

中国地面气温和降水变化未来情景的数值模拟分析^{*}

莫伟强¹, 黎伟标¹, 许吟隆², 杜尧东³

(1 中山大学大气科学系 季风与环境研究中心, 广东 广州, 510275)

2 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081;

3 广东省气候与农业气象中心, 广东 广州, 510080)

摘 要: 利用加拿大 CCCM a 模式, 对中国地面气温和降水进行了模拟分析, 结果表明: ① CCCM a 模式能较好地模拟中国区域地面气温的空间分布特征; ② 从 A2 和 B2 情景的预估结果来看, 地面气温的增加在空间分布上是不均匀的, 大体的情形是内陆增温大于海洋, 北方增温大于南方。降水量总的变化趋势也是不断增加的, 降水量的增加主要青海西藏一带, 华南地区在 21 世纪末期降水量会有所减少; ③ 模拟结果还表明, 未来中国区域的地面温度是持续增加的, 即使从 1990 年开始采用了减少温室气体排放的措施, 其后的增温趋势依然很明显, 直到 21 世纪中期, 才能明显的看出采取减少温室气体排放的措施对缓解增温趋势的效果。

关键词: SRES A2 和 B2 情景; 温室气体; 地面气温; 降水; 中国

中图分类号: P461 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2007) 05-0104-05

自 1861 年以来, 全球表面气温持续升高, 20 世纪增加了 $(0.6 \pm 0.2) ^\circ\text{C}$, 已有证据表明, 20 世纪全球变暖主要是由人类活动和自然变化共同作用造成的^[1]。全球变暖将给全球生态系统和人类经济社会活动带来重大影响, 并已成为各国科学家共同关心的重大全球性环境问题^[2]。在全球气候变暖的背景下, 中国的区域气候也会发生了相应的变化^[3], 而且气候变暖已对我国社会经济系统产生明显影响, 并将继续造成长远的影响, 其中许多影响将是不利的^[4]。因此研究温室气体排放持续增加引起的中国地区的气候变化具有重要的意义。

预估由于人类活动引起的未来气候变化, 主要依靠的工具是气候模式^[5]。目前国际上已经研究了一系列的全球气候模式 (GCM)^[6-8], 我国科学家也在利用自己发展的模式在未来气候变化情景进行预估^[9-10]。从目前的情况来看, 气候模式仍然存在一定程度的不确定因素, 不同的气候模式对未来气候情景的预估是存在一定差别的。为了更全面的了解我国未来气候变化的情况, 需要利用更多的气候模式对其进行模拟研究。本文利用加拿大气候模拟和分析中心 CCCM a 发展的 CGCM 2 模式在不同的温室气体排放情景下的模拟结果, 对中国 21 世纪的地面温度和降水量的变化情况进行分析, 希望能加深对不同情景下我国未来的气候变化状况的了解。

1 背景情况与资料选取

情景是描述一种未来世界发展的可能性^[11], 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 于 1992 年在第二次评估报告 (SAR) 中的气候模式使用了 IS92 排放情景。2000 提出了 SRES (Special Report on Emissions Scenarios)^[12], 替代了 IS92 用于第 3 次评估报告 (TAR) 的气候预估。SRES 排放情景主要由 A1、A2、B1 和 B2 四个方案组成。本文选取了 A2 和 B2 情景探讨我国未来地面气温和降水变化的情况, 其主要内容分别是: A2 区域性差异明显, 经济发展保持地区性特色; 对新技术的应用和普及较慢; 人口继续增长。B2 经济、社会和环境的持续性发展问题在地区范围得以解决; 全球人口继续增长, 但其速度慢于 A2 方案的状况; 中等水平的经济发展; 在地区范围内注重环境保护。

本文采用的模式是加拿大气候模拟和分析中心 CCCM a 发展的 CGCM 2 模式 (简称 CCCM a 模式), 该模式是 IPCC 提供的 3 个气候模式之一, 属于海气耦合模式, 分辨率为 $3.7^\circ \times 3.7^\circ$, 垂直方向为 10 层, 海洋模式的水平分辨率为 $1.8^\circ \times 1.8^\circ$, 垂直方向分为 29 层。模式模拟时间为 1900 - 2100 年, 共 201 a 其中 1900 - 1989 年是温室气体排放采用历史实测资料, 之后采取 A2 和 B2 两种情景进

