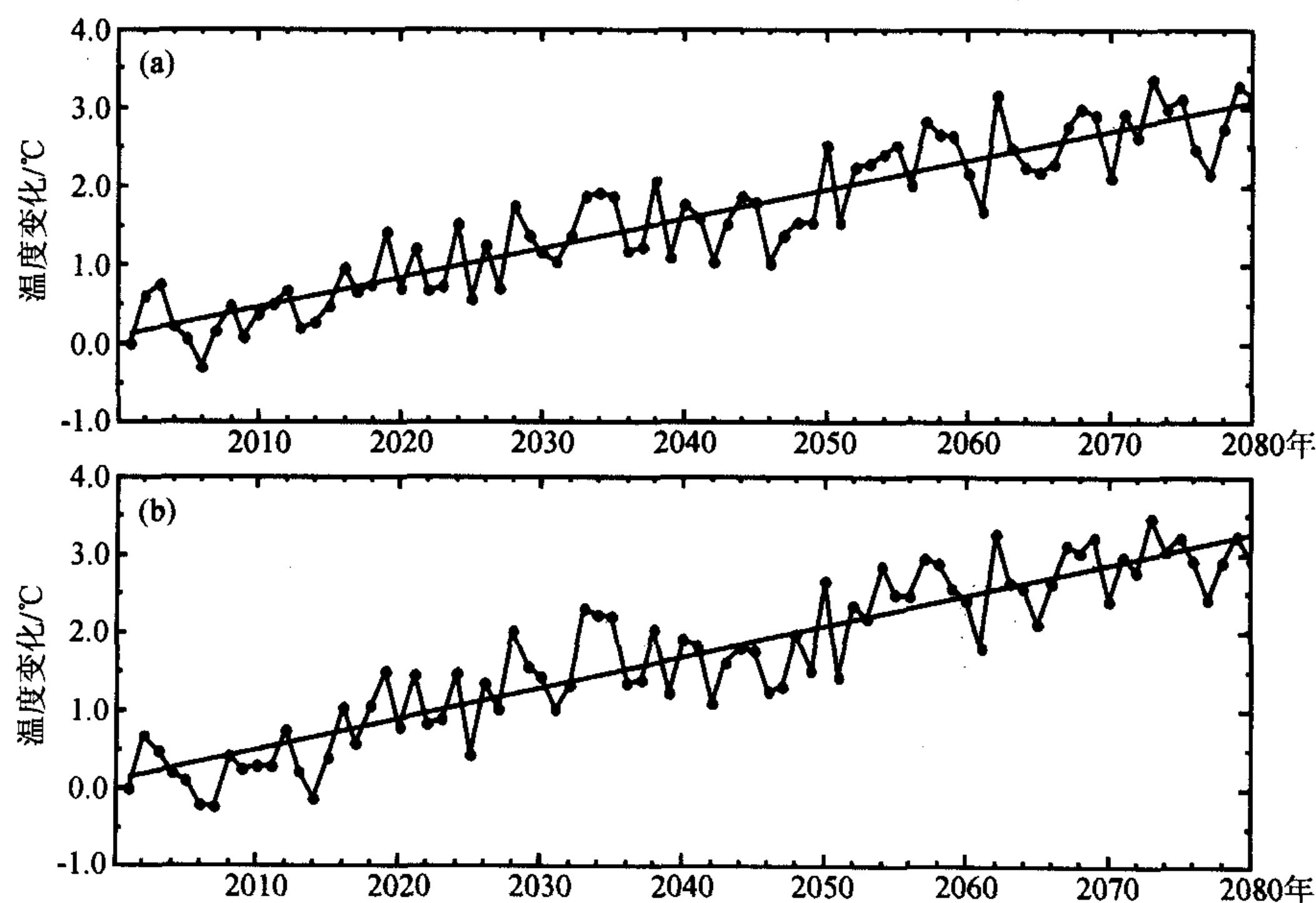


图2 CO_2 递增后中国地区未来80年温度变化时间序列(直线表示温度变化趋势)

(a) 整个中国区域; (b) 中国西部地区

看出，中国区域以及西部地区由于 CO_2 浓度的递增造成的温度升高幅度比全球大得多，全球温度在未来 80 年增加约 1.5°C ，而中国西部地区增幅达 3°C ；西部地区的平均温度变化趋势同整个中国地区温度变化趋势基本一致，幅度相当。在 CO_2 浓度递增的前 10 年温度相对于现在约增加 0.4°C ，同全球一样增加不明显；随着 CO_2 含量的逐渐递增，在 2030 年西部地区出现明显的变暖趋势，温度升高 1.5°C ，此增幅相当于全球 80 年的温度增加；在 2050 年温度增加达到 2.7°C 。

