

# 温室效应对未来长江中下游地区 温度和降水变化的影响\*

徐影<sup>1</sup> 高学杰<sup>1</sup> 郭振海<sup>2</sup> 赵宗慈<sup>1</sup> 丁一汇<sup>1</sup>

(1: 中国气象局国家气候中心, 北京 100081; 2: 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**提 要** 使用全球海气耦合模式和区域气候模式, 对人类活动影响导致的温室气体和气溶胶增加引起的长江中下游地区的气候变化进行了分析研究. 全球模式部分使用的是IPCC 数据分发中心提供的5个模式模拟结果, 包括IS92a中未来温室气体增加(GG)以及温室气体和硫化物气溶胶共同增加(GS)和A2、B2共4种排放情景. 分析表明在温室气体增加的情况下, 这里未来的地面气温变化与全球和全国一样, 都呈增加趋势. 以GG和GS为例, GG情景下, 这一地区的变暖幅度在21世纪末期达到4.2℃, GS情景下达到3.1℃. 但总体来说这里的变暖幅度较全球和中国其它大部分地区小. 各个季节中, 冬春季的增温幅度大于夏秋季. 对降水的分析表明, GG情景下长江中下游地区是中国降水增加较少的地区之一, 而在GS情景下, 降水将出现微弱的减少. 区域气候模式的模拟, 在气温变化方面得到的结果和全球模式类似. 但降水与全球模式的结果有所差别, 主要表现在降水增加的季节分布不同上, 模拟结果中降水增加最多的是冬季和夏季(增加值分别为44%和23%), 而春秋的降水将减少.

**关键词** 温室效应 气候变化 气候模式 长江流域

**分类号** P467 P426.61<sup>4</sup>

近年来, 全球变暖和气候变化已成为世界各国关注的话题, 根据对近100a全球气温资料的分析, 政府间气候变化委员会(IPCC)第三次评估报告(TAR)指出, 近百年来全球平均地面温度已升高0.4-0.8℃. 我国最近几十年的气候也发生了明显的变化, 如连续的暖冬; 西北地区的气候向暖湿方向变化<sup>[1]</sup>; 在过去的10a里, 长江中下游地区频发洪涝灾害; 中国北方地区沙尘暴趋势也发生变化等.

引起上述气候变化的原因会有很多, 但其中由于人类活动引起的大气温室气体浓度增加产生的影响不容忽视. 为此, 世界上许多国家的科学家通过使用全球海气耦合气候模式和区域气候模式的方法, 模拟预测未来地球气候的变化. 根据IPCC TAR的展望, 21世纪全球平均温度将继续上升, 全球的降水也将有增加的趋势.

\*国家自然科学基金项目-全球气候变化及其对东亚区域气候变化影响的数值模拟(40231004); 国家重点基础研究发展规划项目(G1999032801)和中国气象局IPCC专项经费联合资助.  
2003-07-08收稿; 2003-11-22收修改稿. 徐影, 女, 1976年生, 博士, 副研究员, email: xuying@cma.gov.cn.

科学界对全球气候变化情况下中国的气候变化多年来也进行了广泛研究. 近年国内的研究如郭裕福等使用一个全球气候模式模拟了  $\text{CO}_2$  增加对中国气候的影响<sup>[2]</sup>; 徐影等使用 IPCC 提供的几个模式结果和国家气候中心 T63L16 模式, 对我国未来 50–100a 的温度和降水变化进行了分析研究<sup>[3]</sup>; 高学杰等使用一个区域气候模式, 模拟了中国地区在  $\text{CO}_2$  加倍情况下的气候变化<sup>[4–5]</sup>等.

长江中下游地区在我国社会和经济生活中具有非常特殊和重要的位置, 又是洪水灾害高脆弱地区, 温室效应对这一地区的影响也得到广为关注, 如文献所指出<sup>[6]</sup>的. 在这方面进一步的深入研究和分析十分必要. 本文即使用全球和区域气候模式, 对温室效应对这一地区的影响进行了分析, 同时与全国的情况进行了简要的对比.

