

北京气候中心气候系统模式对中国四季日平均气温的模拟性能评估

赵珊珊 何文平

Performance evaluation of the simulated daily average temperature series in four seasons in China by Beijing Climate Center climate system model

Zhao Shan-Shan He Wen-Ping

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 049201 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.049201

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.049201>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I4>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于长程相关性特征的北京气候中心气候系统模式对中国气温的模拟性能评估

Performance evaluation of Chinese air temperature simulated by Beijing Climate Center Climate System Model on the basis of the long-range correlation

物理学报.2014, 63(20): 209201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.209201>

基于 Lorenz 系统的数值天气转折期预报理论探索

The theoretical study of the turning period in numerical weather prediction models based on the Lorenz equations

物理学报.2014, 63(2): 029201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.63.029201>

缓变下垫面对浅水方程的动力学订正

Dynamic modification of the shallow water equation on the slowly changing underlying surface condition

物理学报.2013, 62(3): 039202 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.62.039202>

东亚地区大气环流的季节划分及其时空变化特征

Season division and its temporal and spatial variation features of General atmospheric circulation in East Asia

物理学报.2011, 60(10): 109201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.60.109201>

基于非线性相似度量方法研究中国季节划分

A non-linear similarity method for season division in China

物理学报.2011, 60(2): 029201 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.60.029201>

北京气候中心气候系统模式对中国四季日平均气温的模拟性能评估*

赵珊珊 何文平†

(中国气象局国家气候中心, 北京 100081)

(2014年8月4日收到; 2014年9月25日收到修改稿)

利用去趋势波动分析方法对中国四季日平均气温观测资料进行了研究, 发现四季日平均气温均具有很好的长程相关性特征, 中国西部地区尤其是新疆和西藏的长程相关性较强. 基于观测资料中的这种长程相关性特征, 评估了北京气候中心气候系统模式对中国四季日平均气温的模拟性能, 发现该模式能够较好地反映中国四季日平均气温的长程相关性特征. 总体而言, 模式对春季的日平均气温的长程相关性模拟效果最好, 仅对江南地区的长程相关性的模拟较差; 夏季, 模式模拟误差较大的地区包括中国中东部地区及西藏大部, 其中华北南部、黄淮西部、江南大部、华南等地模拟效果最差; 秋季, 模式对东部沿海及东北大部、华北西南部等地模拟的长程相关性偏强, 而在西北大部模拟的长程相关性明显偏弱; 冬季, 除东部沿海地区模拟的长程相关性偏强外, 全国其余大部分地区接近观测或偏弱, 其中西北、西南、华南北部、江南南部、东北北部偏弱明显, 青藏高原西部偏弱最为显著.

关键词: 去趋势波动分析, 标度指数, 长程相关性, 模式性能评估

PACS: 92.05.Fg, 92.40.Cy

DOI: 10.7498/aps.64.049201

1 引言

许多观测数据展现出标度现象, 如经济时间序列、DNA序列、心电记录、水文数据、气候资料等^[1-4]. 气候系统是一个高度复杂的、耗散的、非绝热的非线性动力系统^[5,6]. 气候系统的变化具有自记忆特征, 天气和气候随时间的演变存在不同程度的持续性^[7-9]. 虽然温度、降水、湿度、风速、气压等气候要素都展现出持续相关性和分形特征^[10-12], 但不同要素的长程相关性表现出不同的特征. 已有的研究表明, 全球、北半球和中国气温的月平均气温均具有自相似的多分形特征^[13]; 中国日最高气温、日最低气温、昼夜温差、高温日数、低温日数的时间序列都具有幂律关系, 并且标度指数大于0.5^[14]; 东亚地区的高度场和温度场均表现出长

程相关性, 并且高度场的标度指数大于温度场^[15]; 中国地区相对湿度的长程相关性标度指数普遍大于温度的标度指数^[16]; 中国不同区域降水量亦展现出标度行为, 部分区域的降水具有长程相关性, 陕西宝鸡月降水量在大于88个月的尺度上具有正长程相关性, 在小于88个月的尺度上具有反相关性^[17]; 西安月降水量的标度指数小于0.5^[18]; 北京年降水量在窗口尺度为7年以上时具有正长程相关性^[19].

气候系统模式是研究气候变化机理和气候预测的重要工具之一, 如何客观、定量地对气候模式的模拟性能进行评估, 对于模式预测和预估未来气候状态的演变趋势有着重要的科学意义和实用价值. 针对模式模拟性能的定量评估, 已经开展了大量的研究工作, 在模式评估方法方面也取得了一些新的进展. 目前, 对模式性能的评估对象已经由对

* 全球变化研究国家重大科学研究计划(批准号: 2012CB955902, 2013CB430204)和国家自然科学基金(批准号: 41275074, 41475073)资助的课题.

