

商林,孟祥新,雒佳丽,等. RegCM4.0不同对流参数化方案对山东省气温和降水的模拟[J]. 干旱气象, 2016, 34(6): 995-1002, [SHANG Lin, MENG Xiangxin, LUO Jiali, et al. Simulation of Temperature and Precipitation Based on RegCM4.0 with Different Convection Parameterization Schemes in Shandong Province During 1990-2009[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(6): 995-1002], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-0995

RegCM4.0不同对流参数化方案对山东省气温和降水的模拟

商林¹, 孟祥新¹, 雒佳丽², 王丽娟³

(1. 山东省气候中心, 山东 济南 250031; 2. 兰州大学大气科学学院, 半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000; 3. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020)

摘要:利用NCAR/NNRP2的每日4次再分析资料、NOAA的周平均OI_WK再分析资料和山东省122个观测站逐日气温和降水资料,使用RegCM4.0区域气候模式,选取MIT-Emanuel、Grell和Kuo 3种对流参数化方案,对山东省1990—2009年气温和降水进行了数值模拟。结果表明:3种对流参数化方案均能模拟出山东省平均气温和降水量的年际变化,且对气温的模拟效果总体好于降水。模拟的年平均气温偏低,其中Grell试验模拟结果最低,而Ema和Kuo试验模拟的年平均气温在内陆地区存在冷偏差(约 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$),在沿海地区存在暖偏差(约 $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)。模拟的年降水量偏少,其中Kuo试验模拟值最少。该模式对降水的模拟效果冬季最好,夏季最差。其中,夏季降水量的模拟值Ema试验较观测值偏多13.2%,Grell试验较观测值偏少17.8%。Grell和Kuo试验,对夏季和秋季降水量的模拟值与观测值的相关系数最高。

关键词:RegCM4.0; 对流参数化方案; 气温; 降水

文章编号:1006-7639(2016)-06-0995-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2016)-06-0995

中图分类号:P435

文献标识码:A

引言

区域气候模式可用于区域尺度上的气候模拟和预测,是研究区域气候变化重要且有效的手段之一。目前基于区域气候模式发展和模拟应用的研究已有很多^[1-5]。积云对流是区域气候模式中重要的非绝热加热过程之一,其时空尺度是一般模式无法分辨的次网格尺度。同时,由于没有观测资料,且受计算机技术方面的局限性,在数值模拟和预报中一般采用积云对流参数化方案。但由于未知量个数多于方程个数,出现了闭合假设问题,因此选择合适的闭合假设成为积云参数化的一个关键。

国内外对区域气候模式RegCM的积云对流参数化方案进行了大量研究。Giorgi等^[6]指出,区域气候模式RegCM的参数化过程是针对特定的气候状况和分辨率设定的,对于相同的参数设置,模拟结果会因模拟区域不同而有很大差别,因此,针对模拟

区域选取合适的参数化方案要进行大量反复的调试。众多研究显示,RegCM模式的模拟性能对积云对流参数化方案有较大的敏感性^[7-11],不同的对流参数化方案对中国东部季风区和江淮流域降水在不同年份表现效果并不一致^[12-17]。这可能是由于选择个例不同造成对流参数化方案的表现效果不同。但同时也说明,对于哪种对流参数化方案更适合中国东部季风区还没有一致的结论,仍然是一个值得研究的问题。中国东部季风区夏季降水集中,选择合适的对流参数化方案尤为重要。

以往模拟研究的陆地区域多为全国或者流域尺度,且水平分辨率较低。高学杰等^[18]使用RegCM2对东亚地区降水的模拟结果显示,东亚地区降水的模拟效果取决于模式的水平分辨率,水平分辨率越高,模拟效果越好。山东地处南北气候过渡带,旱涝既不与华北地区同步,也和江淮地区不一致^[19],因此,有必要使用RegCM对山东省进行高分辨率的区

收稿日期:2016-02-24; 改回日期:2016-05-31

基金项目:山东省气象局青年基金(2015SDQN11)资助

作者简介:商林(1987-),女,山东聊城人,博士,工程师,主要从事数值模式发展和研究工作. E-mail:shangl2005@163.com

域气候模拟和应用研究。胡轶佳等^[20]的研究结果显示,RegCM3.0 中 Kuo 和 Grell 对流参数化方案对 1998 年中国东部降水场形势模拟效果的好坏随季节交替出现。山东省属季风气候,降水集中,冬季以降雪为主,春秋季以非对流性降水为主,夏季对流性降水与非对流性降水的比重都很大,因此,不同对流参数化方案对山东省不同季节的气候模拟效果不一致。针对以上问题,本文使用 RegCM4.0 区域气候模式,模拟了山东省 1990—2009 年气温和降水,检验采用不同对流参数化方案的 RegCM4.0 模式对山东省的模拟能力,揭示不同对流参数化方案在不同季节的模拟效果,为该模式对山东省进行气候预测和诊断提供基础。

