

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^{*}

高学杰 赵宗慈 丁一汇

(国家气候中心, 北京, 100081)

黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080)

Filippo Giorgi

(The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy)

摘 要

使用 RegCM2 区域气候模式单向嵌套澳大利亚 CSIRO R21L9 全球海-气耦合模式, 进行了温室气体 CO_2 加倍对中国气候变化影响的数值试验研究。该文为第 2 部分, 对敏感性试验结果进行的分析。分析表明: 由于温室效应, 中国区域的地面气温特别是在冬季和北方将有明显升高, 区域年平均的升高值为 2.5°C ; 同时区域内日最高和最低气温将明显上升, 日较差将减小。结果还表明, 在 CO_2 倍增条件下, 中国区域降水将呈增加趋势, 区域年平均的增加值为 12%; 以夏季的增加率最大, 其次为冬季。中国汛期降水将呈现出“三类雨型”出现频率增多的趋势。南方的大雨日数将有所增加。此外, 生成和影响中国的台风数目也将有所增加。温室气体的增加同时对环流场产生影响, 如导致 500 hPa 高度场的升高。

关键词: 气候模拟, 区域气候模式, 二氧化碳。

1 引 言

地球气候主要在地-气系统吸收进入其中的短波太阳辐射、同时放射出长波辐射的在辐射平衡条件下形成的, 辐射能的吸收和放射都同大气成分及其含量有关。因此大气中的化学成分及其含量的变化将改变大气的辐射平衡, 从而影响气候变化。人类活动改变大气中气体的成分和含量, 是影响气候变化的重要方面。

CO_2 是大气中的主要吸收气体, 既能吸收太阳短波辐射, 又能吸收和放射长波辐射。资料表明, 进入工业化以来, 大气中 CO_2 的含量不断增加, 而且在很长时期内将继续持续增加, 对气候系统形成很大的影响。根据对近 100 多年全球气温资料的分析, 全球平均地面温度已升高 $0.4 \sim 0.8^\circ\text{C}$ ^[1]。引起这种变化的原因有很多, 但其中 CO_2 增加的影响

不容忽视。越来越多的科学证据证明, 这种由温室气体增加而产生的增暖效应是存在的。

CO_2 增加对气候变化的影响及其检测, 很早以前就引起了人们的广泛关注, 开始从多种不同途径, 主要是利用不同复杂程度的数值模式, 进行了研究。早期使用较多的工具是简单的能量平衡模式。随着全球环流模式的发展和完善, 人们开始使用它进行温室效应的研究, 国际上较早的如 Manabe 等^[2~5]的研究工作。进入 20 世纪 80 年代以后, 这方面的工作得到了普遍开展, 全球环流模式成为气候变化研究的有力工具, 在这个领域得到了广泛的应用。

在温室效应对气候影响方面, 中国也进行了许多研究工作, 如使用全球环流模式^[6~8]和区域气候模式^[9~11]模拟 CO_2 加倍对全球和中国气候的影响等。但是由于这些研究开始较早, 全球模式的分辨

^{*} 初稿时间: 2001 年 10 月 8 日; 修改稿时间: 2002 年 1 月 26 日。

资助课题:《国家重点基础研究发展规划》“我国重大气候灾害形成机理和预测理论的研究(G1998040900)”项目, 全球环境变化对策与支撑技术研究项目全球与中国气候变化的检测和预测课题(2001-BA611B-01)。

率较低,区域模式一般嵌套到全球大气环流模式上,并受计算条件限制,积分时间也不够长,此外模式也都有不够完善的地方,因此对其作进一步的深入研究是十分必要的。

我们使用的嵌套澳大利亚 CSIRO R21L9 海—气耦合模式嵌套 RegCM2 区域气候模式,进行了 CO_2 加倍情况下中国地区气候变化的模拟试验。

模式中 CO_2 含量的改变方式,在早期的研究工作中一般是首先在其含量正常的情况下,将模式积分到平衡态,作为控制试验;再将模式中的 CO_2 加倍,积分到新的平衡态,为敏感性试验,比较其与控制试验的差别。最近这些年来,人们开始采用将模式中的 CO_2 按一定时间比例逐渐增加,分析若干年后, CO_2 含量达到倍增时的气候变化情况,被称为瞬时气候试验,这样与实际情况更一致。

CSIRO 模式 CO_2 加倍研究采用的就是瞬时试验的方法^[12]。取试验中 CO_2 增加到两倍左右时的 10 a 作为其对 CO_2 加倍的敏感性试验。使用此 10 a 结果中的后 5 a,产生 RegCM2 所需的初始场和侧边界场,驱动区域模式;同时相应改变区域模式的 CO_2 含量,进行 5 a 时间积分,为 RegCM2 的 CO_2 加倍敏感性试验。

将上述两个模式敏感性试验的结果插值到中国 160 个观测站上。其相对于各自控制试验(CO_2 含量为目前值)^[13]的变化,为它们分别对 CO_2 加倍情况下中国区域气候变化情景的模拟,下面即给出一些主要的结果。