将扰动试验与控制试验进行相减得到中国区域的温度偏差图（图 3）。从图中可以看出，在积分的初始阶段除了新疆北部小部分地区温度略有增加外，整个中国地区温度增加不明显，长江黄河之间的地区温度略微降低（图 3a）；到未来 30 年（图 3b）整个中国温度明显增加，最大增温区出现在中国西部地区，中心位置位于青藏高原附近，达 2.0°C ；到 2050 年，整个中国地区的温度增加基本上都是在 1.0°C 以上，西部地区的温度增加在 $1.2\sim 2.2^\circ\text{C}$ 之间，最大增温区仍然出现在中国西部地区。

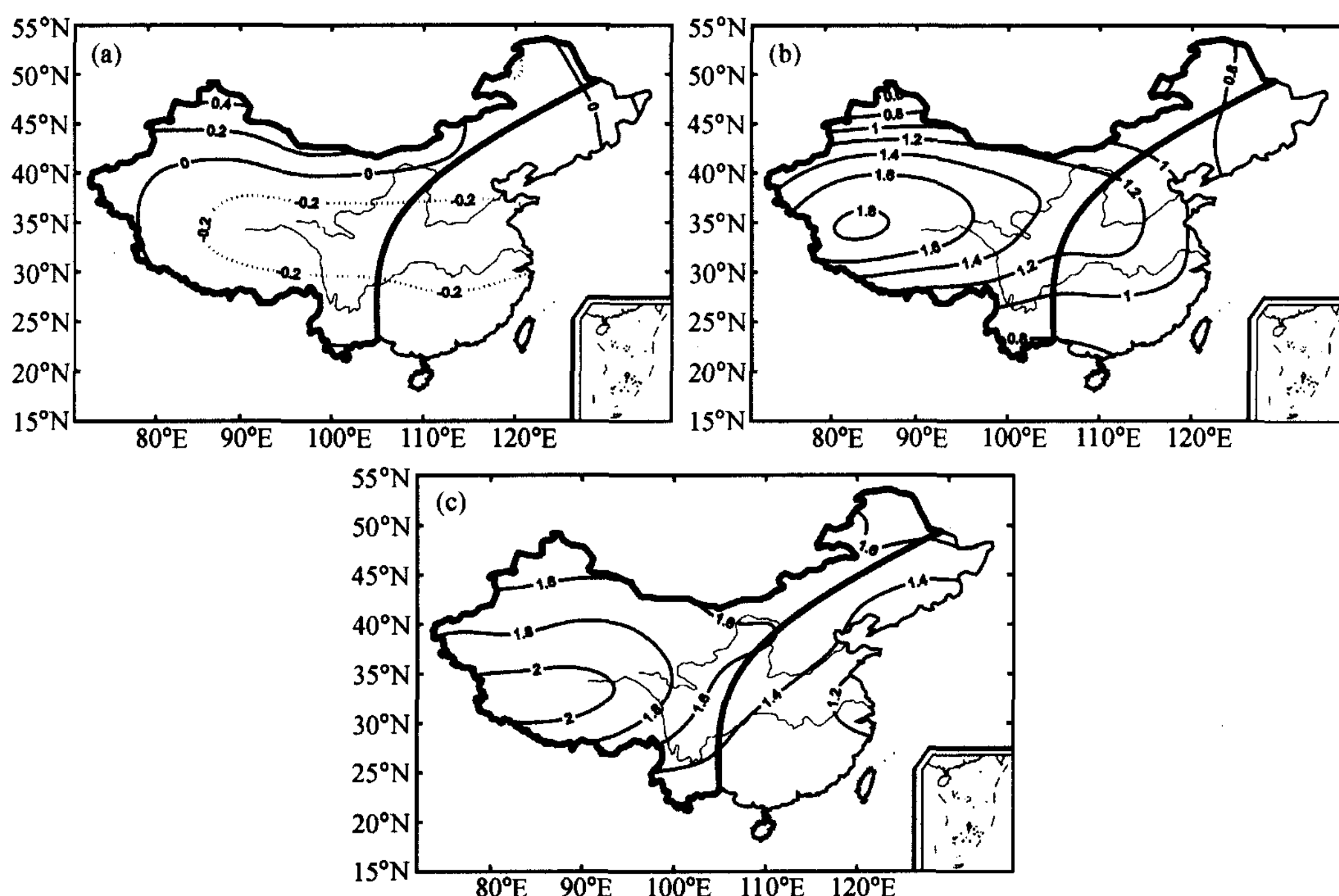


图 3 中国区域及西部地区的温度偏差（单位： $^\circ\text{C}$ ，粗线左方是中国西部地区）
(a) 2010 年（1~10 年平均）；(b) 2030 年（25~35 年平均）；(c) 2050 年（45~55 年平均）

3.2 降水

图 4 和图 5 分别是中国西部地区降水变化的时间序列和空间分布。从图 4 中可以看出中国地区在未来 80 年内随着 CO_2 含量的增加，降水呈增加趋势，到 2080 年，西部降水增加 15%。从图 5 可以看出，在积分的初始阶段（前 10 年）降水变化不大，黄河流域降水有所减少，随着大气中 CO_2 含量的逐渐增加，除了新疆北部降水减少外，其他地区均有不同程度的降水增加趋势，降水梯度由东北—西南转为西北—东南走向，最大降水增加区域出现在华南地区；到 2050 年，最大降水区出现在中国西南地区，降