1 资料与方法

1.1 资料

所用资料包括:(1)模式的初始场和边界场使用 1989 年 11 月—2009 年 12 月每日 4 次的 NCAR/NNRP2 再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;(2)海表温度使用同期美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的周平均 OI_WK 再分析资料,水平分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$;(3)山东省气象信息中心提供的 1990 年 1 月—2009 年 12 月全省 122 个观测站(图 1)逐日气温和降水资料,用于检验模式模拟结果。为便于分析,以 12 月至翌年 2 月为冬季,3—5 月为春季,6—8 月为夏季,9—11 月为秋季生成序列。

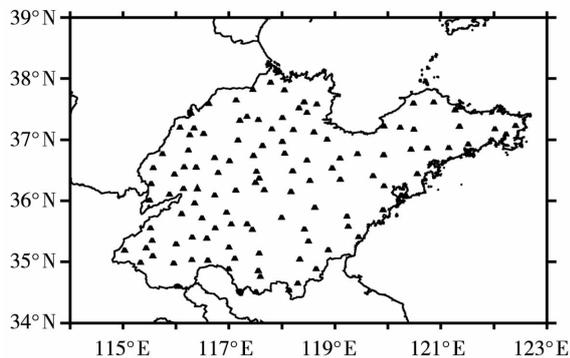


图 1 山东省 122 个观测站分布

Fig. 1 Spatial distribution of 122 meteorological observation stations in Shandong Province

1.2 插值方法

采用 Cressman 方法对山东省 122 个观测站资料进行插值,该方法是将离散点内插到规则格点上而引起误差较小的一种逐步订正内插方法^[21],被广泛应用于气象领域诊断分析和数值预报方案的客观分析中^[22]。

模式模拟结果与观测数据进行比较和相关性分析时,对模拟数据采用双线性内插法(Bilinear Interpolation),将格点资料插值到站点上。该方法取 (x, y) 点周围的 4 邻点,在 y 方向内插 2 次,再在 x 方向内插 1 次,得到 (x, y) 点的值 $f(x, y)$ 。

2 区域气候模式及试验方案

使用的模式为 2010 年 6 月发行的 RegCM4.0,是 RegCM 相对较新的版本,其动力内核基于中尺度模式 MM5,模式垂直方向上使用地形坐标 σ 。与之前的版本相比,该版本更新包括了新的陆面过程、行星边界层、海—气通量方案和混合对流方案,修改了原有的辐射传输和边界层方案,并全面升级了模式代码,以提高灵活性和可移植性。模式的最高水平分辨率为 $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$,山东省南北宽约 420 km,东西长约 800 km,RegCM4.0 模式可以完全满足对山东省的模拟需求。

模拟的区域中心点设为 $(120^{\circ}\text{E}, 37^{\circ}\text{N})$,水平分辨率为 10 km,南北方向格点数为 120,东西方向格点数为 180。模式垂直分层为 18 层,顶层气压为 5.0 hPa。大气模块的积分步长为 30 s,陆地模块的积分步长为 90 s。方案选择依照以往研究结果^[23-25],侧边界方案为指数松弛方案,侧边界每 6 h 输入一次以驱动区域气候模式。投影选择兰伯特投影,海洋通量参数化方案采用 Zeng 方案。需要指出的是,RegCM4.0 的 BATS 陆面过程方案中新增了 2 种土地利用类型来描述城市和郊区的环境,而山东的城镇化率已经超过 50%^[26],因此本文选取 BATS 陆面过程方案来描述山东省的陆面过程。

本文共设计了 3 个试验:Emu 试验,选择 Massachusetts Institute of Technology (MIT) - Emanuel 积云对流参数化方案,该方案的云模式是随机混合模式,主要假设云尺度的上升气流作为对流层输送的主要因子^[27];Grell 试验,选择 Grell 积云对流参数化方案,该方案依赖于不稳定化速率的闭合假设,认为云内有上升和下沉引起的 2 个稳定气流,除环流顶部和底部外,在云内与环境空气之间无直接的混合^[28];Kuo 试验,选择 Kuo 积云对流参数化方案,该方案采用质量、水汽辐合型假设,即水汽辐合总量的一部分用于凝结和降水,另一部分则用于湿润环境空气^[29]。模式初始时间一般选择天气系统较为稳定的秋冬季节^[30]。积分时间为 1989 年 11 月 1 日—2009 年 12 月 31 日;初始化阶段为 1989 年 11 月 1 日—12 月 31 日,1990 年 1 月 1 日—2009 年 12 月 31 日用于结果分析。山东省地势较为平缓,海拔

较高的地区位于山东半岛内陆以及中部的泰山山脉 (图 2)。

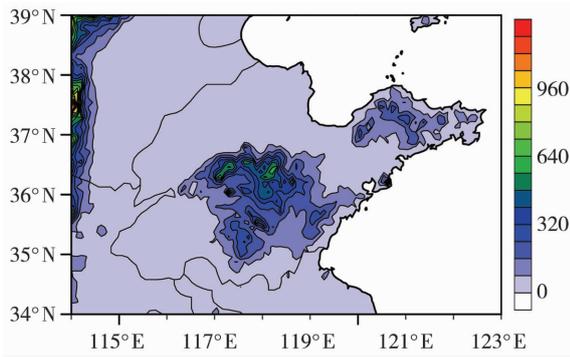


图 2 山东省地形高度分布(单位:m)

