

IPCC-AR4 全球气候模式在华东区域气候变化的 预估能力评价与不确定性分析

顾 问^{1,2}, 陈葆德², 杨玉华², 董广涛³

(1. 南京信息工程大学, 南京 210044; 2. 中国气象局上海台风研究所/台风预报技术重点开放实验室, 上海 200030;
3. 上海市气候中心, 上海 200030)

摘 要:本文分析了 IPCC 第四次评估报告中的全球气候模式在华东区域的气候预估能力与不确定性。以均方根误差作为衡量预估能力的标准, 比较了 IPCC-AR4 中 21 个气候模式在中等排放情景下的预估能力, 结果表明气候模式对华东区域气候变化的模拟能力差异较大, 模式 NCAR-CCSM3 和 MRI_CGCM2_3.2 在年平均气温和年降水 2 个要素的均方根误差均较小, 说明它们对华东区域的气候预估能力比其他模式强。在中等排放情景下, 气候模式能够模拟出接近观测实况的年平均气温与降水的空间分布特征, 但是由于空间分辨率较低, 模式不能模拟出局部细致的结构; 多模式集合平均对华东区域气温预估存在明显系统偏差, 比观测实况偏低 1.6℃以上, 偏低幅度超过了不确定性(一倍的模式间标准偏差)能涵盖的范围; 华东区域年降水模式间标准偏差占模式集合平均百分比为 26.7%, 表明直接用 AR4 多模式集合平均的结果难以准确反映华东区域该要素的未来变化。

关 键 词:气候模式; 华东区域; 情景预估; 不确定性

1 引言

目前全球气候模式是进行气候变化预估的主要手段。IPCC 第三次评估报告以来, 气候模式的发展和进步主要体现在以下 4 个方面: ①动力框架的改进(如平流计算等)和水平与垂直分辨率的提高; ②耦合了更多的物理过程, 特别是对气溶胶、陆面和海冰的考虑; ③海气耦合中大部分模式不再使用通量调整来减少气候漂移; ④物理过程参数化方案的改进, 特别是显式云和降水预报方案的引入。随着气候模式的不断发展, 模式的模拟结果也被证实更加可信^[1]。IPCC 第四次评估报告中分析了 23 个全球气候系统模式对过去气候变化的模拟结果, 发现在全球尺度上, 多模式集合平均模拟出主要气象要素的变化趋势和空间分布与观测事实较一致^[2]; 对全球未来气候变化预估不确定性比 IPCC 第三次评估报告有所减小。

近年来国内外的科研工作者利用 IPCC 评估报告中的全球气候模式对区域气候变化的模拟能力和预估作了大量的研究^[3-15], 主要发现 2 个问题, 一是全球气候模式在模拟区域气候时存在较大的偏

差, 二是多模式集合平均的预估结果包含了较大的不确定性^[16]。

华东区域处在副热带季风区, 在全球变暖的大背景下, 其未来的气候变化趋势十分复杂。尽管研究表明全球气候模式在全球尺度上有一定的预估能力, 但对区域气候变化的模拟能力缺乏系统评价。要正确合理地使用目前全球气候模式的预估结果, 必须对华东区域气候变化情景预估的不确定性进行系统分析。本文旨在通过对全球气候模式对华东区域气候变化情景预估能力的量化分析, 来考察其对本区域的预估能力, 包括多模式集合平均对华东区域气候变化情景预估不确定性分析和各个气候模式在对华东区域预估能力的比较。

2 研究方法

选取 IPCC 第四次评估报告中 21 个全球气候模式(表 1)^[17]在 A2、A1B 和 B1 排放情景(图 1)^[18]下的模拟结果与华东 6 省 1 市的实测气象要素(温度和降水)作比较, 分析这些模式对华东区域温度和降水及其变化的模拟能力。所用资料为以 NCEP 月平

收稿日期: 2009-09; 修订日期: 2010-03.

基金项目: 中国气象局气候变化专项(CCSF-09-10).

作者简介: 顾问(1985-), 女, 硕士。研究领域: 气候变化。E-mail: guw@mail.typhoon.gov.cn.

通讯作者: 陈葆德(1964-), 男, 研究员, 博导。研究领域: 气候变化, 数值模拟。E-mail: baode@mail.typhoon.gov.cn.

均分析场为背景场,加上站点资料经过最优插值得到的等面积正方形网格(5 km×5 km)上的月平均气温和降水格点资料,资料长度为 1961–2007 年;所有模式预估结果也插值到相同分辨率的网格点上,资料长度为 2001–2030 年。

模拟值与观测值之间的差异可以用均方根误差来表示,定义为: $R=\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{sim,i}-X_{obs,i})^2}$ (1) 式中: R 是格点的均方根误差, $X_{sim,i}$ 是该格点第 i 年的年平均模拟值, $X_{obs,i}$ 是对应的观测值。

模式间标准偏差可以定义为各模式与其平均值差值的均方根,即

$$\{Y\}=\frac{1}{N} \sum_{\alpha=1}^N Y_{\alpha} \quad \sigma=\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\alpha=1}^N (Y_{\alpha}-\{Y\})^2} \quad (2)$$

式中: Y_{α} 是第 α 个模式的预估值, $\{Y\}$ 是多模式集合平均, σ 是模式间标准偏差,它反映了各个模式相对于模式平均值的离散程度,可以当作不确定性的一种度量。