* 收稿日期: 2006 - 11 - 11

基金项目: 中国气象局气候变化专项基金资助项目 (CCSF2007 - 45)

作者简介: 莫伟强 (1981 年生), 男, 研究生, 在广东东莞市气象局工作。通讯联系人: 黎伟标; E-mail: eeswb@

mail.sysu.edu.cn

行模拟预测。有关该模式的详细说明见文献 [13]。

为了验证模式对我国气候变化的模拟能力，利用气候基准年（1961 – 1990 年）的观测值与模式模拟的结果进行对比。其中，1961 – 1990 年的平均观测值全国 215 个观测站的地面气温和降水量在该时段的平均值，而逐年的平均观测值则取自于 CRU（Climate Research Unit）^[14] 的再分析数据。

2 模式验证

由图 1(a)和 (b)气温观测和模拟的比对结果可见（缺台湾省数据），模式能够模拟出中国区域气温由西北向东南逐渐增加的分布，青藏高原地区的低温也能够模拟出来。从模拟的总体情况来看，模拟值与观测值相比略为偏低。

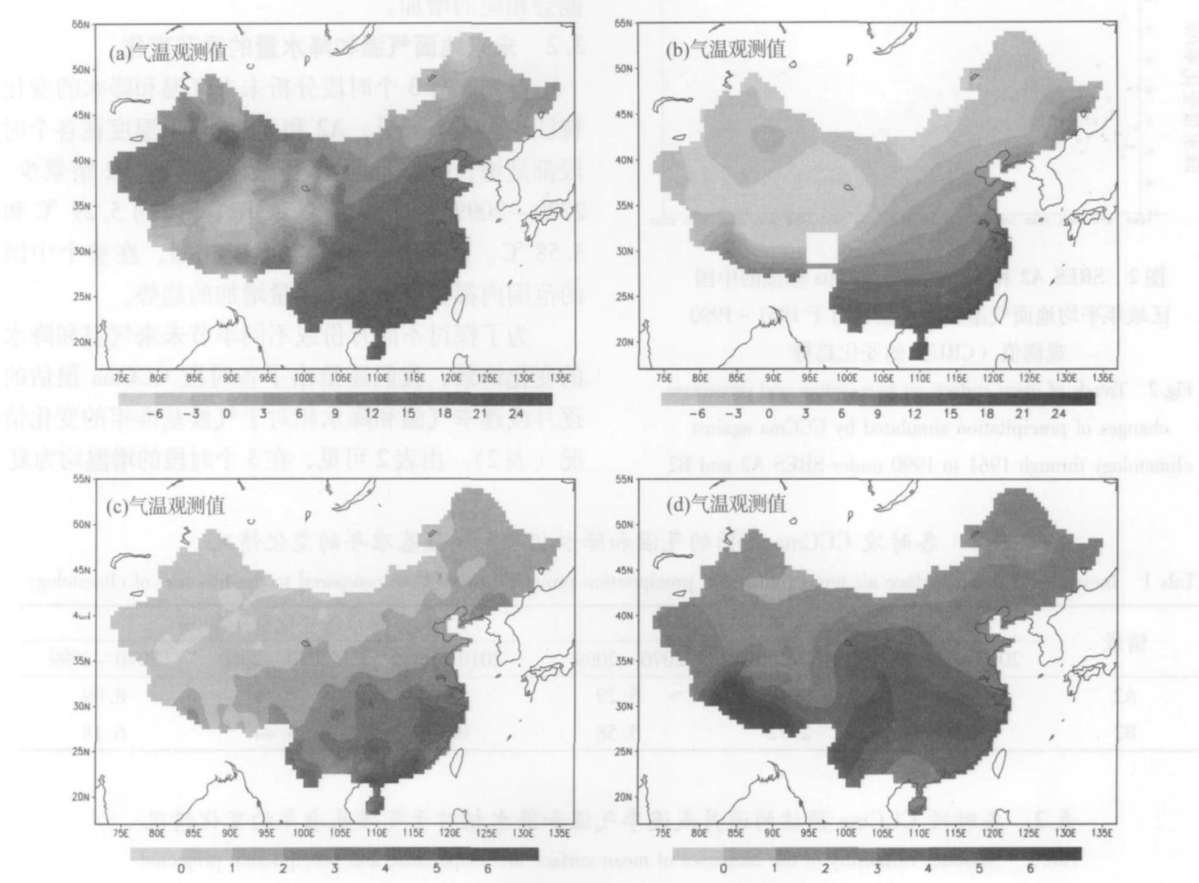


图 1 1961 – 1990 年 30 a 平均气温（℃）降水（mm /d）CCCma 模拟值与 215 个测站观测值的比较（缺台湾省数据）

Fig 1 Comparison of 30 year average air temperature（℃）and precipitation（mm /d）between observation data and simulation results by CCCma from 1961 to 1990