Fig.2 Altitude of terrain in Shandong Province (Unit:m)

3 山东省气候概况

泰山位于山东中部,东西长约 200 km,南北宽约 20 km,泰山站位于主峰玉皇顶东南方向的日观峰上,海拔 1 534 m,是我国建站最早的高山气象站之一。图 3 给出 1990—2009 年山东省站点观测的年平均气温和年降水量。其中,图 3 a 和图 3 b 为包

括泰山站在内的 122 个站点数据,可看出,在泰山站及其周边存在年平均气温的异常低值中心和年降水量的高值区。这是因为当台站资料分布极为不均时,倘若在一大片区域内只有一个较小集中区域温度异常低或者降水异常多时,采用 Cressman 方法插值后该区域周围会出现虚假的圆形插值区域,且范围过大,插值的边界也变得不合理^[31]。因此在分析山东省气候特征时,一般不考虑泰山站(图 3c、图 3d)。图 3c 显示,山东省年平均气温受纬度、地形和海陆分布的影响,表现出由东北向西南逐渐升高的空间分布特征,年平均气温为 12 ~ 15 °C。其中,在内陆地区,低纬度地区年平均气温高于高纬度地区,南北温差达 1.5 °C;山东半岛内陆地区海拔较高,年平均气温低于同纬度其他地区,而半岛东部沿海地区受海洋影响较大,年平均气温较低,低于 12.5 °C。山东省降水分布表现为南多北少,平均年降水量在 500 ~ 1 000 mm 之间,半岛南部地区受山区地形和海洋暖湿气流的影响,降水较多(图 3d)。综上所述,山东省气温和降水分布受纬度、地形和海洋的共同影响。

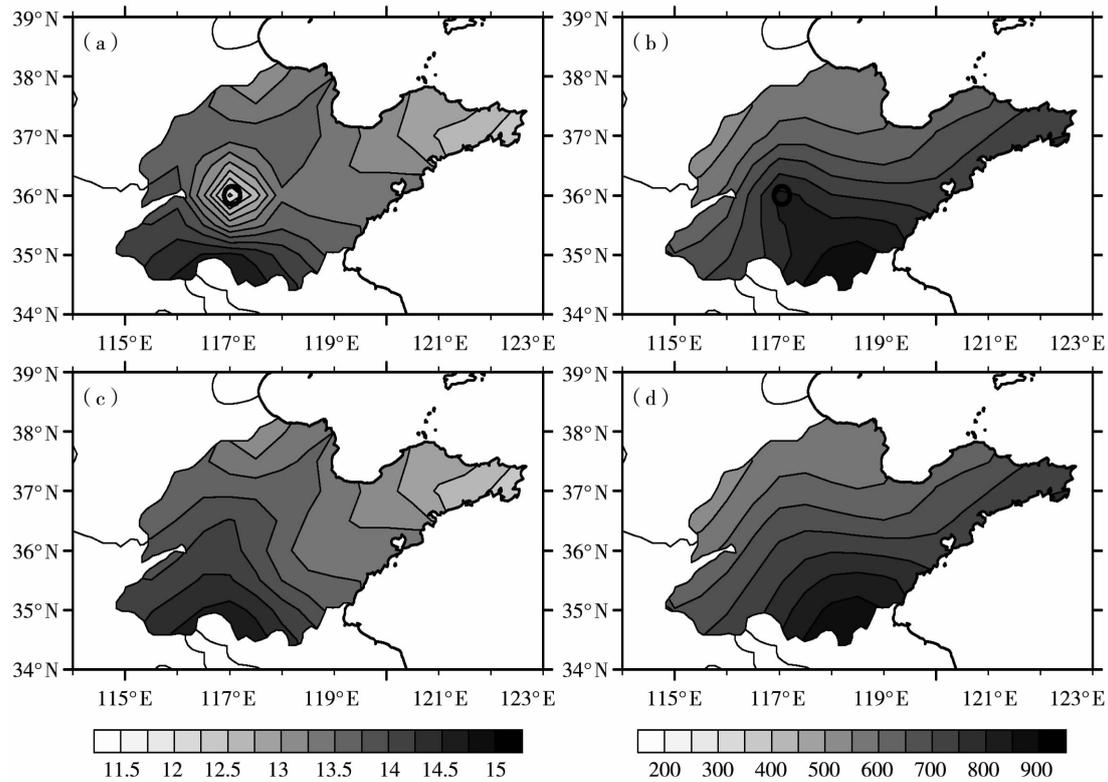


图 3 1990—2009 年山东 122 (a,b) 和 121 (c,d) 个观测站的年平均气温(a,c,单位:°C)和年降水量(b,d,单位:mm)的空间插值 (图 a、b 中圆圈为泰山站所在位置)

Fig.3 The spatial interpolation of the observed annual mean temperature (a, c, Unit:°C) and annual precipitation (b, d, Unit:mm) of 122 (a, b) and 121 (c, d) stations in Shandong Province during 1990 – 2009 (The circles in fig. a and fig. b represent the location of Taishan station)