3 模拟结果

3.1 21 个全球气候模式对华东区域温度和降水的模拟能力

A1B 情景下,21 个气候模式模拟的 2001–2007 年华东年平均气温与观测年均气温之间的均方根误差差别比较大(图 2a),误差最大值是误差最小值的 2.5 倍,表明了各模式对华东区域年平均气温模拟存在着较大的差异。以均方根误差作为衡量模式预估能力的标准,排名最靠前的 6 个模式依次是 MIROC3.2 -HI (1.66℃)、MPI_ECHAM5 (2.0℃)、IAP -FGOALS (2.12℃)、GISS -EH (2.13℃)、MRI_CGCM2_3.2 (2.17℃)、NCAR-CCSM3(2.18℃)。

21 个气候模式模拟 2001–2007 年华东地区年降水的均方根误差范围区间在 250~350mm(图 2b),排名最靠前的 6 个气候模式依次是 GISS -AOM (251.2mm)、CNRM -CM3 (256.0mm)、MIUB-ECHO-G(264.9 mm)、NCAR-CCSM3 (272.2mm)、CCCMA -CGCM -3.1 (T47) (272.4mm)、MRI_CGCM2_3.2 (274.0 mm)。综合考虑年平均气温和年降水这 2 个要素,模式 NCAR-CCSM3 和 MRI_CGCM2_3.2 在 2 个要素中排名均比较靠前,说明它们对华东区域气候变化的预估能力比其他模式强。

3.2 多模式集合对华东区域温度和降水的预估能力和不确定性分析

比较气候模式的预估结果,发现不同模式在华东区域的预估能力存在较大差异,此外更多研究表

表 1 21 个气候模式的基本信息
Tab.1 Information of the 21 climate models

模式名称	所属国家和研究中心缩写	分辨率 (经向×纬向)	耦合过程中是否采用通量订正
BCCR_BCM2	挪威 BCCR	2.8°×2.8°	否
CCCMA_CGCM3.1 (T47)	加拿大 CCCMA	3.75°×3.75°	热量, 淡水
CNRM_CM3	法国 CNRM	2.8°×2.8°	否
CSIRO_MK3	澳大利亚 CSIRO	1.875°×1.875°	否
GFDL_CM2.0	美国 GFDL	2.5°×2.0°	否
GFDL_CM2.1		2.5°×2.0°	否
GISS_AOM	美国 NASA/GISS	4.0°×3.0°	否
GISS_EH		5.0°×4.0°	否
GISS_ER		5.0°×4.0°	否
IAP_FGOALS	中国 LASG	2.8°×3.0°	否
INM_CM3	俄罗斯 INM	5.0°×4.0°	局地淡水
IPSL_CM4	法国 IPSL	3.75°×2.5°	否
MIROC3.2_HI	日本	1.125°×1.125°	否
MIROC3.2_MED	CCSR/NIES/JA MSTEC	2.8°×2.8°	否
MIUB_ECHO_G	德国, 韩国 MIUB/KMA	3.75°×3.75°	热量, 淡水
MPI_ECHAM5	德国 MPIM	1.875°×1.875°	否
MRI_CGCM2_3.2	日本 MRI	2.8°×2.8°	热量, 淡水, 动量
NCAR_CCSM3	美国 NCAR	1.4°×1.4°	否
NCAR_PCM		2.8°×2.8°	否
UKMO_HADCM3	英国 HCCPR/UKMO	3.75°×3.75°	否
UKMO_HADGEM1		1.875°×1.24°	否

注: 引自 IPCC-AR4《自然科学基础》。

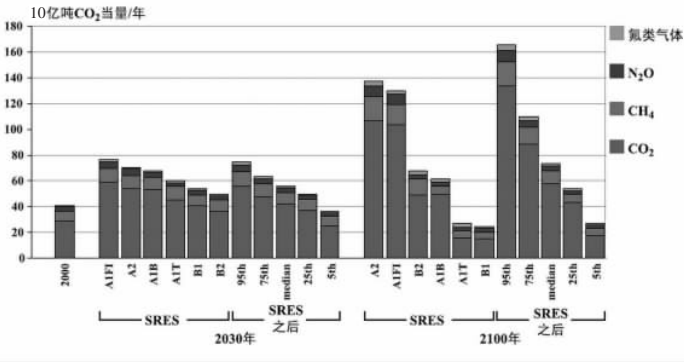


图 1 2000、2030 和 2100 年全球温室气体排放量
Fig.1 Global GHG emissions for 2000, 2030 and 2100

注:①全球温室气体排放量据 IPCC SRES 和 SRES 之后的计算获得;②图中还显示出 SRES 之后的各情景中排放的频率分布(第 5 个、第 25 个百分点、中位数、第 75 和第 95 个百分点);③氟类气体包括 HFCs, PFCs 和 SF6;④引自 IPCC-AR4《减缓气候变化》。

明没有任何一个气候模式对所有的气象要素模拟的都很好,但是在气候尺度上多模式集合平均的模拟能力是优于单个模式的,因为它减少了单个气候模式出现错误的概率^[1,6,11]。因此用 IPCC-AR4 中全球气候模式的集合平均对华东区域气候变化作预估比用单个模式更可靠,多模式集合平均的定义请参见公式 2。

Cox 等^[19]和 Hawkins 等^[20]指出 IPCC-AR4 中的全球气候模式的多模式集合平均在各类排放情景下前 30 年以内的预估结果没有显著差异,所以本文只重点分析了 21 个 IPCC-AR4 模式集合平均在中等排放情景(A1B)下的预估能力和不确定性。