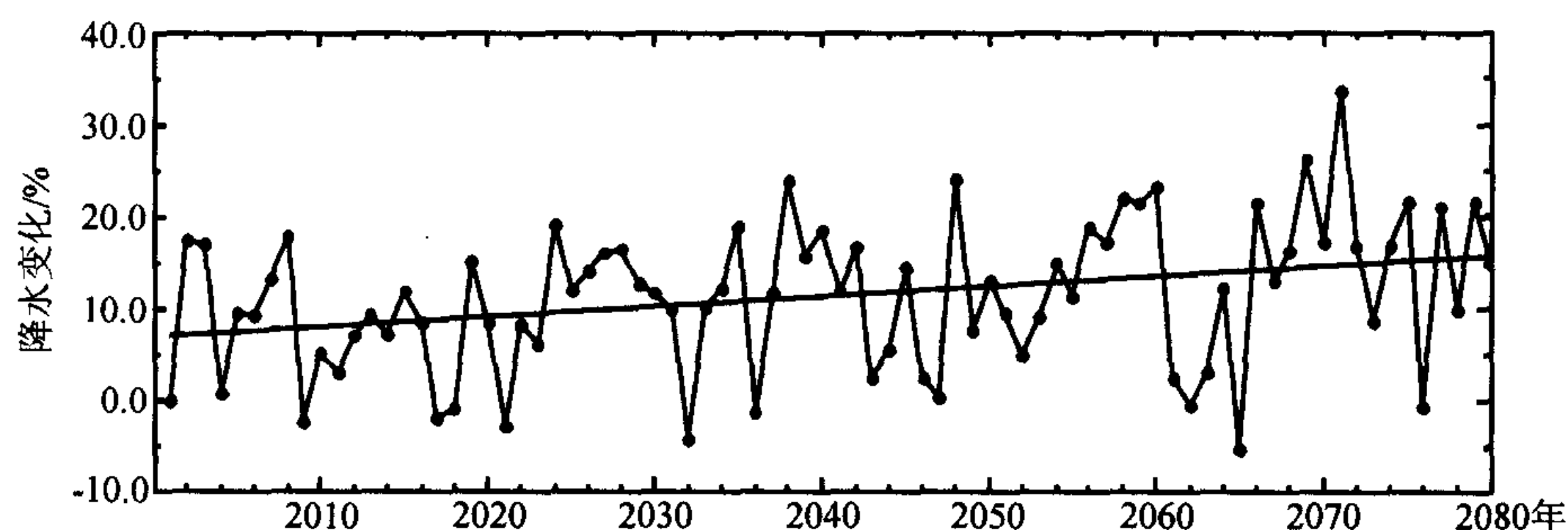


图4 中国西部地区降水变化的时间序列（直线表示降水变化趋势）

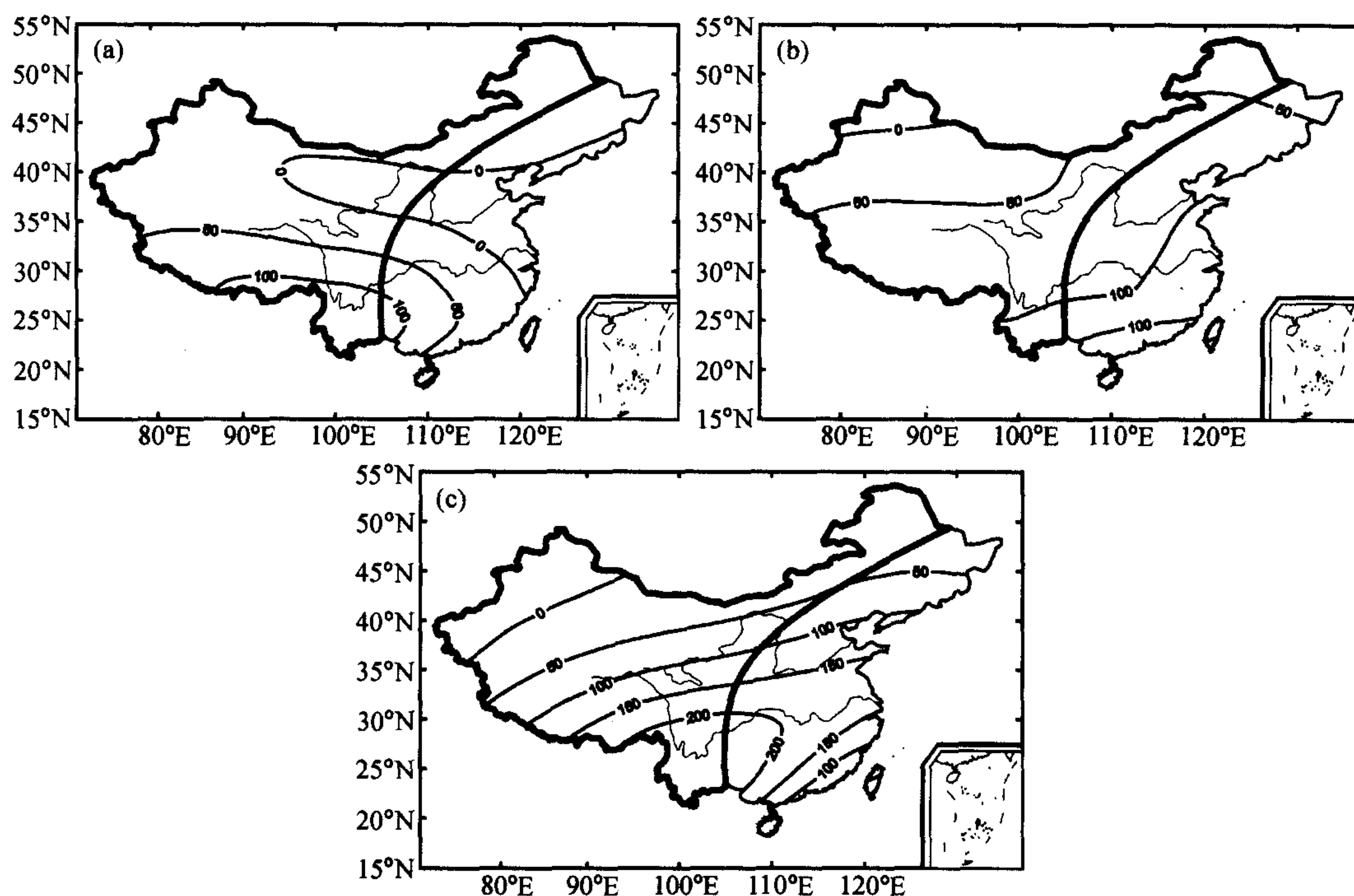


图5 中国西部地区降水偏差的空间分布（单位：mm，粗线左方是中国西部地区）

(a) 2010 年（1~10 年平均）；(b) 2030 年（25~35 年平均）；(c) 2050 年（45~55 年平均）

水增加超过 200 mm，新疆北部及西部地区降水呈减少趋势，降水减少 50 mm，整个西部地区出现西北部干旱，东南部湿润的分布形势。

3.3 比湿

图 6 和图 7 给出的是中国西部地区 CO_2 含量增加引起的比湿时空分布。在积分的初始阶段，由于 CO_2 等温室气体含量增加造成的比湿变化不大，中国大部分地区比湿减少 $0.2 \sim 0.4 \text{ g kg}^{-1}$ ，随着积分时间的延长，除了新疆北部小部分地区比湿下降以外，西部其余地区均有不同程度的增加，整个分布呈东北—西南带状分布，最大增幅出现在西南地区，达 0.8 g kg^{-1} 以上（图 7b）；到 2050 年，比湿分布形式基本不变，梯度增大，最高达 1.2 g kg^{-1} 。