4 RegCM4.0 对山东省气温和降水的模拟

图4给出1990—2009年RegCM4.0模拟的年平均气温和年降水量。与观测相比(图3c),RegCM4.0可模拟出山东内陆低纬度地区年平均气温高于高纬度地区,半岛内陆地区气温较低(图4a、图4c、图4e),但3个试验的模拟结果在泰山地区均存在一冷中心,且整体存在一定的冷偏差。这与已有的研究结果“RegCM3/4模式对东亚地区气温的模拟存在系统性的冷偏差”^[32-34]一致。其中,Ema和Kuo试验在山东内陆地区年平均气温偏低约1℃,半岛内陆地区相差不大,而Grell试验结果偏冷更为明显。同时,模式对近海岸地区的模拟能力较差,山东北部近海岸地区气温明显偏低,而半岛东部近海岸地区气温偏高约1.5℃。

与年降水量观测值(图3d)相比,RegCM4.0模

式基本上可模拟出山东省降水量南多北少的特征,但降水量值明显偏少。其中,Grell试验模拟的降水量整体约为观测值的一半;Kuo试验对山东西部的降水特征模拟能力不足,年降水量<200mm,远低于观测的600mm,但对其他地区的模拟结果与观测值相差不大;Ema试验的模拟结果较好,模拟的年降水量总体上比观测值小200mm。值得注意的是,Ema试验的降水模拟结果在泰山山脉存在一降水偏多中心,而在山东南部偏少400mm。

图5为1990—2009年山东省观测和模拟的年平均气温和年降水量变化。可以看出,与观测时间序列相比,Ema试验、Grell试验和Kuo试验均能够模拟出年平均气温和年降水量的变化趋势,但模拟值与观测值存在一定的偏差。对年平均气温而言(图5a),3个试验的模拟值较观测值偏低,其中Kuo试验偏低0.7℃,Ema试验偏低0.8℃,Grell试验偏低最多为1.2℃。就年降水量而言(图5b),Grell

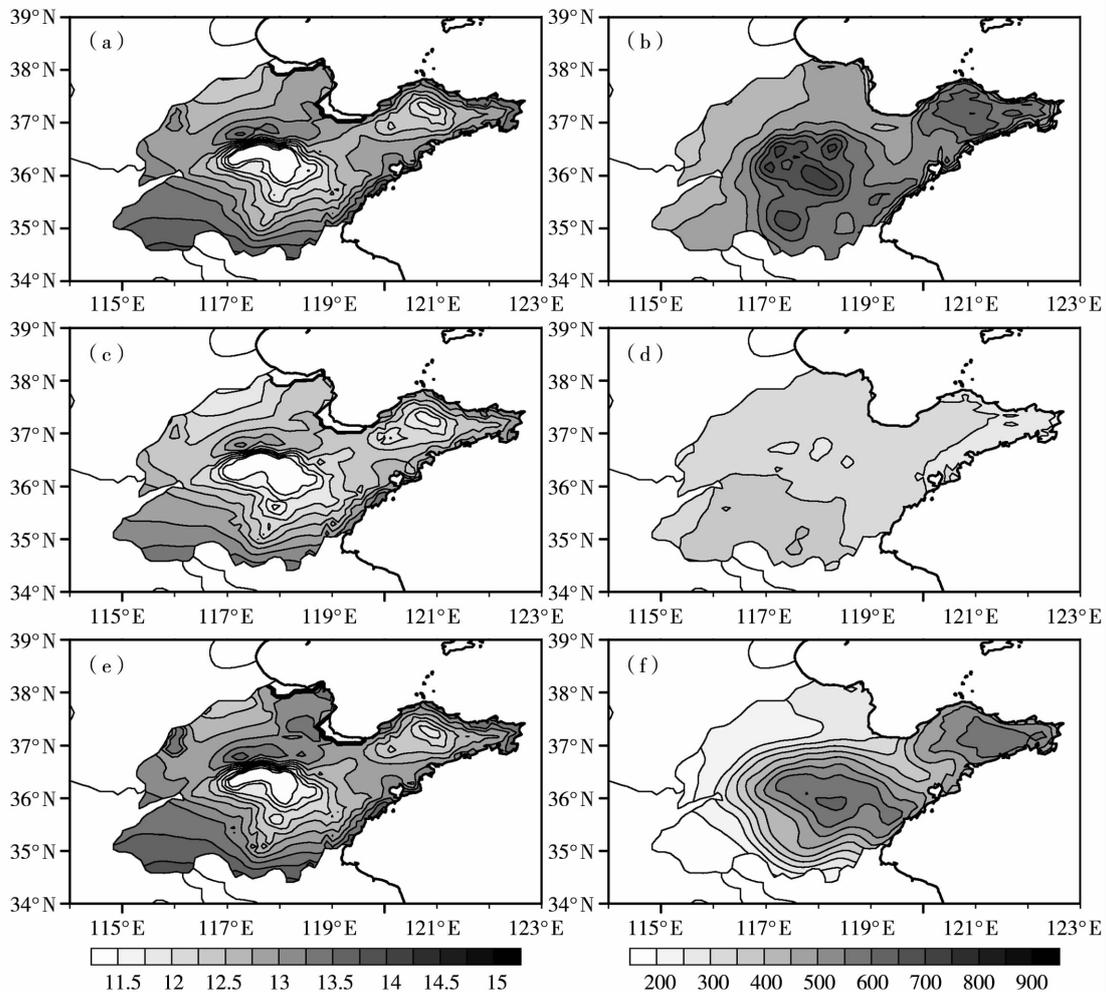


图4 Emu试验(a,b)、Grell试验(c,d)和Kuo试验(e,f)模拟的1990—2009年山东省年平均气温(a、c、e,单位:℃)和年降水量(b、d、f,单位:mm)