3.2.1 对气温的预估能力和不确定性分析

2001–2007 年间观测表明(图 3a),华东区域的年均气温由北向南递增,气温区间为 12.8~22.0℃。多模式模拟该时段年平均气温的集合平均结果较好的体现了这个特征(图 3b),但是气温区间为 11.8~21.2℃,整体偏低,其中,华东东部大部分地区低估了 1℃左右,江西北部低估了 3℃左右,其他地区低估了 2.5℃左右。而且模拟的气温分布平滑均匀,尚不能模拟出观测气温在某些区域的闭合高值区。

2001–2007 年多模式集合平均模拟年均气温的均方根误差显示(图 4),福建、浙江沿海地区的均

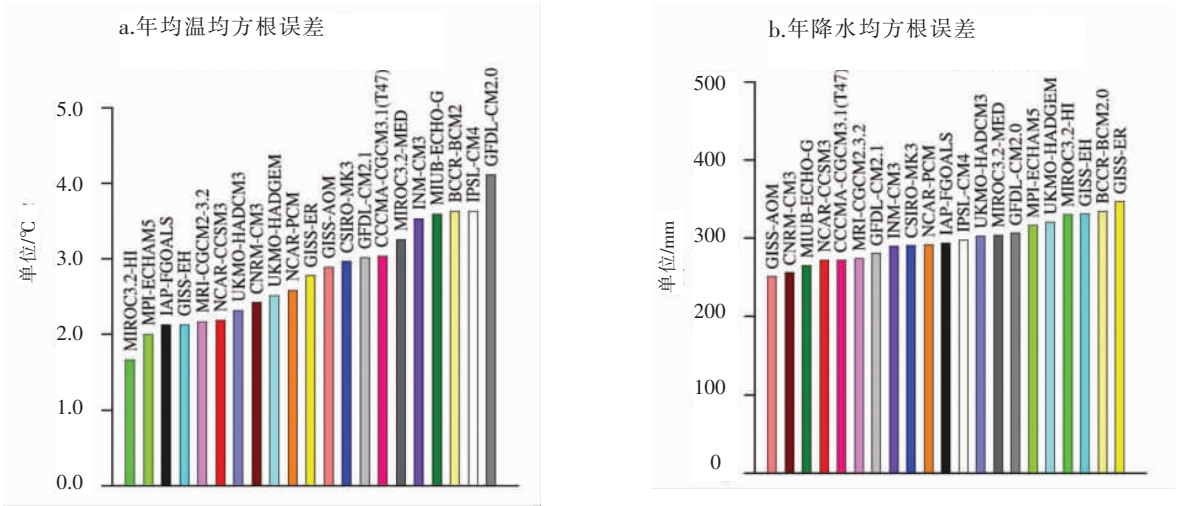


图 2 A1B 情景下 IPCC-AR4 中的 21 个气候模式模拟华东年平均气温和年降水的均方根误差

Fig. 2 Root mean square errors of annual mean temperature and annual precipitation of 21 IPCC-AR4 models simulations in East China under SRES A1B

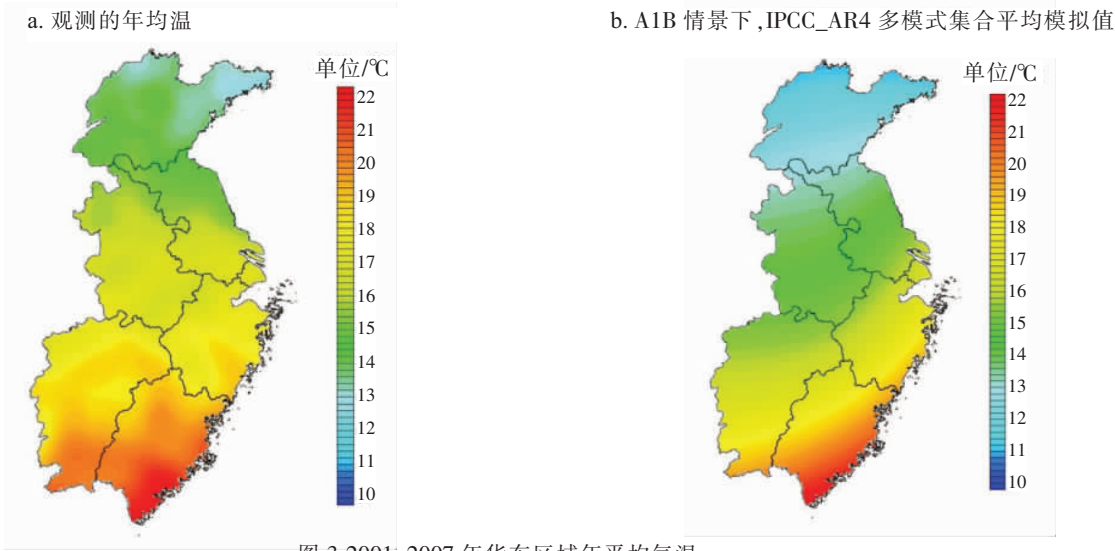


图 3 2001–2007 年华东区域年平均气温

Fig.3 Annual mean temperature in East China during 2001–2007

方根误差均在 1℃以下;江西南部、浙江中部、上海、江苏东部和山东东部的均方根误差在 1.5℃左右;而安徽大部、山东西部的均方根误差在 2℃左右,江西北部均方根误差最大,超过 3.5℃。