## 1 模式简介

所使用的模式包括全球海气耦合模式(以下简称全球模式)和区域气候模式(以下简称区域模式)两种. 其中全球模式部分使用的是由 IPCC 数据分发中心提供的 5 个模式在多个温室气体排放情景下的模拟, 这些模式分别是加拿大气候中心模式(CCCma), 日本气候系统研究中心模式(CCSR), 澳大利亚联邦科学与工业研究组织大气研究所模式(CSIRO), 美国普林斯顿大学地球物理流体动力学实验室模式(GFDL), 和英国气象局哈得莱中心模式(HADLEY). 对模式和试验的简要介绍请参见表 1. 表中 GG、GS 分别表示 IPCC 第二次评估报告(SAR, 1995)的 IS92a 情景中只考虑温室气体增加, 以及温室气体增加和硫化物气溶胶共同增加的试验; A2 和 B2 为 IPCC TAR 采用的 SRES 温室气体排放方案, 其中 A2 是一个低经济增长情景, B2 为区域可持续发展情景. 上述各种排放情景中, 温室气体的增加速度依次为 A2、IS92a 和 B2.

表 1 全球海气耦合气候模式及其模拟试验简介<sup>[7]</sup>

Tab. 1 Description of the AOGCM and their simulations

	HADLEY	GFDL	CCCMA	CSIRO	CCSR
AGCM	3.75×2.5/L19	R15/L9	T32/L10	R21/L9	L20T21
OGCM	3.75×2.5/L20	4×3.75/L12	1.8×1.8/L29	R21/L21	L17 2.8×2.8
试 验	1950-2099 年	1961-2100 年	1900-2100 年	1900-2100 年	1890-2100
	GG,GS,A2,B2	GG,GS,A2,B2	GG,GS,A2,B2	GG,GS,A2,B2	GG,GS,A2,B2

作者曾对上述几个模式在东亚和中国的模拟结果进行过检测 and 评估<sup>[7]</sup>, 结果表明, 上述几个模式对东亚和中国地区的气候都有一定的模拟能力, 但同时各个模式的模拟场也都有各自的系统误差, 对几个全球模式平均的模拟与观测的近 30a (1961–1990 年) 东亚地区年平均相关系数的计算表明, 模拟最好的变量是温度(相关系数为 0.80), 对降水的模拟(相关系数为 0.51)不确定性大一些, 从地理分布来看, 对我国东部的模拟效果要优于对西部的模拟.

区域气候模式部分, 使用的是 RegCM2<sup>[8–9]</sup>, 模式嵌套于澳大利亚 CSIRO 模式的试验结果中<sup>[10]</sup>, 温室气体的排放情景为  $\text{CO}_2$  浓度以 1%/a 的速度增加(IS92a 情景), 关于试验的详

细介绍及在中国地区的主要结果请参见文献<sup>[4-5]</sup>, 其中对模式控制试验的分析表明, 区域模式对中国地区当代气温和降水的模拟能力较全球模式有了较大提高, 其所模拟的年平均气温和降水分别与实况的相关系数达到 0.94 和 0.80, 而且较高的分辨率使得它可以提供较全球模式更详细的气候变化的地理分布.

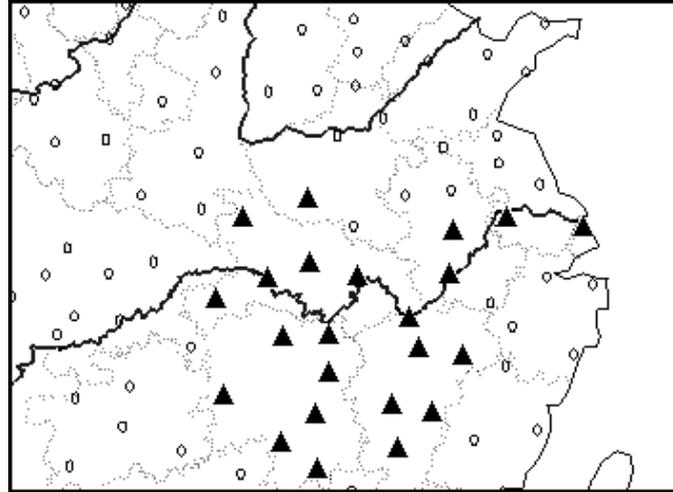


图 1 长江中下游地区 23 个代表站的分布示意图 (图中标记为▲)

Fig. 1 The stations selected for the study (noted as▲)

本文所有的分析都是相对于 1961-1990 年 30a 平均值的距平. 同时为方便起见, 模式在格点上的输出结果都插值到了长江中下游地区 23 个代表站上, 将气温和降水变化在这些站点上的平均作为这一地区的平均. 这些站点分别是: 南阳, 南京, 合肥, 上海, 安庆, 九江, 汉口, 钟祥, 岳阳, 宜昌, 常德, 贵溪, 南昌, 广昌, 吉安, 赣州, 长沙, 衡阳, 郴县, 零陵, 芷江, 恩施和郟县(图 1). 下文中全球模式的结果取为上述 5 个模式平均, 区域模式是 CO<sub>2</sub> 浓度达到加倍时(2070 年左右)的模拟结果.