2 CO_2 加倍情况下中国地面气温的可能变化

CO_2 作为大气中主要温室气体,其含量增加引起的最直接气候效应就是地面气温的增加。首先对地面气温这一气候要素的变化进行了简要分析。为分析方便起见,同样将模式结果插值到中国 160 个观测站上^[13]。

2.1 地面气温的变化

图 1 给出 CO_2 加倍后中国区域各月平均地面气温的变化值(敏感性试验和控制试验的差值)。由图可以看到,全球模式模拟的气温变化(图 1 虚线)为中国区域平均的各月温度变化均为增加,增加最多的月份是冬季的 12 月,幅度达到 4.1 $^{\circ}\text{C}$;其次为 5 月,增加 3.7 $^{\circ}\text{C}$;增加最少的是秋季的 9 月,只有 1.7 $^{\circ}\text{C}$ 。

与全球模式的结果类似,区域模式的模拟结果(图 1 实线)也是中国区域地面气温在每个月都将升高。其中升高较多的也是 12 月和 5 月,但数值较全球模式低,分别为 3.2 和 3.1 $^{\circ}\text{C}$;秋季的 9 月增加也是较少的,为 2.1 $^{\circ}\text{C}$ 。

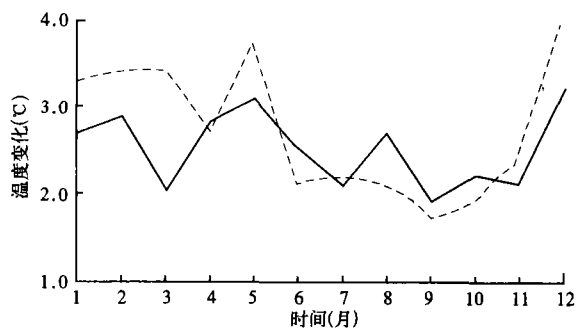


图 1 CO_2 加倍情况下中国区域各月平均地面气温的变化

(虚线:全球模式的模拟;实线:区域模式的模拟)

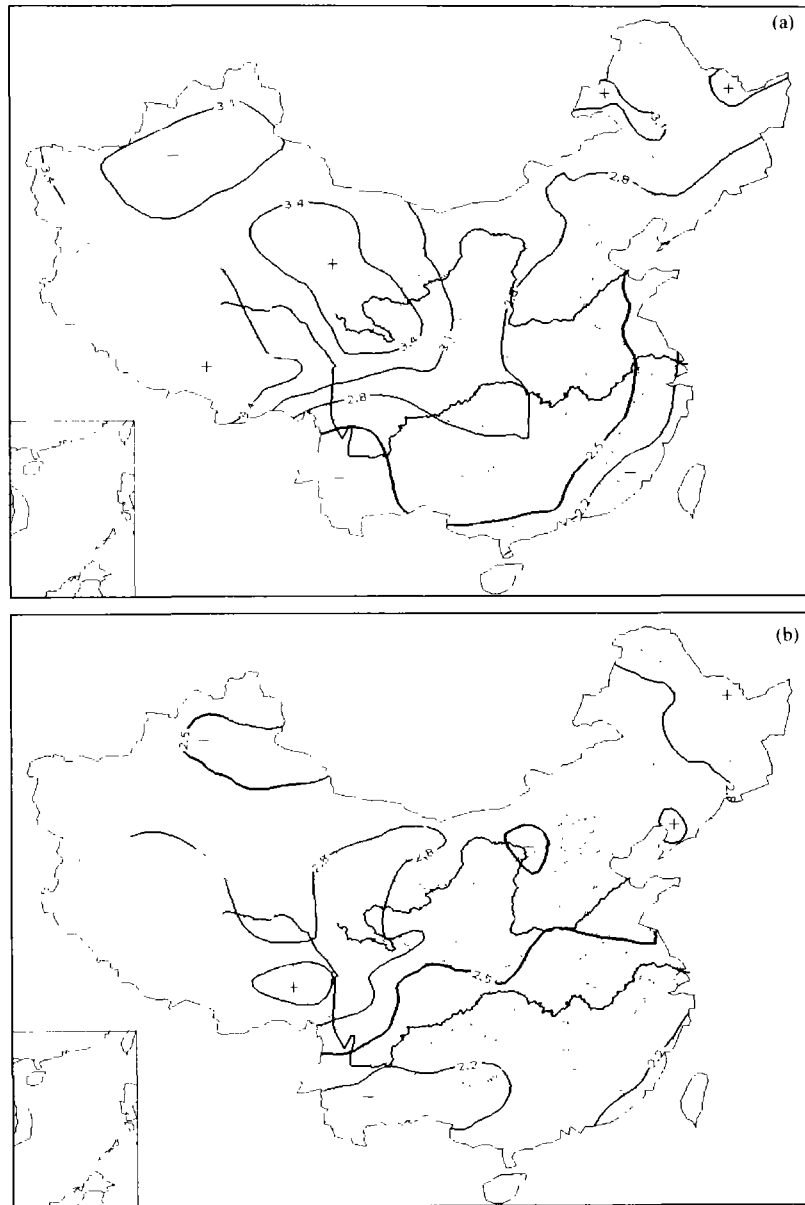
表 1 给出各季节温度的变化。可以看到在全年四季中两个模式的结果都是冬季和春季增温较多,夏、秋季增温较低;但区域模式在冬、春季的增加幅度较全球模式小,而夏、秋季则略高一些。