A1B 情景下,IPCC-AR4 模式预估华东年均气温的标准偏差分布是福建南部、江西南部最小(<1.5℃)(图 5),山东西部的标准偏差最大(>2℃),浙江省的标准偏差比同纬度地区要高 0.5℃。这种分布说明模式对华东南部地区的预估结果分歧比较小,对山东西部和浙江的预估分歧比较大,即预估山东西部和浙江气温的难度要比华东南部大。一般来说,在给定强迫下,模式响应的差异主要是来自于模式中对水汽反馈、陆面反馈和云反馈机制等物理过程的描述(如参数化方案等)^[10],其存在着很大的不确定性,上述模式间标准偏差分布正是反映了这种差异和不确定性。

表 2 给出了 A1B 排放情景下,华东各省年均地面观测气温和 IPCC-AR4 多模式集合平均模拟的年平均气温、2 者的偏差及均方根误差、模式间标准偏差、预估 30 年内的线性增温趋势,可以看到多模式集合平均预估华东区域年平均温度比观测偏低 1.61℃,上海、浙江、福建的偏差较小(<1℃),安徽、江西的偏差较大(>2℃)。集合平均预估华东区域气温的均方根误差为 1.67℃,上海、福建较小(<1℃),安徽、江西较大(>2℃)。集合平均预估华东区域年均

气温的模式间标准偏差为 1.77℃,标准偏差在各省市间的差别较小,范围在 1.4℃到 2.1℃之间,其中浙江省的标准偏差最大,为 2.06℃。

图 6 为华东各省年均地面观测气温、多模式集合平均预估的年均气温、模式间标准偏差及预估气温增加趋势随时间的变化。多模式集合平均预估的华东各省市在未来 30 年年平均气温均呈上升趋势,区域年均气温线性上升幅度为 0.23℃/10a (图 6a),沿海省份温度增加趋势比内陆省份低,南方省份温度增加趋势比北方省份低,其中浙江为最低(0.18℃/10a,图 6d),江西省和山东省为最高(0.25℃/

表 2 全球气候模式对华东区域气温的预估能力和不确定性分析指数

Tab.2 indexes of temperature simulation evaluation and uncertainty analysis for climate change projections in East China made by IPCC-AR4 models

地区	观测气温/℃	模拟气温/℃	偏差/℃	均方根误差/℃	模式间标准偏差/℃	30 年的线性趋势/(℃/10a)
上海	17.10	16.36	-0.74	0.83	1.86	0.19
江苏	15.78	14.28	-1.50	1.54	1.73	0.23
浙江	17.89	17.03	-0.84	1.01	2.06	0.18
安徽	16.44	14.24	-2.20	2.22	1.89	0.24
江西	18.69	16.61	-2.08	2.10	1.55	0.25
福建	20.05	19.24	-0.81	0.91	1.48	0.22
山东	13.87	12.04	-1.83	1.87	1.99	0.25
华东区域	17.13	15.52	-1.61	1.67	1.77	0.23

注:前 4 列数值是 2001-2007 年的平均,模式间的标准偏差是 2001-2030 年的平均。

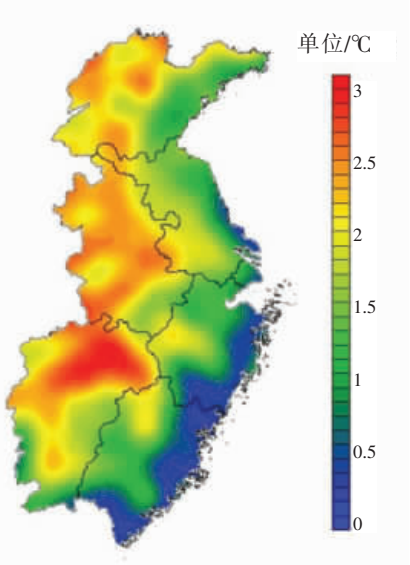


图 4 2001-2007 年多模式集合平均模拟与观测年均气温的均方根误差

Fig.4 Root mean square error between simulation of multi-model ensemble mean and observation for annual mean temperature in East China during 2001-2007

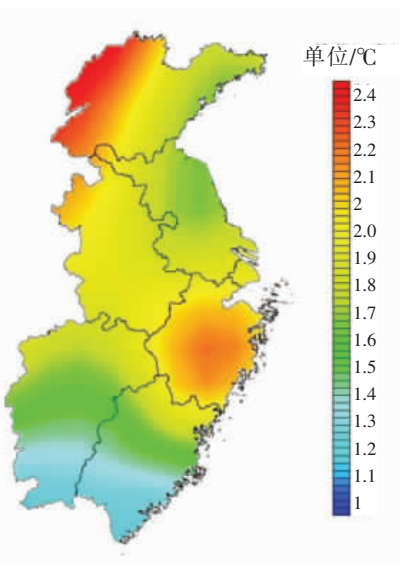


图 5 在 A1B 情景下,IPCC-AR4 模式对 2001-2030 年均温预估的模式间标准偏差

Fig.5 Standard deviation among climate models of IPCC-AR4 models' projection for annual mean temperature during 2001-2030 in East China under SRES A1B

