

Jiang D B, Wang H J, Lang X M. East Asian climate change trend under global warming background. *Chinese J. Geophys.* (in Chinese), 2004, 47(4): 590 ~ 596

全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测

姜大膀^{1,2} 王会军¹ 郎咸梅¹

1 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029

2 中国科学院东亚区域气候—环境重点实验室, 北京 100029

摘 要 在最新的 SRES A2 和 B2 温室气体排放情景下, 利用国际上 7 个气候模式针对未来全球变暖的数值模拟结果, 本文着重分析了东亚区域气候 21 世纪的变化趋势。研究揭示: 中国大陆年均表面气温升高过程与全球同步, 但增幅在东北、西部和华中地区较大, 且表现出明显的年际变化; 全球年均表面气温增幅纬向上大体呈带状分布, 两极地区最为明显, 并在北极地区达到最大; 此外, 21 世纪后半段北半球高纬度地区的年平均强升温幅度主要来自于冬季增温。在 21 世纪前 50 年, 温室气体含量的增加除在一定程度上会增加青藏高原大部分夏季降水量外, 不会对大陆其余地区的年、季节平均降水量产生较大影响; 但持续的温室气体含量增加将最终导致大陆降水量几乎是全域性的增加。

关键词 温室气体 全球变暖 东亚气候

文章编号 0001-5733(2004)04-0590-07 **中图分类号** P461 **收稿日期** 2003-03-24, 2004-04-06 收修定稿

EAST ASIAN CLIMATE CHANGE TREND UNDER GLOBAL WARMING BACKGROUND

JIANG Da-Bang^{1,2} WANG Hui-Jun¹ LANG Xian-Mei¹

1 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

Abstract Using the numerical experiment outputs as simulated by seven climate models under SRES A2 and B2 greenhouse gas scenarios, the East Asian climate change trend in the 21st century is analyzed. It follows that surface air temperature warming in China synchronizes with the global average case generally. However, the warming amplitude in northeastern, western, and central China is stronger and exhibits larger inter-annual variation. It is shown that the warming magnitude of global annual mean surface air temperature in the 21st century distributes band shape along with latitudes and gradually enlarges toward high latitudes, with the maxima at the Arctic and Antarctic, especially for the former. In addition, the simulated strong warming at northern high latitudes in the second half of the 21st century is mainly due to winter warming. In the first half of the 21st century, the increase of atmospheric greenhouse gas concentration will significantly enhance summer precipitation over the Qinghai-Xizang Plateau and, however, has slight influence on the other regional annual or seasonal precipitation in China. Nevertheless, both annual and seasonal precipitation will increase notably in China in the second half of the 21st century.

Key words Greenhouse gases, Global warming, East Asian climate.

基金项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 (KZCX3-SW-221), 国家杰出青年基金项目 (40125014) 和国家十五科技攻关项目 (2001BA611B-01) 联合资助。

作者简介 姜大膀, 男, 1974 年生, 博士, 主要从事古气候模拟和气候变化研究。E-mail: jiangdb@mail.iap.ac.cn

1 引 言

政府间气候变化委员会 (IPCC) 第三次评估报告指出,现在已有新的和比较强的证据表明,20 世纪全球变暖主要是由人类活动和自然变化的共同作用造成的,但最近 50 年观测到的全球变暖,很可能是人类活动的结果^[1],并日益受到关注. 作为气象灾害频发的国家之一,20 世纪 90 年代以来气象灾害造成的损失每年约占我国国民经济生产总值的 3%~6%^[2],因此,现阶段十分有必要就东亚区域气候未来变化趋势开展工作.

当前,人类活动影响下的全球气候平均变暖的事实已被大多数科学家所接受,但变暖的幅度和时空分布特征等诸多问题还有待进一步研究. 限于模式发展程度和计算量,未来气候变化研究在我国开展得相对较晚,但科研工作者近年来已就中国大陆气候变化事实、人类活动对气候变化的影响及未来

气候的变化趋势开展了一系列研究工作^[3~13],同时指出了气候变暖已对我国社会经济系统产生明显影响,并将继续造成长远而巨大的影响,其中许多影响将是不利的^[14].

国内外对未来气候进行数值预测过程中包含了很大的不确定性,这主要可以归结为气候模式本身、温室气体排放量估算的不确定性、以及气候资料的不足等. 然而,当前气候模式有能力给出比较科学的关于未来气候变化的模拟结果^[1],多模式的集合预测结果也被证明更加可信^[15]. 正是基于此,本文将合成 7 个耦合模式的最新数值模拟预测结果,分析在 SRES A2 和 B2 温室气体排放情景下,中国大陆 21 世纪表面气温和降水的变化特征,以期初步研究东亚区域气候的未来变化趋势.