图 1(c)和 (d)的降水观测和模拟的比对结果表明，模式结果基本上能够反映出我国西北 – 华北 – 东北一带的少雨区以及江淮流域的多雨区，而对华南地区的多雨区以及高原一带的降水则模拟误差较大，这表明了华南以及青藏高原降水一带降水和中高纬度地区的锋面系统降水相比有其独特、复杂的方面，气候模式对其的模拟能力有待提高。

3 未来地面温度和降水情景分析

3.1 地面气温和降水量的变化趋势

从图 2（a）可以看出，在 1961 – 1990 年间，模拟的结果与观测值较为一致，总的趋势是地面的气温逐渐升高。在不同的温室气体排放情景下，在

整个模拟的时间段内，地面的气温都是持续升高的。1990 – 2040 年间，在 SRES A2 和 B2 排放情景下，模式预估的气温增量较为一致，到了 2040 年，中国的气温将升高 2 ~ 3℃。而从 2040 年开始，在不同的情景下预估的增量不同。其中在 SRES A2 模式模拟的中国地面气温的升高较多一些。至 2100 年 A2 情景下中国的气温将会增加约 6℃，B2 情景下，将增加约 4℃。对比 A2 和 B2 情景下的增温量可知，即使从 1990 年开始采用了减少温室气体排放的措施，其后的增温趋势依然很明显，至 21 世纪中期，才能明显看出采取减少温室气体排放措施对缓解增温趋势的效果。以上分析也表明，中国在以后相当长的一段时间里都会承受增温的影响。

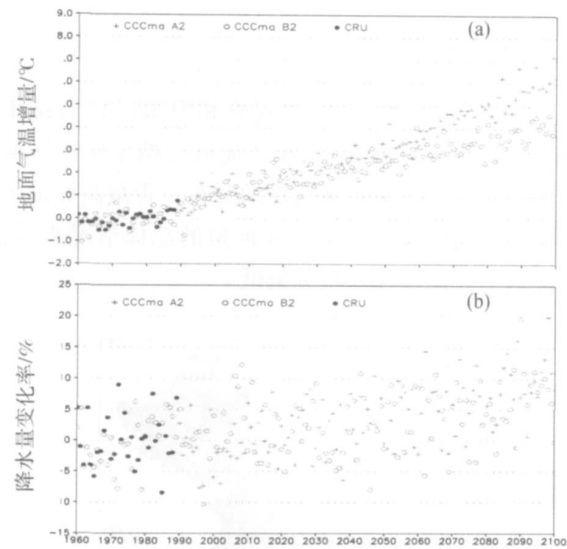


图 2 SRES A2和 B2情景下 CCCma模拟的中国区域年平均地面气温和降水量相对于 1961 – 1990 观测值（CRU）的变化趋势

Fig 2 Trends of mean surface air temperature and percentage changes of precipitation simulated by CCCma against climatology through 1961 to 1990 under SRES A2 and B2

与地面气温相比，观测和模拟均显示降水量的年际变化幅度较大（图 2b），且模式在 A2 和 B2 情景下预估的结果有较大的差异，但随着 CO₂ 的持续增加，降水量的总趋势也是增加的。到 21 世纪末，在 A2 和 B2 情景下，平均降水量分别约增加 20% 和 10%。由此可见，与温度的增加一样，中国区域的降水量也在增加，暴雨发生的机率也可能会相应的增加。

3.2 未来地面气温和降水量的季节变化

首先，分 3 个时段分析未来气温和降水的变化特征。由表 1 可见，A2 和 B2 情景下温度在各个时段都是增长的；而且 B2 情景的增量比 A2 情景少。2070 – 2099 年期间，A2 和 B2 增加约 5.29 °C 和 3.58 °C。降水量的变化与温度相似，在整个中国的范围内都显现出了降水量增加的趋势。

