

东亚区域气候变化的长期数值模拟试验*

汤剑平 苏炳凯 赵 鸣 赵得明

(南京大学大气科学系, 南京大学中尺度灾害性天气教育部重点实验室, 南京, 210093)

摘 要

文中利用 NCAR 的中尺度模式 MM5V3 对东亚地区进行了 10 a 的长期积分模拟试验, 并着重对冬、夏两季东亚区域气候变化特征进行了分析。分析结果表明: (1) 模式能够合理地模拟出 10 a 冬、夏平均的区域气候特征。模拟的 10 a 冬季平均降水的分布和强度与实际比较一致, 对夏季降水分布特征的模拟也比较合理, 但模拟的夏季华北降水偏多。模式对冬季平均场的模拟要优于对夏季的模拟; (2) 模式对降水、地面气温年际变率的模拟较为合理, 模拟的中高层环流、温度场等要素的距平相关系数都比较高; (3) 模式对不同 El Nino 年对东亚区域气候变化影响的模拟能力有所不同, 模拟的 1992、1995 年的结果比较合理, 但对 1998 年模拟得不理想; (4) MM5V3 模式具备一定的区域气候模拟能力。

关键词: 东亚区域, 气候变化, 数值模拟。

1 引 言

近十几年来对区域气候形成、异常和变化的模拟与预测研究表明, 区域气候模式具有模拟和预测气候变化区域特征的潜力。目前使用比较广泛的区域气候模式是 NCAR 的 RegCM2^[1, 2]。而随着中尺度模式的发展, 在新一代的中尺度模式基础上建立区域气候模式已经成为可能。许多研究人员利用改进的 MM5 模式进行了区域气候模拟的初步尝试^[3~6], 其结果是比较理想的。目前, NCAR 的中尺度模式已经发展为 MM5V3。该模式是非静力的, 包含了对区域气候模拟比较重要的辐射和陆面过程, 并且有更详细的积云、边界层等参数化方案和先进的初边界值处理, 因此它可以被用来进行长期的区域气候模拟试验。MM5V3 模式已被广泛应用于区域气候模拟试验^[7~10]。

东亚地区与世界其他地区相比有其独特的地形、植被和季风特征, 是世界上气候变率较大的地区之一。西边是青藏高原, 东面是西太平洋, 而北边有复杂的地形和植被, 南面又是赤道海洋。东亚区域季风气候变化直接影响经济的发展。因此开展东亚区域气候形成原因和变化机制的研究对中国国民经

济的发展有重要意义。自 20 世纪 90 年代初区域气候模式引入中国后, 利用区域气候模式对东亚地区作了比较多的模拟试验^[11~18], 但这些模式试验中大部分都是季节尺度。陈明、符淙斌^[19]利用区域气候模式 RegCM2 与澳大利亚的 CSIRO 全球环流模式嵌套对东亚地区作了连续 3 a 的积分模拟试验, 其结果表明区域气候模式模拟的区域气候特征比全球模式有较大的改进。Lee Dong-Kyou 等^[20]利用 RegCM2 模式分别模拟了东亚地区 10 a 的夏季气候变化, 表明模式能很好地再现与东亚夏季风相关的大尺度特征。前述的利用区域气候模式对东亚地区的模拟或模拟时间比较短(月、季尺度)或模拟区域比较小模拟时间不连续。为了更好地检验各区域气候模式对东亚地区的模拟能力, 符淙斌发起、组织了东亚的区域气候模式比较计划(RMIP), 该计划的第 2 阶段就是利用各区域气候模式对东亚地区作 10 a 连续的模拟试验, 并且其模拟试验区域比较大, 基本包括了东亚的大部分地区。本文作为参加 RMIP 计划的一部分工作, 利用 MM5V3 模式对东亚地区作 10 a 的区域气候模拟, 并对模拟结果进行了初步分析。

* 初稿时间: 2003 年 12 月 23 日; 修改稿时间: 2004 年 3 月 1 日。
资助课题: 国家重点基础研究发展规划(973)项目 G1999043400。

2 模式及资料

文中数值模拟试验应用的 PSU/NCAR 共同发展的第 5 代中尺度气象模式 MM5 的第 3 版^[21]。该模式在 MM4, MM5V2 的基础上作了比较大的改进。采用了完全的非静力动力框架, 并且引入了陆面过程模式 OSU LSM^[22, 23]。

本试验模拟区域基本上包括了整个东亚地区(图 1), 中心点在(35°N, 110°E), 格点数为 111 × 151, 水平分辨率为 60 km。模拟试验选用了 Grell 积云参数化过程、RRTM 长波辐射参数化过程、Duhai 的短波参数化过程、MRF 的边界层方案和 OSU LSM 陆面参数化过程。模拟试验利用 NCAR/NCEP 的再分析资料^[24], 水平分辨率为 2.5° × 2.5°, 时间间隔为 6 h。把粗分辨率的 NCAR/NCEP 再分析资料用双线性方法插值到模拟区域作为模式的初始和侧边界条件。垂直方向取 16 分层, 侧边界用 15 圈缓冲。模拟积分时间从 1988 年 7 月 1 日 00 时到 1999 年 1 月 1 日 00 时。

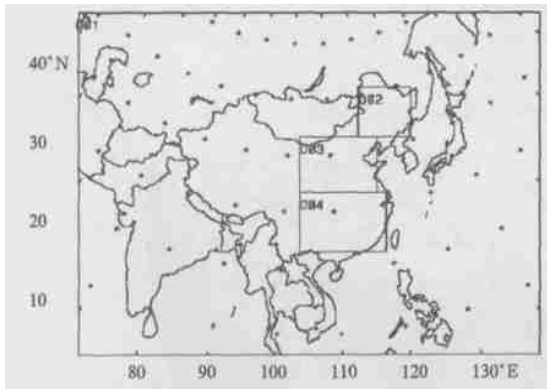


图 1 模拟试验的区域范围及 3 个子区域(用于结果分析)
(D02: 东北, D03: 华北, D04: 华南)

Fig. 1 Simulation domain and three sub-domains
(D02: Northeast China, D03: North China, D04: South China)

3 模拟结果分析

分析了 1989 年 1 月到 1998 年 12 月的模式模拟结果, 而把模拟试验的前半年作为模式的 spin-up 时间。模拟结果的分析区域为去除 15 圈缓冲区后的区域, 包括了中国和东亚的大部分地区。