## 2 长江中下游地区 21 世纪年及各个季节温度和降水的变化

首先在表 2 给出 5 个全球模式平均以及区域模式模拟的长江中下游地区在 21 世纪中后期年及各个季节平均的地面气温变化. 从表中看到受温室效应影响, 这里的气温在各种排放情景下都将持续增加, 其中 21 世纪中期的年平均温度将增加 1.8-2.8℃, 到 21 世纪末, 增加值会达到 3.1℃-4.3℃. 变暖在冬、春季最明显, 夏秋季次之. 4 种情景中, 考虑了硫化物气溶胶的 GS 情况下气温的升高幅度较其他几个明显要低一些. 全球和区域模式模拟的长江中下游地区的变暖幅度都低于全国平均(分析及图略).

与温度类似, 表 3 给出长江中下游地区 21 世纪中后期年和各季节降水变化的情景. 可以看到, 全球模式的四个方案中除 GS 下年平均降水将减少外, 其余三个方案的年平均降水都将增加, 其中 GG 时 21 世纪中期和后期年平均降水增加均为 6%左右, A2 时为分别增加 2%和 9%, B2 时为分别增加 3%和 10%.

表 2 模式平均长江中下游地区 21 世纪中后期年和各季节平均气温的变化(单位: °C)

Tab.2 Annual and seasonal mean temperature change of the Region (°C)

年	试验方案	年平均	春季	夏季	秋季	冬季
2040-2069	GG	2.8	3.0	2.3	2.4	3.3
	GS	1.8	2.3	1.5	1.4	2.0
	A2	2.6	2.8	2.3	2.2	3.1
	B2	2.6	2.8	2.2	2.2	3.0
2070	RCM	2.3	2.7	2.4	1.8	2.5
2070-2099	GG	4.2	4.4	3.6	3.8	5.1
	GS	3.1	3.6	2.7	2.5	3.6
	A2	4.3	4.8	3.7	3.8	5.1
	B2	4.3	4.8	3.6	3.7	5.1

比较各个季节的降水变化可知, 与对温度的模拟相比, 各种方案的模拟结果不太相同, GG 方案时, 四个季节中春季和秋季的降水增加最大, 夏季次之, 冬季最少; GS 时则是夏季降水略有增加, 其余三个季节降水减少; A2 和 B2 情况下 21 世纪初夏季和秋季的降水变化为减少, 春季和冬季略有增加, 随后到 21 世纪末, 降水在各个季节都是明显增加。

区域气候模式模拟的 CO<sub>2</sub> 加倍时夏季和冬季的降水增加明显。

综合各个方案的模拟结果表明, 21 世纪中期和后期长江中下游地区的年平均降水和夏季平均降水将增加。

表 3 模式平均长江中下游地区 21 世纪中后期年和各个季节降水变化 (单位: %)

Tab. 3 Annual and seasonal mean precipitation change in the future 100a (unit: %)

年	试验方案	年平均	春季	夏季	秋季	冬季
2040-2069	GG	6	9	1	11	0
	GS	-2	1	0	-12	-9
	A2	2	6	1	-5	4
	B2	3	6	3	-4	4
2070	RCM	7	-7	23	-16	44
2070-2099	GG	6	7	4	16	0
	GS	-1	-1	2	-3	-11
	A2	9	9	9	8	11
	B2	10	10	10	9	11

全球和区域模式结果中, 长江中下游地区降水的增加与全国相比都是较少的. 图 2 中实线给出区域模式模拟的 CO<sub>2</sub> 加倍时各月降水变化, 和全国(虚线)比较, 2-9 月的趋势比较一致, 但 10 月和冬季的 11-1 月两者差别较大, 具体在 10 和 11 月, 研究区域以增加为主, 全国平均是减少的; 而 12 月和 1 月这里降水的增加幅度则远大于全国平均。