Fig.4 The simulated annual mean temperature (a, c, e, Unit:℃) and precipitation (b, d, f, Unit:mm) of Emu (a, b), Grell (c, d) and Kuo (e, f) tests in Shandong Province during 1990 - 2009

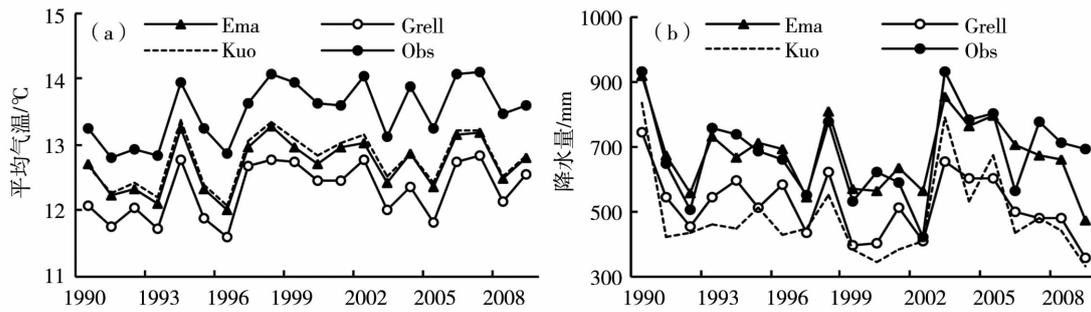


图5 观测和模拟的1990—2009年山东省年平均气温(a)和年降水量(b)的变化
 Fig. 5 The annual variations of the simulated and observed average temperature (a) and precipitation (b) in Shandong Province during 1990 - 2009

和 Kuo 试验的模拟结果明显低于观测值,而 Ema 试验的模拟值与观测值较接近(个别年份除外)。另外,3 个试验模拟的年平均气温与观测值的相关系数均 > 0.97,表明该模式对气温的模拟效果较好,因此,下文仅着重分析 RegCM4.0 对降水的模拟情况。

山东属于暖温带季风气候,降水年内分布很不均匀,全年降水量 60% ~ 70% 集中在夏季,春秋降水较少,冬季降水最少。表 1 是观测和模拟的山东省降水量的季节分布,可看出,各试验均能模拟出降水量的季节分布特征。其中,Ema 试验模拟的夏季降水量较观测值偏多 13.2%,其余季节均偏少,且秋季偏少最多;Kuo 试验模拟的各季节降水量均较观测值偏少;Grell 试验模拟的夏季降水量偏少 17.8%,其他季节降水量偏少更为明显。3 个试验对比发现,Grell 试验模拟的季节降水量除夏季外,其他季节与观测值相差甚远。图 6 为观测和模拟的山东省降水量的逐月分布,可看出各试验均能模拟出降水量的月分布,但不同试验的模拟效果不尽相同。总体上,观测值大于模拟值,但 Ema 试验模拟的夏季降水量高于观测值,其中,6 月和 7 月降水量分别偏多 10 mm 和 40 mm。这主要是由于 MIT - Emanuel 对流参数化方案夏季模拟的西南气流偏北分量较大,水汽更容易由西南气流输送到山东地区,导致该地区夏季降水模拟偏多;Kuo 和 Grell 对流参数化方案夏季在孟加拉湾存在较强的气旋性环流,且西太平洋副热带高压偏强,导致北方地区夏季降水偏弱^[15]。春季,Ema 试验的模拟结果与观测值(107 mm)最为接近,偏少约 15 mm,其中在降水量相对较多的 4 月和 5 月模拟效果较好。秋季,Kuo 试验的模拟结果与观测值(117 mm)最为接近,偏少约 21 mm,且在秋季各月的模拟值都比较稳定。

表 1 1990—2009 年山东省各季节模拟的降水量与观测值对比

Tab. 1 The comparison between the observed and simulated precipitation in different seasons in Shandong Province during 1990 - 2009

季节	观测/mm	Ema 试验/%	Grell 试验/%	Kuo 试验/%
春季	107	-14.0	-25.2	-19.6
夏季	417	13.2	-17.8	-36.7
秋季	117	-30.8	-43.6	-17.9
冬季	28	-28.6	-32.1	-28.6