† 通信作者. E-mail: wenping_he@163.com

气候态的评估转变为对气候极值、气候变化趋势、气候现象等的评估, 并且已由定性评价发展到定量评价, 如定量计算模式模拟的可靠性和不确定性等^[20]. 但这些评估方法主要考虑了模式模拟值与观测值在统计意义上的差异, 缺乏对观测资料与模拟资料在动力学特征上的比较. 因此, 亟需发展能够对模式动力学特征进行定量评估的新方法.

标度指数能够定量表征支配时间序列的动力学特征^[21,22], 而气象观测资料均展现出标度现象. 因此, 基于气象观测资料的标度特征可对模式的性能进行定量的评估. Govindan等^[23]利用去趋势波动分析(detrended fluctuation analysis, DFA)方法^[24,25]检验了7个全球气候模式模拟的气温, 认为这7个模式不能再现气温观测纪录中的标度特征. Blender和Fraedrich^[26]利用DFA方法分析了HadCM3和ECHAM4/OPYC两个全球模式的模拟结果, 表明模式能够再现美国国家环境预报中心再分析资料中全球表面气温的标度特征. 赵珊珊和何文平^[27]利用DFA方法评估了北京气候中心气候系统模式(Beijing Climate Center Climate System Model, BCC_CSM)对中国区域日气温的模拟结果, 发现该模式虽能较好地模拟出中国区域气温的长程相关性, 但对青藏高原地区及西北大部、华北、黄淮等地的模拟效果较差. 但文献^[27]未对四季气温的模拟效果进行评估.

为了更全面地评估BCC_CSM模式对中国区域气温的模拟性能, 本文基于气温演变的长程相关性特征, 结合地面台站观测的逐日平均气温资料, 采用DFA方法对BCC_CSM模式在中国地区的四季日平均气温的模拟性能进行了评估. 结果表明, BCC_CSM模式能够较好地反映出中国四季日平均气温的长程相关性特征, 且夏秋季日平均气温的标度指数大于冬春季. 与观测资料相比, BCC_CSM模式对春季和秋季的模拟效果较好, 但对于夏季中国东部地区以及冬季的中国西部地区的模拟效果相对较差.

2 资料及方法

2.1 模拟数据和观测资料

BCC_CSM是由国家气候中心发展的全球海洋-陆地-海冰-大气多圈层耦合的全球气候-碳循环耦合模式, BCC_CSM1.1(m)是一个较新的版本, 关于该模式的描述可以参见文献^[28—32]. 本

文采用了1975—2005年BCC_CSM1.1(m)参加第五次耦合模式比较计划历史试验输出的逐日平均气温资料, 空间分辨率为T106, 网格距约为1°. 逐日平均气温观测资料来源于国家气象信息中心, 包括中国600个气象站. 类似于文献^[27], 为了便于比较观测和模拟资料中气温长程相关性的差异, 站点观测数据被插值到与模式网格精度一致的格点上.

2.2 DFA方法

DFA方法是由Peng等^[33]提出的一种分析时间序列长程相关性的非线性方法. 其计算过程简述如下^[34,35]:

1) 计算原始序列 $\{x_i, i = 1, 2, \dots, N\}$ 的累积离差序列 $y(k)$;

2) 将累积离差序列 $y(k)$ 分成长度为 τ 的不重合的子序列, 对于 p 阶DFA过程, 采用 p 阶多项式对其每个子序列进行趋势拟合并剔除每个区间的局部趋势 $y_\tau(k)$;

3) 计算均方根波动函数

$$F_p(\tau) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N [y(k) - y_\tau(k)]^2};$$

4) 改变窗口尺度 τ 的大小, 重复第2)和3)步, 可以得到 $F_p(\tau)$ 随窗口尺度 τ 的变化曲线.

若 $F_p(\tau)$ 与 τ 在双对数图上表现为线性关系, 则表明两者存在幂律关系, 即 $F_p(\tau) \sim \tau^\gamma$, 这里 γ 为标度指数, 其大小反映了序列的相关特性. 若 $\gamma > 1/2$, 意味着序列具有正长程相关性; 若 $\gamma < 1/2$, 表明序列具有反的持续相关性; $\gamma = 1/2$ 则表明序列不具有相关性; 若 $\gamma = 1.0$, 意味着一个近似为 $1/f$ 噪声的行为. 在本文中使用2阶DFA, 简记为DFA2.