为了探讨不同月份或不同季节未来气温和降水的变化情景，我们还给出了各时段 CCCma 预估的逐月或逐季气温和降水相对于气候基准年的变化情况（表 2）。由表 2 可见，在 3 个时段的增温均为夏

表 1 各时段 CCCma 预估的气温和降水相对于气候基准年的变化情况

Tab. 1 Increases of mean surface air temperature and precipitation projected by CCCma compared to the baseline of climatology

情景	地面气温增量 /℃			降水量变化百分率 %		
	2010 – 2039	2040 – 2069	2070 – 2099	2010 – 2039	2040 – 2069	2070 – 2099
A2	1.85	3.4	5.29	1.68	4.36	8.09
B2	1.93	2.72	3.58	0.59	3.44	6.18

表 2 各时段 CCCma 预估的逐月或逐季气温和降水相对于气候基准年的变化情况

Tab. 2 Seasonal variability of the increases of mean surface air temperature and precipitation projected by CCCma compared to the baseline of climatology

情景	年份区间	1 – 12 月地面气温增量 /℃												各季度降水量变化率 %			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	春	夏	秋	冬
A2	2010 – 2039	1.87	1.82	1.91	1.65	2.32	2.88	1.82	1.46	1.25	0.78	2.18	2.31	7.61	6.01	-6.32	-0.58
	2040 – 2069	3.34	3.55	3.61	2.84	4.43	4.51	3.14	2.59	2.4	1.96	3.89	4.55	9.26	13.84	-6.25	0.67
	2070 – 2099	5.8	5.06	5.64	5.49	6.88	6.56	4.62	4.25	4.07	3.09	5.43	6.55	16.88	18.12	-4.84	2.44
B2	2010 – 2039	1.97	1.81	1.67	1.68	2.83	3.04	1.77	1.67	1.33	1.03	1.93	2.41	3.59	6.88	-4.83	-3.28
	2040 – 2069	2.91	2.58	2.78	2.34	3.46	3.78	2.47	2.04	1.89	1.6	3.41	3.43	9.22	8.65	-4.71	0.62
	2070 – 2099	4.02	3.68	3.56	3.22	4.35	4.76	3.25	2.79	2.51	1.96	4.14	4.74	15.58	14.4	-6.74	1.65

季最大，春秋次之，秋季最小。A2 和 B2 情景下上述 3 个时间段增温最大的月份跟增温最小的月份之差分别可达到 2.1、2.6、3.8 °C 和 2.0、2.2、2.8 °C。各季节的增温差异也逐渐增大。降水方面，总体上呈增加趋势，但秋季减少，春夏季降水量增加明显。在 A2 情景下的 2070 – 2099 年时段，春夏两个季节增加约为 16.88% 和 18.12%。且在 A2 情景下的增量比 B2 情景多。同温度的增加相似，降水的各季节增加差异的也是逐渐增大的。在 21 世纪

中国的降水量的季节分布差异可能会加大。

3.3 平均地面气温增量和降水量变化量地理分布

下面探讨中国未来气温和降水变化情景的空间分布特征。从图 3 可以看出，无论是 A2 情景还是 B2 情景下，地面气温的增加在空间分布上是不均匀的，大体的情形是内陆增温大于海洋，北方增温大于南方。已有的诊断结果表明^[15]，我国年平均气温，近 46 a 的主要升温区为西北（主要位于新疆一带）、东北和华北北部地区，这与本文（图 3）

得到的结果一致。随着时间的推移，地面气温不断的升高。到 2070 - 2099 年，华南地区增温幅度约为 2 ~ 3 ℃，北方增温幅度可达 4 ~ 6 ℃。在 B2 情景下，增温的分布与 A2 情景很类似，但是气温增量比 A2 小。

从图 3 中降水量的变化分布来看，2010 - 2039 年时段，最大的降水增量中心在青海、西藏一带，增量为 0.4 mm /d。在内蒙古一带有一个降水量增加的中心。而在 2040 - 2069 年时段，青海西藏一

带增量为 0.6 mm /d。广东、福建的降水量有所减少。到了 2070 - 2099 年时段，青海西藏一带增量为 0.6 mm /d。华东地区有一增量中心，华南地区降水量有所减少。B2 情景下的降水量变化跟 A2 情景相似。这里需要说明的是，由于本文所采用的模式的分辨率不足以准确地描述陡峭而复杂地形的缘故，在喜马拉雅山脉附近出现的降水量增量中心尚需分辨率更高的区域气候模式的模拟研究进行证实。