2 模式资料

表 1 列出了本文所使用的 7 套耦合模式资料的

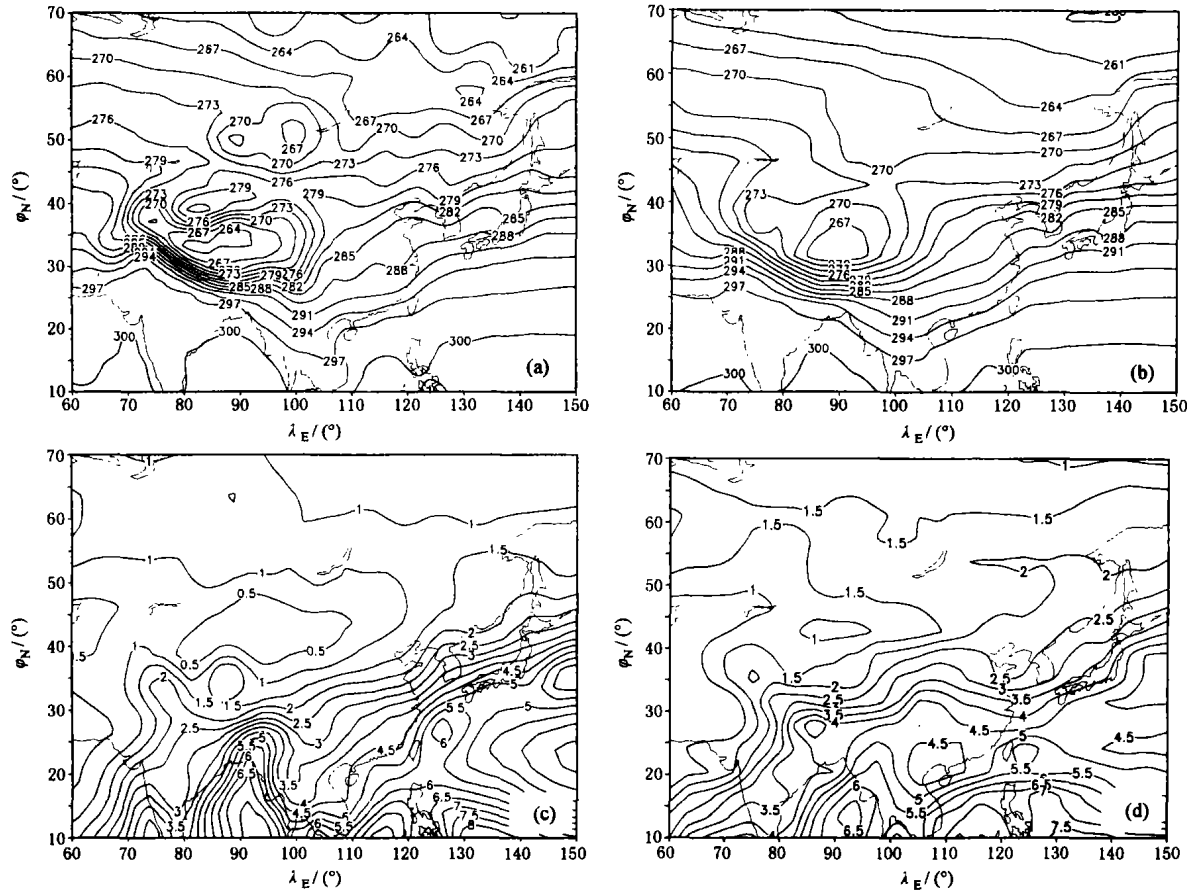


图 1 1961~1990 年平均表面气温(单位:K)
(a)NCEP/NCAR 再分析资料;(b)除 EH4OPYC3 和 NCARPCM 外,另五个模式合成结果;1979~1990 年平均降水(单位:mm/d);(c) Xie-Arkin 再分析资料;(d)同 b,但为降水.

