

沈 瑱, 张耀存, 肖 卉, 等. BCC_AGCM2.0.1 模式系统对江淮梅雨期降水的模拟能力[J]. 气象, 2011, 37(11): 1336-1342.

BCC_AGCM2.0.1 模式系统对 江淮梅雨期降水的模拟能力^{*}

沈 瑱^{1,2} 张耀存³ 肖 卉⁴ 周孝评¹

1 江苏省句容市气象局, 句容 212400
2 江苏省气象技术装备中心, 南京 210008
3 南京大学大气科学学院, 南京 210093
4 江苏省气候中心, 南京 210008

提 要: 文章通过累积频率方法定义江淮地区观测和模拟的梅雨期, 分析国家气候中心大气模式 BCC_AGCM2.0.1 对我国东部地区暴雨、大雨、中雨和小雨四种等级降水的模拟能力。由于模式的模拟环流背景与实际不同, 导致模拟的降水峰值时期与梅雨期有偏差, 因此通过累积频率方法定义模拟的梅雨期, 模拟梅雨期为 6 月 1 候至 6 月 3 候, 而实际观测梅雨期 6 月 5 候至 7 月 2 候, 模拟期较实际梅雨期提前了 20 天。模拟结果表明模拟的我国东部总降水量偏少, 总雨日数偏多, 主要是由于模拟的暴雨日数偏少, 小雨日数偏多; 观测的江淮地区近 40 年来暴雨、大雨和中雨呈上升趋势, 小雨呈下降趋势, 模式模拟的不同等级降水变化趋势与观测相反, 暴雨、大雨和中雨呈下降趋势, 小雨呈上升趋势。

关键词: BCC_AGCM2.0.1, 江淮梅雨, 不同等级降水, 雨日

Ability of the Model BCC_AGCM2.0.1 to Reproduce Meiyu Precipitation

SHEN Zhen^{1,2} ZHANG Yaocun³ XIAO Hui⁴ ZHOU Xiaoping¹

1 Jurong Meteorological Office of Jiangsu, Jurong 212400
2 Jiangsu Meteorological Technology and Equipment Center, Nanjing 210008
3 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093
4 Jiangsu Climate Center, Nanjing 210008

Abstract: In this study, we assess the ability of the Model AGCM BCC_AGCM2.0.1 to reproduce the precipitation days with different rainfall amount under the atmospheric circulation. By the Cumulative Frequency Distribution (CFD) method, the rainy period in observations is from the fifth pentad of June to the second pentad of July, while the simulated rainy period is from the first pentad to the third pentad of June. Thus the simulation period preceded the observation period by 20 days. Over the Yangtze-Huaihe River Basin in general, stormy and heavy rainy days are more, but the moderate and light rainy days are less. Over recent 40 years, as observations indicated, the light rainy days decrease, while the other three rainy days increase. The trend in simulation is opposite to the observation.

Key words: Model BCC_AGCM2.0.1, Meiyu, precipitation amount with different class, precipitation days

^{*} 2010 年 9 月 13 日收稿; 2011 年 2 月 17 日收修定稿
第一作者: 沈瑱, 主要从事气象学和数值模拟研究. Email: demogogen@gmail.com

引 言

我国是全球最明显的季风活动区之一。由季风引起的持续性强降水雨带在 6 月中下旬主要维持在我国江淮地区和日本南部,一直到 7 月上旬,这段时间这就是江淮地区著名的梅雨季节。梅雨期(6 月中下旬到 7 月上旬)降水持续时间的长短和雨量的多寡与江淮地区的旱涝灾害和社会经济密切相关,因此江淮梅雨一直是我国气象学者研究的重要课题之一^[1-7]。