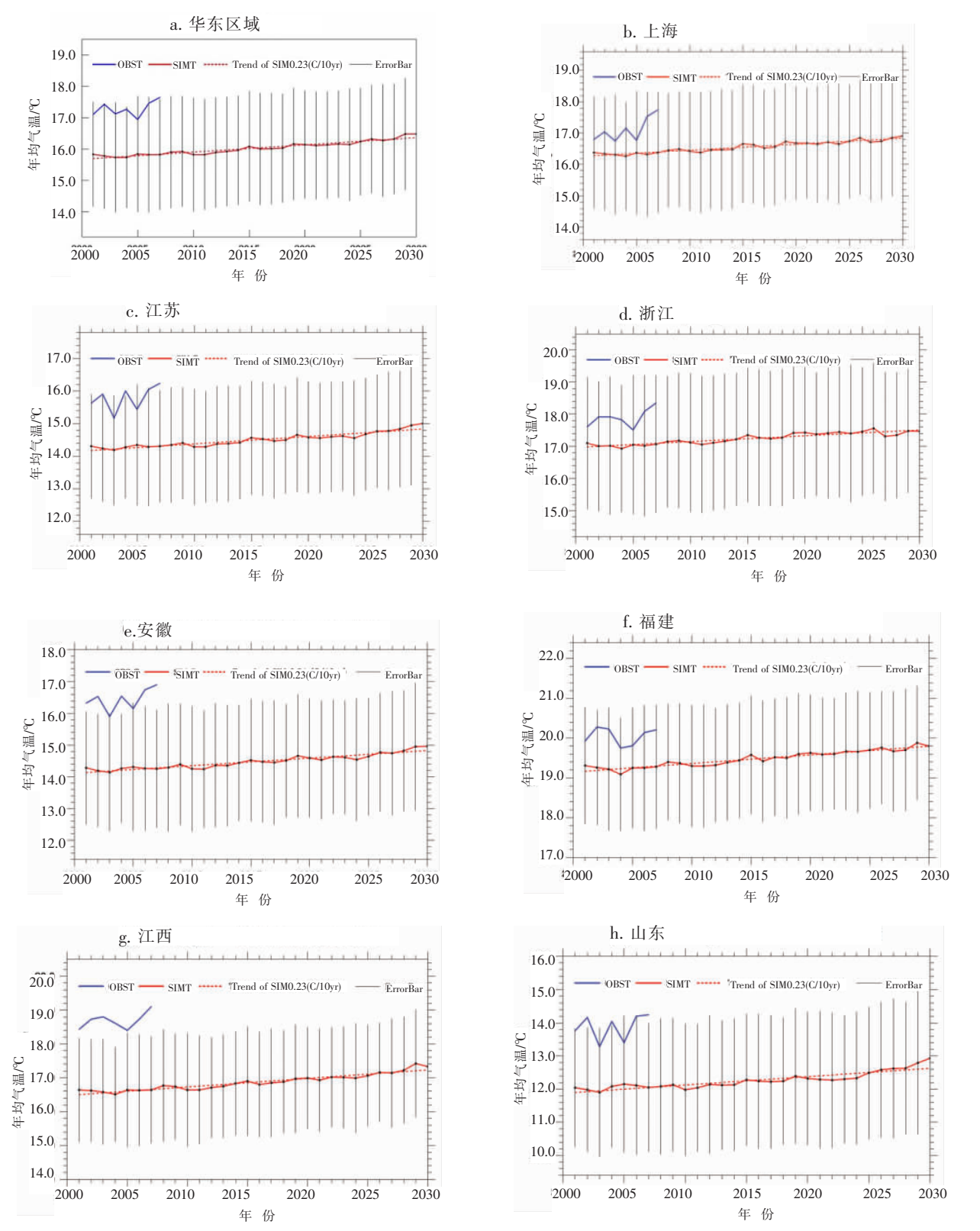


图6 华东各省年均地面观测气温(蓝实线)和多模式集合平均预估的年均气温(红实线)、模式间标准偏差(黑竖线), 气温增加趋势(红虚线)

Fig.6 Observed annual mean temperatures (blue real line), multi-model ensemble means for temperature projections by IPCC-AR4 models (red real line), standard deviations among models (black vertical bar) and the linear tendency of temperature changes of each province in East China for temperature projections (red dash line)

10a,图 6g 和 6h)。多模式集合平均预估温度的年际变化幅度(红实线)远远小于观测的温度变化幅度(蓝实线),而单个模式结果的年际变化明显,这表明不同模式的年际变化在多模式平均中被相互抵消,体现了各模式对年际变化预估的不一致性和不确定性。多模式集合平均对华东区域气温预估偏低 1.6℃以上;个别省份偏低 2.0℃以上。由于华东部分省份(如江西、安徽)预估年平均气温偏低幅度甚至超过了不确定性(一倍的标准偏差,黑竖线)能涵盖的范围,因此多模式集合平均预估的华东区域气温难以准确反映该区域未来气温的变化。

