

翟颖佳,李耀辉,陈玉华. 全球及中国区域气候变化预估研究主要进展简述[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 803-813, doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0803

全球及中国区域气候变化预估研究主要进展简述

翟颖佳^{1,2}, 李耀辉², 陈玉华³

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 3. 宁夏气象信息中心, 宁夏 银川 750002)

摘要:自IPCC评估报告发表以来,气候模式对未来气候变化的预估成为人们重视的问题。因此,本文回顾了IPCC前4次报告对全球未来气候变化预估的主要结论,并对全球及区域气候模式对中国地区的模拟和预估结果进行了分类总结,得出区域气候模式由于分辨率更高、对特殊地形的模拟能力更强,因此比全球气候模式的模拟和预估结果更准确;同时讨论了目前存在的问题及今后研究的方向。

关键词:IPCC; 中国地区; 气候模式; 气温; 降水

文章编号:1006-7639(2013)-04-0803-11 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-04-0803

中图分类号:P467

文献标识码:A

引言

气候变化已经成为一个不争的事实,是全球变化研究的核心问题和重要内容。研究表明,近百年以来,地球正在经历一次以全球变暖为主要特征的显著变化^[1],气候变化已经不再仅仅是一个学科问题^[2],它给全球和中国的社会、经济以及环境带来重要影响。因此,该问题越来越受到各国政府和人民的关注与重视^[3-8]。在这种情况下,世界气象组织(WMO)和联合国环境规划署(UNEP)于1988年联合建立了政府间气候变化专门委员会(IPCC),其主要职责是评估有关气候变化问题的科学信息以及评价气候变化的环境和社会经济后果,制定现实的应对策略^[9],并分别于1990、1995、2001以及2007年发表了4次评估报告,较为全面地总结了对于世界各国未来气候变化的预估结果。

与此同时,随着全球气候变暖以及气候极端事件的频繁发生,人们对气候的关注程度也与日俱增,如何准确预测未来气候变化也成为全球气候学家们共同致力研究的问题。因此,自IPCC的几次评估报告发表以来,全球气候系统模式以及区域气候模

式就作为气候模拟和未来气候变化情景预估的重要工具,并且在近些年获得了长足发展^[10]。

近几十年,我国科学家们对中国气候变化的未来预估做了大量的计算与分析研究^[11-15]。如高学杰等^[16]用RegCM2区域气候模式进行了CO₂加倍对中国气候变化影响的数值试验,结果显示中国区域年平均气温升高2.5℃,降水增加12%;徐影等^[17]利用1961~1990年观测资料,对IPCC提供的5个全球海气耦合模式(ECHAM4、HADCM2、GFDL、CGCM1、CSIRO)在同样时段只考虑CO₂等温室气体的影响和既有CO₂等温室气体又有气溶胶的影响对东亚地区气候变化进行了检测,结果表明2种情形下,上述5个模式对东亚和中国区域的气候都有一定的模拟能力;姜大膀等^[18]利用IPCC提供的7个气候模式在高排放SRES A2、低排放B1情景下的结果,分析了东亚区域气候21世纪的变化趋势,指出中国年均气温增幅在东北、西部和华中地区较大,21世纪末降水量几乎全域性增加;Luo Yong等^[19]用多模式集合预估21世纪中国气候,发现增暖范围在1.2~9.2℃,全国降水普遍增加;另外,由于亚洲中部干旱区(我国西北、蒙古及中亚干旱

收稿日期:2013-10-30;改回日期:2013-11-28

基金项目:公益性行业(气象)科研专项“多时间尺度干旱监测预警、评估技术研究”(GYHY201006023)、国家自然科学基金项目“西北地区跨季强干旱事件的形成机理研究”(41175081)共同资助

作者简介:翟颖佳(1989-),女,回族,河北人,硕士,主要从事区域气候及气候变化成因机理研究. E-mail:zhaiyj666@163.com

区)的气候特点对全球变化有一定的影响作用^[20-22],任余龙等^[23]利用 NCAR CAM3 全球气候模式对该区域近百年来气候变化进行模拟试验,结果表明模式对亚洲中部干旱区的高度场以及地面气温变化趋势的模拟较好,但对经、纬向风速的模拟结果不理想。

由此可见,我国科研人员在气候模式预估未来的研究方面已经取得了很大成就。因此,本文试图在前人的工作基础上总结 IPCC 前 4 次报告中对未来气候变化预估的主要结论,归纳 IPCC 报告中部分全球气候模式和区域气候模式对当代气候的检验以及对未来气候变化的预估能力,以便进一步开展 IPCC 第 5 次报告中各个气候模式模拟的运用和研究,并对今后研究所面临的科学问题进行展望。

1 全球未来气候变化的预估

对全球未来气候变化的预估是 IPCC 历次科学评估报告中重视的一个问题。本节将总结 IPCC 前 4 次报告对未来气候变化的主要预估结果。

IPCC 第 1 次评估报告^[3]针对温室气体排放情况对今后排放量做了 4 种假设,A 方案为照常排放方案(不减排),B、C、D 方案为不同程度控制递增,(D 方案减排最明显,C、B 方案次之)。利用模式的计算结果得出:A 方案中 21 世纪全球平均温度将以每 10 a 约 0.3 °C 的平均速率上升,这比过去 10 000 a 的增速要大得多,全球平均温度到 2025 年将比 20 世纪末升高 1 °C 左右,到 2100 年将高 3 °C 左右。如按其他排放方案计算,全球平均温度上升率分别为 0.2 °C/10 a 左右(B 方案)、0.1 °C/10 a 以上(C 方案)、0.1 °C/10 a 左右(D 方案)。

IPCC 第 2 次评估报告^[24]中气候模式模拟实际气候趋势与预估未来气候变化的能力有了改善。考虑温室效应与气溶胶冷却的共同作用,模式预估的结果为 2100 年与 1990 年相比,全球温度上升为 1 ~ 3.5 °C;而按照最低程度 IPCC 排放构想(IS92c),到 2100 年温度增幅为 1 °C;中等程度 IPCC 排放构想(IS92a)下 2100 年温度增加约 2 °C。可见考虑气溶胶冷却作用,对预估结果有很大影响。

IPCC 第 3 次评估报告^[25]在 SRES(排放方案特别报告)方案下,预计 1990 ~ 2100 年间全球平均表面温度将上升 1.4 ~ 5.8 °C,这个结果比第 2 次评估报告预测值大,而根据 IS92 排放方案,未来几十年人类活动所产生的增暖率为 0.1 ~ 0.2 °C/10 a,且陆地比海洋平均增温更快。对于降水,全球模式预估结果表明,21 世纪平均水汽浓度和降雨将增加,