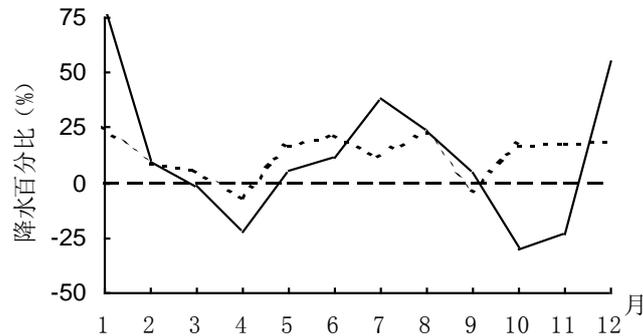


图2 区域模式模拟的 CO<sub>2</sub> 加倍时长江中下游(实线)和中国(虚线)各月降水的变化

Fig. 2 Change of monthly mean precipitation in the Region (solid line) and in China (dashed line) under doubled CO<sub>2</sub> simulated by RCM

### 3 长江中下游地区温度和降水变化的地理分布

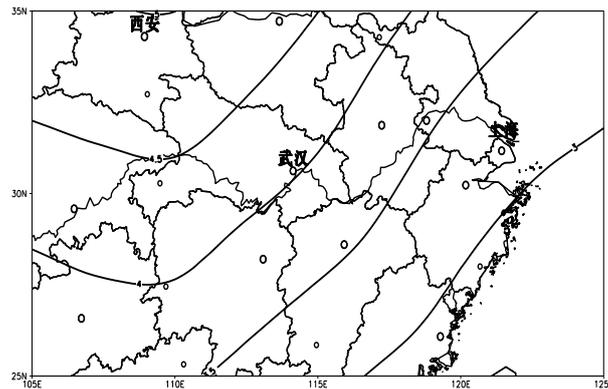


图3 全球模式模拟的 GG 时 21 世纪后期长江中下游地区温度变化地理分布图 (单位: °C)

Fig. 3 Change of annual mean temperature under GG scenario simulated by AOGCM (Unit: °C)

以 GG 时的结果为例, 图 3 给出 21 世纪后期(2070-2099 年), 全球模式模拟的长江中下游地区温度变化的地理分布状况. 从图中看出, 这里温度的变化分布以由东南向西北方向递增为主, 其中长江中下游地区西部的温度增加值在 4.0-4.5°C 间, 东部一般在 3.5°C 左右.

长江中下游地区的洪涝灾害一般发生在夏季的 6-8 月, 因此在图 4 给出全球模式在四种温室气体排放情境下, 长江中下游地区 21 世纪后期夏季降水变化的地理分布. 从图中看出, 在 GG、A2 和 B2 三种排放情景下降水变化幅度和分布型基本一致, 都是在长江中上游地区的西部增加较少, 一般在 0-5% 之间, 降水向东呈增加趋势, 到出海口一带数值达到 15%. GS 情景下的降水变化分布也有由西向东增加的趋势, 但数值较其它三者小.

区域气候模式模拟的 CO<sub>2</sub> 加倍时夏季降水的变化在图 5 给出. 夏季是这里降水增加最大的时段(参见表 3), 从图 6 可以看到, 区域内降水都是增加的, 其中流域南部和中游北部地区的增加最多, 一般在 20% 以上, 中心值达到 40%. 夏季降水的这种变化可能会导致这里

夏季洪涝灾害的增多.