洪涝、干旱等灾害性天气除了与总降水量有关外,还与雨日密切相关。在 20 世纪以前的研究中,人们主要关注降水总量的研究,对雨日的分析和研究较少。近几年来,雨日的特征分析和数值模拟逐渐被关注,雨日与年内、季节内或月内的降水分配有直接关系。Ying Sun 等^[8]利用全球日降水站点数据分析验证了 18 个全球耦合模式输出的降水频率、强度以及雨日的结果,发现尽管模式能够较好地模拟陆地上总降水,但是对于降水强度和频数的空间分布模拟能力较差,将降水分为小雨($\leq 10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$)和大雨($\geq 10 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$),发现模式模拟的小雨频数偏多,而分布型与观测较为一致,对于大雨,大多数模式低估了降水的强度,但是频数与观测较为一致。胡娅敏等^[9]总结东亚地区气候模拟的研究进展中指出,多数区域气候模式能够不同程度地模拟出东亚地区季风系统的大尺度环流特征及其爆发、中断、突然跳跃等演变过程。由于东亚地区地形特殊,气候模式对东亚地区气候尤其是对东亚地区季风环流系统、雨带的空间分布和季节变化的模拟和预测能力总有不足之处。模拟的年、季或者月总降水量与观测值的差异到底是由于降水日数的偏差还是每次降水强度的偏差造成的,是进行模式评估的重要内容。以往的分析关于区域雨日时间、空间特征及气候变化的研究较少,模式评估中通常只分析降水总量的模拟情况,对雨日尤其是不同等级降水日数的分析很少。本文将降水分为暴雨、大雨、中雨、小雨,分析江淮地区不同等级降水的变化特征,利用气象台站观测资料与模式结果进行对比,分析模式对不同等级降水的模拟能力。

1 资料与方法

本文所用模式资料为国家气候中心大气模式

BCC_AGCM2.0.1 模拟的 1960—2000 年日平均降水资料。用于对比的观测资料为 1960—2000 年全国 740 站日降水资料。关于梅雨区的范围,徐群^[10]认为梅雨区北界应在 $33^{\circ} \sim 34^{\circ} \text{N}$;王建新^[11]将梅雨区范围定在 $27^{\circ} \sim 33^{\circ} \text{N}$ 之间;吕君宁等^[12]认为在 110°E 以东、 $28^{\circ} \sim 34^{\circ} \text{N}$ 之间的降水具有梅雨气候区的特征。综合以上研究者定义的梅雨区,本文将梅雨范围定为 110°E 以东、 $28^{\circ} \sim 34^{\circ} \text{N}$ 之间,即吕君宁等定义的范围。剔除掉记录时间比较短的台站,并考虑站点迁移等因素,在江淮梅雨区中可选出资料较可靠的 61 个观测站。

研究方法主要是利用累积频率分布(CFD)的方法定义梅雨期,进而分析不同等级观测及模拟降水的特征。CFD 方法是指在某一个频数中,绝对频数与总频数的比率,即

$$\text{CFD} = \frac{F_i}{F_n} \times 100\%, F_i = \sum_{k=1}^{k=i} f_k, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

其中, F_i 表示绝对频数,即在每个频率分布中落入给定的一个等级之内的所有数,而 F_n 则为总频数。 f_k 为降水量落入某个区间的次数。

2 梅雨期的划定

江淮地区平均梅雨期是根据环流场形势及降水分布进行划定的。由于模式模拟的环流与观测之间存在差异,可能导致降水分布及峰值出现的时间与观测相比有所偏差,若分析模拟的梅雨期时也选用与观测时段相同的梅雨期进行分析可能并不合理。因此,本文采用累积频率的方法分别划定观测和模拟的梅雨期,讨论模拟的梅雨期不同等级降水的特征。

气象业务部门判定梅雨入梅、出梅时主要进行天气分析,因此所用的判定条件较复杂。本文研究对象为江淮地区气候态梅雨期,为了便于计算,本文主要以日降水量为主,西太平洋副高作为参考,采用较为简单的判定条件。通常当西太平洋副高脊线 $\geq 20^{\circ} \text{N}$ 时,则认为 500 hPa 的环流形势已达到入梅的条件。因此本文划定梅雨期的条件为:(1)副高脊线在 $20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 之间;(2)降水量达到阈值对应的降水量连续 2 候以上。图 1a 给出了模拟及观测西太平洋副高脊线季节变化曲线,实线为 NCEP/NCAR 再分析资料结果,副高脊线在 5 月底至 6 月底位于 $20^{\circ} \sim 25^{\circ} \text{N}$ 之间。虚线为模拟结果,5 月上旬到 6 月