3.1 10 a 冬、夏季平均场

首先分析模式模拟的 10 a 冬、夏季平均降水率的分布。利用 GPCP^[25] 的 1° × 1° 月降水资料作为实

际值。从实际的 10 a 冬、夏两季平均降水率的分布看(图 2a, c): 冬季, 在东亚大陆地区的降水都比较弱, 中国长江以南地区也只有 2 mm/d, 而强降水主要集中在日本岛及其以东地区和菲律宾群岛地区; 夏季, 在中国大陆地区有比较强的降水, 特别是中国华南地区有 8 mm/d 的强降水区域, 同时在孟加拉湾和菲律宾群岛地区都有很强的降水。MM5V3 模拟的 10 a 冬季平均降水率(图 2b)在中国大陆地区也都比较弱, 中国长江以南地区基本上为 2 mm/d, 与实际比较一致。同时模式比较合理地模拟出了位于日本岛及其以东地区和菲律宾群岛地区的强降水。但模式对青藏高原东侧的降水模拟过强。夏季, 模拟的 10 a 平均降水率的分布(图 2d)与实际相比还是比较合理的, 模拟出了孟加拉湾和中国华南地区的强降水, 但对中国华北地区的降水模拟偏强, 中国华南沿海区域的降水模拟略偏东, 同时对中国台湾岛以东区域的降水模拟过强。从模拟(图 3a)和实际(图 3b)的降水差值图更可以清楚地看到: 冬季中国陆地上的降水差值基本上都很小, 只有在江淮流域和华南沿海地区有 1 和 -1 mm/d 的差值, 表明模式较好地模拟出了冬季平均降水的分布特征; 而夏季模式模拟的中国河套和东南沿海地区的降水偏多, 降水差超过 2 mm/d, 对中国云贵地区和孟加拉湾地区的降水模拟偏弱。冬、夏两季, 模式对中国台湾东部海洋地区的降水模拟都偏强, 这可能也是模式的系统偏差。总体上看, MM5V3 对 10 a 平均降水率分布的模拟是比较合理的, 同时, 模式对冬季降水的模拟要优于对夏季的模拟。

把 NCAR/NCEP 再分析资料的海平面气压插值到模式的模拟区域作为实况。图 4 为模拟和 NCAR/NCEP 再分析资料的 10 a 冬、夏季平均海平面气压。从图中可以发现: 冬季, NCAR/NCEP 再分析资料的海平面气压在蒙古国地区为高值区, 中心气压超过 1032 hPa; 模拟的 10 a 平均海平面气压的分布与再分析资料是相当一致的, 高值区主要在蒙古国地区, 中心超过 1028 hPa, 但高值区范围偏南, 也就是说模拟区域南部偏高, 北部偏低。夏季, NCAR/NCEP 再分析资料的 10 a 平均海平面气压在中国大陆的大部分地区为 1008 hPa 左右, 同时在高原上有一高值区; 模式模拟的海平面气压与实况也比较一致, 模拟区域大部分地区为 1008 hPa, 高原上为高值区。同时, 由于模式分辨率的提高, 能更好地模拟位于中国四川地区的低压, 这同夏季西南

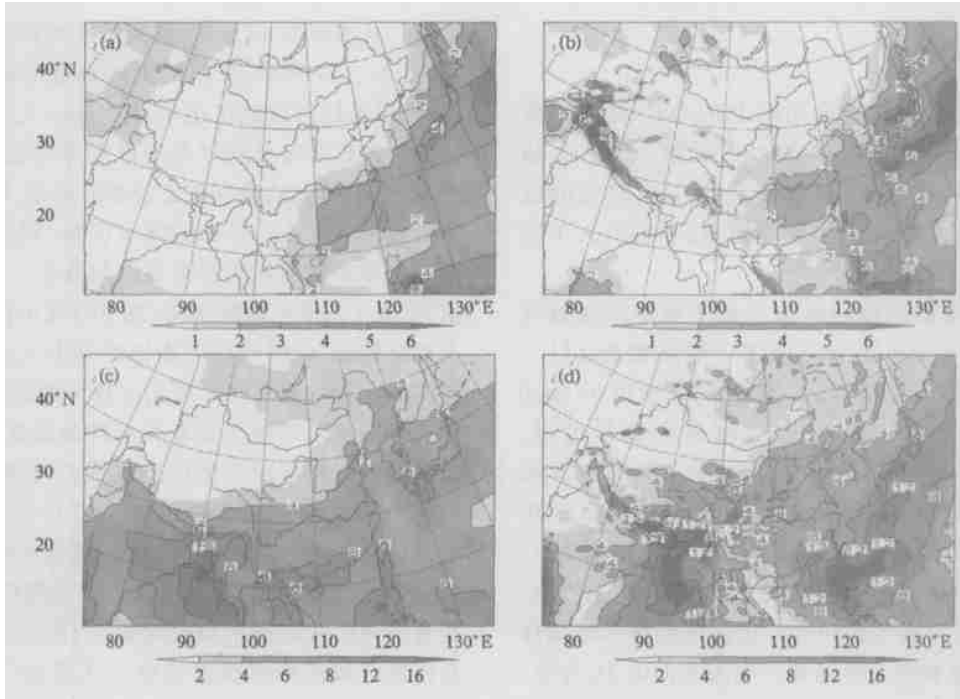


图2 模式模拟和实际的10 a 冬(a)、夏(b)季平均降水率(mm/d)
 (a(冬), c(夏). 实际(GPCP降水资料), b(冬), d(夏). MM5V3模拟结果
 e(冬), f(夏). 模拟和实际的差值(模拟-实际))

Fig. 2 Winter and summer mean precipitation rate based on (left) observation and (right) simulation (mm/d)
 (observation: a(winter), c(summer), simulation: b(winter), d(summer))

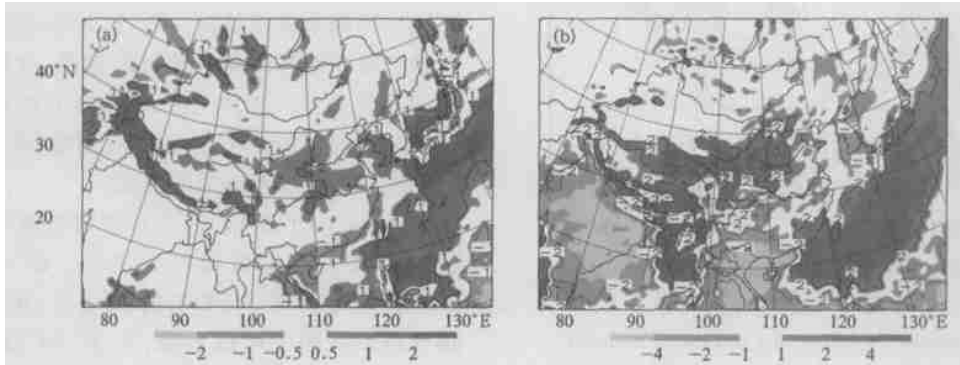


图3 模式模拟和实际的10 a 冬(a)、夏(b)季的季平均降水差值(模拟-实际)

Fig. 4 Winter and summer mean precipitation difference: a(winter), b(summer)

地区的西南涡是相联系的。从海平面气压的分析结果可以发现, MM5V3 模式能合理地模拟出 10 a 冬、夏平均的海平面气压分布, 同时由于分辨率的提高, 模式能更详细地模拟出区域内由地形和陆面特征引起海平面气压的分布。

图 5 分别为模拟和 NCAR/NCEP 再分析资料的 10 a 冬、夏季平均的 500 hPa 高度和温度场, 从中可以发现: 冬季, 模拟的 500 hPa 平均环流和温度的