图 2a, b 分别给出 CO_2 倍增后两个模式模拟的中国地区年平均气温的变化。从全球模式的结果(图 2a)看,中国各地的温度变化也将是一致的增加,其幅度一般在 2.5~3.0 $^{\circ}\text{C}$ 左右。其中在东南沿海地区稍低,内陆西北及东北地区稍高,区域平均的增加为 2.8 $^{\circ}\text{C}$ 。

表 1 CO_2 加倍情况下中国各季地面气温的变化(单位: $^{\circ}\text{C}$)

季节	全球模式	区域模式
冬	3.6	3.0
春	3.3	2.6
夏	2.1	2.4
秋	2.0	2.1

从图 2b 可以看出,区域模式模拟的结果同样为全国将有比较均一的增温,但幅度较全球模式有所减少。气温升高在南方稍低,一般 2~2.5 $^{\circ}\text{C}$,其中位于西南地区的云南、广西和贵州等地的气温升高最少,为 2.2 $^{\circ}\text{C}$ 以下;北方升温较高,一般 2.5~3.0 $^{\circ}\text{C}$ 。整个区域平均为 2.5 $^{\circ}\text{C}$ 。温度的增加更趋向于南方低、北方高的南北向分布形势,与全球模式的由东南向西北方向倾斜增加不同。

图2 CO₂加倍情况下中国区域年平均地面气温的变化

(a. 全球模式的模拟结果, b. 区域模式的模拟结果)

2.2 日最高、最低气温和气温日较差的变化

区域模式模拟的各月日最高、最低气温和日较差的变化如图3所示。从图中可以看出, CO₂加倍后, 随着地面温度的升高, 中国区域的最高和最低气温也将升高, 但最低气温的升高数值较最高气温大。两者在各月的变化趋势比较一致, 它们与平均气温的变化大部分情况下也呈一致趋势, 但有时又有较大的偏差, 如10至11月。11月是全年中的一个特殊时段, 这个月的最低气温基本上没有变化, 而最高气温则有所下降。日最高和最低气温的年平均增加值分别为1.6和2.0℃。

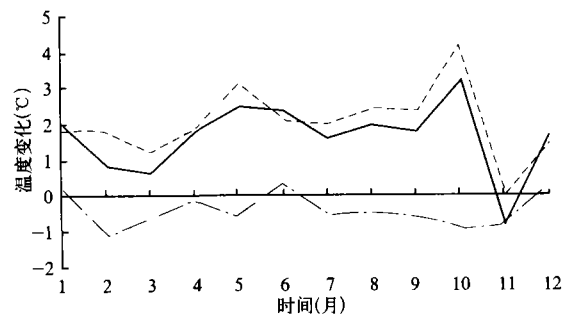


图3 中国区域月平均日最高、最低气温和日较差的变化

(实线:最高气温;细虚线:最低气温;点虚线:日较差。单位:℃)

中国区域日较差的变化以减少为主,减少最多的月份为 2, 10 和 11 月,数值在 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右;部分月(12, 1 和 6 月)有较小的增加($0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右)。全年平均为 $-0.43\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

日最高和最低气温的变化将导致炎热和低温日

数的变化。以低温日数为例,对不同站点定义了不同的标准,将最低气温低于该标准的天数做为该站低温日数,考察 CO_2 加倍后这些站点上冬季低温日数的变化,如表 2 所示,可见, CO_2 加倍后,中国大部分地区的低温日数将有明显减少。

表 2 CO_2 加倍后中国部分站点低温日数的变化

站 名	标准 ($^{\circ}\text{C}$)	控制试验天数(d)	敏感试验天数(d)	变化 (%)
哈尔滨	-30	24	6	-75
北 京	-20	30	11	-63
上 海	-10	30	13	-57
广 州	0	9	3	-67
武 汉	-8	35	10	-71
重 庆	-5	29	10	-66
兰 州	-20	26	5	-81
乌鲁木齐	-25	24	17	-30

上述模式模拟的温室效应对中国气温的影响结果和最近几十年中国温度的实际变化情况,如温度表现出大范围的增温,增温以冬季和北方较明显,区域平均的日最高、最低气温将同时增加,而日较差会减小等,表现出了某种程度的一致性^[14]。

3 CO_2 加倍情况下中国降水的可能变化

CO_2 增加后,除了对全球气温产生直接影响外,通过温度增加、水汽含量变化以及辐射过程等的变化,对降水也会产生很大影响。

3.1 各月降水量的变化

图 4 给出由全球模式和区域模式所模拟的各月区域平均的降水变化百分率,由图中可以得到以下结果:

(1) 全球模式的结果表明(图 4 虚线),中国区域降水在 CO_2 倍增的情况下,全年各月都将增加,增加百分率最多的是冬季的 12 月,增加值为 38%;最少的是秋季的 9 月,只有 4%。各月平均的年变化率为 16%。

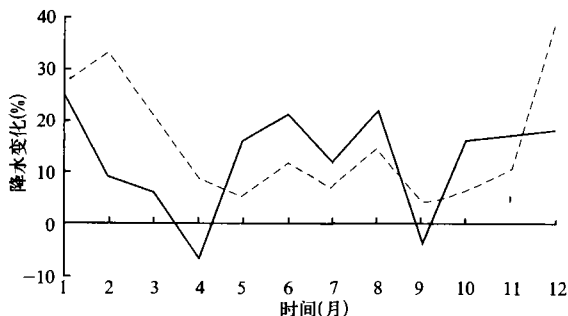


图 4 CO_2 加倍情况下中国各月区域平均降水的变化 (实线: 区域模式的结果; 虚线: 全球模式的结果, 单位: %)

(2) 区域模式给出的 CO_2 加倍情况下中国降水变化情景(图 4 实线), 全年的总趋势也是增加的, 增加最大的时段有两个, 一个是从 10 月至次年 1 月, 增加率均在 15% 以上, 其中 1 月份的增加比例为全年最高的, 达到 25%; 另外一个降水增加较多的时段为春末和夏季(5~8 月), 幅度在 10% 以上, 其中 6 和 8 月最大, 降水将增加 20% 以上。其它月份变化小一些, 在 $\pm 10\%$ 以内, 其中春季的 4 月和秋季的 9 月降水将减少, 但数值较小, 约为 -5% 。从各月计算的年平均变化率为 13%。

表 3 给出的季节变化情形。从以上的讨论及表 3 可以看出, 两个模式给出的中国区域各月变化率的年平均较为一致(分别为 16% 和 13%), 同样都在冬季有较大的增多, 秋季有较少的增多, 但两者也存在一定差异, 如区域模拟结果中夏季降水增加比例更大, 春季增加比例较小; 另外全球模式结果中, 各月降水都是增加的, 但区域模式中 4 和 9 月出现了减少的现象。

表 3 CO_2 加倍情况下中国各季降水的变化 (单位: %)

季节	全球模式	区域模式
冬	33	17
春	12	6
夏	11	19
秋	6	6

为进一步比较两个模式的不同, 选取中国各地有代表性的几个站点, 计算全球和区域模式间各站每年 12 个月变化的相关系数和符号一致率, 在表 4 中给出。由表中可见, 两个模式得到的结果间相关

很低,符号也仅有 60 % 的一致。

表 4 全球模式与区域模式模拟的一些站点降水变化的相关系数和符号一致率

站 名	相关系数	符号一致率
哈尔滨	-0.32	50
北 京	0.16	50
上 海	0.53	58
广 州	-0.25	67
武 汉	0.22	58
重 庆	-0.31	75
兰 州	-0.24	50
乌鲁木齐	-0.35	75
平均	-0.08	60

在两者对中国降水的模拟中,因为区域模式的模拟效果更好,其结果相应也更可信一些。但同时也反映了在利用数值模式进行温室效应引起的降水变化模拟试验中有在较大的不确定性。

3.2 年降水量的变化

图 5 给出两个模式在 CO_2 加倍情况下中国区域年平均降水量变化的百分率分布图。

在 CO_2 加倍情况下,全球模式模拟的中国全年降水(图 5a),总体来说以增加为主,区域平均增加量为 11 %。其中南方和新疆地区增加较多,幅度一般在 10 % ~ 15 % 以上;中国华南沿海增加最大,