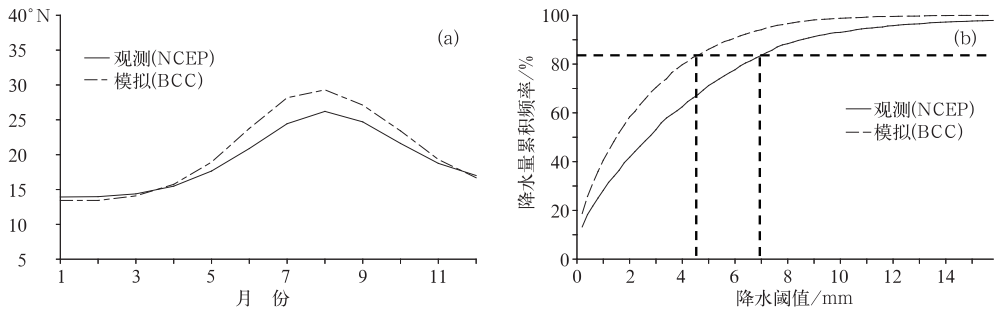


图 1 观测与模拟的(a)西太平洋副高脊线;(b)日平均降水量累积频率曲线
图中虚线为模拟值,实线为观测值

Fig. 1 Observations (solid) and modelings (dotted) of (a) the western Pacific subtropical high ridge; and (b) cumulative frequency curve of average daily precipitation

初西太平洋副高脊线位于 $20^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间,二者比较可以看出模拟结果基本反映出副高脊线的季节变化规律,4 月以后模拟的副高脊线北进的速度比 NCEP/NCAR 再分析资料快,且到达的纬度位置更为偏北。模拟的副高脊线达到入梅条件的时间要比 NCEP 再分析资料提前 20 天左右。图 1b 为模拟与观测降水的累积频率曲线,主要根据第二个判定条件取累积频率为 85%,对应的观测降水阈值为 6.9 mm,模拟降水阈值为 4.5 mm,比观测值小(图 1b)。

图 2 给出了观测和模拟的江淮地区多年平均候降水演变,图中空心圈曲线为观测降水,实心圈曲线为模拟降水。由图中可见,江淮地区观测降水峰值出现在 6 月中旬到 7 月上旬,模拟的降水虽然也模拟出了江淮地区降水的季节变化,但是降水峰值出现在 5—6 月间,比观测峰值提前了大约 20 天左右,且模拟的降水值在全年都比观测值要偏小。分别用图 1b 中观测和模拟降水的阈值 6.9 mm 和 4.5 mm 作为分界线。如图中所见,观测的梅雨期为 6 月 5 候至 7 月 2 候,与统计气候态梅雨期的时间一致,模拟的“梅雨期”为 6 月 1 候至 6 月 3 候,共 3 候,比观测梅雨期短,时间也提前至 6 月上旬。

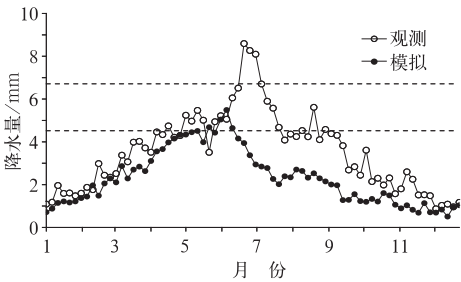


图 2 江淮流域候平均降水时间演变
Fig. 2 Evolution of average precipitation period over the Yangtze-Huaihe River Basin

综上所述,用累积频率的方法分别划定观测和模拟的梅雨期,即能反映观测梅雨期,也避免简单采用与观测一致的时段分析模式降水,是一种比较合理的方法。

3 模拟结果分析

3.1 多年平均梅雨期降水

图 3 将模拟的我国东部梅雨期降水减去观测降水,两者的差异可看出,模拟的降水量在整个我国东部地区都是偏少的,其中长江中下游以南地区偏差最大,达到 $0.8\text{ mm}\cdot\text{d}^{-1}$ 。模拟的总降水日数除华北一小部分地区比观测偏少以外,我国东部大部分地区模拟的总雨日数都要比观测多,其中淮河、长江流域偏差较大,达到 2 d 以上。

3.2 不同等级降水日数

为进一步分析模拟的雨日数与观测的差别,按照气象业务部门标准,将降水等级划分为:暴雨($R\geq 50\text{ mm}$);大雨($50\text{ mm}>R\geq 25\text{ mm}$);中雨($25\text{ mm}>R\geq 10\text{ mm}$);小雨($10\text{ mm}>R\geq 0.1\text{ mm}$),分别比较模式对我国东部地区不同等级降水日数的模拟情况。图 4 给出了我国东部地区梅雨期模拟与观测的各等级降水差值。从图 4a 中可以看出,模拟的东部地区暴雨降水日数普遍偏少,负值中心位于长江中下游沿岸,中心值小于 -1,表明模拟的长江流域暴雨日数比观测平均每年偏少 1 d。模拟的大雨日数与观测的差值发现(图 4b),模拟的我国东部地区大雨日数都偏少,长江以北地区的偏差较小,最大达到 $-0.4\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。长江以南地区模拟大雨日数偏