分布与实际是比较一致的, 模式很好地模拟出了位于中国东北沿海地区的槽, 其强度也比较合理; 夏季, 模式模拟的 500 hPa 平均环流和温度基本合理, 但对副高的模拟偏南、偏东。同时对模拟区域北部(中国东北地区)的槽的模拟偏弱, 对中国华北地区的温度模拟偏高。这可能的原因是夏季模式过多地模拟出了中国华北地区的降水, 导致这一地区的潜热释放变大, 增暖了中低层的温度, 同时是槽的模拟偏弱。

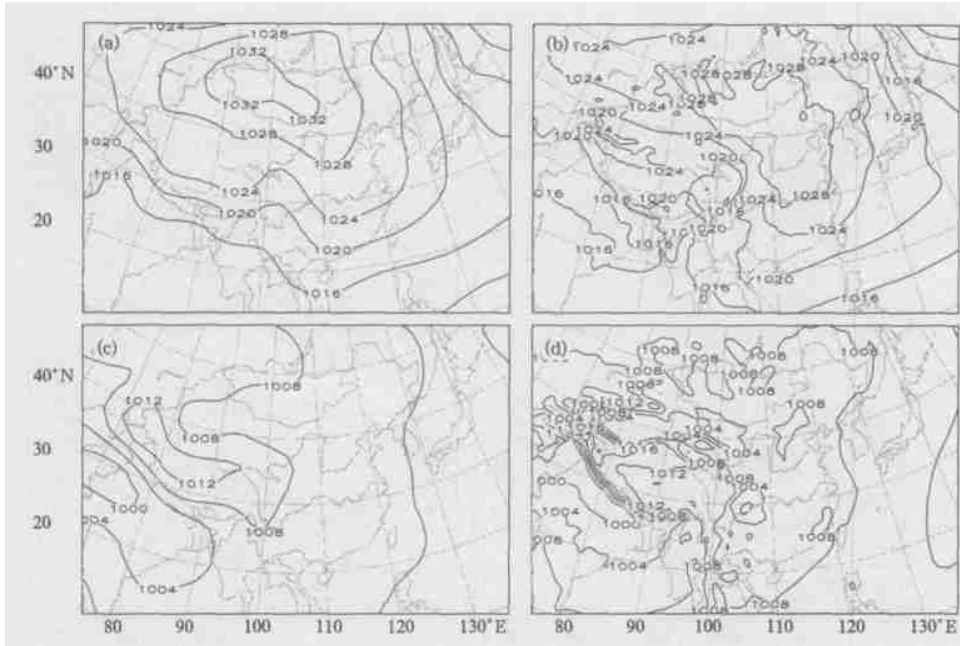


图 4 模式模拟和 NCEP/NCAR 再分析资料的 10 a 冬、夏季平均海平面气压场 (hPa)
 (a 冬, c 夏. NCEP/NCAR 再分析资料; b 冬, d 夏. 模式模拟值)

Fig. 4 Winter and summer mean sea level pressure based on (left) NCEP/NCAR reanalyses and (right) regional simulation (hPa)

(a (winter), c (summer): NCEP/NCAR reanalyses; b (winter), d (summer): regional simulation)

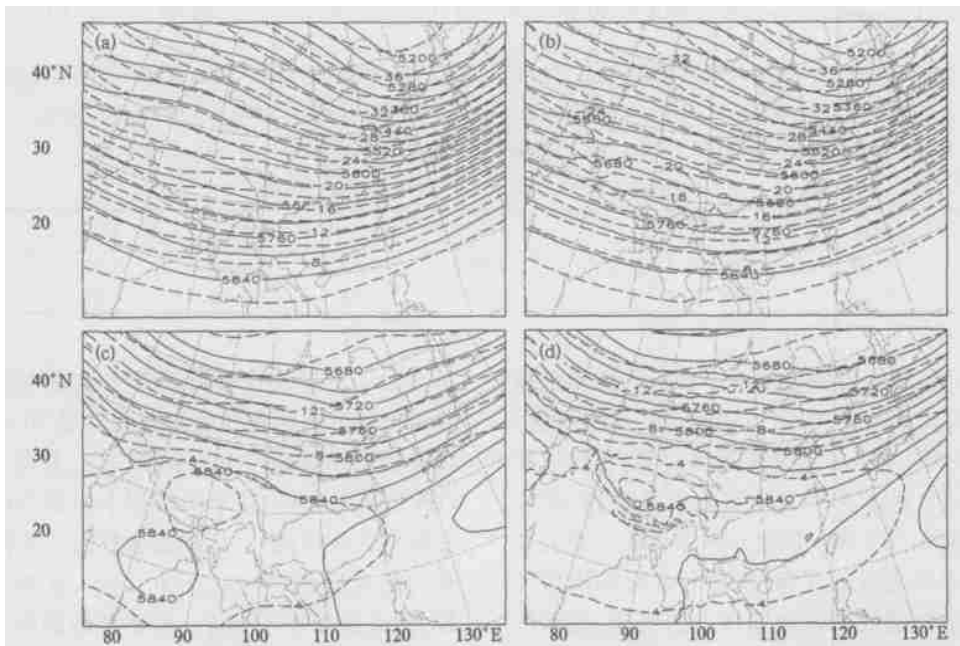


图 5 模拟和 NCEP/NCAR 再分析资料的 10 a 冬、夏平均 500 hPa 高度和温度场
 (高度: gpm 温度: °C; a 冬, c 夏: NCEP/NCAR 再分析资料, b 冬, d 夏: 模式模拟值)

Fig. 5 Winter and summer mean 500 hPa geopotential height and temperature based on (left) NCEP/NCAR reanalyses and (right) regional simulation

(height: gpm temperature: °C, a (winter), c (summer): NCEP/NCAR reanalyses, b (winter), d (summer): regional simulation)