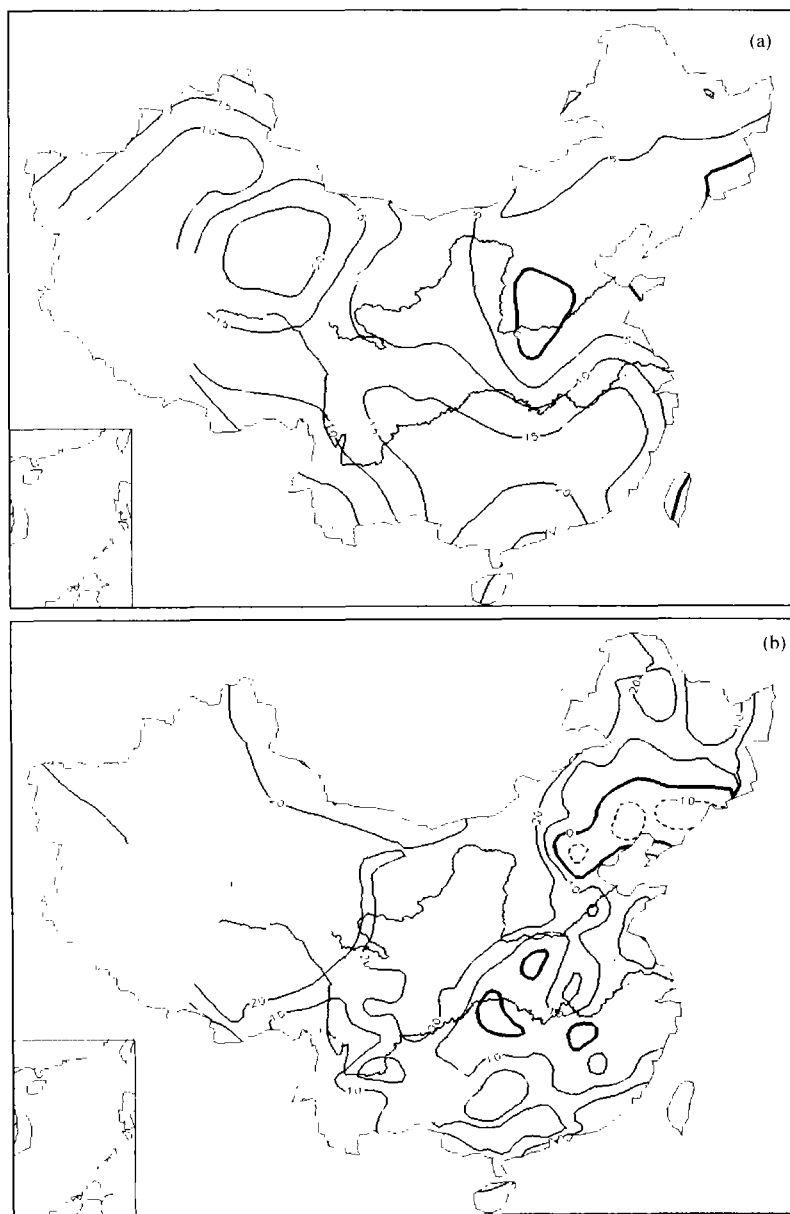


图 5 CO_2 加倍情况下中国年平均降水的变化
(a. 全球模式的模拟结果, b. 区域模式的模拟结果, 单位: %)

有 2~3 成之多;唯一减少的区域为山西、河北和河南 3 省交界地区。

与全球模式结果类似,区域模式模拟的降水变化也基本以增加为主,区域平均增加为 12%,但具体的分布与全球模式有一些差异。区域模式模拟结果中,降水百分率增加较多的区域中,最大的是中国西部,范围自华北西部开始延伸至新疆,增加的幅度在 2 成以上。另外,华南的广东东部和福建西部及广西东北部也是增加较多的地方。长江中下游沿岸的降水变化不大,大部分地区有些增加,少数地方略有减少。东北北部是降水增加较多的区域之一,个别站点的增加率也达到 20% 以上;但东北南部至华北北部地区的降水将有一定减少,减少多的地方数值在 -10% 以下。模式模拟的中国年平均降水的上述变化趋势,如西部降水增多、东北

和华北地区部分地区降水减少等,和最近几十年来中国降水变化的实况表现出了一定程度的相似性^[14,15]。

3.3 夏季降水量的变化

中国地处东亚季风区,夏季降水占全年降水的比例最大。在图 6 中给出区域模式模拟的中国夏季降水的变化。可以看到就全国来讲降水仍以增加为主,其中长江以南的增加更明显一些。较明显的减少中心位于东北东部至华北一带,降水在这一地区的减少,标志着在 CO_2 倍增后,中国夏天北方雨季的减弱。从短期气候预测的角度来讲,在 CO_2 增加的情况下,中国汛期降水的气候背景将呈现出三类雨带(南方降水较多)出现频率增多的趋势,而一类和二类雨带将会减少。

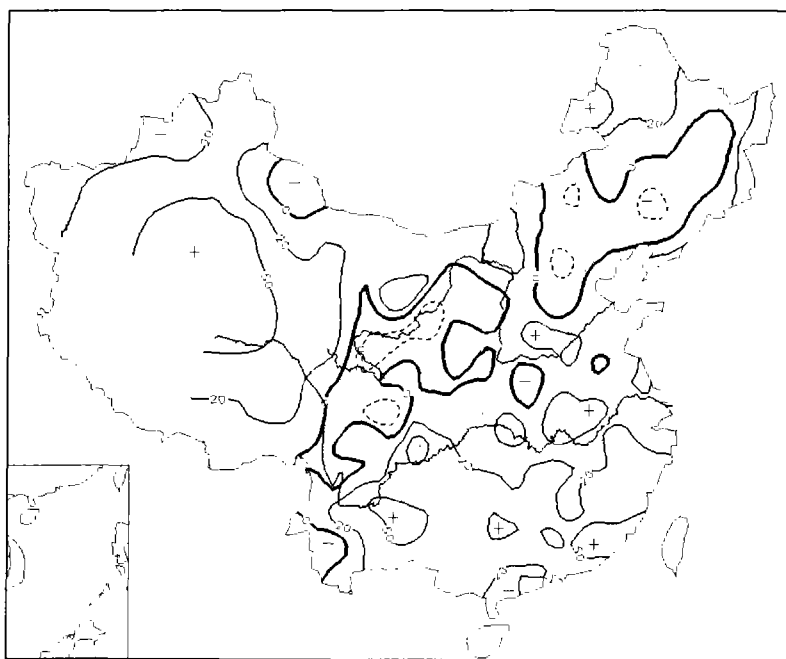


图 6 区域模式模拟的 CO_2 加倍情况下中国夏季降水的变化(单位: %)