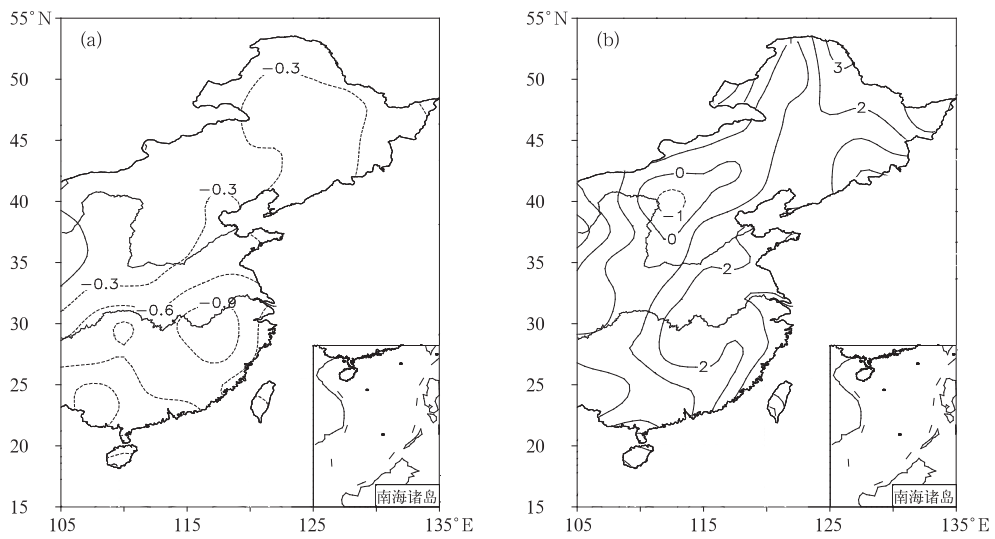


图 3 多年平均梅雨期降水模拟与观测差异:(a)降水量(单位: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$);(b)雨日(单位:d)
Fig. 3 Differences (simulation minus observation) of mean annual precipitation in the rainy season between simulated and observed: (a) precipitation (unit: $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$), and (b) rain days (unit: d)