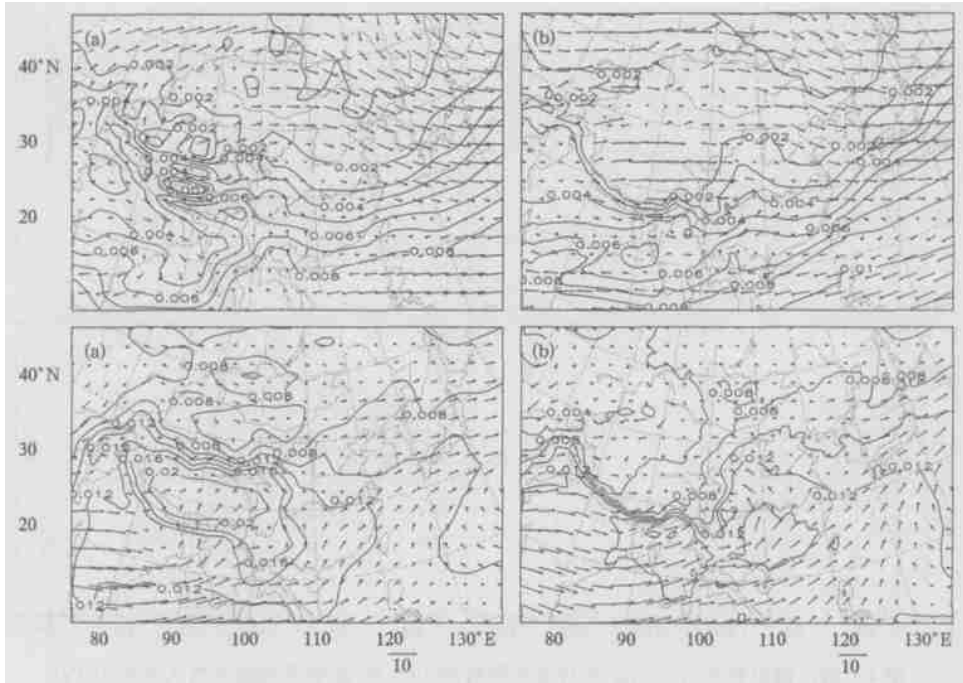


图6 模拟和NCAR/NCEP再分析资料的10 a冬、夏平均850 hPa风场(m/s)和水汽场(kg/kg)
(a. 冬, c. 夏: NCEP/NCAR再分析资料; b. 冬, d. 夏: 模拟值)

Fig. 6 Winter and summer mean 850hPa winds and specific humidity based on (left) NCEP/NCAR reanalyses and (right) regional simulation (wind: m/s specific humidity: kg/kg)
(a(winter), c(summer): NCEP/NCAR reanalyses b(winter), d(summer): regional simulation)

表1 模拟的10 a冬、夏平均降水、地面气温、500 hPa温度高度场和850 hPa风场水汽场与实际的相关系数

Table 1 Correlation coefficients of precipitation, surface air temperature, 500 hPa height and temperature, 850 hPa wind and specific humidity between simulation and observation for winter and summer respectively during 10 years

	降水	T_{sfc}	S	H_{500}	T_{500}	Q_{500}	U_{500}	V_{500}
冬季	0.80	0.98	0.93	0.99	0.99	0.93	0.90	0.48
夏季	0.64	0.93	0.78	0.99	0.98	0.48	0.81	0.81

从10 a冬、夏平均的低层850 hPa风场和水汽场图中(图6, 其中实况为NCAR/NCEP再分析值)可以看到: 冬季, 不管是实况还是模拟场, 在模拟区域的20°N以北地区基本为一致的西风气流, 而以南低纬地区为东风气流。同时水汽主要集中在孟加拉湾和中国南海地区。夏季, 模拟和实况在模拟区域的南部都是较强的偏西和偏西南气流, 把水汽输送到中国华南和江淮地区。从实况结果看, 夏季水汽源主要是在孟加拉湾地区, 而模拟场除孟加拉湾的之外在中国南海地区也是有一个水汽源。模拟的850 hPa水汽场分布在中国华北和江淮流域都偏高, 这可能也是导致这些地区夏季模拟的降水偏多的一个原因。

为了更好地检验模式对平均场的模拟能力, 计算了前述分析的各变量和地面气温10 a冬、夏平均场的模拟和实际的相关系数(表1, 降水的实际值用GPCP降水资料, 其余的均用NCEP/NCAR再分析资料作为实际值)。从相关系数的结果看, 各变量的相关都是显著的($\alpha_{0.01} = 0.244$), 且相关系数都比较大, 大部分高于0.6。冬季平均的各变量的相关系数基本都要大于夏季的, 这也反映了模式对冬季平均场的模拟能力要优于夏季的。

从10 a冬、夏平均场的分析结果看, MM5V3对平均环流、温度和海平面气压等的模拟是比较合理的, 同时模式对冬季平均状态的模拟要优于对夏季的模拟。

3.2 年际变化的模拟

年际变化的模拟能力是检验区域气候长期模拟的一个重要指标。利用 CRU05^[26] 全球 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 的地面气温资料集和 GPCP $1^\circ \times 1^\circ$ 的降水资料作为实际的检验资料。图 7 表示模拟和实际的冬、夏季平均地面气温的年际变率。模拟的冬、夏季平均地面气温的年际变率的大体分布与实际 (CRU05 资料) 是比较一致的。冬季, 地面气温年际变率的实际分布基本是南低北高, 最强的变率出现在模拟区域

的西北角, 达到 2°C , 而最小值基本都在中国江淮流域及以南地区。模式模拟的冬季地面气温年际变率的分布也基本上是南低北高, 模拟区域西北部的高值区略偏低, 对中国江淮流域及以南地区的低值区的模拟略偏高。夏季, 地面气温的年际变率相对略小, 基本上都在 $0.4\sim 0.8^\circ\text{C}$ 变化。模式模拟的结果在中国西南地区、中南半岛和东北部 (50°N) 地区要比实况的高, 实况这些地区是低值中心而模拟的是高值中心, 但两者的绝对值差只在 0.4°C 左右。

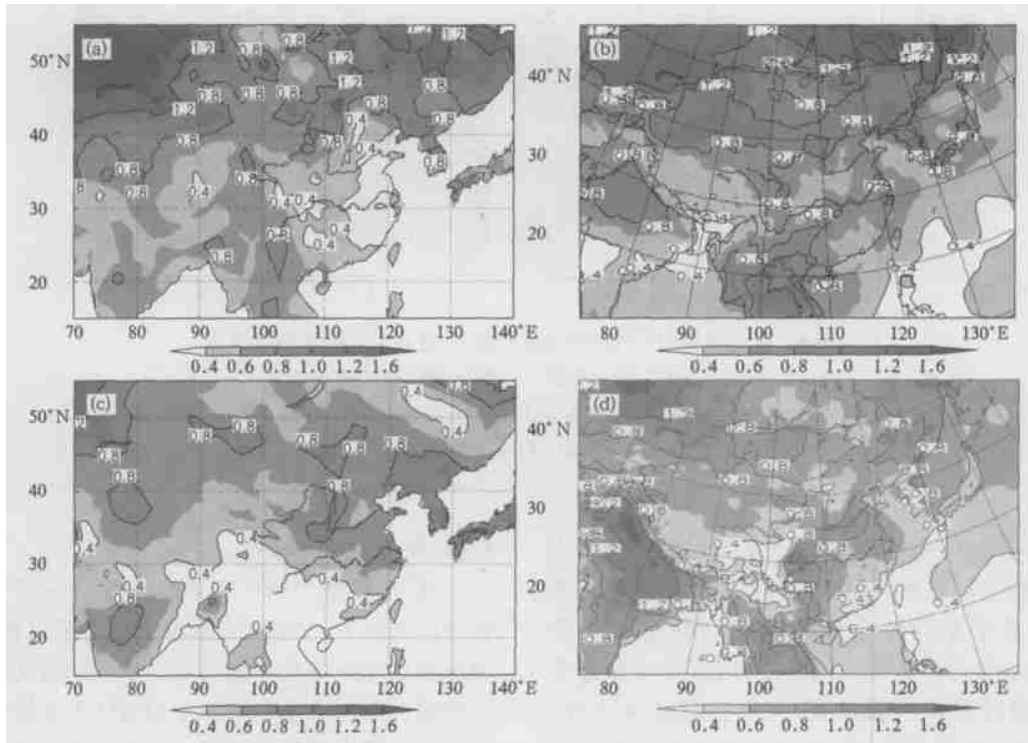


图 7 模式模拟和 CRU05 资料的冬 (a)、夏 (b) 季地面气温的标准差

(a. 冬, c. 夏: CRU05 资料; b. 冬, d. 夏: 模式模拟值, $^\circ\text{C}$)