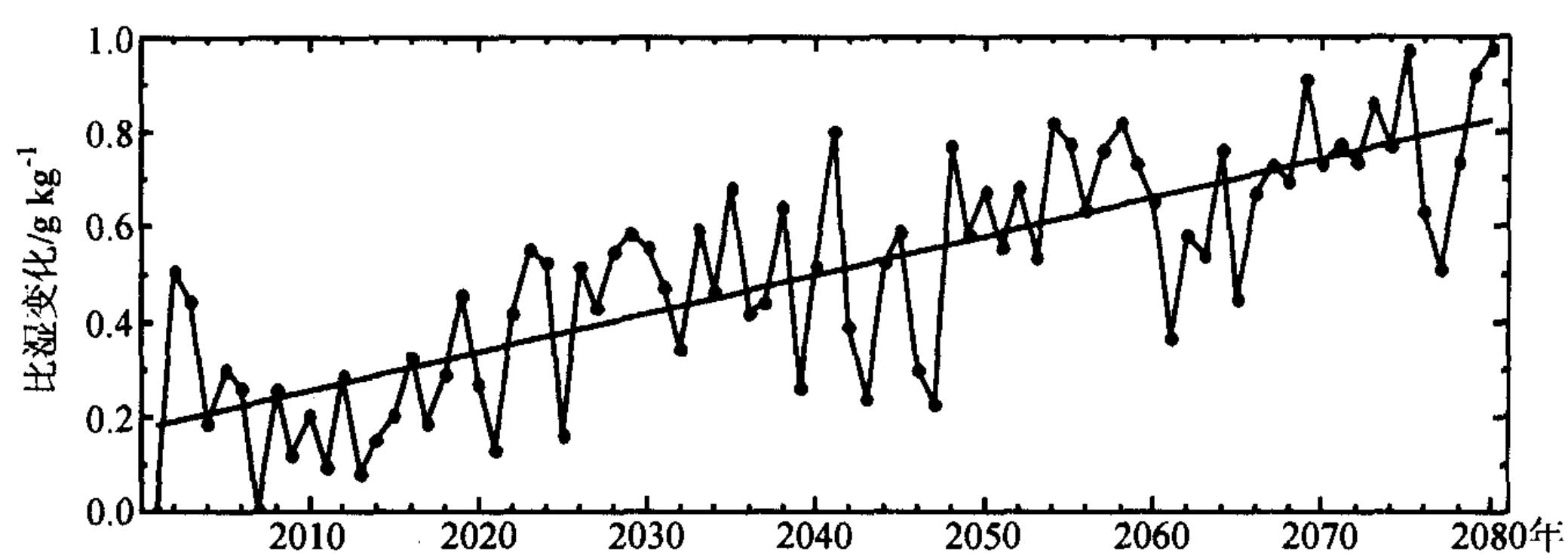
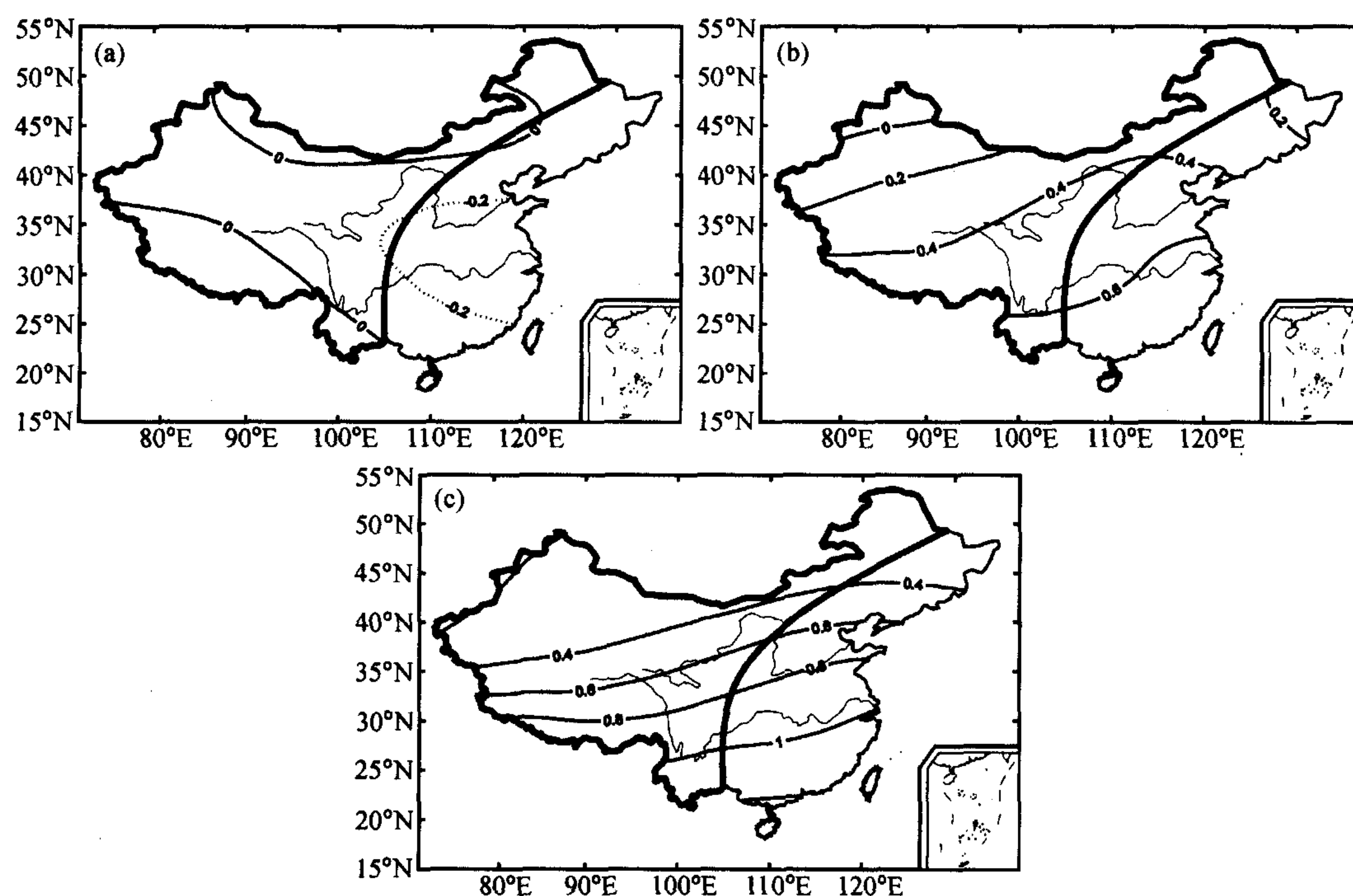