Fig. 1 Annual mean surface air temperature from NCEP/NCAR (a) against the composite from five models except for EH4OPYC3 and NCARPCM (b) through 1961 to 1990 (Unit: K); annual mean precipitation from Xie-Arkin (c) against the composite from above five models (d) through 1979 to 1990 (Unit: mm/d)

表 1 在 SRES A2、B2 温室气体排放情景下进行模拟预测的气候模式的基本信息

Table 1 Information on the climate models performing simulation under SRES A2 and B2 scenarios

模式名称	水平格点分布 (经向 × 纬向)	积分时段	所属国家、研究中心缩写	参考文献
CCSR	64 × 32	1890 ~ 2100	日本/NIES	Emori et al. ^[18]
CGCM2	96 × 48	1900 ~ 2100	加拿大/CCCma	Flato and Boer ^[19]
CSIRO-Mk2	64 × 56	1961 ~ 2100	澳大利亚/CSIRO	Gordon and O'Farrell ^[20]
ECHAM4/OPYC3	128 × 64	1990 ~ 2100	德国/DKRZ	Stendel et al. ^[21]
GFDL-R30	96 × 80	1961 ~ 2100	美国/GFDL	Delworth et al. ^[22]
HadCM3	96 × 73	1950 ~ 2099	英国/UKMO	Johns et al. ^[23]
NCAR-PCM	128 × 64	A2: 1980 ~ 2099 B2: 2000 ~ 2099	美国/NCAR	Washington et al. ^[24]

基本信息。由图 1 所示的年均表面气温和降水的多模式合成结果与 NCEP/NCAR 表面气温^[16]、Xie-Arkin 降水^[17]再分析资料的对比可见,多模式集合结果模拟到了东亚区域年平均表面气温由热带向北逐渐递减、青藏高原为一低温中心、降水的西南至东北走向、以及从南到北逐渐减小的基本分布特征。但是,模式结果在量值上还存在一定程度的模拟偏差,如:除在青藏高原中南部模拟结果有 0~2.5 的偏暖外,在大陆其余地区模式结果却偏冷 0~4.5 ,年平均表面气温模拟偏差主要来自于冬季(图略);与此同时,在青藏高原东部地区模拟的年平均降水偏多 1~2mm/d,而这主要来自于夏季模拟偏差(图

略)。
对比赵宗慈和罗勇^[25]的研究结果表明,海气耦合模式对东亚区域气候的模拟能力近年来已经得到改善,对该区域基本气候态有较为合理的模拟效能,但仍存在着不确定性。因此,本文基于上述模式资料的合成分析结果,适用于揭示 SRES A2 和 B2 温室气体排放情景下 21 世纪东亚区域气候的大尺度变化特征。