Fig. 7 Standard deviations of winter and summer mean surface air temperature based on (left) CRU05 data and (right) regional simulation

(winter (a), summer (c): CRU05 data, winter (b), summer (d): regional simulation; $^\circ\text{C}$)

模拟的冬季和夏季平均的降水变率的分布与 GPCP 降水资料比较接近 (如图 8)。冬季, 模拟和实况的降水变率高值区主要是在模拟区域的东南部, 其余地区的变率都比较小, 而且模式模拟的降水变率的大小与实际也是很接近的。夏季, 实际的降水变率高值区主要是在孟加拉湾地区和中国的华南地区, MM5 模式也能模拟出这两个主要地区的高的降水变率, 但模拟的变率值偏大。模式模拟的夏季降水变率的值都比实况的要偏高。

图 9 为模拟区域内 3 个子区域平均的模拟和

GPCP 降水距平的 10 a 变化趋势。从冬季的降水距平变化图上看: 东北, 除 1994 年外, 模式模拟的降水距平符号和实际是一致的, 但模拟的降水距平略有偏大, 表明模式对中国东北地区冬季降水年际变化的模拟略偏强; 华北, 模式模拟的降水距平在 1992 和 1993 年与实际相反, 其余年份都是一致的, 同时模式模拟的降水距平的大小除 1990 年外, 其余年份都与实际比较接近; 华南, 模拟的降水距平在多数年份都是比较合理的, 距平符号与实际一致, 大小也比较接近, 但对 1989, 1990 和 1993 年的模拟不是很理

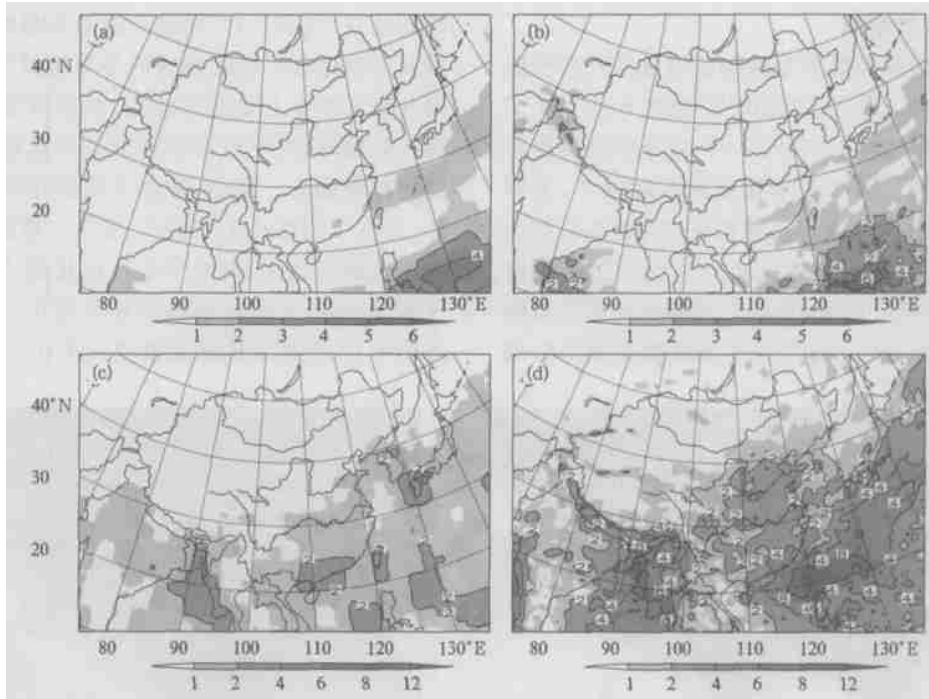


图8 模式模拟和 GPCP 降水资料的冬、夏季平均降水的标准差

(a, 冬, c, 夏: GPCP 降水资料, b, 冬, d, 夏: 模式模拟值; mm/d)

Fig. 8 Standard deviations of winter and summer mean precipitation rates based on

GPCP data and (regional simulation

(a (winter), c (summer): GPCP data b (winter), d (summer): regional simulation; mm/d)

想(距平符号相反)。从夏季3个子区域的平均降水距平变化图上可以看到,夏季降水距平明显要比冬季的大。夏季东北地区模拟的平均降水距平除1994~1996年的符号与实际相反外,其余年份都是一致的,同时模拟的降水距平大小也基本合理。MM5V3模式对夏季华北地区平均降水距平年际变化的模拟不是很理想,模拟的距平值偏大,距平符号有半数年份不一致。这同10a平均降水图中华北地区降水模拟偏大是一致的,表明模式对中国华北地区的降水模拟能力偏弱。从华南地区的降水距平年际变化图上可以看到,模式模拟的降水距平在多数年份与实际的符号是一致的,同时模拟的降水距平大小也比较合理。总体看,模式模拟的冬季3个区域内降水距平的变化相对是比较合理的,而对夏季降水距平变化模拟较差的年份主要为1991,1994,1997和1998年,这些年份在中国不同地区都发生了严重的旱或涝灾害(1991年江淮涝,1994年江淮旱,1997年华北旱,1998年长江流域特大洪涝),而区域模式由于受参数化方法和驱动资料等的影响,对这些极端气候变化信号的模拟能力还不是

很强,需作进一步改进。

从冬、夏季中国3个子区域内10a平均的降水距平的分析看,MM5V3基本上还是可以模拟出冬、夏降水的年际变化。模式对冬季降水变化的模拟能力明显优于对夏季的模拟。MM5V3不能很好地模拟出中国华北地区夏季降水的年际变化。

利用NCAR/NCEP再分析资料和模式的模拟结果,计算了两者之间10a冬、夏季平均的中、高层温度和高度以及海平面气压的距平相关系数(表2)和均方根误差(表3)。从表2中看:冬季,距平相关系数都比较高(大部分高于0.75),并且都是显著的(置信度0.01的相关系数置信限值为0.244)。夏季,距平相关系数大部分都比冬季的小,并且出现了部分的不显著相关,表明模式对夏季的模拟能力低于对冬季的。另外,从表中可以发现,无论是冬季还是夏季,中层500hPa的距平相关系数大部分都高于高层200hPa的,表明模式对中层高度、温度的年际变化的模拟能力要略优于高层的。表3中各物理量的均方根误差都是比较小的,表明模式对各年季节平均的模拟还是比较合理的。