图6 中国西部地区比湿的时间序列（直线表示比湿变化趋势）

图7 中国西部地区比湿偏差的空间分布（单位： g kg^{-1} ，粗线左方是中国西部地区）
(a) 2010 年（1~10 年平均）；(b) 2030 年（25~35 年平均）；(c) 2050 年（45~55 年平均）

4 结论及展望

用中国科学院大气物理研究所的海气耦合模式 GOALS，对中国西部地区的未来气候变化进行了初步模拟研究，得到如下的结论：

CO_2 等温室气体含量以每年 1% 的速度递增时，中国西部地区的总体趋势是温度升高，降水增加，比湿增加。

(1) 在积分的初始阶段， CO_2 含量的增加对西部气候变化影响不大，随着积分时间的增加温度、降水和比湿等气象场有了明显的变化。

(2) 随着 CO_2 含量的增加，全球温度呈上升趋势。在积分的初始阶段除了新疆北

部小部分地区温度略有增加外,整个中国地区温度增加不明显,长江黄河之间的地区温度略微降低。到 2050 年全球相对于现在增加 1.5°C ;而在中国西部地区温度增加较全球大的多,升温在 $1.2\sim 2.2^{\circ}\text{C}$ 之间,最大增温区出现在青藏高原附近。

(3) 中国西部地区在未来的 80 年内随着 CO_2 含量的增加,降水呈增加趋势,到 2080 年,西部降水增加 15%;在积分的初始阶段(前 10 年)降水变化不大,黄河流域降水有所减少,随着大气中 CO_2 含量的逐渐增加,新疆北部降水减少,其他地区均有不同程度的降水增加趋势,最大降水增加区域出现在华南地区;到 2050 年,最大降水区出现在中国西南地区,降水增加超过 200 mm,新疆北部及西部地区降水呈减少趋势,整个西部地区出现西北部干旱,东南部湿润的分布形势。