3 表面气温和降水变化

文中分别选取东北(117.5~130 °E,42~54 °N)、

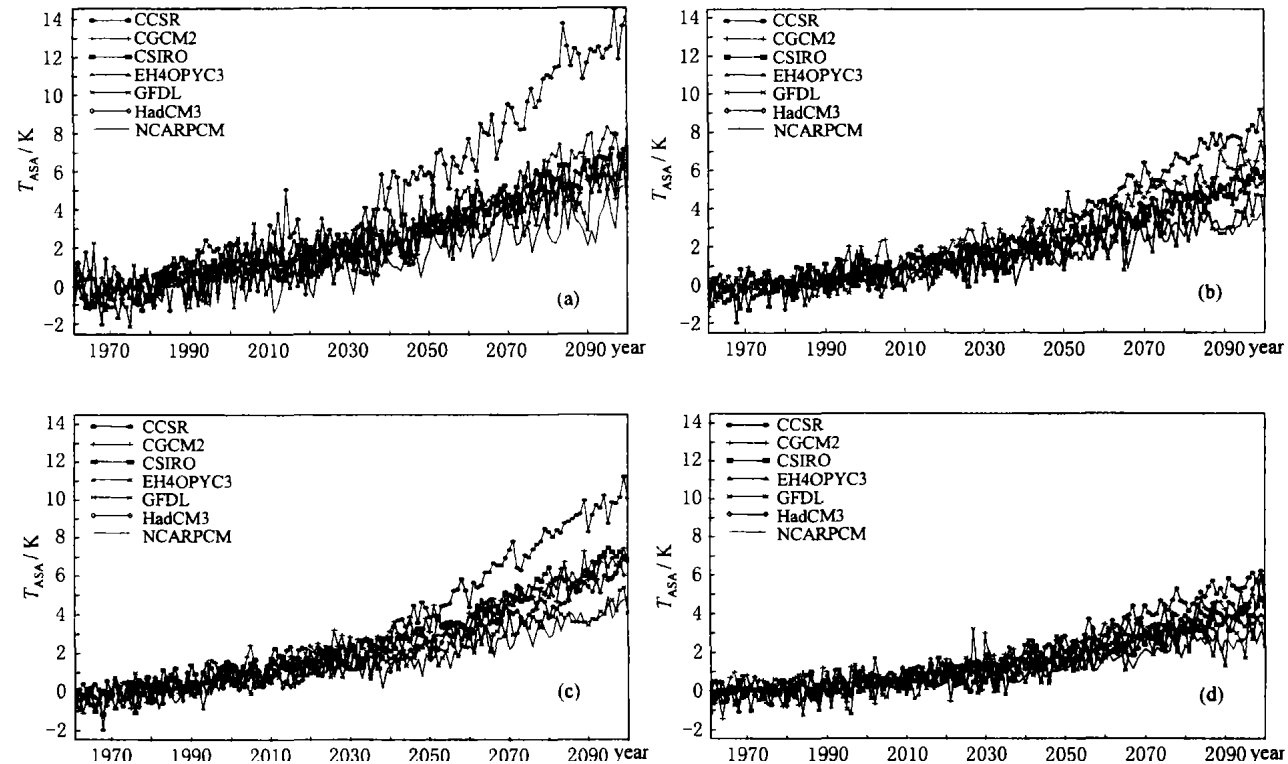


图 2 SRES A2 排放情景下,模拟的年平均表面气温相对于 1961~1990 年平均态的距平 (T_{ASA}) 序列:(a) 为东北;(b) 为华中;(c) 为西部;(d) 为华南 (EH4OPYC3 相对于 1990~1995 年平均态,NCARPCM 相对于 1980~1990 年平均态)
Fig. 2 Simulated global mean surface air temperature anomaly series against the climatology through 1961 to 1990 under SRES A2, (a) for Northeast China, (b) for Central China, (c) for West China, and (d) for South China. Here, EH4OPYC3 is relative to climatology through 1990 to 1995, and NCARPCM through 1980 to 1990

西部 (80 ~ 100 °E, 30 ~ 46 °N)、华中 (100 ~ 120 °E, 30 ~ 42 °N) 和华南 (100 ~ 120 °E, 22 ~ 30 °N) 作为具体研究对象。

结果显示,随着温室气体排放量的持续增加,中国大陆年均表面气温将逐渐升高(图 2)。其中,东北、西部和华中的升温趋势及幅度较为一致,且表现出较大的年际变化;而华南地区升温幅度相对较小,至 2100 年平均为 4 °C 左右,年际变化也相对较小。通过与全球年平均表面气温变化曲线的相互比较发现,中国大陆的升温过程与全球平均状况基本保持一致,但升温幅度在东北、西部和华中地区更强,年

际变化较大的特征也较为显著。此外,B2 温室气体排放情景下的升温幅度在 21 世纪末期较 A2 的通常为弱(图略),这是因为在该时间段上由温室效应产生的正辐射强迫异常 B2 较 A2 弱^[1]。此外,相对于年平均变化情形,表面气温在夏季和冬季的变化幅度基本持平,但季节平均表面气温的年际变化较年平均状况明显加强。

2011 ~ 2040、2041 ~ 2070 及 2071 ~ 2100 年平均表面气温相对于 1961 ~ 1990 年平均态的异常分布(图 3)表明,随着大气温室气体含量的持续增加,中国大陆表面气温逐渐升高,增暖幅度在纬向上基本呈带状分布,且从南至北逐渐增加;就全球而言,北半球高纬度地区表面气温升温幅度最大(与雪量、海冰覆盖面积及厚度减小有关),增暖幅度总体上从两极地区向赤道逐渐递减,同纬度带上大陆的升温幅