尤其是 21 世纪后半叶,北半球中高纬地区冬季降水会增多。

2007 年发布的 IPCC 第 4 次评估报告^[9]中显示,未来 20 a 一系列 SRES 方案预测温度升高 0.2 °C/10 a,即使温室气体和气溶胶浓度保持在 2000 年水平,全球温度仍将升高 0.1 °C/10 a,而温室气体加倍的情况下,到 21 世纪后期气温将比现在升高 1.8 ~ 4.0 °C;降水方面,高纬度地区降水量增加的可能性较大,多数副热带大陆地区降水量将减少,尤其是 A1B 情景下 2100 年降水量减少将高达 20%。

从上述 IPCC 4 次评估报告中对全球 21 世纪温度和降水的预估结果来看,无论考虑减排方案或者气溶胶、温室气体等因素,未来 100 a 全球气温均呈上升趋势;而降水在中高纬地区可能增加,其它地区将有增有减。值得注意的是,4 次报告中模式进行预估时均没有考虑气候的自然变化,只给出人类强迫对气温和降水的可能影响,因此预估结果存在不确定性^[26]。

2 全球变化和气候变化模拟

截止到 IPCC 第 4 次评估报告发布,已有 100 多个气候模式和模式集合参与与预估未来气候变化的行列当中^[27]。其中包括全球大气海洋环流模式考虑温室气体排放的增加(GG)^[28],模式有 CCSR、CSIRO、DKRZ、GCM7、GFDL、HADL 和 NCAR 等;全球大气海洋环流模式考虑温室气体和硫酸盐气溶胶排放的同时增加(GS)^[28],模式有 CCC、CCSR、CSIRO、DKRZ、GCM7、NCC/IAPT63 和 NCAR 等;全球大气海洋环流模式考虑 SRES 情景^[28-29](CCC、CSIRO、ECHAM、GCM14、GFDL、HADL 和 NCC/I - APT63 等);以及地球气候系统模式(BCC)^[30-32](CM1、BC - CR、CCSM3、CGCM47、CNRM3、ECHM5 和 MIROC3m)等。

这些气候模式均能够较好地模拟全球气候变化特征^[33],在中国范围内的模拟能力也较强,并且我国处于东亚季风区,季风活动频繁,因此研究我国气候变化对改进模式的模拟能力具有重要意义。

许崇海等^[34]利用 IPCC 数据中心提供的 22 个全球海气耦合模式(BCC_CM1、CCCMA_3、CSIRO_MK3、GISS_E_R、NCAR_CCSM 等)对我国 20 世纪的温度和降水量变化进行模拟,其中选取基准时间段 1980 ~ 1999 年为气候平均值进行分析比较,且将模式输出的月平均资料统一插值到 1° × 1° 的标准格点上。

通过单个模式和多模式平均的模拟 2 种方法进

行分析研究后得出,模式集合平均值对于我国 20 世纪气候变化的模拟能力明显优于单个模式;多数模式的温度模拟值偏低,但能够模拟出空间分布特征以及变化趋势,降水模拟值普遍偏高,尤其以高原地区最为明显;另外,无论是单个模式还是多模式平均的模拟效果,温度都好于降水。

对未来气候变化的预估方面,许崇海等^[35]利用多个全球气候模式的集合效果对中国 21 世纪的降水进行预估。分析研究得出,21 世纪我国降水的 10 a 周期变化较为显著,在 SRES A1B 情景下,降水将逐渐从少雨型转为多雨型,且有明显的区域性差异;赵宗慈等^[27]利用 40 余个气候模式和模式集合,预

估到 2025 年相对于 1961 ~ 1990 年气温的我国年平均增暖为 1.39 °C,增暖幅度在 0.94 ~ 2.19 °C。

2.1 GG 和 GS 对我国气候变化的模拟研究

徐影等^[36]利用 1961 ~ 1990 年观测的温度和降水等的季和年平均资料,对同时期 IPCC 数据中心提供的分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 的 5 个全球模式的模拟结果在中国地区 ($70^{\circ} \sim 140^{\circ}\text{E}$, $15^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}$) 进行检测,这 5 个海气耦合模式包括 ECHAM4^[37]、HADCM2^[38]、GFDL^[39]、CGCM1^[40]、CSIRO^[41-42],且分别考虑 CO₂ 等温室气体(方案 1)的影响(GG)和考虑 CO₂ 等温室气体与硫化物气溶胶(方案 2)共同影响(GS)2 种情况,并给出 5 个模式数值试验简介情况(表 1)。

表 1 5 个全球海气耦合模式及数值试验设计简介^[36]
Tab.1 Five AOGCMs and numerical experiments design^[36]

	ECHAM4	HADCM2	GFDL - R15	CGCM1	CSIROMK2B
AGCM	T42/L19	3.75 × 2.5/L19	R15/L9	T32/L10	R21/L9
OGCM	2.8 × 2.8/L17	3.75 × 2.5/L20	4.5 × 3.75/L12	1.8 × 1.8/L29	R21/L21
变量输出 (方案 1)	降水, 平均温度, 最高、最低温度, 日较差, 辐射, 风, 水汽	降水, 平均温度, 最高、最低温度, 日较差	降水, 平均温度, 最高、最低温度, 日较差, 辐射, 风, 水汽	降水, 平均温度, 最高、最低温度, 日较差, 辐射	
变量输出 (方案 2)	同上	同上	同上	同上(没有风场)	同上
试验设计	1860 ~ 1990 年实 际排放	1860 ~ 1990 年实 际排放, 4 个集合 模拟	1766 ~ 1990 实际 排放	1900 ~ 1990 年实 际排放, 3 个集合 模拟	1881 ~ 1990 年实 际排放

在进行检测时,除了直接比较观测场与 2 种情况下的模拟场数据以外,为了更好地与观测场进行比较,采用线性内插方法将观测场资料和模式结果统一插值到标准格点为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 上,并进行各自的均值、误差值、均方差及相关系数等的计算,其方法为国际通用方法^[43]。

分析与研究表明,5 个海气耦合模式在 2 种不同的情形下对中国气候均有一定的模拟能力,但也都存在一些误差。其中以 100°E 为界,我国西部地区的模拟误差大于东部,降水的误差大于温度,夏季温度和降水的误差均大于冬季;对各个模式而言, ECHAM4 和 HADCM2 的模拟效果较好,它们对年平均温度模拟的相关系数分别为 0.929 和 0.940,年平均降水的相关系数分别为 0.706 和 0.633;另外,通过对比发现,总体上考虑 CO₂ 等温室气体与硫化物气溶胶共同影响的情形(GS)的模拟能力要好于只考虑 CO₂ 等温室气体情形(GG),这可能与硫化物气溶胶的增加有关。