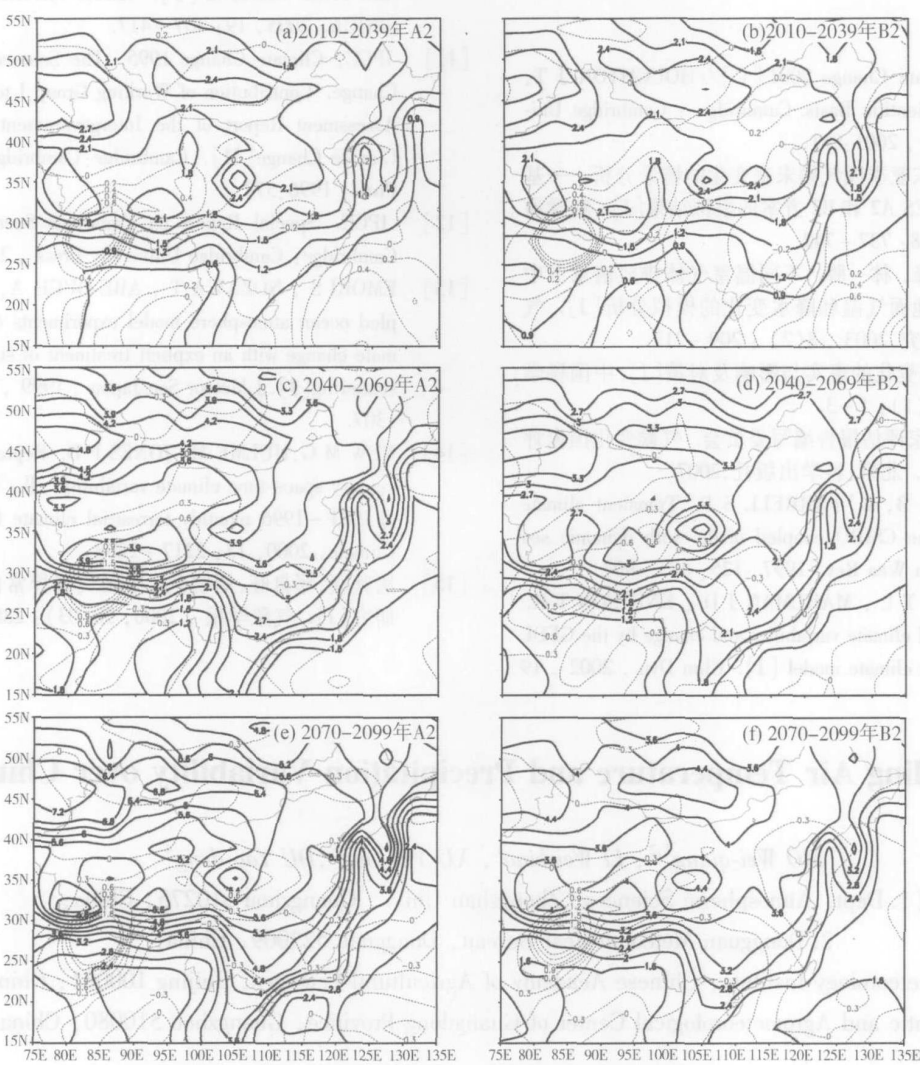


图 3 三个不同时段 SRES A2 和 B2 情景下 CCCma 预估的气温（实线，℃）和降水（虚线，mm /d）相对于气候基准年的变化特征

Fig. 3 Spatial characteristics of the change of surface air temperature (solid lines unit ℃) and precipitation (dashed line unit mm /day) projected by CCCma compared to the climatology baseline under SRES A2 (left) and B2 (right)

4 结 论

本文利用 CCCma 模式的模拟结果，分析了 CCCma 模式在 SRES A2 和 B2 情景下中国区域的气候变化情况，可以得到以下的结论：

- (1) CCCma 模式能较好地模拟中国区域地面气温的空间分布特征，并且能模拟出我国降水西北 - 华北 - 东北一带的少雨区以及江淮流域的多雨区，对华南地区的降水模拟能力则有待提高。
- (2) 中国未来地面气温的增加在空间分布上