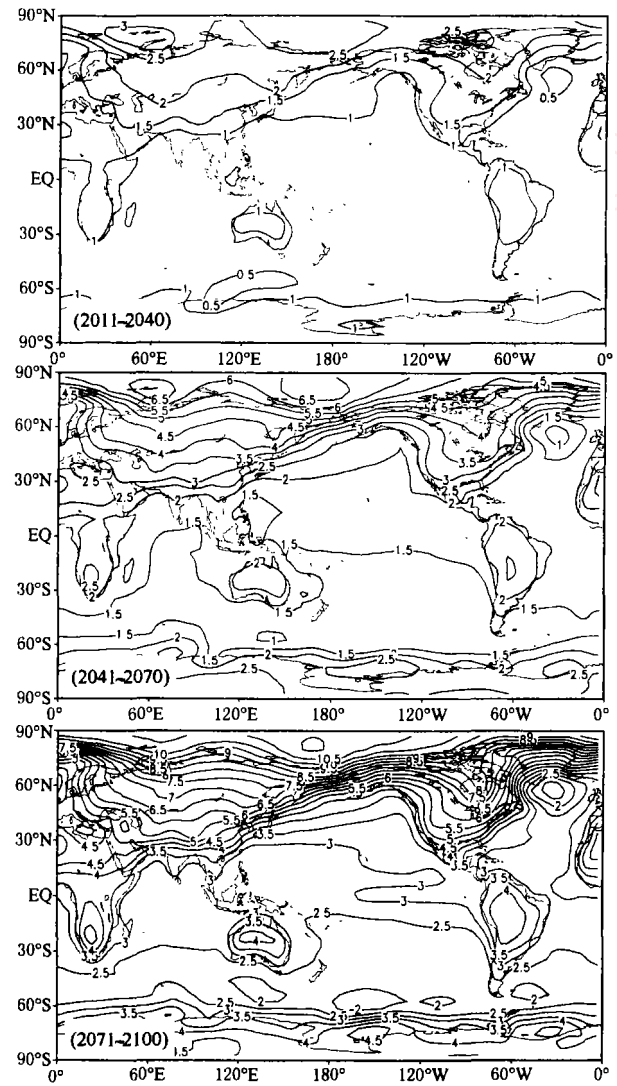


图 3 SRES A2 排放情景下,模拟的 2011 ~ 2040、2041 ~ 2070 及 2071 ~ 2100 年平均表面气温相对于 1961 ~ 1990 年平均态的距平分布(除 EH4OPYC3 和 NCARPCM 模式外的另 5 个模式合成结果,单位:K)

Fig. 3 Annual mean surface air temperature anomalies during 2011 ~ 2040, 2041 ~ 2070, and 2071 ~ 2100 against the climatology through 1961 to 1990 as simulated by five models except for EH4OPYC3 and NCARPCM (Unit: K)

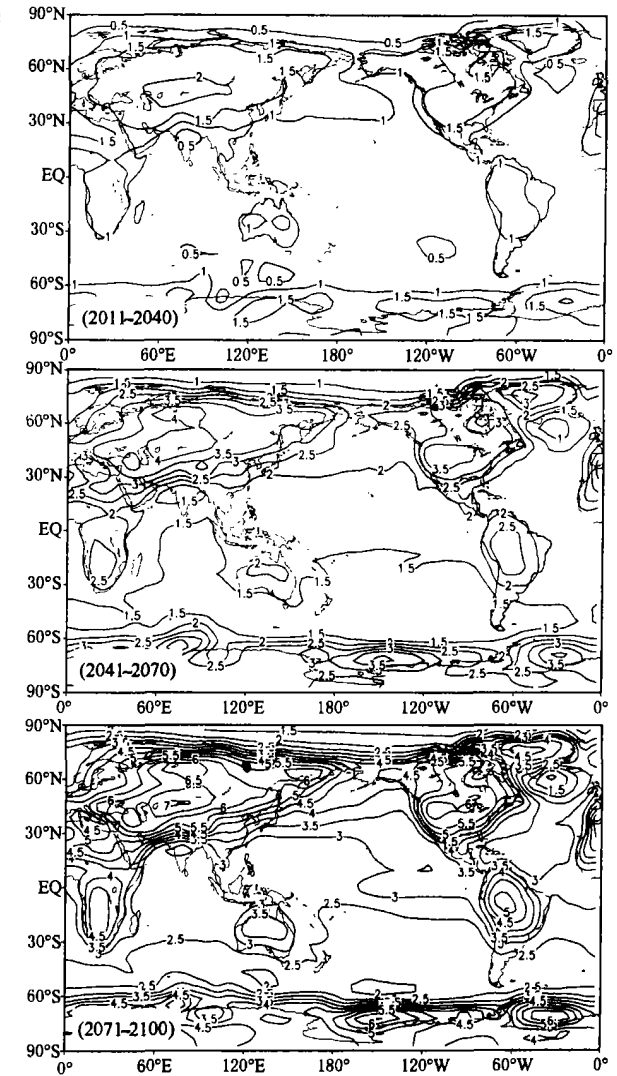


图 4 同图 3,但为夏季表面气温距平分布

Fig. 4 Same as Fig. 3, but for summer surface air temperature

度通常强于海洋(这与海洋的热量吸收有关);而且, A2 情景下的升温幅度在 21 世纪 50 年代后期通常较 B2 的更强(图略)。

本文也给出了夏季和冬季季节平均表面气温的变化情况。夏季,季节平均表面气温呈不断升高的趋势,最大升温区位于欧亚大陆中心,北美大陆、南美大陆、格陵兰地区、非洲南部和澳大利亚均出现了以大陆为中心的区域性升温大值区(图 4)。此外, A2 情景下的升温幅度分布状况与 B2 情景总体上保持一致。