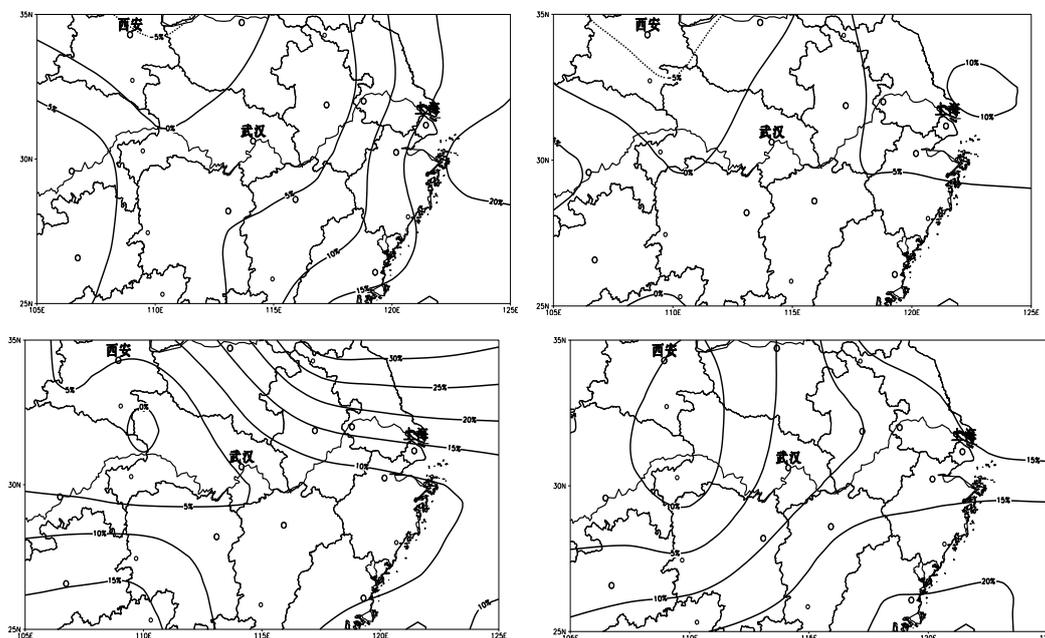


图 4 全球模式模拟的 21 世纪末期长江中下游地区夏季降水的变化

左上: GG; 右上: GS; 左下: A2; 右下: B2 (单位: %)

Fig. 4 Change of summer precipitation in the end of 21<sup>st</sup> century simulated by AOGCM upper left: GG; upper right: GS; down left: A2; down right: B2 (Unit: %)

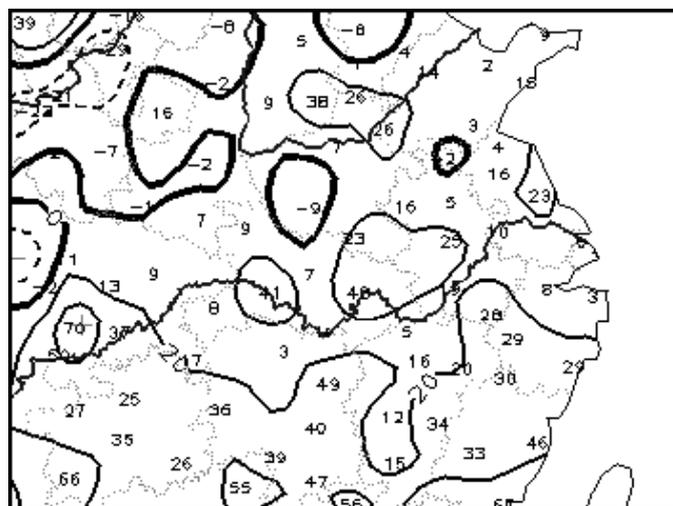


图 5 全球模式模拟的温室效应引起的长江中下游地区夏季降水的变化 (单位: %)

Fig. 5 Change of summer mean precipitation in the Region simulated by RCM (Unit: %)

## 4 结论和讨论

使用全球海气耦合模式和区域气候模式,对温室气体和气溶胶增加引起的长江中下游地区 21 世纪的地面气温和降水变化进行了分析.

(1) 全球模式分析结果表明,在温室气体增加的情况下,长江中下游地区将与全球和全国一样呈增暖趋势,而且气温的升高值随时间推移逐渐增大,到 21 世纪末时,变暖幅度最大的 B2 情景下,年平均气温的升高值会达到  $4.3^{\circ}\text{C}$ ,考虑硫酸盐气溶胶作用下(GS 情景),升温也将有  $3.1^{\circ}\text{C}$  之高.各个季节中,冬春季的增温幅度大于夏秋季.区域气候模式模拟得到的气温变化结果和全球模式类似.但两者模拟出的升温较全国均相对要低.

(2) 全球模式在不考虑气溶胶作用的几种情景下,长江中下游地区的年平均降水和夏季降水在 21 世纪中后期都将增加,但同样这种增加低于全国平均.而在考虑气溶胶作用的情景下(GS),这里的降水将会出现微弱减少.区域模式模拟得到的年平均降水变化也是增加,数值和全球模式结果接近,但降水增加在各季节的分布不同,其结果中降水增加最多的是冬季和夏季,其中夏季的增加值达到 23%,而春秋的降水将减少,与全球模式的结果相反;另外降水变化的地理分布也和全球模式有所不同.