另外,杜吴鹏等^[44]利用这 2 种情形预测到 2090 年(相对于 1961 ~ 1990 年),我国年平均气温将分别上升 5.72 °C(GG)和 4.51 °C(GS),这主要是因为 GS 中加入了硫化物气溶胶,其有冷却作用,可见不同的排放情景对未来的气候变化有着较大的影响。

2.2 SRES 情景下对我国气候变化的情景预估

IPCC 第 4 次评估报告(简称 IPCC - AR4)提供了 13 个新一代气候系统模式(CCCMA - GCM3.1、CNRM - CM3、CSIRO - Mk3.0、GFDL - CM2.0、GFDL - CM2.1、GISS - ER、INM - CM3.0、IPSL - CM4、MIROC3.2_medres、ECHO - G、MPI - ECHAM5、UKMO - HadCM3 和 PCM1)的模拟结果,江志红等^[11]选取了其中 3 个不同的情景(高排放 SRES A2、中等排放 A1B 和低排放 B1)来分析中国地区未来 100 a 的气候变化。而由于这 13 个模式的分辨率各不相同(表 2),因此对所有变量的分析都采用双线性插值法统一插值到 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 的网格点上。

表 2 13 个气候系统模式的基本信息^[11]
Tab. 2 The essential information of the 13 climate system models^[11]

模式名称	分辨率(经向×纬向)	所属国家、研究中心缩写
CCCMA – GCM3.1	3.75°×3.75°	加拿大/CCCMA
CNRM – CM3	2.8°×2.8°	法国/CNRM
CSIRO – Mk3.0	1.875°×1.875°	澳大利亚/CSIRO
GFDL – CM2.0	2.5°×2.0°	美国/GFDL
GFDL – CM2.1	2.5°×2.0°	美国/GFDL
GISS – ER	5.0°×4.0°	美国/GISS
INM – CM3.0	5.0°×4.0°	俄国/INM
IPSL – CM4	3.75°×2.5°	法国/IPSL
MIROC3.2_medres	2.8°×2.8°	日本/CCSR/NIES/FRCGC
ECHO – G	3.75°×3.75°	德国/MIUB
MPI – ECH AM5	1.875°×1.875°	德国/MPI
UKMO – HadCM3	3.75°×2.5°	英国/UKMO
PCM1	2.8°×2.8°	美国/NCAR

分析结果表明,中国在未来 100 a 内气候总体预估呈现显著变暖、变湿现象(相对于 1961 ~ 1990 年),变暖范围在 1.6 ~ 5 ℃ 之间,平均为 3.5 ℃,年降水量将增加 1.5% ~ 20%,平均增加 7.5%;在 A2、A1B 和 B1 3 种排放情景下(图 1),21 世纪末中国地区的气温预估将分别有 4.8 ℃、4.0 ℃ 和 2.4 ℃ 的增幅,且高原地区和北方的增温幅度要大于南方,另外,冬季变暖现象最为明显(图略);降水方面,到 21 世纪末 3 种排放情景所对应的降水量预估将依次增加 10.0%、9.0% 和 6.4%,北方增湿程度大于南方地区,且冬、春季降水增加明显(图略)。通过上述预估结果可以看出,高排放 SRES A2 情景下,未来 100 a 中国的温度和降水量的增加趋势都最为显著,因此减排行动刻不容缓。

2.3 全球气候模式模拟的不确定性

总的来说,目前全球气候模式在模拟区域气候上有一定的模拟能力,但是也存在一些不确定性,例如:模式基本都是将温度集合和降水集合分开来研究,目前还没有使用相同的模式数量,这使得二者对比性稍差一些^[34];而研究温室气体等对我国气候变化的影响时,我们只能考虑人为排放等因素,而难以考虑气候系统内部的自然变率现象^[35];我国青藏高原等的特殊地形,也使得模式的模拟结果存在一定的误差;另外,全球气候模式的水平分辨率较低,难以细致地模拟出区域气候的具体特点^[45]。而在气候变化模拟研究中,区域气候模式可视为全球气候模式的补充^[46]。

3 区域气候变化和气候变化模拟

在过去十几年中,我国许多学者利用区域气候模式(RCM、REMO、RAMS^[47]等)开展了相关研究工作并取得了明显的进步^[48-58],经过不断的检验和发展,区域气候模式已经成为现在气候研究和业务预报的重要工具之一,并且在气候模拟研究中,区域气候模式的分辨率较全球模式也有很大提高,能够模拟出更为合理的区域性强迫作用,比如地形影响等^[46]。下文将介绍一些区域气候模式对我国气候变化的模拟情况及未来气候预估的情况^[59-67]。

3.1 PRECIS 对我国气候变化的模拟研究

PRECIS 是由英国气象局 Hadley 气候预测与研究中心基于 GCM – HadCM3 发展的区域气候模拟系统^[68]。该系统对中国区域气候有一定的模拟能力,因此被广泛应用。

王芳栋等^[69]选取了 PRECIS 积分出来的 1961 ~ 2000 年共计 40 a 的逐月模拟结果与同时期插值处理后得到的分辨率为 0.5°×0.5°的观测资料进行对比分析,二者的水平分辨率基本相当,所以有较强的可比性。

通过对比分析后得出,PRECIS 能够较好地模拟出 1961 ~ 2000 年我国气候的变化特征。具体来看,PRECIS 对我国年、夏季以及冬季的平均气温空间分布形态的模拟比较合理(图 2),观测值与模拟值的年平均温度距平相关系数达到 0.84,其中冬季模拟值与观测值最为吻合,并且模式能够模拟出山脉等