(4) 比湿变化也是随着 CO_2 含量的递增呈增加趋势,到 2050 年中国西部地区比湿最高出现在西南地区,达 1.2 g kg^{-1} ,整个西部地区比湿变化除新疆外均在 0.2 g kg^{-1} 以上。

综上所述,中国西部地区在温室气体增加的情况下,大部分地区的未来气候趋于变暖变湿,新疆西北部地区趋于变干。

以上给出的是用全球耦合模式模拟的中国西部地区由于温室气体含量增加引起的气候变化,由于模式对未来气候变化尤其是区域气候的模拟中存在较大的不确定性,又由于模式的分辨率不高,因此有待于应用分辨率较高的区域气候模式模拟中国西部地区未来的气候变化,并分析变化的物理机制,对其做进一步探讨和研究。

参 考 文 献

- 1 Houghton, J. T., G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums, Eds., *Climate Change, The IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1990, 365 pp.
- 2 Houghton, J. T., B. A. Callander, and S. K. Varney, Eds., *Climate Change 1992, The supplementary report to the IPCC Scientific Assessment*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1992, 200 pp.
- 3 石广玉、王喜红、张立盛、黄兴友、赵宗慈、高学杰、徐影,人类活动对气候影响的研究 II. 对东亚和中国气候变化的影响,气候与环境研究,2002,7(2),255~266.
- 4 王绍武、赵宗慈,未来 50 年中国气候变化趋势的初步研究,应用气象学报,1995,6(3),333~342.
- 5 Cubasch, U., K. Hasselmann, H. Hock, E. Maier Reimer, U. Mikolajewicz, B. D. Santer, and R. Sausen, Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model, *Climate Dynamics*, 1992, 8, 55~69.
- 6 Bourke, W. P., B. McAvaney, K. Puri, and R. Thurling, Global modelling of atmospheric flow by spectral methods, *Methods in Computational Physics*, 1977, 17, J. Chang, Ed., Academic Press, New York, 267~324.
- 7 McAvaney, B. J., W. Bourke, and K. Puri, A global spectral model for simulation of the general circulation, *J. Atmos. Sci.*, 1978, 35, 1557~1583.
- 8 Simmonds, I., Analysis of the "spinning" of a global circulation model, *J. Geophys. Res.*, 1985, 90, 5637~5660.
- 9 Wu Guoxiong, Liu Hui, Zhao Yucheng, and Li Weiping, A nine-layer atmospheric general circulation model and its performance, *Adv. Atmos. Sci.*, 1996, 13(1), 1~18.
- 10 Houghton, J. T., L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell Eds., *Climate Change, The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1996, 572 pp.
- 11 Guo Yufu, Yu Yongqiang, Liu Xiying, and Zhang Xuehong, Simulation of climate change induced by CO_2 increasing for East Asia with IAP/LASG GOALS Model, *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18(1), 53~66.

A Prediction of Trend of the Future Climate Change in the Western China

Zhang Yingjuan^{1,2)}, Dong Wenjie³⁾, Yu Yongqiang⁴⁾, and Feng Jinming^{1,2)}

- 1) (*Key Laboratory of Regional Climate-Environment for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences; START Regional Center for Temperate East Asia, Beijing 100029*)
- 2) (*Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)
- 3) (*National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081*)
- 4) (*State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract The general circulation coupled model (IAP/LASG GOALS) developed in the Institute of Atmospheric Physics has been used to simulate the future climate change in the western China due to the CO₂ increasing. In this paper we carried out two simulations, one for the control run and another for perturbation run. The difference between the two runs denotes the climate change. Results indicate that there is almost no change of the average air temperature, precipitation and the humidity at the first ten years. With the increasing of CO₂ the air temperature, precipitation and humidity increase in the western China have the obvious increasing and much more than that in global. In 2050s the global average air temperature and precipitation increase 1.5 °C and 1.5% respectively. While in the western China the air temperature increases between 1.2 °C and 2.2 °C. The maximum warming occurs at around the Tibet an Plateau, the maximum precipitation occurs in Southwest China with 15% increasing and the humidity with 0.7 g kg⁻¹ increasing. The climate of the western China in the 21st century will be warmer and wetter.

Key words: western China; future climate change; greenhouse effect; carbon dioxide