对比区域模式与全球模式温度和降水变化的结果,可以看出它们有许多共同点;同时在有些方面表现出了一定的差异。从两者对中国区域气候的模拟效果上看^[13],高分辨率的区域模式的结果更接近实况,相应其在 CO_2 倍增下给出的中国区域气候变化情景应更可信一些。

3.4 大雨日数的变化

将区域模式模拟试验结果中,日降水量 ≥ 35 mm 的日数定义为大雨日数,统计控制试验和 CO_2

加倍试验 5 a 积分时间内的总降水日数,得到两者差的分布(图 7)。从图上可以看到,中国南方在 CO_2 加倍后,大雨日数将有明显增多,暴雨发生的天气会显著增加,表明这里大部分地区的气候变化将具有极端气候事件增多的趋势。

3.5 台风活动的变化

查看区域模式控制试验和敏感性试验中 7、8 月份逐日海平面气压场,将海面上计算区域内生成或由区域外移入,气压小于 1005 hPa,并且维持 3 d 以

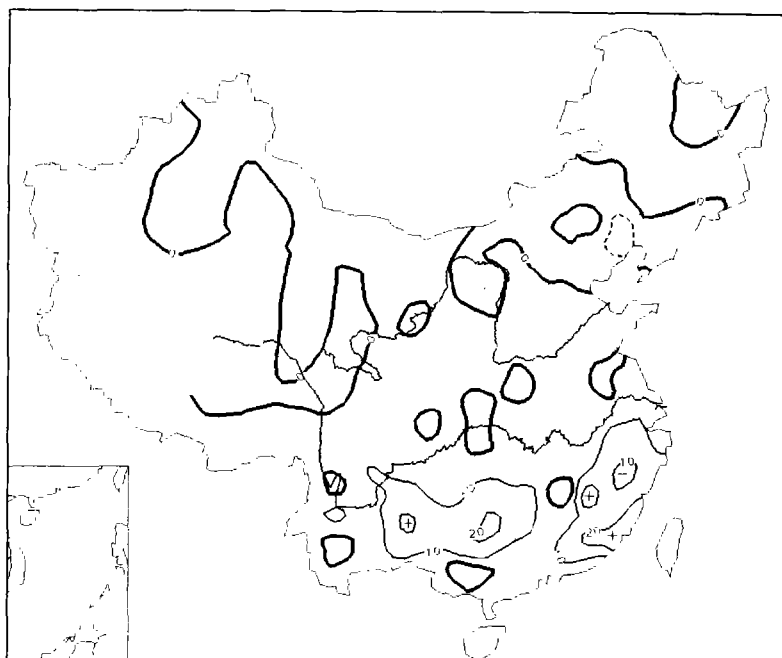


图7 中国区域大雨日数变化(单位: d/5 a)

上的天气系统,粗略地定义为模式模拟出的“台风”(热带气旋)。

对两个试验各年7,8月份中台风出现的次数进行统计,同时粗略观察了其移动路径,将结果列于表4。台风的移动路径被简要地分成了两种,一种自东向西移动,随后影响中国或转向北上(路径Ⅰ);另一种为由南向北移动,随后影响中国或转向东北上(路径Ⅱ)。

由表4看出,CO₂加倍后,计算区域内的台风生成数目将有所增加,增加率大约在1/4左右;但

登陆台风的个数有了较大增多,数量增加达一倍以上;生成台风中登陆的比例也有了一定增加,由原来的占不到一半增加到2/3。从台风的移动路径上看,生成台风中,CO₂加倍后,按路径Ⅱ(由南向北)移动的台风数目有了较大增加,增加量在一倍以上;所占总数中的比例也由原来的1/3增加到2/3。另外,注意到模式分辨率不足和其对中低纬度系统模拟不好的缺点,这里得到的仅是温室效应对台风影响的初步研究结果。

表5 台风统计

	控制试验	CO ₂ 加倍试验	变化%
年均生成个数	3.8个	4.8个	+26
年均登陆个数	1.6个	3.2个	+100
生成个数中按路径Ⅰ移动的个数 (所占总数的比例)	2.6个 (63%)	1.6个 (33%)	-38
生成个数中按路径Ⅱ移动的个数 (所占总数的比例)	1.4个 (37%)	3.2个 (67%)	+129