是不均匀的, 大体的情形是内陆增温大于海洋, 北方增温大于南方。降水量总的变化趋势也是不断增加的, 降水量的增加主要青海西藏一带, 华南地区在 2070–2099 时段降水量会有所减少。

(3) 中国未来地面温度是持续增加的, 即使从 1990 年开始采用了减少温室气体排放的措施, 其后的增温趋势依然很明显, 至到 21 世纪中期, 才能明显的看出采取减少温室气体排放的措施对缓解增温趋势的效果。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate Change 2001 [C]. /HOUGHTON J T eds. The Scientific Basis Cambridge: Cambridge University Press, 2001: 881.
- [2] 布和朝鲁. 东亚季风气候未来变化的情景分析——基于 IPCC SRES A2 和 B2 方案的模拟结果 [J]. 科学通报, 2003, 48: 737–742.
- [3] 许吟隆, 薛峰, 林一骅. 不同温室气体排放情景下中国 21 世纪地面气温和降水变化的模拟分析 [J]. 气候与环境研究, 2003, 8(2): 209–217.
- [4] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策 [J]. 中国科学基金, 2003(1): 1–3.
- [5] 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.
- [6] GORDON H B, O' FARRELL S P. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice [J]. Mon Wea Rev, 1997, 125: 875–907.
- [7] DELWORTH T L, MAHIMAN J D, KNUTSON T R. Simulation of climate variability and change by the GFDL

- R30 coupled climate model [J]. Clin Dyn, 2002, 19: 555–574.
- [8] EMORI S, NOAZAWA T, ABE OUCHIAI, et al. Coupled ocean atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulfate aerosol scattering [J]. J Meteorol Soc Japan, 1999, 77: 1299–1307.
- [9] 赵彦, 林朝晖, 李旭, 等. IAP PSSCA 两组预测试验的评估及比较: I 降水部分 [J]. 大气科学, 2000, 24(2): 215–222.
- [10] XU Y, ZHAO Z G, LUO Y, et al. Climate Change Projections for the 21st Century by the NCC /IAP T63 Model with SRES Scenarios [J]. ACTA METEOROLOGICA SINICA, 2005, 19: 407–417.
- [11] IPCC. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996: 572.
- [12] IPCC. Special Report on Emissions Scenarios [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 599.
- [13] EMORI S, NOZAWA T, ABE OUCHI A, et al. Coupled ocean atmosphere model experiments of future climate change with an explicit treatment of sulfate aerosol scattering [J]. J Meteor Soc Japan, 1999, 77: 1299–1307.
- [14] NEW M G, HULMEM, JONES P D. Representing 20th century space time climate variability. II: Development of 1901–1996 monthly terrestrial climate fields [J]. J Climate, 2000, 13: 2217–2238.
- [15] 屠其璞, 邓自旺, 周晓兰. 中国气温异常的区域特征研究 [J]. 气象学报, 2000, 58(03): 288–296.

Modelling Air Temperature and Precipitation Variability over China

MO Wei-qiang^{1, 2}, LI Wei-biao¹, XU Yin-bing³, DU Yao-dong⁴

(1. Dept. Atmospheric Sciences, Zhongshan Univ., Guangzhou 510275, China;

2. Dongguan Meteorological Bureau, Dongguan 523009, China;

3. Agrometeorology Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

4. Climatic and Agrometeorological Center of Guangdong Province, Guangzhou 510080, China)

Abstract In this paper, CCCma the Second Generation Coupled Global Climate Model developed by the Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis is employed to simulate the baseline (1961–1990) and future 2010–2100 air temperature and precipitation over China under the SRES A2 and B2 scenarios. Major findings are as follows: (1) The comparison between the simulated and the observed baseline results shows that CCCma can well simulate the local distribution characteristics of temperature and the basic features of precipitation over China; (2) The air temperature and precipitation, especially the air temperature over China will experience a continuous increase during 21st century. The increase of air temperature is much more significant over north China than over south China. The maximum precipitation increase is located over Qinghai and Tibet while the precipitation over south China may experience a slight reduction; (3) Even though the greenhouse gas emissions are reduced from now on, the trend of the increase in the air temperature over China may not slowdown till the middle of the 21 century.

Key words scenarios of SRES A2 and B2, greenhouse gas, air temperature, precipitation