3.3 El Nino 年的模拟

El Nino 事件对东亚地区的季风和降水的影响是比较明显的。模拟试验的 10 a 时段内有 3 次 El

Nino 年, 即 1992, 1995 和 1998 年(文献[9])。为检验 MM5V3 对 El Nino 气候强变化信号引起的短期区域变化的模拟能力, 分析了 3 次 El Nino 年降水

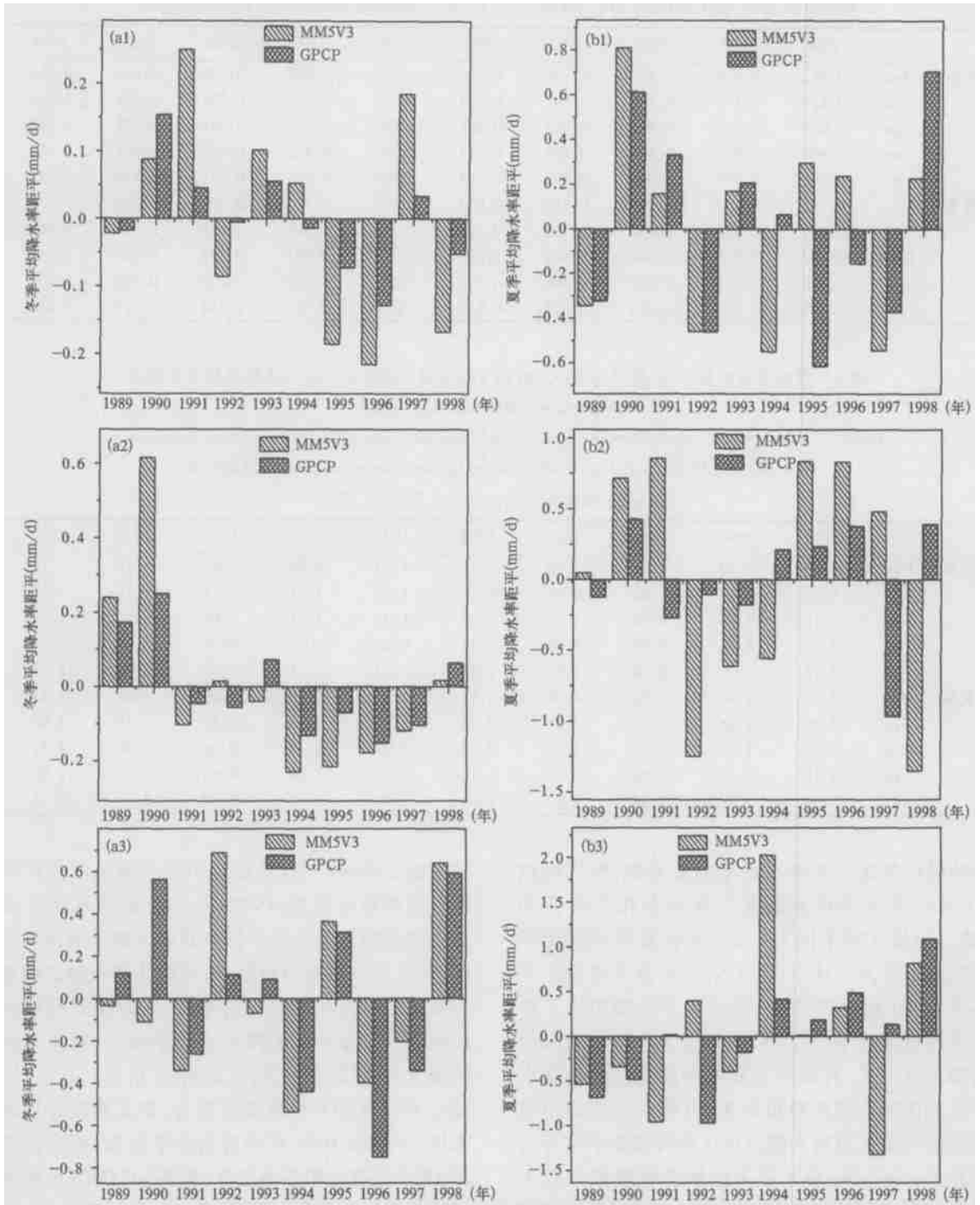


图 9 各子区域内冬(a)、夏(b)平均模拟和实际的降水距平 10 a 变化
(a1, b1: 东北, a2, b2: 华北, a3, b3: 华南)

Fig. 8 Anomaly of winter(a) and summer(b) mean precipitation rates in sub-domains based on observation and simulation

(a1, b1. Northeast China, a2, b2. North China, a3, b3. South China)

表2 模式模拟的各年冬、夏平均 200, 500 hPa 温度和高度以及
海平面气压与实际的距平相关系数

Table 2 Anomaly correlation coefficients of winter and summer mean geopotential height,
temperature on 200 and 500 hPa and sea level pressure between observation and simulation

		1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
冬季	H_{200}	0.912	0.978	0.855	0.938	0.916	0.884	0.958	0.836	0.806	0.688
	T_{200}	0.936	0.762	0.798	0.767	0.866	0.727	0.919	0.791	0.834	0.904
	H_{500}	0.969	0.955	0.929	0.923	0.887	0.949	0.976	0.971	0.927	0.842
	T_{500}	0.866	0.934	0.861	0.934	0.915	0.876	0.915	0.875	0.868	0.661
	p	0.885	0.959	0.846	0.923	0.734	0.874	0.786	0.971	0.819	0.782
夏季	H_{200}	0.795	0.637	0.716	0.854	0.837	0.247	0.822	0.201	0.530	0.635
	T_{200}	0.159	0.416	0.091	0.529	0.326	0.688	0.563	0.678	0.720	0.567
	H_{500}	0.847	0.675	0.848	0.784	0.860	0.354	0.783	0.355	0.621	0.649
	T_{500}	0.709	0.621	0.627	0.806	0.646	0.397	0.685	-0.01	0.539	0.702
	p	0.908	0.385	0.496	0.343	0.669	-0.04	0.829	0.154	0.629	0.437

表3 模式模拟的各年冬、夏平均 200, 500 hPa 温度和高度以及气压与实际的均方根误差
(高度: dagpm, 温度: $^{\circ}\text{C}$, 气压: hPa)

Table 3 Root-mean-square errors of winter and summer mean geopotential height, temperature
on 200 and 500 hPa and sea level pressure between observation and simulation
(height: dagpm, temperature: $^{\circ}\text{C}$, p : hPa)