4 CO₂加倍情况下东亚地区500 hPa环流场的变化

图8a, b为区域模式模拟的东亚地区冬季和夏季500 hPa高度场在CO₂倍增情况下的变化。从图上可以看出,CO₂加倍后,东亚地区500 hPa高度场均呈增加(升高)趋势,但在不同季节和不同区域

的增加并不均匀。

冬季(图8a)增加较多的地区位于中纬度大陆东岸至日本一带。这一地区高度场的增加意味着东亚大槽将明显减弱,从而导致中国北方尤其是东北和华北地区较大幅度的增暖(图略)。东亚大槽的减弱使得从高纬南下的冷空气势力较弱,南部暖湿空气北上加强,导致中国降水大范围增加;同时由于

冷空气较难到达较低纬度,使得中国大陆南端降水有所减少(图略)。

夏季 500 hPa 高度场图(8b)在中高纬度的增加

最大,对应的北方冷空气活动较弱,使得中国北方降水出现减少趋势(参见图 6)。

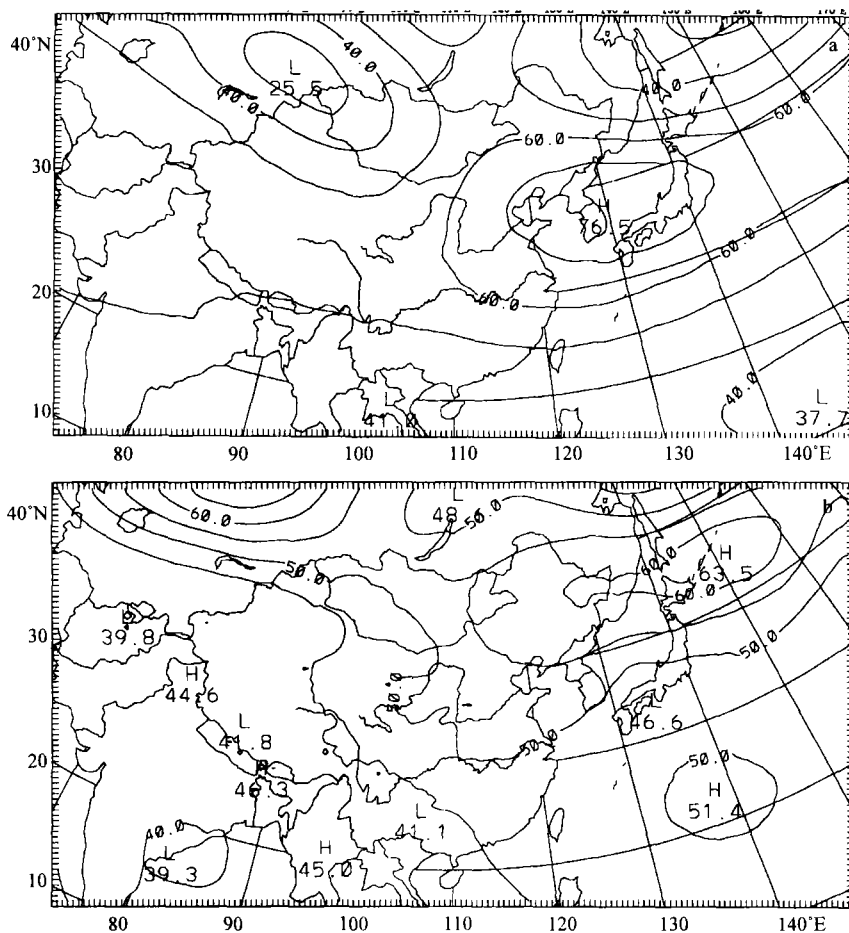


图 8 东亚 500 hPa 高度场的变化

(a. 冬季, b. 夏季; 单位: gpm)

5 结论和讨论

区域气候模式对中国当代气候有较强的模拟能力,应更加重视给出的 CO_2 倍增情况下中国区域气候变化的情景。下面主要给出区域模式的一些试验结果。

(1) CO_2 加倍后,中国区域的地面气温将有明显升高,区域平均的升高值为 2.5°C ,其中北方高于南方,冬、春季高于夏、秋季。同时日最高和最低气温将明显上升,气温日较差将减少,相应中国大部分地区夏季的高温日数和冬季低温日数将有明显减少。

(2) CO_2 加倍后,中国区域降水以增加为主,

年平均降水的增加值为 12%,以夏季和冬季的增加较多;中国汛期降水将会出现一类和二类雨带减少,三类雨带增多的趋势;中国南方暴雨恶劣天气发生的几率将有所增大;台风生成的个数将有一定增加,登陆台风的数目会有明显增加,同时台风的路径将主要以由南向北移动,在华南登陆影响中国为主。东亚地区 500 hPa 高度场在 CO_2 倍增后,将呈普遍增高趋势,与相应的地面气温和降水变化有一定的联系。