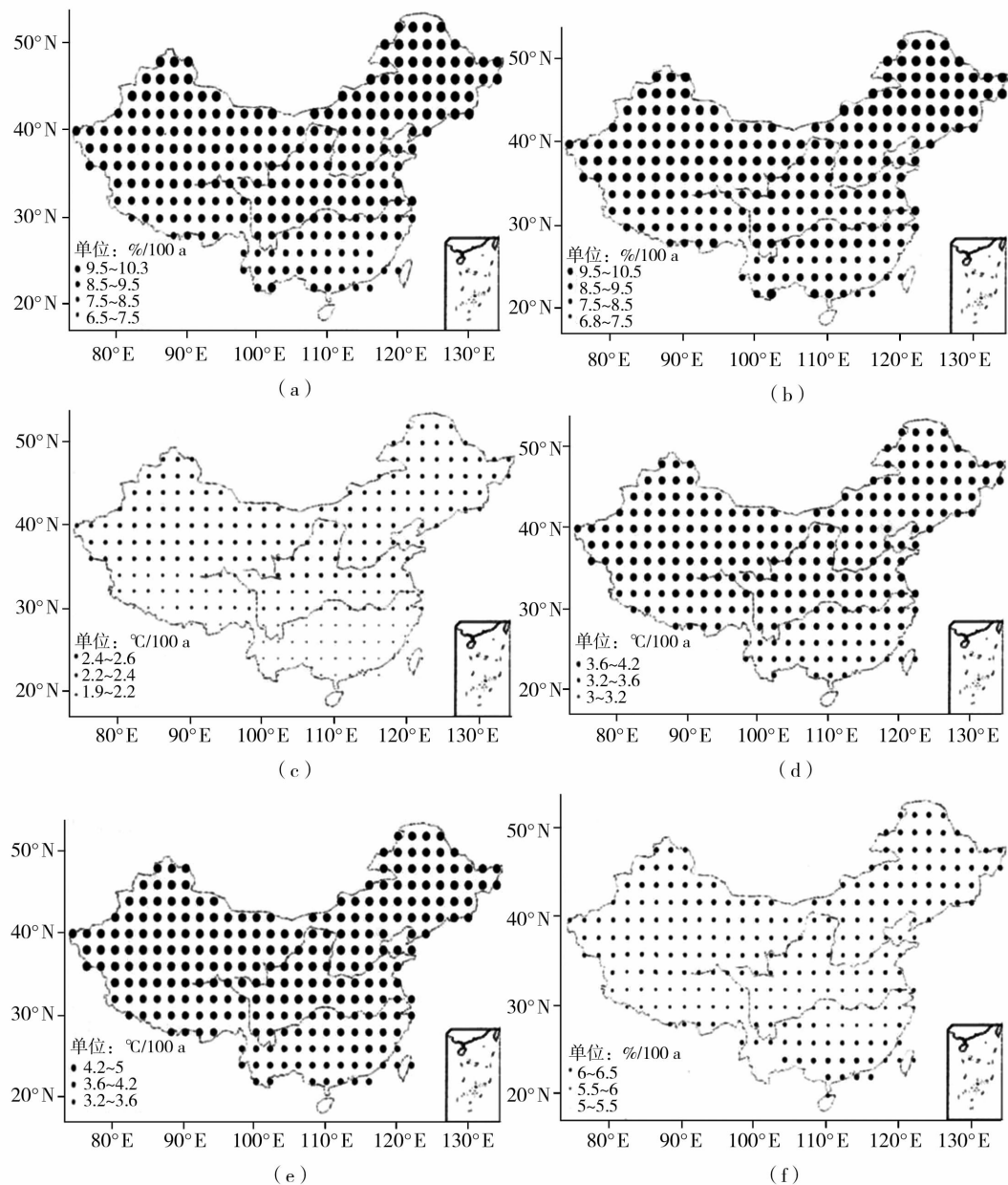


图1 SRES A2、A1B、B2 排放情景下,集合模式预估 21 世纪(2000 ~ 2099 年)

气温和降水距平百分率线性趋势空间分布图^[11]

(a)、(b)、(c)为 A2、A1B、B2 情景气温分布,

(d)、(e)、(f)分别为 A2、A1B、B2 情景降水分布

Fig. 1 Linear tendency of temperature change and precipitation anomaly percentage during 2000 – 2099 under SRES A2, A1B, B1

(a), (b), (c) for A2, A1B, B1 scenario temperature distributions;

(d), (e), (f) for A2, A1B, B1 scenario precipitation distributions^[11]

特殊地形下的基本温度特征,虽然模式模拟的温度对于观测值来讲普遍偏高,但误差不大,一般在 1 ~ 3 ℃,这可能与模式所采用的方案有关;同时,PRECIS 也能较为准确地模拟出我国年降水由东南向西