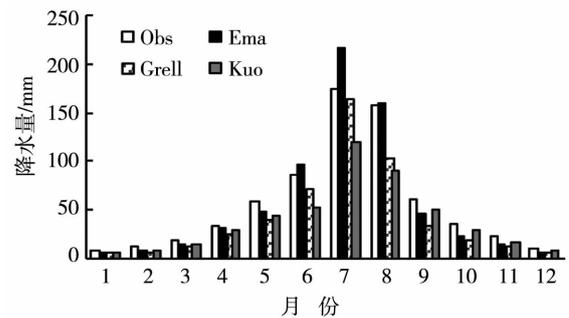


图6 观测和3个试验模拟的1990—2009年山东省月降水量
 Fig. 6 The observed and simulated precipitation in different months in Shandong Province during 1990 - 2009

表 2 是 3 个试验模拟的降水量与观测值的相关系数,且相关系数均通过 0.01 显著性检验。可知,3 个试验对夏季降水模拟的偏差较大,夏季降水量的模拟值与观测值的相关系数最低,其中 Grell 试验模拟的夏季降水量与观测值的相关系数最高为 0.517,而 Ema 试验和 Kuo 试验模拟值与观测值的相关系数均 < 0.5;模式模拟的冬季降水量与观测值的相关系数最高,Ema 试验的模拟值与观测值的相关系数

最高达 0.779; 春季和秋季, Kuo 试验的模拟值与观测值的相关系数最高, 分别为 0.595 和 0.702。就全年而言, Grell 试验对年降水模拟的结果与观测值的相关系数最高, 达 0.709。

表 2 1990—2009 年山东省降水量的模拟值与观测值的相关系数

Tab. 2 The correlation coefficients between the simulated and observed precipitation in Shandong Province during 1990 - 2009

试验	春季	夏季	秋季	冬季	全年
Ema	0.569	0.444	0.582	0.779	0.664
Grell	0.575	0.517	0.647	0.777	0.709
Kuo	0.595	0.437	0.702	0.769	0.621

表 1 显示, 夏季和秋季是山东降水量最多和次多的季节, 因此对夏秋季降水量的模拟值与观测值的相关性进行空间分析(图 7)。由图 7 可见, 降水模拟值与观测值的相关系数秋季高于夏季, 说明该模式对夏季降水的模拟能力较弱。夏季, Grell 试验的相关系数普遍高于 Ema 和 Kuo 试验, 相关系数在 0.45 ~ 0.6 之间, 其中山东东南部沿海、西南部和北部的部分内陆地区相关系数较低。相对于降水观测值, Ema 试验夏季的偏差小于 Grell 试验(表 1), 但 Grell 试验夏季的相关系数较高。秋季, Kuo 试验的相关系数高于 Ema 和 Grell 试验, 大部分地区的相关系数在 0.75 以上, 但对山东南部地区的模拟效果相对较差, 部分地区相关系数在 0.6 以下。