冬季平均表面气温随时间的推移而大幅度增暖,升温幅度总体上从两极向赤道逐渐递减,且北半球的增温幅度要超过南半球(图 5)。如此大的升温幅度值得警惕,因为如果未来全球气候出现此种变化,则北半球寒冷的冬季气候将极大减弱,并代之以

温和的副热带温和性气候。在此升温背景下,两极地区大范围冰盖的面积及其厚度也将大大缩小,冰盖释放出的淡水将进入全球大洋系统,并最终导致大洋环流发生巨大的变化,从而在相当长的一段时间里影响全球气候系统。届时,全球陆地生态系统也必将发生大规模的变化,而海平面的上升则无疑会给人类带来严重的灾难。进一步分析表明,我国大陆的升温幅度在各个时期通常处于全球平均水平,东北地区的升温幅度则较大陆其余地区明显偏高,这也暗示了温室气体持续增加下东北地区的暖冬气候事件将不断加剧,从而对该地区人民的生产、生活乃至生存环境产生重大影响。通过图 3~5 的对比可以发现,由于温室气体增加,北半球高纬度地区在 21 世纪后半期年平均表面气温的强升高幅度主要来自于冬季增温。

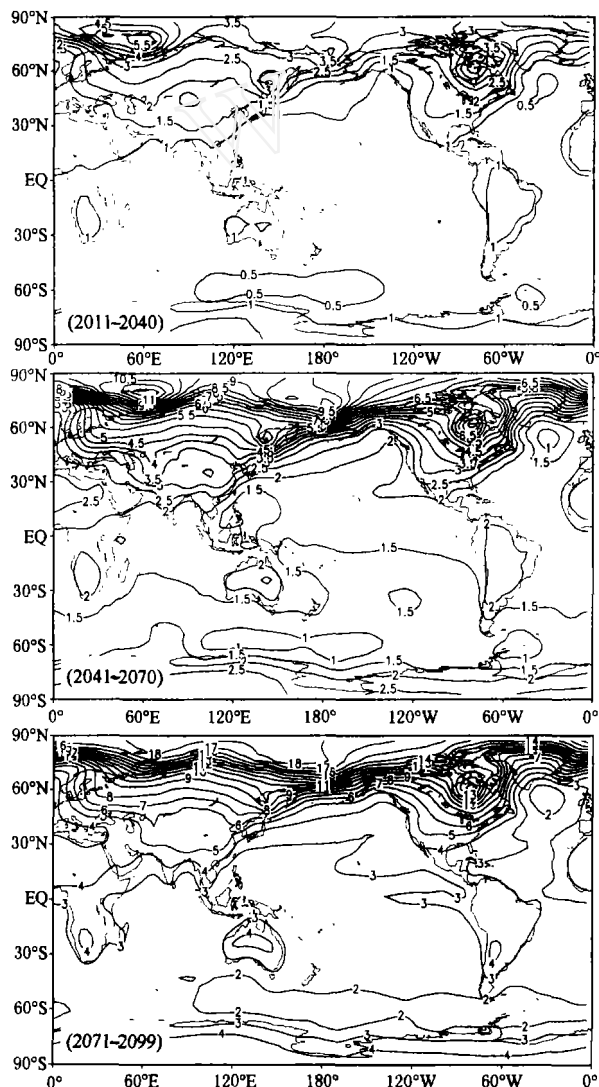


图 5 同图 3, 但为冬季表面气温距平分布

Fig. 5 Same as Fig. 3, but for winter surface air temperature

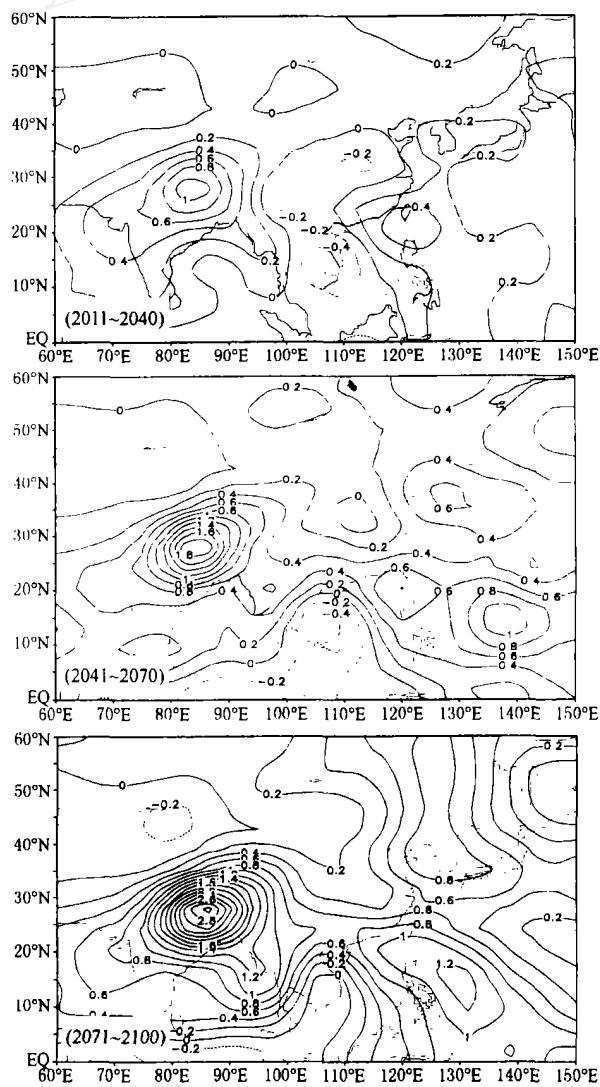


图 6 同图 3, 但为夏季降水量距平分布(单位: mm/d)

Fig. 6 Same as Fig. 3, but for summer precipitation(Unit: mm/d)

模式预测结果表明,21 世纪中国东北、华中和华南地区的年平均降水量有小幅增加,而西部降水量增加较大,至 2100 年区域年平均降水量增幅达 0.3 mm/d 左右;与此同时,我国大陆全境范围内降水量的年际变化将普遍加大。