北逐渐减少的情形(图略),但是效果比温度要差一些,因此对于降水的模拟能力方面,该模式还有待于进一步提高,比如今后可尝试选取不同的积云参数化方案来改善该问题。

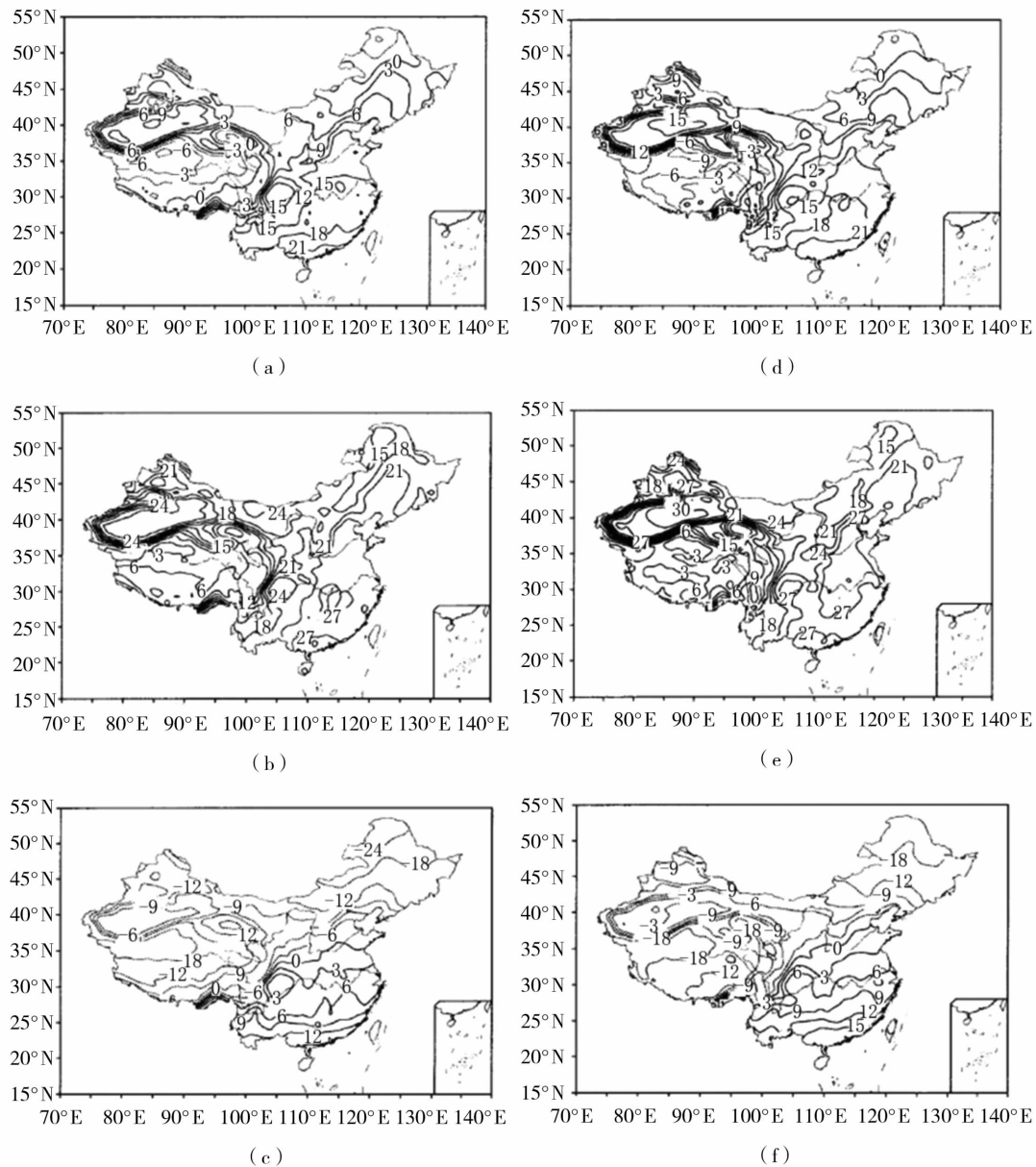


图2 1961~2000年40 a平均的年、夏季和冬季平均温度观测值和模拟值的空间分布(单位:℃)
(a), (b), (c)分别为年、夏季、冬季观测值;(d), (e), (f)分别为年、夏季、冬季 PRECIS 模拟值^[69]

Fig. 2 Spatial distribution of the annual average temperature, summer mean temperature and winter mean temperature during the period of 1961–2000 (Unit: °C)

(a), (b), (c) for observed temperature; (d), (e), (f) for simulated temperature by PRECIS^[69]

3.2 RIEMS 对我国气候变化的模拟研究

吴琼等^[70]利用区域环境集成系统模式(RIEMS)对我国2005年4月1日至2006年10月1日共18个月的时间步长进行积分,从而模拟出该时间段气温的变化情况。RIEMS模式水平分辨率为60 km,网格数东西方向为86,南北方向78,垂直层为16层,并考虑了修改的Grell积云对流参数化等方案。此外,与模式驱动场进行比

较的是NCEP再分析资料,其地面分辨率为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ 。

分析结果如图3所示,RIEMS模式与NCEP再分析资料的气温场在空间分布形式上基本一致,说明模式能够较好地模拟平均气温空间分布特征。我国气温空间分布趋向纬向分布,由东南到西北气温呈递减趋势,且在青藏高原附近有一低值中心,温度较低。但与NCEP资料相比,模式模拟结果略有偏

差,尤其是 35°N 以北地区,RIEMS模拟的等温线位置均偏南。

时间演变方面,RIEMS模式与NCEP资料的结果亦很相近,尤其是7、8月份二者时间演变规律基本一致,但冬季相差比较明显。

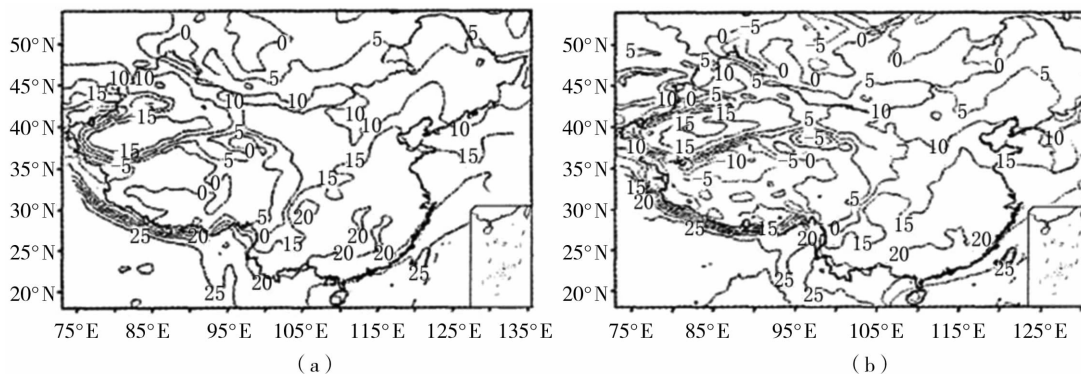


图3 气温空间分布图(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(a)RIEMS模式;(b)NCEP再分析资料^[70]

Fig. 3 The spatial distribution of air temperature (Unit: $^{\circ}\text{C}$)

(a)RIEMS;(b)NCEP reanalysis data^[70]

3.3 RegCM对我国气候变化的模拟研究及预估

1989年,Dickinson等^[71]、Giorgi等^[72]将有限区域中尺度气象模式和全球尺度GCMs耦合,发展出了一种区域气候模式RegCM,该模式能模拟出GCMs难以分辨的区域温度、降水等变化特征,因而得到广泛应用^[73]。后来,经过一系列的扩充和改进,形成了RegCM2、RegCM3,以及我国国家气候中心发展出来的RegCM_NCC模式,其中RegCM_NCC为全球海气耦合模式嵌套区域气候模式,很大程度上提升了模式分辨率。RegCM3中加入了气溶胶模块,同时在计算方面采用并行算法,这极大地提高了计算效率,且增加了不同物理参数化方案的敏感性试验^[74],因此这2种模式成为我国研究气候模拟的重要工具。

3.3.1 RegCM_NCC模式对我国气候变化的预报评估

孙林海等^[75]利用国家气候中心全球海气耦合模式嵌套区域气候模式(RegCM_NCC),并使用与该模式配套的初始和侧边界条件对我国1983~2002年冬季和1984~2003年春季平均气温和降水进行了数值模拟试验。该模式水平分辨率为60 km,中心位置为 35°N 、 110°E ,经、纬格点数分别为151和79,覆盖范围包括整个中国,与之相比较的是同时间段气温和降水的实测值。

研究表明,区域气候模式对1983~2002年冬季和1984~2003年春季平均气温的模拟与实测

由此可见,RIEMS模式模拟结果与NCEP结果存在一定差异,可能是由于分辨率不同,以及模式中MRF行星边界条件、修改的CCM3辐射方案、BATS IE陆面过程方案和指数松弛侧边界等物理过程不够完善等原因。