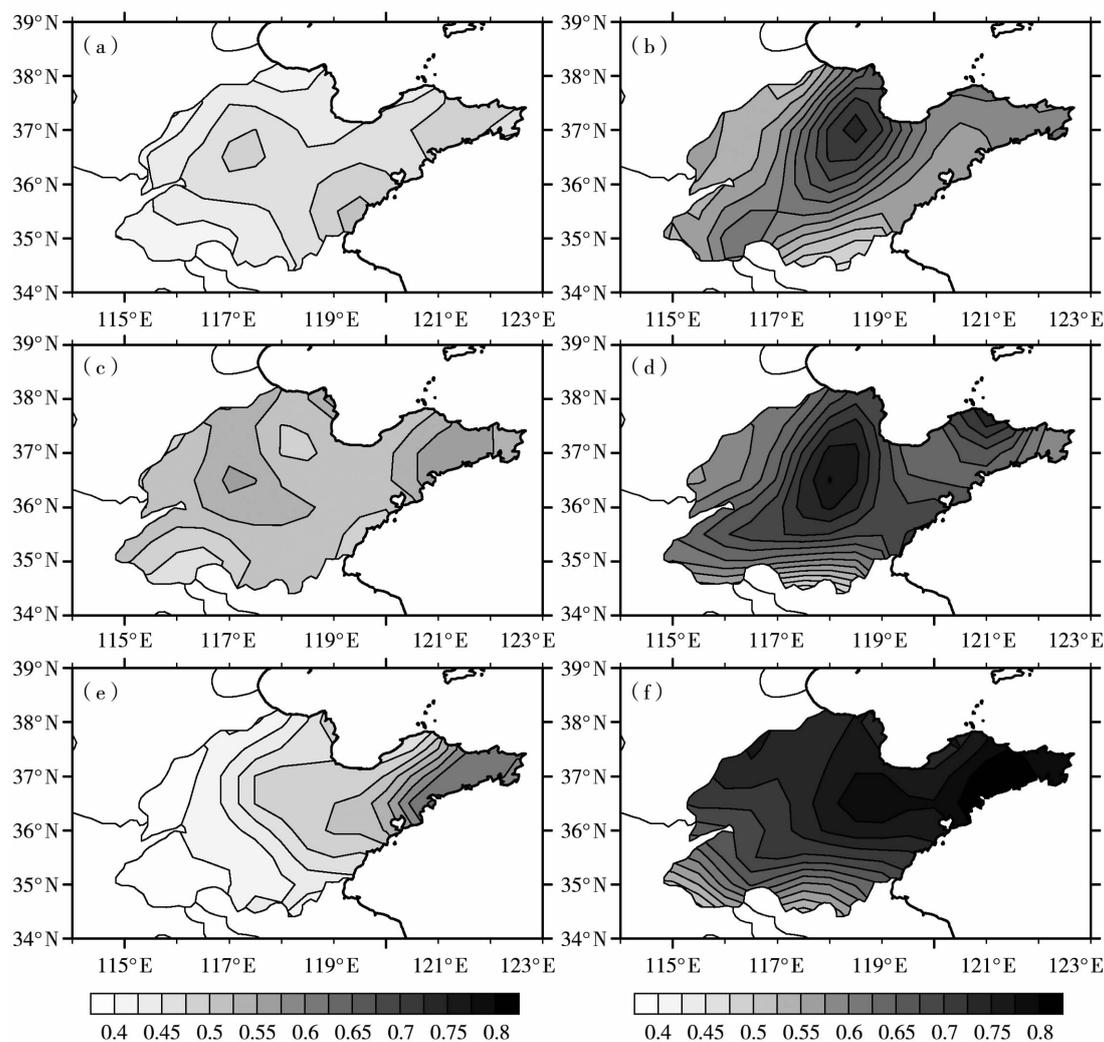


图 7 1990—2009 年 Ema(a,b)、Grell(c,d) 和 Kuo(e,f) 试验模拟的山东省夏季(a,c,e)和秋季(b,d,f)降水量与观测值的相关系数

Fig. 7 The correlation coefficients between the observed and simulated precipitation by Ema (a, b), Grell (c, d) and Kuo (e, f) tests in summer (a, c, e) and autumn (b, d, f) in Shandong Province during 1990 - 2009

5 结论

(1)RegCM4.0的3种对流参数化方案均能够模拟出山东省年平均气温和年降水量随时间的变化,总体上对气温的模拟效果好于降水。模式模拟的年平均气温较观测偏低,其中Grell试验的模拟值最低;Ema和Kuo试验模拟的年平均气温在山东内陆地区存在冷偏差(约 $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$),在沿海地区存在暖偏差(约 $+1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)。模式模拟的年降水量偏少,其中Kuo试验的模拟值最少。

(2)RegCM4.0模式对山东冬季降水的模拟效果最好,夏季最差,但各对流参数化方案的模拟效果在不同季节表现并不一致。夏季,Ema试验的模拟值较观测值偏多13.2%,Grell试验的模拟值较观测值偏少17.8%。虽然Grell试验模拟的夏季降水偏差更大,但其与观测值的相关系数最高;春季和秋季,Kuo试验的模拟值与观测值的相关系数最高;冬季,Ema试验的模拟值与观测值的相关系数最高。可见,选择最优的对流参数化方案,以提高山东省不同季节的气候模拟效果。