2011~2040 年,印度大陆至青藏高原大部分地区的夏季降水量将增加,最大增幅在 1.0 mm/d 左右,华南局部地区的降水量也有微弱的增加(平均在 0.2 mm/d 左右),而大陆其余地区降水量变化则相对不大(图 6)。这表明,在一段时期内,除青藏高原局部外,大气温室气体含量的变化不会对我国夏季平均降水分布型产生较大影响。但这并不意味着温室气体增加短期内不会对我国大陆降水产生巨大作用。因为温室气体增加很可能将导致降水的次数减少,而区域降水的强度将大大增加^[1],即未来极端降水事件的次数将增加。

随着温室效应的不断加剧,21 世纪后半叶中国大陆降水量几乎是全域性的增加,其中,最大增幅中心仍位于青藏高原及其周边地区。而华南、东北地区的降水增加趋势也很明显(图 6)。尽管现有模式对青藏高原降水量的模拟仍存在一定程度的不确定性,但如此大的增幅足以引起注意。下一步,我们将利用能够搜集到的环流场资料对降水量增加的原因进行机制分析,以期更加深入地了解温室气体增加对中国气候的影响过程。由于我国大部分地区的降水量主要来自于夏季降水,加之分析结果显示冬季平均降水量变化相对不大,因此,本文没有讨论中国大陆年平均及冬季降水量的小幅度变化情况。

4 结 论

4.1 21 世纪中国大陆年平均升温趋势与全球保持同步,但增温幅度在东北、西部和华中地区更大,且表现出较大的年际变化,21 世纪后半叶北半球高纬度地区的强升温幅度主要来自于冬季增温。

4.2 21 世纪前半叶,温室气体含量的增加除在一定程度上会增加青藏高原局部的夏季降水量外,不会对中国大陆其余地区的年、季节平均降水量产生明显影响;但持续的温室气体含量增加将最终导致大陆降水量的增加。

尽管仍存在一定程度的不确定性,但当前气候模式已经能对东亚区域气候的大尺度分布特征有较为合理的模拟能力,因此,SRES A2 和 B2 温室气体排放情景下多个模式的集成预测结果值得关注。

模式资料来自于 IPCC 资料中心、英国 Hadley 气候研究中心,在此一并致谢!