值在分布形态上较为相似,但对降水量的模拟结果较差,全国大部分地区的模拟值比实际偏多,尤其西南地区降水有较大差异。其中,冬季我国大部分地区平均气温模拟值与实测值为正相关,江南东部、西南地区中部和青藏高原东部部分地区通过了90%的显著性水平;而春季通过90%显著性水平的区域为西北地区东部,内蒙古西部等地(图略)。降水方面,冬季全国大范围以正相关为主,负相关出现在东北北部和青藏高原西部等地,通过90%显著性水平的区域较为零散,位于东北地区东北部,内蒙古中西部以及华南西部等部分地区;春季对于降水的模拟结果较差,通过检验的区域只有东北地区东北部以及新疆北部部分地区(图略)。

由此可见,RegCM_NCC模式对于气温和降水均有一定的模拟能力,且对气温的整体模拟情况要好于降水,但也存在一定的误差,说明模式还有待于进一步改进与完善。

3.3.2 RegCM3模式对我国气候变化的模拟研究及预估

高学杰等^[76]利用改进后的RegCM3模式,嵌套MIROC3.2_hires全球模式对我国21世纪区域气候变化进行模拟。该模式覆盖范围包括整个中国以及周边地区,垂直方向分为18层,顶层高度为10 hPa,积分时间从1948年1月1日至2100年12月31日,其中将1951~2000年作为当代,整个21世纪作为未来进行预估。另外,为了更好地反映模式的模

拟效果,将模拟值和观测资料统一双线性插值到 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ 格点上进行分析。

分析与研究表明,RegCM3 模式,嵌套 MIROC3.2_hires 全球模式的输出结果对我国冬季、夏季气温和降水的模拟较好,特别是汛期降水型与观测结果基本吻合。在此基础上,对我国未来气候变化进行预估,未来 100 a 中,我国冬、夏季平均气温均呈现升高趋势,且幅度越来越大,但冬夏季的升温大值区并不相同,冬季位于青藏高原地区,夏季位于东北、华北地区。降水量也是随着时间而逐渐递增,但增幅不大,且冬季我国北方地区降水增加,而南方地区则呈减少趋势;夏季我国西部地区降水增加,东部地区从南到北成正负相间型。

4 结论与讨论

(1)总结了 IPCC 前 4 次报告对全球 21 世纪气候变化的主要预估结果。可以看出,无论考虑何种减排方案或者增加气溶胶、温室气体等因素,未来 100 a 全球气温均呈上升趋势;而降水在中高纬地区可能增加,其它地区将有增有减。

(2)全球气候模式对于中国地区的气候变化特征有一定的模拟能力。比如:全球海气耦合模式以及不同的情景状况均能够较为准确地模拟出当代中国地区气温和降水的变化特征,并且预估未来 100 a 内气温和降水均有增加的趋势。

(3)区域气候模式较全球气候模式来讲,具有更高的分辨率以及模拟特殊地形的能力,因此对于我国气温和降水的模拟效果要好于全球气候模式。另外,区域气候模式可以较准确地模拟出不同季节以及青藏高原等地区气温和降水的时间和空间分布特征,在预估 21 世纪中国地区气候变化方面,也分析得更为细致。

综上所述,全球及区域气候模式均能较准确地模拟中国地区的气候变化特征,2 种模式也均被广泛应用于气候研究的各个方面。然而,由于模式参数化方案等物理过程的不完善,使得模式的模拟结果存在偏差。我国地形的复杂性也是当前面临的一大难题,虽然区域气候模式解决了部分山脉等地形的影响因素,但我国西部地区戈壁沙漠、高原以及盆地等的影响依然存在。排放情景在气候变化研究中也起到了至关重要的作用,温室气体排放量的不同,将直接影响未来气温、降水等要素的变化情况,这些都是目前亟待解决的难题。

因此,提升模式的模拟能力以及合理控制、分配温室气体等的排放问题是今后的主要任务。目前

IPCC 评估报告中发布的气候模式还存在一些问题,这就意味着模式有很大的提升空间,各个模式可以从改进初始条件、边界条件、陆面过程参数化方案,提高模式分辨率以及利用多模式集合取代单一模式模拟等方面入手;另外,模式可以针对不同地区的特殊地形进行适用性、敏感性试验,以达到模拟该地区的最佳效果。

排放情景方面,IPCC 第 5 次评估报告已经发布最新的情景方案,并给出 4 种典型浓度路径,这样更有利于稳定大气中温室气体浓度及其影响评估的综合研究,也将推进关于温室气体排放总量及排放分配问题的研究进程。我国作为发展中国家,在经济发展和人口增长的同时,会在使用情景中遇到许多不确定因素,因此应尽快选择最适合我国国情的排放情景,从而达到减排的目的。

参考文献:

- [1] 王雪臣,徐影,毛留喜. 气候变化的科学背景研究[J]. 中国软科学,2004(1):105-108.
- [2] 张强,韩永翔,宋连春. 全球气候变化及其影响因素研究进展综述[J]. 地球科学进展,2005,20(9):990-998.
- [3] Houghton J T, Jenkins G J, Ephraums J J, et al. Climate Change, The IPCC Scientific Assessment[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1990. 364.
- [4] Houghton J T, Callander B A, Sikl Varney, et al. Climate Change, The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1992. 200.
- [5] Houghton J T, Li G Meira Filho, Callander B A, et al. Climate Change 1995: The Science of Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press,1996. 572.
- [6] Houghton J T. The IPCC Special Report on Emissions Scenarios (SRES)[M]. Cambridge: Cambridge University Press,2000. 120.
- [7] Houghton J T, Ding Y, et al. Climate Change 2000, The Scientific Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 770.
- [8] 赵宗慈,丁一汇,高学杰,等. 中国西北地区气候变化及未来趋势展望(第二章)[A]. 丁一汇,王守荣主编. 中国西北地区气候变化影响与对策研究[M]. 北京:气象出版社,2001. 210.
- [9] IPCC. 气候变化 2007: 综合报告[C]. 政府间气候变化专门委员会第四次评估报告第一、第二和第三工作组的报告(核心撰写组, Pachauri R K, Reisinger A(编辑)). 瑞士:日内瓦,2007. 104.
- [10] 刘敏,江志红. 13 个 IPCC AR4 模式对中国区域近 40a 气候模拟能力的评估[J]. 南京气象学院学报,2009,32(2):256-268.
- [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[J]. 地理研究,2008,27(4):787-799.
- [12] Wang H, Zeng Q, Zhang X. The numerical simulation of the climatic change caused by CO₂ doubling[J]. Science in China: Series B, 1993,36(4):451-462.
- [13] Xu Zhao Z, Luo Y, et al. Climate change projections for the 21st century by the NCC/IAE T63 Model with SRES scenarios[J]. Acta