3.2.2 对降水的预估能力和不确定性分析

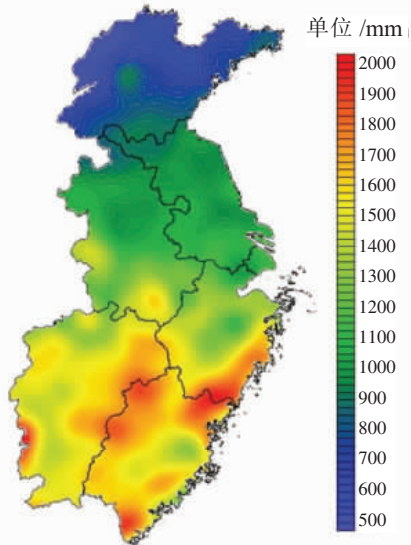
2001–2007 年的降水观测表明(图 7a),华东区域的年降水总体分布为自北向南递增,长江以北年降水大都在 1200 mm 以下;山东北部降水最小,年均 500 mm 左右,而福建南部,闽浙交界的沿海地区的年降水最大,年均降水达到 2000 mm 左右,是山东北部的 4 倍;闽赣交界地区也有年降水偏多区域,年均降水为 1700 mm。在此期间多模式模拟年降水的集合平均结果大致表现为南高北低(图 7b),长江以北年降水也大都在 1200 mm 以下,山东北部年降水为 700 mm 左右;浙江、江西北部 and 福建北部有大值区存在,年降水达到 1300 mm 以上,为山东北部的 2 倍左右。总的来说,模拟的年降水分布比较平缓,不能表现出观测降水的细致结构。

图 8a 为多模式集合平均模拟年降水与观测年降水的差,模式模拟的年降水在华东中北部大都高于观测,其中浙江北部、安徽、上海、江苏中南部和山东大部的年降水高估 100 mm 左右,山东西部年降水高估达 300 mm;模式模拟年降水在华东南部则明显偏低,特别是赣闽交界处、浙闽沿海和闽南的年降水低估了 500 mm 以上。这可能是由于全球气候模式的分辨率太粗,难以模拟出由于锋面、台风和中小尺度引起降水的细致结构。

由于华东区域降水的南北差异较大,故用相对误差更能体现出模拟降水的误差分布。如图 8b 所示,福建和江西的年降水偏低了 15%左右,浙江中部和北部、上海、安徽、江苏和山东南部偏高 10%左右,而山东西部相对误差最大,偏高 50%以上。

A1B 情景下 IPCC-AR4 模式预估华东区域年降水的模式间标准偏差表现为从南向北递减,其中江西中南部、福建的标准偏差最大,均为 400 mm 以上,最大达到 500 mm 左右,浙江中南部、江西中部部分区域的标准偏差为 300 mm 左右,浙江北部、长江以北大部分地区的标准偏差在 200–250 mm 之间。华东区域年降水量模式间标准偏差占模式集合平均百分比表现为从华东中部地区向南北两端递增(图 9),安徽、浙江北部、江西北部 and 江苏南部较小,大约为 15%–25%,山东均大于 25%,福建南部和江西南部最大,超过了 35%。

a. 观测的年均降水量



b. A1B 情景下, IPCC_AR4 多模式集合平均模拟值

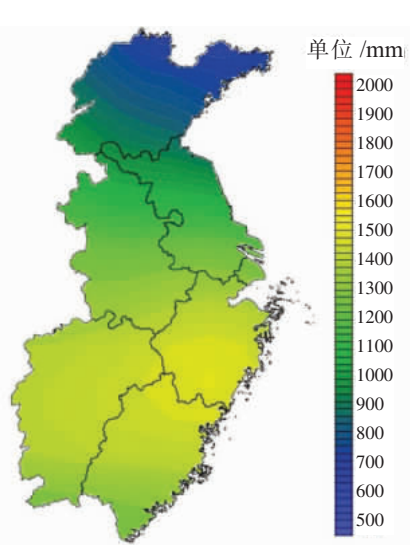


图 7 2001–2007 年华东区域年均降水

Fig.7 Annual precipitation in East China during 2001–2007

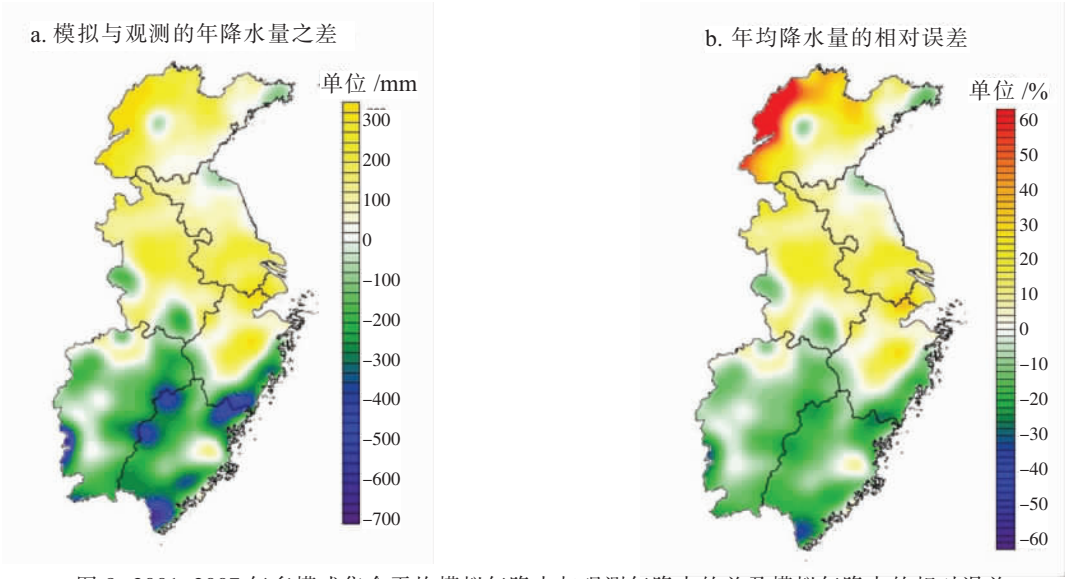


图 8 2001–2007 年多模式集合平均模拟年降水与观测年降水的差及模拟年降水的相对误差

Fig.8 Difference between observation and simulation of annual precipitation and Relative error of multi-model ensemble means for annual precipitation in East China averaged during 2001–2007