(3) 在气候变化研究方面还存在着很多的不确定的因素.如对未来温室气体的排放情景的假设不同,气候模式还不够完善,尤其是在对气溶胶的考虑方面,这样模拟得到的未来气候变化情景也出现了一定的差异.区域气候模式对中国气候较全球模式更好的模拟能力,使得它模拟得到的未来气候变化情景也值得更加予以重视,但其中同样存在许多不确定性.在这方面还需要长期深入的研究,才能得到更进一步的结论.

### 参 考 文 献

- 1 施雅风,沈永平,胡汝骥.西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨.冰川冻土,2002,24(3): 220-226
- 2 Guo Yufu, Yu Yongqiang, Liu Xiyang, *et al.* Simulation of Climate Change Induced by CO<sub>2</sub> Increasing for East Asia with IAP/LASG GOALS Model. *Adv Atmos Sci*, 2001, 18(1): 53-66
- 3 徐影.人类活动对气候变化影响的数值模拟研究.中国气象科学研究院博士学位论文,2002
- 4 Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui, *et al.* Climate Change Due to Greenhouse Effects in China as Simulated by a Regional Climate Model. *Adv Atmo Sci*, 2001, 18(6): 1224-1230
- 5 Gao Xuejie, Zhao Zongci, F Giorgi. Changes of Extreme Events in Regional Climate Simulations Over East Asia. *Adv Atmo Sci*, 2002, 19(5): 927-942
- 6 姜彤,施雅风.全球变暖、长江水灾与可能损失.地球科学进展,2003,18(18): 277-284
- 7 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验与评估.应用气象学报,2002,13(5): 513-525
- 8 Giorgi F, M R Marinucci, G T Bates. Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part I: Boundary-layer and radiative transfer processes. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2794-2813
- 9 Giorgi F, M R Marinucci, G T Bates, *et al.* Development of a Second-Generation Regional Climate Model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2814-2832

- 10 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

## Impacts of Greenhouse Effects upon the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River

XU Ying, GAO Xuejie, ZHAO Zongci & DING Yihui

(National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, P.R.China)

### Abstract

Climate changes in the middle and lower reaches of the Yangtze River due to greenhouse effects in the 21st century are investigated based on the simulations both by some coupled atmosphere-ocean general circulation models (AOGCM) and a regional climate model (RegCM2).

Assessment of the models for their simulation to present climate in China show that they perform reasonably well. For example, the spatial correlation coefficients between simulated and observed mean annual surface air temperature can be 0.80 and 0.94 for the AOGCMs and the RCM, respectively.

The AOGCM part is based on the average of the 5 AOGCM results provided by the Data Distribution Center of IPCC. It consists of 4 scenarios, which are greenhouse gas only, and greenhouse gas plus sulfate aerosol scenario of the IS92a, A2, and B2 of the SRES. The results show a general warming in the region in the future, like in the globe and in other parts of China. For example, in the end of the 21st century in the region, the warming of 4.3°C under GG and 3.1°C under GS are simulated. Greater warming is simulated in winter and spring than in summer and autumn. Similar temperature rise is simulated by the RCM. But both AOGCM and RCM simulated a weaker warming in the region when comparing with that in China and in the Globe.

As for the precipitation change, under GG, an increase which is smaller than that averaged in China is simulated, while under GS it is a slight decrease. The annual mean precipitation change simulated by the RCM shows similar increase. But differences are noticed when considering seasonal changes and the spatial distributions. Greater increase is found in winter (44%) and summer (23%) while the precipitation in spring and autumn will decrease, which is in the opposite direction to the AOGCM. The big increase of precipitation in summer may subsequently lead to more floods in the region.

A lot of uncertainties exist in assessing the climate impacts of greenhouse gas emissions. There are uncertainties in the emission scenario in the future and in the climate models, especially when concerning the aerosol effects, etc. The better performance of the RCM in simulating present climate refers that the climate change scenario simulated should be paid more attention, but still many works are needed for a more robust assessment of climate change in the region, as in other places in China and in the Globe.

**Keywords:** Greenhouse effects, climate change, numerical climate models, Yangtze River Basin