- Meteorologica Sinica, 2005, 19(4): 407–417.
- [14] Yu Y Q, Yu R C, Zhang X H, et al. A flexible global coupled climate model[J]. Adv Atmos Sci, 2002, 19: 169–190.
- [15] 周天军, 王在志, 宇如聪, 等. 基于 LASG/IAP 大气环流谱模式的气候系统模式[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 702–715.
- [16] 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 II: 中国区域气候的可能变化[J]. 气象学报, 2003, 61(1): 29–381.
- [17] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 513–525.
- [18] 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[J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 590–596.
- [19] Y Luo, Z C Zhao, Y Xu, et al. Projections of climate change over China for the 21st century[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2005, 19(4): 401–406.
- [20] 王劲松, 李耀辉, 王润元, 等. 我国干旱气象的研究进展评述[J]. 干旱气象, 2012, 30(4): 497–508.
- [21] 何金海, 刘芸芸, 常越. 西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析[J]. 干旱气象, 2005, 23(1): 10–16.
- [22] 宋连春, 韩永翔, 孙国武. 中亚和中国西北干旱气候变化特征及其对产业结构的影响[J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 43–47.
- [23] 任余龙, 王劲松, 石彦军. NCAR CAM3 全球气候模式对亚洲中部干旱区气候变化的模拟检验[J]. 干旱气象, 2013, 31(2): 231–238.
- [24] 丁一汇. IPCC 第二次气候变化科学评估报告的主要科学成果和问题[J]. 地球科学进展, 1997, 12(2): 158–163.
- [25] 孙成权, 高峰, 曲建升. 全球气候变化的新认识——IPCC 第三次气候变化评价报告概览[J]. 自然杂志, 2002, 24(2): 114–122.
- [26] 赵宗慈, 王绍武, 罗勇. IPCC 成立以来对温度升高的评估与预估[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 183–184.
- [27] 赵宗慈, 罗勇, 江滢, 等. 未来 20 年中国气温变化预估[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(5): 1–5.
- [28] 赵宗慈, 王绍武, 徐影, 等. 近百年我国地表气温趋势变化的可能原因[J]. 气候与环境研究, 2005, 10(4): 808–817.
- [29] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis[M]. Solomon S, Qin D H, Manning M, et al. Cambridge: Cambridge University, 2007. 996.
- [30] Zhou T J, Yu R C. 20th century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models[J]. Journal of Climate, 2006, 19(22): 5843–5858.
- [31] 周天军, 赵宗慈. 20 世纪中国气候变暖的归因分析[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(1): 28–31.
- [32] 赵宗慈, 罗勇. 21 世纪中国东北地区气候变化预估[J]. 气象与环境学报, 2007, 23(3): 1–4.
- [33] 徐璇, 陆日宇, 石英. 全球和区域气候模式对中国东部夏季降水季节演变模拟的比较[J]. 大气科学, 2011, 35(6): 1177–1186.
- [34] 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[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 287–292.
- [35] 许崇海, 罗勇, 徐影. 全球气候模式对中国降水分布时空特征的评估和预估[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(6): 398–404.
- [36] 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 近 30 年人类活动对东亚地区气候变化影响的检测与评估[J]. 应用气象学报, 2002, 13(5): 513–525.
- [37] Roeckner E L, Bengtsson J, Feichter, Lelieveld J, et al. Transient climate change simulations with a coupled atmosphere – ocean GCM including the tropospheric sulfur cycle[J]. Submitted to J of Climate, 1998.
- [38] Mitchell J F B, Johns T C. On modification of global warming by sulphate aerosols[J]. J Climate, 1997, 10(2): 245–267.
- [39] Haywood J M, Stouffer R J, Wetherald R T, et al. Transient response of a coupled model to estimated changes in greenhouse gas and sulphate concentrations[J]. Geophys Res Lett, 1997(24): 1335–1338.
- [40] Boer G J, Flato G M, Reader M C, et al. Transient climate change simulation with historical and projected greenhouse gas and aerosol forcing[J]. Submitted to Climate Dynamics, 1999.
- [41] Gordon H B, O' Farrell S P. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice[J]. Monthly Weather Review, 1997, 125(5): 875–907.
- [42] Hirst A C, Gordon H B, O' Farrell S P. Global warming in a coupled climate model including oceanic eddy – induced advection[J]. Geophysical Research Letters, 1996(23): 3361–3364.
- [43] Hulme M, Crossley J, Lister D, et al. Climate Observations and GCM Validation, Interim Annual Report to the Department of the Environment, Transport and the Regions, Apr[J]. 1999 to March 2000, CRU, Norwich, UK. 2000.
- [44] 杜吴鹏, 缪启龙. 温室气体对气候环境的影响预测及其不确定性[J]. 环境科学与技术, 2006, 29(2): 72–74.
- [45] 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): 225–241.
- [46] 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.
- [47] 许吟隆, 黄晓莹, 张勇, 等. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(2): 80–83.
- [48] 黄菁, 张强. 中尺度大气数值模拟及其进展[J]. 干旱区研究, 2012, 29(2): 273–283.
- [49] 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(7): 2068–2074.
- [50] 冯锦明, 符淙斌. 不同区域气候模式对中国地区温度和降水的长期模拟比较[J]. 大气科学, 2007, 31(5): 805–814.
- [51] Liu Y, Giorgi F, Washington W. Simulation of summer monsoon climate over East Asia with an NCAR regional climate model[J]. Mon Wea Rev, 1994(122): 2331–2348.
- [52] 沈桐立, 丁一汇, 王咏青, 等. 区域气候模拟的可行性研究[A]. 中国短期气候预测的模式研究[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 178–185.
- [53] 龚威, 李维亮, 周秀骥. 用改进的 NCAR 区域气候模式模拟中周夏季降水[A]. 中国短期气候变化及成因研究[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 110–116.
- [54] 罗勇, 赵宗慈. NCAR RegCM2 对东亚区域气候的模拟试验[J]. 应用气象学报, 1997, 8(增): 124–133.
- [55] 赵宗慈, 罗勇. 东亚夏季风的模拟研究: 3 个区域气候模式的对