3 BCC_CSM1.1(m)对中国地区四季日平均气温的模拟效果评估

3.1 观测资料和模式模拟值的DFA

图1给出了北京站日平均气温在春、夏、秋、冬四个季节的DFA2分析结果, 可以发现BCC_CSM1.1(m)模式模拟的北京站日平均气温在四个季节均展示了类似于观测资料中的标度特征. 就观测资料而言, 北京站春、夏、秋、冬四季日平均气温的标度指数值分别为0.73, 0.75, 0.82和

0.81, 秋冬季大, 春季最小, 展现出明显的长程相关性特征. 而且北京四季日平均气温的长程相关性均明显地强于全年逐日平均气温的长程相关性(标度指数为0.71)^[21]. 模式模拟的北京四季日平均气温的标度指数值为0.71, 0.84, 0.81和0.80, 表明该模式能够较好地模拟出北京站四季日平均气温的长程相关性特征(图1). 模式模拟的四季日平均气

温的标度指数在夏季最大, 秋冬季次之, 春季最小. 与观测资料相比, 模式模拟数据的标度指数除了夏季偏大外, 其他季节均略偏小. 对模式模拟的中国其他区域四季日平均气温也做了DFA2分析, 发现大部分地区的四季日平均气温均展现出类似于北京站的标度现象, 表明模式能够较好地再现中国区域四季日平均气温的长程相关性特征.