(3) 需要指出的是模式模拟得到的温室效应对中国气候影响的一些结论,和最近几十年中国实际气候,如温度和降水等的变化表现出了一定的相似性。

(4) 在温室效应对气候变化影响方面还有很多

的不确定性,这是在模式结果使用和未来进一步研究工作中需要注意的问题。在这方面还需要大量进一步的工作才能得到更加成熟和完整的结果。

致谢:澳大利亚 CSIRO 的 John McGregor 和 Martin Dix 博士,提供了运行区域模式所需的全球模式资料;中国科学院植物研究所陈仲新博士提供了中国地区植被资料。特此致谢。

参考文献:

- 1 Folland C K, Karl T R, et al. Observed climate variability and change. In: Houghton J T, et al eds. Chapter 1 of Climate Change 2001. The Scientific Basis, Contribution of WGI to the Third Assessment Report of IPCC. Cambridge, U K: Cambridge University Press, 2001. 101pp
- 2 Manabe S, Wetherald R T. Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. J Atmos Sci, 1967, 24: 241~259
- 3 Manabe S, Wetherald R T. The effects of doubling the CO₂ concentration on the climate of a general circulation model. J Atmos Sci, 1975, 32: 3~15
- 4 Sellers W D. A reassessment of the effects of CO₂ variation on a simple global climate model. J Appl Meteorol, 1974, 13: 831~833
- 5 Manabe S, Wetherald R T. On the distribution of climate change resulting from an increase of CO₂ - content of the atmosphere. J Atmos Sci, 1980, 37: 99~118
- 6 Wang Huijun, Zeng Qingcun, Zhang Xuehong. The numerical simulation of the climatic change caused by CO₂ doubling. Science in China (Series B), 1993, 36 (4): 451~462
- 7 陈克明, 张学洪, 金向泽等. 一个海洋大气环流耦合模式及其控制试验和增强温室效应试验的初步分析. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(二). 北京: 气象出版社, 1996. 61~84
- 8 陈起英, 俞永强, 郭裕福. 二氧化碳加倍引起的中国的区域气候变化. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(二). 北京: 气象出版社, 1996. 156~170
- 9 宋玉宽, 陈隆勋. 二氧化碳稳态倍增情况下的气候变化数值模拟. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(二), 北京: 气象出版社, 1996. 228~240
- 10 李维亮, 龚威. 中国区域气候模式对中国地区的区域性气候变化情景的模拟. 见: 85~913 项目 02 课题论文编委会编. 气候变化规律及其数值模拟研究论文(二), 北京: 气象出版社, 1996. 255~272
- 11 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: [博士后研究报告], 中国科学院大气物理研究所, 1997
- 12 Gordon H B, Farrell P O. Transient climate change in the CSIRO coupled model with dynamic sea ice. Mon Wea Rev, 1997, 125: 875~907
- 13 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I: 模式对中国气候模拟能力的检验. 气象学报, 2003, 61(1): 20~28
- 14 王绍武, 董光荣主编. 中国西部环境特征及其演变. 见: 秦大河编. 中国西部环境演变评估第一卷. 北京: 科学出版社, 2002. 53~60
- 15 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征. 应用气象学报, 1999, 11(3): 322~329

CLIMATE CHANGE DUE TO GREENHOUSE EFFECTS IN CHINA AS SIMULATED BY A REGIONAL CLIMATE MODEL PART II: CLIMATE CHANGE

Gao Xuejie Ding Yihui Zhao Zongci

(*National Climate Center, Beijing 100081*)

Huang Ronghui

(*Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100080*)

Filippo Giorgi

(*The Abdus Salam International Center for Theoretical Physics, Trieste, Italy*)

Abstract

Impacts of greenhouse effects ($2 \times \text{CO}_2$) on climate change over China as simulated by a regional climate model have been investigated. The model was based on RegCM2 and is nested in one-way mode within a global coupled atmosphere-ocean model (CSIRO R21L9 AOGCM). Two multi-year simulations, the control run with normal CO_2 concentration and sensitive run with doubled CO_2 concentration are conducted.

As Part II of the publications, results of the sensitive runs are analyzed in the paper. With a brief analysis of the sensitive experiment by CSIRO R21L9, simulation by RegCM2 are analyzed in detail.

Results of RegCM2 show a remarkably warming over China with a range from 2.2°C in southern China to 2.8°C in northern China due to greenhouse effect. The annual area mean temperature increase is 2.5°C . The greatest warming is simulated in winter season by the model. Daily maximum and minimum temperatures increase also over China, which leads to much more hot spell days in summer and less cold spell days in winter.

Precipitation increases in all seasons of the year, with the highest value found in summer. Annual mean precipitation increases significantly in western China, parts of the area in south of the Yangtze River and northern part of Northeast China, while a decrease in the area from southern part of Northeast China to North China is simulated. The annual area averaged increase is 12%. As for the operational short-term climate prediction for flood season precipitation in China, frequency of "the third type of rain pattern" might increase. Number of heavy rain days is found noticeably increasing in South China. Tropical storms affecting and landing over China tend to increase due to greenhouse effects. Analysis on the simulation of circulation pattern shows that due to the greenhouse effect, the 500 hPa height in East Asia might increase significantly.

Key words: Climate change, Greenhouse effect, Regional climate model.