		1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
冬季	H_{200}	4.09	3.44	4.39	2.98	2.61	4.20	4.08	3.85	4.51	4.75
	T_{200}	1.19	1.05	1.62	0.99	1.11	1.57	1.51	1.17	1.44	1.77
	H_{500}	1.15	1.06	1.26	1.25	1.25	1.23	1.22	1.13	1.19	1.76
	T_{500}	0.93	0.56	0.89	0.49	0.53	0.98	0.65	0.70	0.77	0.74
	p	2.26	2.36	2.48	2.52	2.46	2.54	2.71	2.46	2.54	2.93
夏季	H_{200}	4.53	4.44	4.34	4.01	4.91	2.95	4.49	3.43	3.66	5.85
	T_{200}	2.26	2.66	2.53	2.68	3.26	2.91	2.96	2.50	2.38	2.65
	H_{500}	1.09	1.31	1.04	1.00	0.88	2.32	1.41	0.96	1.08	1.51
	T_{500}	1.15	0.89	1.00	0.88	1.10	0.82	1.00	0.86	0.92	1.29
	p	1.96	2.10	2.28	2.20	2.04	2.41	2.82	2.37	2.39	2.21

距平的模拟情况。从降水距平的结果看, 模式模拟的 El Nino 年冬季降水距平与实际是相当符合的(图略), 而模式对不同 El Nino 年份夏季降水距平的模拟差别较大。从 3 次 El Nino 年夏季降水距平的结果看(图 10): 1992 年, 模式较好地模拟出了中国江淮流域至日本、东北大部分地区和华南沿海地区的降水负距平, 对高原及其西南部地区的负降水距平也能比较合理地模拟出来, 但模式模拟的中国河套地区和长江以南大部分地区的降水距平符号与实际相反; 1995 年, 模式基本能够合理模拟出降水距平的分布, 对中国江淮流域、东北地区以及西部塔里木盆地等地区的负降水距平模拟与实际比较接近, 同时较好地模拟出了朝鲜半岛和中国华南沿海

地区的正降水距平, 只是对中国南海地区的正降水距平模拟略有偏差; 1998 年, 实际的降水距平从长江以南到朝鲜半岛及中国东北的大部分地区均为正距平, 在华南沿海为负距平, 而模式模拟的这些地区的降水距平符号与实际的相反, 同时模式模拟的中国台湾以东海洋上的降水正距平偏强, 对南海地区的降水距平模拟也同实际符号相反。从 3 个 El Nino 年降水距平的模拟结果看, 模式能较合理地模拟出 1992 和 1995 年的降水距平分布, 而没能模拟出 1998 年降水距平的变化, 表明 MM5V3 区域模式对强气候变化信号的模拟具有一定的能力, 但还需进一步改进模式及其模拟性能。

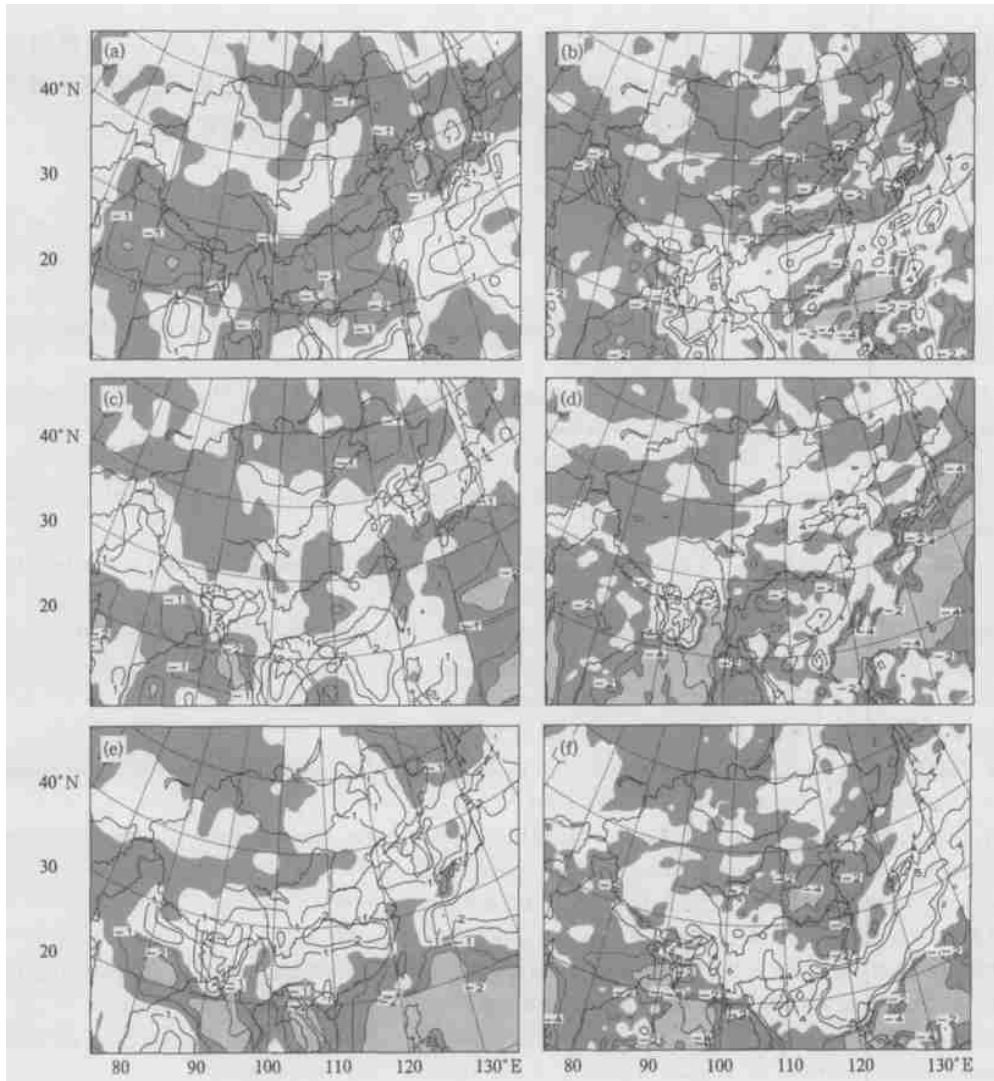


图 10 模式模拟(b, d, f)和 GPCP(a, c, e)降水资料的 El Nino 年夏季平均降水距平
(a, b. 1992, c, d. 1995, e, f. 1998; mm/d)

Fig. 10 Anomaly of summer mean precipitation rates in El Niño years based on (a, c, e) GPCP data and (b, d, f) regional simulation
(a, b. 1992, c, d. 1995, e, f. 1998; mm/d)

4 结 论

本文利用 MM5V3 模式对东亚地区作了 10 a 模拟, 并对模拟结果的冬、夏平均状况进行了分析比较。从模拟结果的分析中可以发现如下的几个结论:

(1) MM5V3 模式对 10 a 冬、夏季平均环流、温度和海平面气压场的模拟是比较合理的。同时 MM5V3 模式能较好地模拟出东亚地区 10 a 冬季平均的降水分布和强度。对于 10 a 平均夏季降水的模拟总体上是合理的, 但模拟的降水强度偏大。总