- 比[J]. 应用气象学报, 1997, 8(增): 116–123.
- [56] 陈明, 符淙斌. 区域和全球模式的嵌套技术及其在区域气候和气候变化研究中的应用[R]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 1997.
- [57] 张勇, 许吟隆. SRES B2 情景下中国区域最高最低气温及日较差变化分布特征初步分析[J]. 地球物理学报, 2007, 50(3): 714–723.
- [58] 许吟隆, 张颖娟. “三江源”地区未来气候变化的模拟分析[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(5): 667–675.
- [59] 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 [J]. Adv Atmos Sci, 2001, 18(6): 1224–1230.
- [60] 张冬峰, 高学杰, 赵宗慈, 等. RegCM3 区域气候模式对中国气候的模拟[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(3): 119–121.
- [61] Gao X J, Zhang D F, Chen Z X, et al. Land use effects on climate in China as simulated by a regional climate model [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2007, 50(4): 620–628.
- [62] Zhang D F, Zakey A, Gao X J, et al. Simulation of dust aerosol and its regional feedbacks over East Asia using a regional climate model [J]. Atmospheric Chemistry and Physics, 2009, 9(4): 1095–1110.
- [63] Gao X J, Shi Y, Giorgi F. A high resolution simulation of climate change over China [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2010, 54(3): 462–472.
- [64] Zhang D F, Gao X J, Shi Y, et al. Agriculture – derived land use effects on climate over China as simulated by a regional climate model [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2010, 24(2): 215–224.
- [65] 石英, 高学杰, 吴佳, 等. 华北地区未来气候变化的高分辨率数值模拟[J]. 应用气象学报, 2010, 21(5): 580–589.
- [66] Shi Y, Gao X J, Wu J, et al. Simulating future climate changes over North China with a high resolution regional climate model [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 2010, 21(5): 580–589.
- [67] Zou L W, Zhou T J, Li L, et al. East China summer rainfall variability of 1958–2000: dynamical downscaling with a variable – resolution AGCM [J]. J Climate, 2010, 23(23): 6394–6408.
- [68] 王芳栋, 李涛, 许吟隆, 等. PRECIS 和 RegCM3 对中国区域气候的长期模拟比较[J]. 中国农业气象, 2012, 33(2): 159–165.
- [69] 王芳栋, 许吟隆, 李涛. 区域气候模式 PRECIS 对中国气候的长期数值模拟试验[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 327–332.
- [70] 吴琼, 延晓冬, 熊喆. 区域气候模式 RIEMS 对中国气候的模拟[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(5): 950–956.
- [71] Dickinson R E, Errico M, Giorgi F, et al. A regional climate model for the western U. S. A. [J]. Clim Change, 1989(15): 383–422.
- [72] Giorgi F, Bates G T. The climatological skill of a regional model over complex terrain [J]. Mon Wea Rev, 1989(117): 2325–2347.
- [73] 刘永强, 丁一汇. 区域气候模拟研究[J]. 应用气象学报, 1995, 6(2): 228–239.
- [74] 周建伟, 王咏青. 区域气候模式 RegCM3 应用研究综述[J]. 气象科学, 2007, 27(6): 702–708.
- [75] 孙林海, 艾税秀, 宋文玲, 等. 区域气候模式对我国冬春季气温和降水预报评估[J]. 应用气象学报, 2009, 20(5): 546–554.
- [76] 高学杰, 石英, 张冬峰, 等. RegCM3 对 21 世纪中国区域气候变化的高分辨率模拟[J]. 科学通报, 2012, 57(5): 374–381.

Major Progress of Global and China Regional Climate Change Projection

ZHAI Yingjia^{1,2}, LI Yaohui², CHEN Yuhua³

(1. Atmospheric Science College, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;
2. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration/Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reduction of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 3. Ningxia Meteorological Information Center, Yinchuan 750002, China)

Abstract: Since the IPCC assessment reports were published, the prediction of climate models for future climate change has been a concerned problem. Therefore, this paper reviewed the main conclusions of the four previous IPCC reports on global climate change in the future, and summarized the simulation and prediction results of the global and regional climate models for China, and reached the conclusion that the simulation and prediction results of regional climate models were more accurate due to the higher resolution and better simulating capabilities for special terrain compared with the global climate models. Meanwhile, this paper discussed the current problems and the future researching directions of the climate models.

Key words: IPCC; China; climate models; temperature; precipitation

附录

CCC:加拿大气候中心模式

CCSR:日本气候系统研究中心模式

CSIRO:澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气研究所模式

DKRZ:欧洲数据存储量最大的德国气候和地球系统研究中心模式

GFDL:美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式

GCM:全球大气环流模式

HADL:美国气象局哈德莱中心模式

IAP:中国科学院大气物理研究所模式

NCAR:美国国家大气研究中心

NCC:中国国家气候中心模式

RCM:区域气候模式

CCSM:美国国家大气研究中心地球气候模拟应用中的耦合气候模式

CGCM:加拿大耦合全球气候模式

CNRM:法国国家气象研究中心模式

ECHAM:德国马普气象研究所模式

FGOAL:中国“海洋—大气—陆地—海冰”耦合的气候系统模式

GISS:美国戈达德空间科学研究所

INM:俄罗斯数值数学研究所模式

IPSL:法国巴黎拉普拉斯学院模式

CCCMA:加拿大气候模拟和分析中心模式

BCC_CM:中国国家气候中心_气候模式

HADCM:英国哈德雷中心耦合模式

欢迎订阅 2014 年《干旱气象》

《干旱气象》由中国气象局兰州干旱气象研究所、中国气象学会干旱气象学委员会主办,是我国干旱气象领域科学研究的专业性学术期刊,反映有关干旱气象监测、预测和评估的最新研究成果,充分展示干旱气象领域整体的研究和应用水平。期刊主要刊载干旱气象及相关领域有一定创造性的学术论文、研究综述、简评,国内外干旱气象发展动态综合评述、学术争鸣以及相关学术活动。具体包括:国内外重大干旱事件分析、全球及干旱区气候变化、干旱气象灾害评估及对策研究、水文、生态与环境、农业与气象、可再生能源开发与利用、地理信息与遥感技术的应用等。本刊还免费刊载干旱气象研究成果、研究报道、学术活动、会议消息等。《干旱气象》已被《中国学术期刊(光盘版 CAJ-CD)》、万方数据-数字化期刊群、中国核心期刊(遴选)数据库、中国科技论文统计源期刊、重庆维普中文科技期刊数据库、教育阅读网、台湾华谊线上图书馆等全文收录。

《干旱气象》内容丰富、信息量大、研读性强,适合广大气象科研业务工作者、各相关专业技术人员、大专院校师生阅读。

《干旱气象》为双月刊,国内外公开发行。2014 年正刊 6 期,每期定价 24 元,全年 144 元。欢迎广大读者订阅,并可以随时邮局款汇购买,款到开正式发票。

编辑部地址:甘肃省兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部

邮政编码:730020 联系电话:0931-4670216-2270 电子信箱:gsqx@chinajournal.net.cn

银行汇款:兰州市工商银行拱星墩分理处 户 名:中国气象局兰州干旱气象研究所

帐 号:2703001509026401376

邮 汇:兰州市东岗东路 2070 号 中国气象局兰州干旱气象研究所 《干旱气象》编辑部