参考文献

- [1] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Houghton J T, et al. eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 1~881
- [2] 黄荣辉. 我国气候灾害的特征、成因和预测研究进展. 中国科学院院刊, 1999, (3): 188~192
Huang R H. Advances in the characteristics, mechanism, and prediction of climatic disaster in China. *Bulletin of the Chinese Academy of Sciences* (in Chinese), 1999, (3): 188~192
- [3] 王会军, 曾庆存, 张学洪. CO₂ 含量加倍引起的气候变化的数值模拟研究. 中国科学(B 辑), 1992, (6): 663~672
Wang H J, Zeng Q C, Zhang X H. Simulated climate change due to double CO₂. *Science in China (Series B)* (in Chinese), 1992, (6): 663~672
- [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
Wang S W, Zhao Z C. A study of the trend of climatic change during the period of next 50 years. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 1995, 6(3): 333~342
- [5] Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, et al. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, 18(6): 1224~1230
- [6] 王明星, 杨 昕. 人类活动对气候影响的研究, 温室气体和气溶胶. 气候与环境研究, 2002, 7(2): 247~254
Wang M X, Yang X. Study on the effects of human activities on climate change, I. Green house gases and aerosols. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7(2): 247~254
- [7] 石广玉, 王喜红, 张立盛等. 人类活动对气候影响的研究, 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
Shi G Y, Wang X H, Zhang L S, et al. Impact of human activities on climate, . Impact on climate variability over East Asia and China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, 7(2): 255~266
- [8] 高庆先, 徐 影, 任阵海. 中国干旱地区未来大气降水变化趋势分析. 中国工程科学, 2002, 4(6): 36~43
Gao Q X, Xu Y, Ren Z H. Trend analysis of precipitation of arid areas in China. *Engineering Sciences* (in Chinese), 2002, 4(6): 36~43
- [9] 赵宗慈, 丁一汇, 徐 影等. 人类活动对 20 世纪中国西北地区气候变化影响检测和 21 世纪预测. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 26~34
Zhao Z C, Ding Y H, Xu Y, et al. Detection and prediction of climate change for the 20th and 21st century due to human activity in Northwest China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, 8(1): 26~34
- [10] 徐 影, 丁一汇, 赵宗慈等. 我国西北地区 21 世纪季节气候变化情景分析. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 19~25
Xu Y, Ding Y H, Zhao Z C, et al. A scenario of seasonal climate

- change of the 21st century in Northwest China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8**(1): 19 ~ 25
- [11] 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: 中国区域气候的可能变化. *气象学报*, 2003, **61**(1): 29 ~ 38
- Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, et al. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by a regional climate model part I: Climate change. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **61**(1): 29 ~ 38
- [12] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇等. 区域气候模式对温室效应引起的中国西北地区气候变化的数值模拟, 冰川冻土, 2003, **25**(2): 165 ~ 169
- Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, et al. Climate change due to greenhouse effects in Northwest China as simulated by a regional climate model. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 2003, **25**(2): 165 ~ 169
- [13] Buhe Cholaw, Cubasch U, Lin Y H, et al. The change of North China climate in transient simulations using the IPCC SRES A2 and B2 scenarios with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20**(5): 755 ~ 766
- [14] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策. 中国科学基金, 2003, 1 ~ 3
- Qin D H. Facts, impact, adaptation and mitigation strategy of climate change. *Chinese Science Foundation* (in Chinese), 2003, 1 ~ 3
- [15] Lambert S J, Boer G J. CMIPI evaluation and intercomparison of coupled climate models. *Clim. Dyn.*, 2001, **17**: 83 ~ 106
- [16] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR Reanalysis Project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437 ~ 471
- [17] Xie P, Arkin P A. A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1997, **78**: 2539 ~ 2588
- [18] Emori S, Nozawa T, Abe-Ouchi A, et al. Coupled ocean atmosphere model experiments of future climate change with an explicit representation of sulphate aerosol scattering. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1999, **77**: 1299 ~ 1307
- [19] Flato G M, Boer G J. Warming asymmetry in climate change simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 2001, **28**: 195 ~ 198
- [20] Gordon H B, O'Farrell S P. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125**: 875 ~ 907
- [21] Stendel M, Schmith T, Roeckner E, et al. The climate of the 21st century: transient simulations with a coupled atmosphere ocean general circulation model. Danmarks Klimacenter Report 00-6, Danish Meteorological Institute, Lyngbyvej 100, DK-2100 Copenhagen, Denmark, ISBN: 87-7478-427-7, 2000
- [22] Delworth T L, Mahlman J D, Knutson T R. Simulation of climate variability and change by the GFDL R30 coupled climate model. *Clim. Dyn.*, 2002, **19**: 555 ~ 574
- [23] Johns T C, Gregory J M, Ingram W J, et al. Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. Hadley Centre Technical Note No. 22, available from The Hadley Center for Climate Prediction and Research, The Met Office, London Road, Bracknell, RG12 2SY, UK, 2001
- [24] Washington W M, Weatherly J W, Meehl G A, et al. Parallel climate model (PCM) control and transient simulations. *Clim. Dyn.*, 2000, **16**: 755 ~ 774
- [25] 赵宗慈, 罗勇. 二十世纪九十年代区域气候模拟研究进展. *气象学报*, 1998, **56**(2): 225 ~ 246
- Zhao Z C, Luo Y. Advance on investigations of regional climate modelling since 1990. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1998, **56**(2): 225 ~ 246