参考文献

- [1] 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):225-246.
- [2] 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.
- [3] 石英. 中国区域气候变化的高分辨率数值模拟[D]. 北京:中国气象科学研究院,2007.
- [4] Ding Y H, Shi X L, Liu Y M, et al. Multi-year simulations and experimental seasonal predictions for rainy seasons in China by using a nested regional climate model (RegCM_NCC). Part I: Sensitivity study[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006,23(3):323-341.
- [5] Ding Y H, Liu Y M, Shi X L, et al. Multi-Year Simulations and Experimental Seasonal Predictions for Rainy Seasons in China by Using a Nested Regional Climate Model (RegCM_NCC) Part II: The experimental seasonal prediction[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2006,23(4):487-503.
- [6] Giorgi F, Marinucci M R. A investigation of the sensitivity of simulated precipitation to model resolution and its implications for climate studies[J]. Monthly Weather Review, 1996,124(1):148-166.
- [7] 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 年洪涝过程的模拟[J]. 气象学报, 2001,59(1):10-22.
- [8] Dash S K, Shekhar M S, Singh G P. Simulation of Indian summer monsoon circulation and rainfall using RegCM3[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2006,86(1):161-172.
- [9] 鲍艳,吕世华,左洪超,等. RegCM3 模式在西北地区的应用研究 II: 区域选择及参数化方案的敏感性[J]. 冰川冻土,2006,28(2):175-182.
- [10] 曹杰,张秀年,尤亚磊,等. 区域气候模式(RegCM3)中积云对流参数化方案在纵向岭谷区的适用性研究[J]. 科学通报, 2007,52(S2):101-106.
- [11] Zou L, Zhou T. Sensitivity of a regional ocean-atmosphere coupled model to convection parameterization over western North Pacific[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2011,116(D18):597-616.
- [12] 刘永强,丁一汇,赵宗慈. 1991 年江淮特大异常降水的区域气候模拟. 赵宗慈. 中国短期气候预测的模式研究[M]. 北京:气象出版社,1996:106-120.
- [13] 潘劲松,翟国庆,高坤. 区域气候模拟中多种对流参数化方案的比较研究[J]. 大气科学,2002,26(2):206-220.
- [14] 刘晓东,江志红,罗树如,等. RegCM3 模式对中国东部夏季降水的模拟试验[J]. 大气科学学报,2005,28(3):351-359.
- [15] 王美丽. RegCM4.4 区域气候模式对中国当代气候及极端事件的高分辨率数值模拟[D]. 北京:中国气象科学研究院,2015.
- [16] 李建云,王汉杰. RegCM3 积云参数化方案对中国南方夏季强降水过程模拟的影响[J]. 气候与环境研究,2008,13(2):149-160.
- [17] 李清华. 区域气候模拟中对流参数化方案的比较研究[D]. 兰州:兰州大学,2006.
- [18] 高学杰,徐影,赵宗慈,等. 数值模式不同分辨率和地形对东亚降水模拟影响的试验[J]. 大气科学,2006,30(2):185-192.
- [19] 苑文华,张玉洁,孙茂璞,等. 山东省降水量与不同强度降水日数变化对干旱的影响[J]. 干旱气象,2010,28(1):35-40.
- [20] 胡轶佳,钟中,闵锦忠. 两种积云对流参数化方案对 1998 年区域气候季节变化模拟的影响研究[J]. 大气科学,2008,32(1):90-100.
- [21] Cressman G P. An operational objective analysis system[J]. Monthly Weather Review, 1959,87(10):367-374.
- [22] 王跃山. 客观分析和四维同化——站在新世纪的回望(II) 客观分析的主要方法(2)[J]. 气象科技,2001,29(3):1-11.
- [23] 朱涛. RegCM3.0 与 RegCM4.0 对中国区域气候模拟的对比分析[D]. 南京:南京信息工程大学,2012.
- [24] 张井贝. 区域气候模式 RegCM4 对中国地区的数值模拟[D]. 上海:华东师范大学,2013.
- [25] 邹靖,谢正辉. RegCM4 中陆面过程参数化方案对东亚区域气候模拟的影响[J]. 气象学报,2012,70(6):1312-1326.
- [26] 张东红. 《大众日报》山东城镇化焦点问题系列报道[D]. 济南:山东大学,2013.
- [27] Emanuel K A. A Scheme for Representing Cumulus Convection in Large-Scale Models[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 1991,48(21):2313-2329.
- [28] Grell G A. Prognostic Evaluation of Assumptions Used by Cumulus Parameterizations[J]. Monthly Weather Review, 1993,121(3):764-787.
- [29] Anthes R A. A Cumulus Parameterization Scheme Utilizing a One-Dimensional Cloud Model[J]. Monthly Weather Review, 1977, 105(3):270-286.
- [30] 郑益群,高峻岭,高艺. 东亚区域气候模拟研究初探[M]. 北京:气象出版社,2010.
- [31] 张红杰,马清云,吴焕萍,等. 气象降水分布图制作中的插值算法研究[J]. 气象,2009,35(11):131-136.

- [32] 李巧萍, 丁一汇. 区域气候模式对东亚季风和中国降水的多年模拟与性能检验[J]. 气象学报, 2004, 62(2): 140 - 153.
- [33] 张冬峰, 高学杰, 赵宗慈. 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.

- [34] 巩崇水, 段海霞, 李耀辉, 等. RegCM4 模式对中国过去 30 a 气温和降水的模拟[J]. 干旱气象, 2015, 33(3): 379 - 385.

Simulation of Temperature and Precipitation Based on RegCM4.0 with Different Convection Parameterization Schemes in Shandong Province During 1990 - 2009

SHANG Lin¹, MENG Xiangxin¹, LUO Jiali², WANG Lijuan³

(1. Shandong Provincial Climate Centre, Ji'nan 250031, China; 2. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Key Laboratory of Semi-Arid Climate Change of the Ministry of Education, Lanzhou 730000, China; 3. Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the NCAR/NNRP2 reanalysis data, the weekly average OI_WK reanalysis data from the American National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), the daily temperature and precipitation data at 122 meteorological stations in Shandong Province, the temperature and precipitation in Shandong Province during 1990 - 2009 were simulated by using the regional climate model (RegCM4.0) with different convection parameterization schemes, including MIT - Emanuel, Grell and Kuo parameterization schemes. The results showed that RegCM4.0 with three convection parameterization schemes could simulate reasonably the annual changes of temperature and precipitation in Shandong Province during 1990 - 2009, and the effect of simulation on temperature was better than precipitation. The simulated values of annual mean temperature were lower than the observations, and the annual mean temperatures simulated by RegCM4.0 with the Grell scheme were lowest, while that with the Ema and Kuo schemes were 1 °C lower than the observation in the inland areas and were 1.5 °C higher than the observation in the coastal areas of Shandong Province. The annual precipitations simulated by RegCM4.0 were less than the observations, and that with the Kuo scheme was least. In addition, the simulation effect of precipitation was the best in winter and the worst in summer. The simulated precipitation with the Ema scheme in summer was 13.2% more than the observation, while that with the Grell scheme was 17.8% less than the observation. The correlation coefficients of summer and autumn precipitation between the simulation and observation were highest with the Grell and Kuo schemes.

Key words: RegCM4.0; convection parameterization scheme; temperature; precipitation