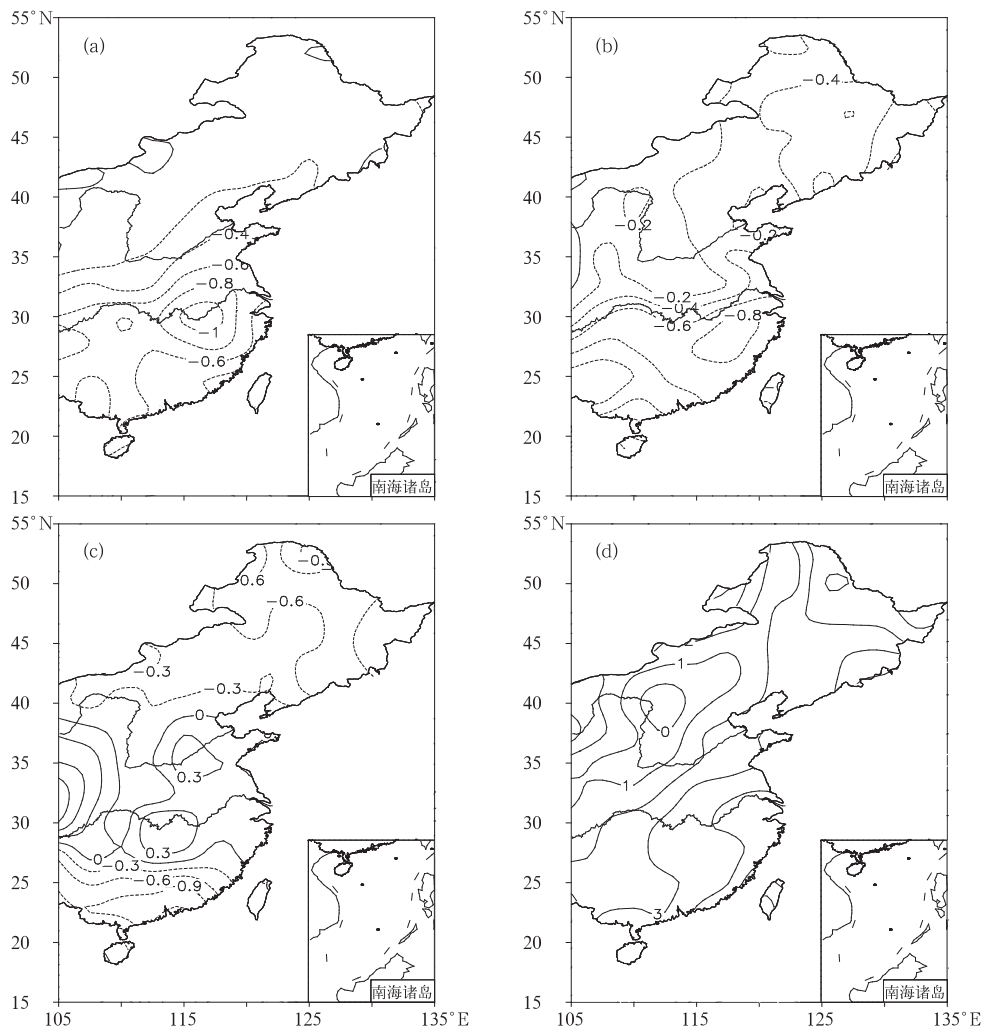


图 4 梅雨期不同等级降水日数模拟与观测差值(单位: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$):(a)暴雨日数,(b)大雨日数,(c)中雨日数,(d)小雨日数
Fig. 4 Differences (simulation minus observation) between days with different levels of precipitation in the rainy season simulated and observed (unit: $\text{d} \cdot \text{a}^{-1}$): (a) storm rain days, (b) heavy rain days, (c) moderate rain days, (d) light rain days

少 $-0.6\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上,负值最大值位于江南地区,超过 $-0.6\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 。从图 4c 可以看出,我国东部 40°N 以北地区及 27°N 以南地区模拟的中雨日数偏少,江淮地区和华北地区中雨日数偏多。如图 4d 所示,我国东部地区模拟的小雨日数偏多。模拟华北地区北部小雨日数与观测的偏差较小,东北北部及华南小雨日数模拟的小雨日数偏多 $3\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$ 以上。与图 3 相比可以看出,模拟的我国东部降水偏少可能是由于模拟的暴雨日数偏少,模拟的东部雨日数偏多可能是由于小雨日数偏多。

将江淮地区平均后得到梅雨期不同等级降水频数图。如图 5 所示,模拟与观测相比,江淮地区模拟的暴雨日数和大雨日数偏少,其中暴雨日数偏少最为明显。模拟的中雨日数与观测值较一致,略微偏多,模拟的江淮地区小雨日数比观测值偏多较多。

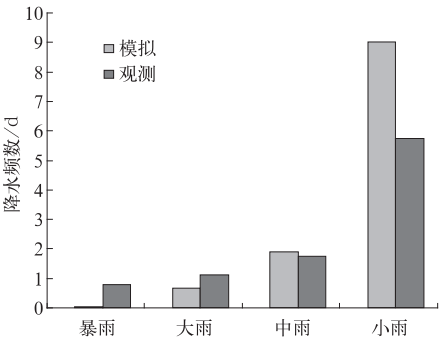


图 5 江淮地区平均梅雨期各等级降水频数模拟与观测对比

Fig. 5 The simulated average frequency in levels of precipitation in the rainy season compared with the observed over the Yangtze-Huaihe River Basin