的说来, 无论从环流、温度还是降水场结果看, 模式基本上能够模拟出 10 a 平均季节平均场的分布。

(2) MM5V3 模式基本上能够合理地模拟出冬、夏季地面气温和降水年际变率分布, 模拟不同子区域的冬、夏季平均降水的距平符号多数年份与实际是一致的。同时模式对各年冬季平均的中、高层环流和温度的模拟是比较合理的, 但对夏季的模拟略有偏弱。总的来说 MM5V3 模式基本可以模拟出区域气候的年际变化。

(3) 模式对不同 El Niño 事件引起的区域气候变化的模拟能力有所不同, 对模拟时段内 1992,

1995 El Nino 年的模拟较为合理,但没能模拟出1998年 El Nino 事件引起的区域气候变化特征。

(4) 从总的模拟结果看,模式对冬季的模拟能力要优于对夏季的模拟。

总之,从 MM5V3 模式 10 a 的模拟结果看,该模式基本上可以被用来进行长期的区域气候模拟,但还需进一步改进模式的物理过程。

参考文献

- Girogi F, Marinucci M R, Bates G T. Development of a second-generation regional climate model (RegCM2), Part I: boundary-layer and radiative transfer processes. *Mon Wea Rev*, 1993, 121: 2794~ 2813
- Girogi F, Marinucci M R, Bates G T, 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~ 2822
- 江勇, 赵鸣, 汤剑平等. MM5 中新边界层方案的引入和对比试验. *气象科学*, 2002, 22(3): 253~ 263
- Crawford Todd M, David J Stensrud, Franz Mora, et al. Value of incorporating satellite-derived land cover data in mm5/ place for simulating surface temperature. *J Hydrometeor*, 2001, 2(5): 453~ 468
- Wei Helin, William J Gutowski, Charles J Vorosmarty, et al. Calibration and validation of a regional climate model for Pan-Arctic hydrologic simulation. *J Climate*, 2002, 15(22): 3222~ 3236
- 熊翥. 区域气候模式对东亚气候及其年际变率的模拟和分析: [学位论文]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2001. 174pp
- Liang Xin-Zhong, Kunkel Kenneth E, Samel Arthur N. Development of a regional climate model for U.S. midwest application. Part I: sensitivity to buffer zone treatment. *J Climate*, 2001, 14(23): 4363~ 4378
- 刘栋. MM5 模式对区域气候模拟的性能试验. *高原气象*, 2003, 22(1): 71~ 77
- Leung L R, Qian Y, Bian X, et al. Hydroclimate of the western United States based on observations and regional climate simulation of 1981-2000. Part I: seasonal statistics. *J Climate*, 2003, 16: 1892~ 1911
- Leung L R, Qian Y, Bian X, et al. Hydroclimate of the western United States based on observations and regional climate simulation of 1981-2000. Part II: mesoscale ENSO anomalies. *J Climate*, 2003, 16: 1912~ 1928
- 罗勇, 赵宗慈. NCAR RegCM2 对东亚区域气候的模拟试验. *应用气象学报*, 1997, 8(增刊): 124~ 133
- 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
- 赵宗慈, 罗勇. 区域气候模式在东亚地区的应用研究—垂直分辨率与侧边界对夏季季风降水影响研究. *大气科学*, 1999, 23(5): 522~ 532
- 史学丽, 丁一汇, 刘一鸣. 区域气候模式对中国东部夏季气候的模拟试验. *气候与环境研究*, 2001, 6(2): 249~ 254
- Luo Yong, Zhao Zongci, Ding Yihui. Ability of NCAR RegCM2 in reproducing the dominant physical processes during the anomalous rainfall episodes in the summer of 1991 over the Yangtze-Huaihe valley. *Adv in Atmos Sci*, 2002, 19(2): 236~ 254
- Liu Yongqiang, Avissar Roni, Giorgi Filippo. Simulation with the regional climate model RegCM 2 of extremely anomalous precipitation during the 1991 east Asian flood: an evaluation study. *J Geophys Res*, 1996, 101(D21): 26199~ 26215
- 王守荣, 黄荣辉, 丁一汇等. 水文模式 DHSVM 与区域气候模式 RegCM 2/China 嵌套模拟试验. *气象学报*, 2002, 60(4): 421~ 427
- 刘一鸣, 丁一汇. 修正的质量通量积云对流方案及其模拟试验研究 I: 方案介绍及对 1991 洪涝过程的模拟. *气象学报*, 2001, 59(1): 10~ 22
- 陈明, 符淙斌. 区域和全球模式的嵌套技术及其长期积分试验. *大气科学*, 2000, 24(2): 253~ 262
- Dong-Kyou Lee, Myoung-Seak Suh. Ten-year east Asian summer monsoon simulation using a regional climate model (RegCM2). *J Geophys Res*, 2000, 105(D24): 29565~ 29577
- Jimuy Dudhia, Dave Gill, Yong-Run Guo, et al. PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and Users' Guide (MM5 Modeling System Version 3), 2001, NCAR/MMM
- Chen Fei, Jimy Dudhia. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part I: model implementation and sensitivity. *Mon Wea Rev*, 2001, 129: 569~ 585
- Chen Fei, Jimy Dudhia. Coupling an advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modeling system. Part II: preliminary model validation. *Mon Wea Rev*, 2001, 129: 587~ 604
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Soc*, 1996, 77(3): 437~ 471
- Huffman G J, Adler R F, Arkin P A, et al. The global precipitation climatology project (GPCP) combined precipitation data set. *Bull Amer Soc*, 1997, 78: 5~ 20
- New M G, Hulme M, Jones P D. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: development of 1901-1996 monthly grids of terrestrial surface climate. *J Climate*, 2000, 13: 2217~ 2238

LONG TERM CLIMATE CHANGE NUMERICAL SIMULATION IN EAST ASIA

Tang Jianping Su Bingkai Zhao Ming Zhao Deming

*(Department of Atmospheric Sciences, Key Lab for Mesoscale Severe Weather of
Education Ministry, Nanjing University, Nanjing 210093)*

Abstract

A 10-year regional climate simulation was performed using the fifth-generation PSU/NCAR Mesoscale Model (MM5) driven by large-scale conditions of the NCEP/NCAR reanalyses. Winter and summer mean regional climate features were examined between simulation and observation. The results showed that: (1) the model could well simulate the 10-yr winter and summer mean circulation, temperature and moisture transfer at middle and low levels. The simulated winter and summer mean sea level pressure agreed with the NCAR/NCEP reanalysis data. The model could well simulate the distribution and intensity of winter mean precipitation rates, it also simulated the distribution of summer mean precipitation rates, but it overestimated the summer mean precipitation over North China. The model's ability to simulate the regional climate change in winter was prior to that in summer. (2) the model could simulate the inter-annual variation of seasonal precipitation and surface air temperature. The anomaly correlation coefficients of geopotential height and temperature at low and high levels between simulation and observation were high. (3) the model showed different ability to simulate the regional climate change associated with the El Nino events. It well simulated the anomaly of summer mean precipitation in 1992 and 1995, but could not simulate that in 1998 (4). The MM5V3 had the ability to simulate the regional climate change, and could be used for long term regional climate simulation.

Key Words: East Asia, Climate change, Numerical simulation.