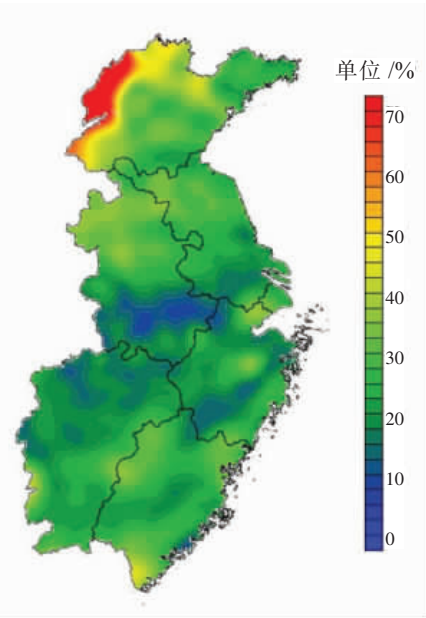


图 9 2001–2030 年 A1B 情景下 IPCC_AR4 模式年降水预估结果的模式间标准偏差占模式集合平均百分比

Fig.9 Percentage for inter-models' standard deviation of annual precipitation of multi-model ensemble mean in East China under SRES A1B averaged for 2001–2030

表 3 给出了华东各省年降水、多模式集合平均预估年降水、两者的绝对误差、相对误差的绝对值和模式间的标准偏差占模式集合平均百分比。从表 3 中可以看出福建的绝对误差最大(244 mm),江苏和安徽的绝对误差较小(110 mm 左右)。华东区域的相对误差绝对值为 13.2%,其中山东的相对误差的绝对值(22.9%)最大,福建和上海的相对误差的绝对

表 3 全球气候模式对华东区域降水的预估能力和不确定性分析指数

Tab.3 Indexes of precipitation simulation evaluation and uncertainty analysis for climate change projections in East China made by IPCC-AR4 models

地区	观测降水/mm	模拟降水/mm	绝对误差/mm	相对误差的绝对值/%	模式间标准偏差占模式集合平均百分比/%
上海	1092.6	1271.7	179.5	16.6	22.3
江苏	1015.0	1109.9	102.4	9.9	22.8
浙江	1436.9	1431.2	145.2	10.1	21.9
安徽	1155.1	1230.1	114.3	10.4	20.2
江西	1537.1	1393.3	152.9	9.6	30.9
福建	1630.0	1390.4	244.4	14.5	33.6
山东	702.4	832.4	139.0	22.9	27.9
华东区域	1247.5	1228.0	151.0	13.2	26.7

注：前 4 列数值是 2001–2007 年的平均，模式间的标准偏差是 2001–2030 年的平均。

值在 15%左右,江苏、浙江、安徽和江西的相对误差的绝对值较小,均在 10%左右,这表明模式在华东北部和南部省份的表现较差,在华东中部省份表现较好。华东区域年降水模式间标准偏差占模式集合平均百分比为 26.7%,其中福建和江西最大,均在 30%以上,其他各省也都超过了 20%。说明在给定强迫下(如温室气体增加),不同模式响应的不确定性对年降水模拟的分歧较大,意味着对华东区域的年降水预估难度大。山东和福建的相对误差的绝对

值和模式间标准偏差占模式集合平均百分比均比较大,表明多模式集合平均对山东、福建年降水的预估能力尤为欠缺。

4 结论和讨论

本文利用 IPCC-AR4 提供的全球气候模式的预估结果和华东区域的观测分析数据,重点分析了 A1B 排放情景下全球气候模式在华东区域气候变化的预估能力和不确定性,结果表明:①以均方根误差作为衡量模式预估能力的标准,比较分析了 IPCC-AR4 中 21 个气候模式在中等排放情景(A1B)下对华东区域气温和降水的预估能力,其中模式 NCAR-CCSM3 和 MRI-CGCM2_3.2 表现好于其他模式。②多模式集合平均对华东区域气温预估偏低 1.6℃以上,个别省份偏低 2.0℃以上。由于华东部分省份预估年平均气温偏低幅度甚至超过了不确定性(一倍标准偏差)能涵盖的范围,说明用多模式集合平均作为华东区域气温的预估是不可靠的。③多模式年降水模拟的集合平均在华东区域北部和南部省份的表现较差,在华东区域中部省份表现较好。多模式年降水模拟集合平均在华东区域平均的相对误差绝对值为 13.2%。华东区域年降水模式间标准偏差占模式集合平均百分比为 26.7%,其中福建和江西最大,均在 30%以上,其他各省也都超过了 20%。说明在给定相同强迫下(如温室气体增加),不同模式响应的不确定性对年降水模拟的分歧较大,意味着对华东区域的年降水预估的难度较大。

通过上面讨论可知,由于不同模式对华东区域气候变化的预估能力差异较大,所以将来可考虑用更科学的方法,如加权(给预估能力好的模式以较大的权重)平均对华东区域作预估。虽然全球气候模式的多模式集合平均能够模拟出观测年平均气温和降水的空间分布特征,但由于气候模式较低的空间分辨率,模式模拟的气温和降水的空间分布比较平缓,不能模拟出局部细致结构。因此,未来也可考虑用各种降尺度方法对该区域的气候进行预估。