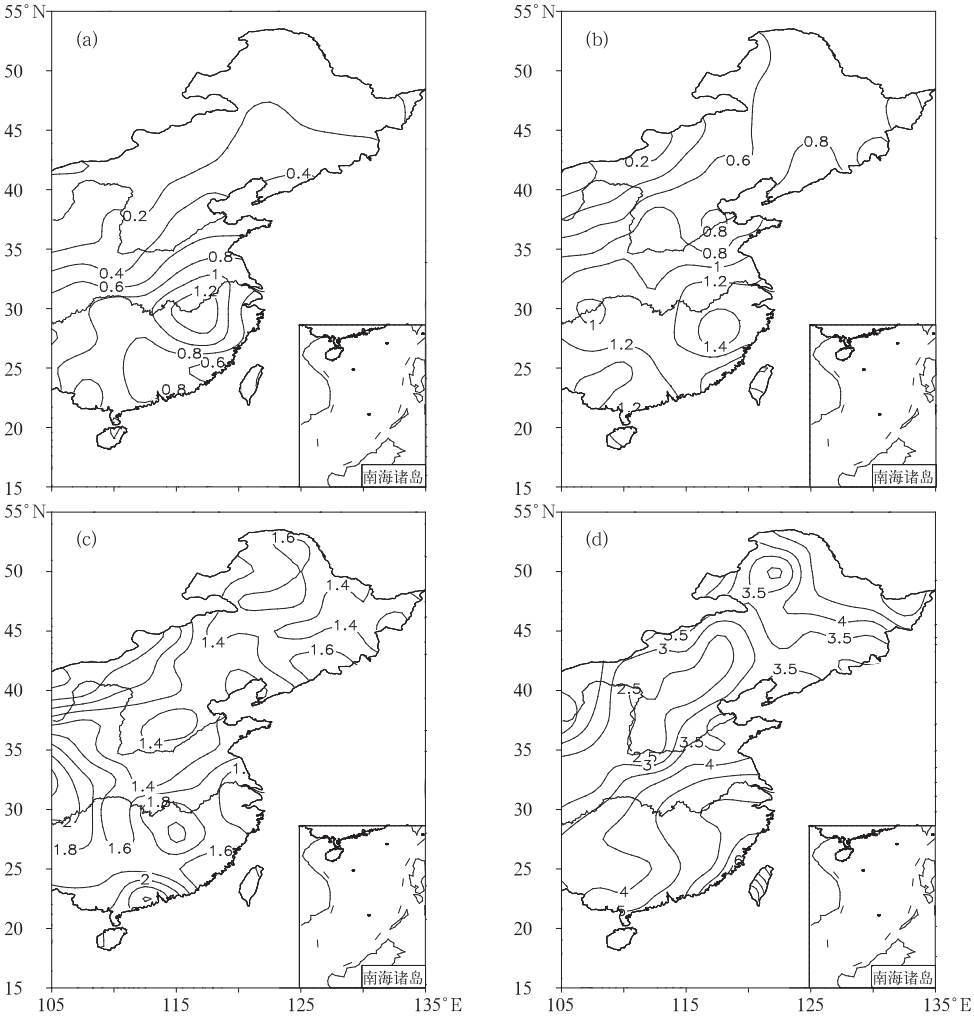


图 6 梅雨期不同等级降水日数模拟与观测的均方根误差
(a)暴雨,(b)大雨,(c)中雨,(d)小雨

Fig. 6 The RMS errors between days with different levels of precipitation in the rainy season simulated and observed
(a) storm rain, (b) heavy rain, (c) moderate rain, (d) light rain

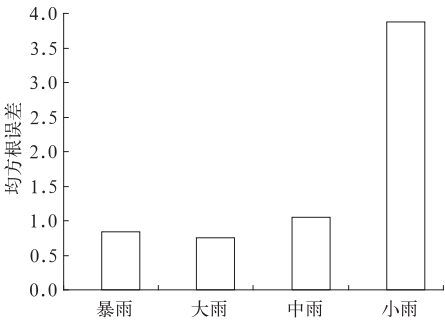


图 7 模拟江淮地区平均梅雨期不同等级降水频数与观测的均方根误差

Fig. 7 The RMS errors of frequency between days with different levels of precipitation in the rainy season simulated and observed

图 6 为我国东部地区不同等级降水日数模拟与观测降水的均方根误差。暴雨日数的均方根误差分布可以看出,黄河以北地区暴雨日数的均方根误差较小,黄河以南地区均方根误差较大,大值中心位于

长江中下游地区及江南地区,中心值大于 1.2(图 6a)。模拟大雨日数的均方根误差分布表明内蒙古地区大雨日数的偏差较小,大雨日数均方根误差的大值区位于我国西南地区及江南地区(图 6b)。从图 6c 模拟中雨日数的均方根误差可看出,大值区位于长江以南地区和华南地区。小雨日数均方根误差最大的地区位于华南地区(图 6d)。总的来说,模式对淮河以北地区各等级降水日数模拟偏差较小,对黄河以南地区各等级降水日数模拟的偏差较大。对江淮地区平均以后得到不同等级降水均方根误差(图 7),图中可看出,模拟的江淮地区不同等级降水日数中,小雨日数的模拟偏差最大。

3.3 不同等级降水日数年际变化

图 8 给出了模拟和观测我国江淮地区不同等级降水日数年际变化。表 1 为年际变化曲线的斜率及模拟与观测的相关系数。从图 8a 中可以看出,观测

表 1 1960—2000 年江淮地区平均梅雨期不同等级降水频数模拟与观测的比较

Table 1 The simulated average frequency in levels of precipitation in the rainy season compared with the observed in 1960—2000

| | 暴雨 | | 大雨 | | 中雨 | | 小雨 | |
|------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|--------|
| | 观测 | 模拟 | 观测 | 模拟 | 观测 | 模拟 | 观测 | 模拟 |
| 斜率 | 0.0088 | −0.0004 | 0.0009 | −0.0033 | 0.0012 | −0.0116 | −0.0087 | 0.0235 |
| 相关系数 | −0.013 | | 0.075 | | 0.173 | | −0.028 | |

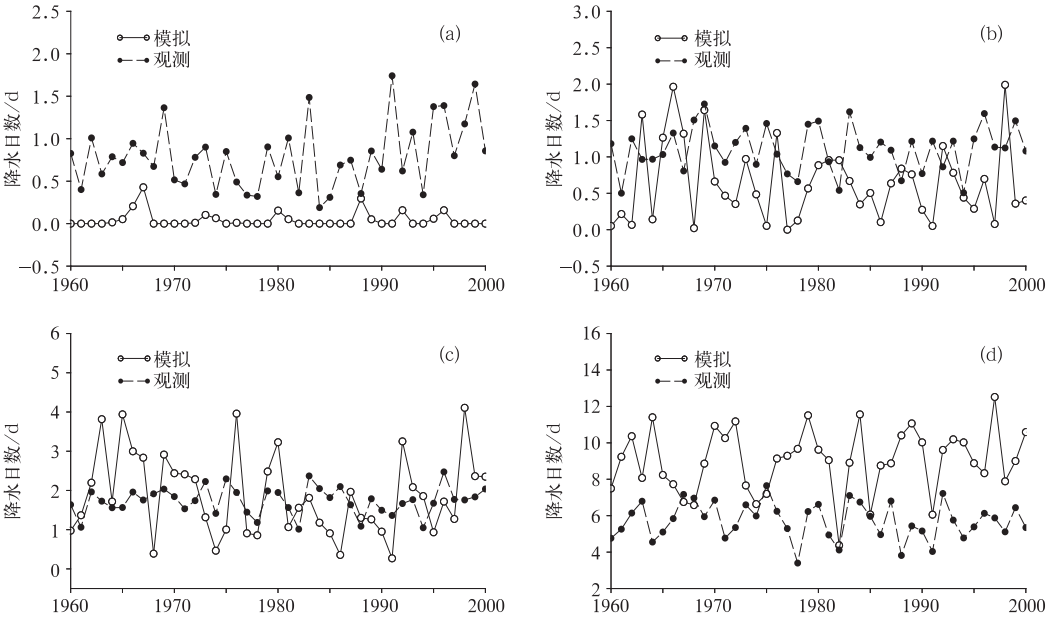


图 8 1960—2000 年江淮地区平均梅雨期不同等级降水频数模拟与观测的比较

(a)暴雨,(b)大雨,(c)中雨,(d)小雨

空心圈曲线为 BCC_AGCM2.0.1 模拟结果,实心圈曲线为站点观测值

Fig. 8 The simulated (solid) average frequency in levels of precipitation in the rainy season compared with the observed (dashed) in 1960—2000;