另外,本文没有深入探讨全球气候模式对华东区域气温和降水预估不确定性的来源,下一步将研究模式本身、排放情景和内部自然变率对不确定性的贡献。

致谢:由衷感谢“气候模式诊断与比较计划(Program of Climate Model Diagnosis and Intercomparison, PCMDI)”提供的模式计算结果。

参考文献

- [1] Lambert S J, Boer G J. Climate Dynamics: CMIP1 evaluation and intercomparison of coupled climate models. Springer-Verlag, 2001, 17: 83-106.
- [2] Meehl G A, Covey C, Delworth T, et al. The WCRP CMIP3 multimodal dataset: A new era in climate change research. Bull Amer Meteor Soc, 2007, 88(9): 1383-1394.
- [3] Forster P M, Taylor K. Climate forcings and climate sensitivities diagnosed from coupled climate model integrations. Journal of Climate, 2006, 19(23): 6181-6194.
- [4] Gates W L M, Boyle J S, Covey C. An overview of the results of the atmospheric model intercomparison project (AMIP I). Bull Amer Meteor Soc, 1999, 80(1): 29-55.
- [5] Gleckler P, Sperber K, Fiorino M, et al. Atmospheric climatology and annual cycle. An appraisal of coupled climate model simulation. Livermore, California: Lawrence Livermore National Lab, 2004: 54-58.
- [6] Walsh J E, Chapman W L, Romanovsky V, et al. Global climate model performance over Alaska and Greenland. Journal of Climate, 2008, 21(23): 6156-6174.
- [7] Koutsoyiannis D, Efstratiadis A. On the credibility of climate predictions. Hydrological Sciences, August, 2008, 53 (4): 671-684.
- [8] 许崇海, 沈新勇, 徐影. IPCC-AR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析. 气候变化研究进展, 2007, 3 (5): 287-292.
- [9] 杨军丽, 郭裕富, 王斌. 亚洲季风降水的多模式模拟结果分析. 气候与环境研究, 2007, 12(4): 533-545.
- [10] 孙颖, 丁一汇. IPCC-AR4 气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估. 气象学报, 2008, 66 (5): 755-780.
- [11] 江志红, 张霞, 王冀. IPCC-AR4 模式对中国 21 世纪气候变化的情景预估. 地理研究, 2008, 27(4): 787-799.
- [12] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测. 地球物理学报, 2004, 47 (4): 590-596.
- [13] 许吟隆, 薛峰, 林一骅. 不同温室气体排放下中国 21 世纪地面气温和降水变化的模拟分析. 气候与环境研究, 2003, 8(2): 209-217.
- [14] 江志红, 陈威霖, 宋洁, 等. 7 个 IPCC-AR4 模式对中国地区极端降水指数模拟能力的评估及其未来情景预估.

大气科学, 2009, 33(1): 109–120.

[15] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. SRES A2 情景下中国气候未来变化的多模式集合预测结果. 地球物理学报, 2004, 47(5): 776–784.

[16] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2001: 608–617.

[17] Qin D H, Solomon S. Summary for policymakers, Climate change 2007, The physical science basis. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007: 589–662.

[18] Qin D H, Solomon S. Summary for Policymakers, Climate change 2007, Mitigation of Climate Change. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2007: 27–32.

[19] Cox P, Stephenson D. A changing climate for prediction. Science, 2007, 317(13): 207–208.

[20] Hawkins E, Sutton R. The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions. Bull Amer Meteor Soc, 2009, 90(8): 1095–1107.

Simulation Evaluation and Uncertainty Analysis for Climate Change Projections in East China Made by IPCC–AR4 Models

GU Wen, CHEN Baode, YANG Yuhua, DONG Guangtao

(1. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Shanghai Typhoon Institute/Key Open Laboratory of Typhoon Forecast Technique, CMA, Shanghai 200030, China; 3. Shanghai Climate Center, Shanghai 200030, China)

Abstract: In this paper, the climate change projections in East China made by the climate models in the IPCC–AR4 were assessed by simulation evaluation and uncertainty analysis. By comparing individual simulation of the 21 IPCC AR4 models with the observations and with each other as well, it is demonstrated that the simulation abilities of different models vary widely. Only models of NCAR–CCSM3 and MRI–CGCM2.3.2 have small root mean square errors for both temperature and precipitation simulations in East China. It has been shown that, under the scenario A1B, multi-model ensemble mean can fairly well illustrate the spatial patterns of annual mean temperature and precipitation. Nevertheless, it can hardly reflect local fine structure of the distributions because of their low spatial resolutions. Moreover, there is a significant systematic deviation in multi-model ensemble mean for temperature projection. It underestimates the annual mean temperature by more than 1.6°C, and the difference between simulation and observation exceeds the extent of the uncertainty which is defined by one-fold standard deviation of inter-models’ simulations. The standard deviation of annual precipitation is up to 26.7% of the multi-model ensemble mean. Therefore it would be quite questionable if IPCC–AR4 multi-model ensemble means of temperature and precipitation in East China are directly used as climate change projection.

Key words: climate models; East China; scenarios projection; uncertainty

本文引用格式:
顾问, 陈葆德, 杨玉华, 等. IPCC–AR4 全球气候模式在华东区域气候变化的预估能力评价与不确定性分析. 地理科学进展, 2010, 29(7): 818–826.