(a) storm rain, (b) heavy rain, (c) moderate rain, (d) light rain

的暴雨日数在 20 世纪 90 年代之前变化趋势不明显,90 年代以后为明显的上升趋势,平均值为 0.8。模式基本没有模拟出江淮地区的暴雨事件,除了个别年份外,暴雨日数基本为零,模拟的暴雨日数呈下降趋势,与观测的上升趋势相反。模拟与观测的相关系数为 -0.013 。观测大雨日数的平均值为 1.1,模拟的平均值为 0.9,且模拟的大雨日数年际变化显著。观测的大雨日数呈上升趋势,模拟为下降趋势,两者的相关系数为 0.075(图 8b)。从图 8c 中可见,观测中雨日数呈上升趋势,模拟的中雨日数呈下降趋势,且模拟曲线的年际变化比观测明显,两者的相关系数为 0.173。图 8d 中观测的小雨日数呈下降趋势,平均值为 5.5。模拟的小雨日数明显多于观测值,其平均值为 9.0,呈上升趋势,两者相关系数为 -0.028 。综上所述,观测暴雨、大雨和中雨日数呈上升趋势,小雨日数呈下降趋势。模式模拟的各等级降水日数年际变化趋势与观测相反,暴雨、大雨和中雨日数呈下降趋势,小雨日数呈上升趋势。

4 结 论

本文采用 1960—2000 年观测站点日降水资料及大气模式 BCC_AGCM2.0.1 模拟日平均降水资料,分析了模式对我国东部地区降水及江淮地区梅雨期不同等级降水的模拟能力,主要结论如下:

(1) 大气模式 BCC_AGCM2.0.1 模拟的我国东部降水偏少,负值的大值区位于长江中下游地区。模拟的我国东部降水日数偏多,大值中心位于黄河以南东部沿海地区。

(2) 模拟的东部地区暴雨及大雨日数偏少,小雨日数偏多,40°N 以北地区及 27°N 以南地区模拟的中雨日数偏少,江淮地区和华北地区中雨日数偏多。模拟的我国东部地区降水量偏少,雨日数偏多主要是由于模拟的暴雨日数偏少,小雨日数偏多。

(3) 用累积频率方法划定观测梅雨期和模拟“梅雨期”,实际观测梅雨期 6 月中旬到 7 月上旬,模拟的江淮地区梅雨期为 5 月下旬到 6 月上旬,与实

际观测梅雨期提前 20 天左右。

(4) 观测江淮地区暴雨、大雨和中雨呈上升趋势,小雨呈下降趋势,模式模拟的不同等级降水变化趋势与观测相反,暴雨、大雨和中雨呈下降趋势,小雨呈上升趋势,模拟暴雨和小雨日数与观测值差异较大,基本没有模拟出暴雨事件。

以上结论是我国东部地区“梅雨期”样本模拟结果,不具有普遍性,不同时段不同地区结论未知,建议使用该模式模拟梅雨期降水可参考本文以上结论。另外降水的发生和变化与大气环流形势关系密切,比较观测与模拟梅雨季节风场、位势高度场、温度场等气候背景场的差异,分析模式模拟降水出现偏差的可能原因可以作为进一步研究的方向。

参考文献

- [1] Wang H J. The weakening of the Asian monsoon circulation after the end of the 1970s[J]. *Adv Atmos Sci*, 18(3):376-386.
- [2] 龚振淦,何敏. 长江流域夏季降水与全球海温关系的分析[J]. *气象*, 2006,32(1):56-61.
- [3] 梅伟,杨修群. 我国长江中下游地区降水变化趋势分析[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 2005,41(6):577-589.
- [4] 李红梅,周天军,宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析[J]. *大气科学*, 2008,32(2):358-370.
- [5] Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. *J Climate*, 2005, 18: 1096-1108.
- [6] 鲍媛媛,金荣花,赵瑞霞,等. 2008 年东亚夏季风异常及其对江淮梅雨的影响[J]. *气象*, 2009,35(4):35-42.
- [7] 熊秋芬,胡江林,张耀存. 梅雨锋降水带中不同地域大暴雨成因的对比分析[J]. *气象*, 2006,32(7):72-80.
- [8] Ying Sun, Susan Solomon and Dai Aiguo. How often does it rain? [J] *J Climate*, 2006, 19: 916-934.
- [9] 胡娅敏,丁一汇. 东亚地区区域气候模拟的研究进展[J]. *地球科学进展*, 2006,21(9):956-964.
- [10] 徐群. 近 46 年江淮下游梅雨期的划分和演变特征[J]. *气象科学*, 1998,18(4):316-328.
- [11] 王建新. 长江中下游地区梅雨期雨量场与 500 百帕月平均高度场的相关分析[J]. *气象科学*, 1989,9(3):311-321.
- [12] 吕君宁,徐景芳. 近 30 年长江中下游地区梅雨降水的气候分析[J]. *南京气象学院学报*, 1990,12(2):228-237.