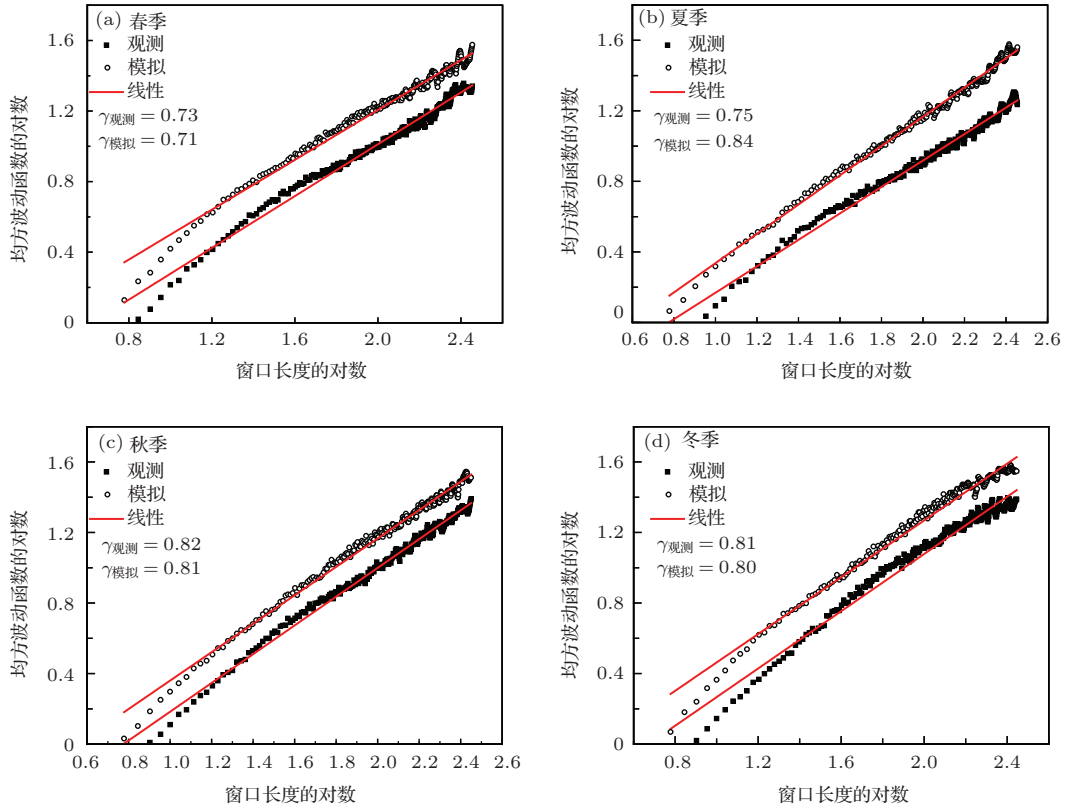


图1 北京站四季日平均气温观测与模拟值的DFA2分析(1975—2005年) (a)春季; (b)夏季; (c)秋季; (d)冬季

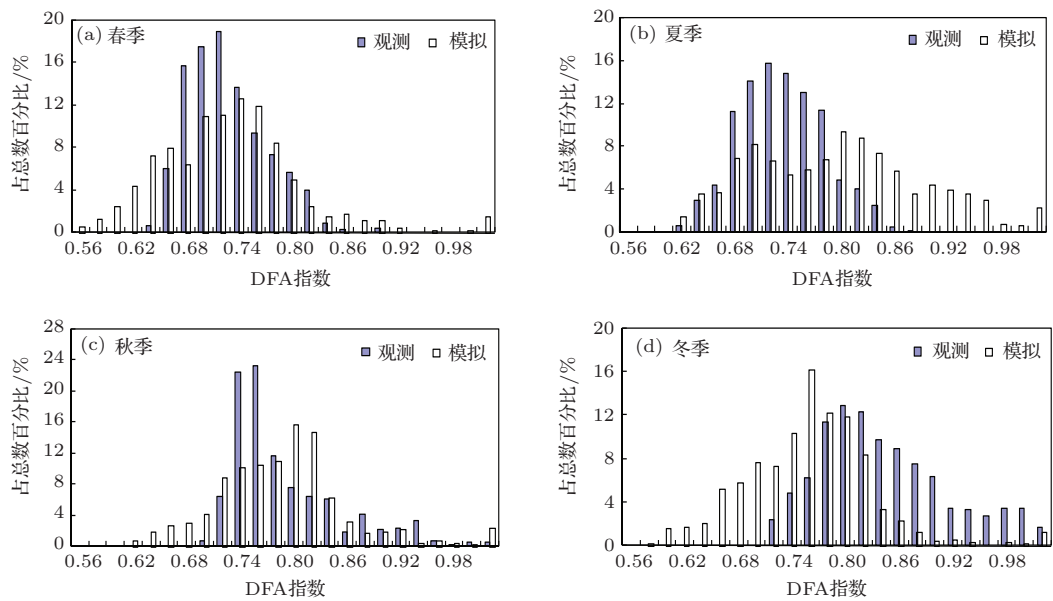


图2 中国四季日平均气温观测与模拟值的DFA指数分布(1975—2005年) (a)春季; (b)夏季; (c)秋季; (d)冬季

春季, 中国地区站点观测的日平均气温DFA指数值主要集中在0.68—0.78之间, 全国平均值为0.72; BCC_CSM1.1(m)模式模拟的DFA指数主要集中在0.64—0.78之间, 全国平均值为0.73(图2(a)). 夏季, 观测资料的DFA指数主要集中在0.68—0.78之间, 全国平均值为0.74; 模拟数据的DFA指数主要集中在0.68—0.86之间, 全国平均值为0.8(图2(b)). 秋季, 观测资料的DFA指数主要集中在0.72—0.84, 全国平均值为0.77; 模拟数据的DFA指数主要集中在0.72—0.84之间, 全国平均值为0.79(图2(c)). 冬季, 观测资料的DFA指数主要集中在0.76—0.9之间, 全国平均值为0.81; 模拟数据的DFA指数主要集中在0.7—0.82之间, 全国平均值为0.76(图2(d)). 总体来看, 全国观测的日平均气温的DFA指数表现为秋冬季大、春夏季小的特征; 模拟的日平均气温DFA指数全国平均值表现为夏秋季大, 冬春季小的特征. 模拟的日平均气温DFA指数在春季接近观测, 其次是秋季, 夏季和冬季与观测的差异最大.

3.2 模式对中国四季日平均气温的模拟评估

对观测的春季日平均气温进行DFA2分析的结果表明, 中国大部分地区的标度指数大于0.6, 其中标度指数大于0.75的地区主要包括新疆北部、西藏大部、云南中部和西部、内蒙古东北部等地(图3(a)). 模式模拟资料的标度指数除了江南东北部小于0.6外, 中国其余大部分地区都在0.6以上, 其中标度指数大值区的范围与观测较为一致(图3(b)). 与观测资料相比, 模式模拟值的标度指数在中国大部分地区均接近观测, 但在西藏南部、青海北部、海南以及山东东部和河北东部的局部地区偏大0.1以上, 而在江南大部、江淮南部、华南中北部、西藏北部等地偏小0.05以上(图3(c)).

夏季, 除华北西部、内蒙古西部、甘肃大部、新疆北部等地观测的日平均气温的标度指数在0.6—0.7之间外, 中国其余大部分地区标度指数大于0.7, 其中东北大部、黄淮东部、江淮、江汉、江南大部、西藏大部、青海南部等地标度指数在0.75—0.8之间, 江南东北部、西藏西南部局部地区大于0.8(图4(a)). 模式模拟的夏季日平均气温的标度指数在中国中东部地区及青藏高原大部普遍大于0.75, 其中东北南部和东北部、华北东南部、

黄淮、江淮、江南、江汉、华南以及西藏西南部标度指数在0.85以上(图4(b)). 与观测相比, 模式模拟值的标度指数在中国中东部地区(包括东北大部、内蒙古东北部)及西藏大部普遍偏大, 其中华北南部、黄淮西部、江淮西部、江汉、江南西部、华南等地偏大0.15以上, 而在西北地区中东部偏小0.05—0.1(图4(c)).

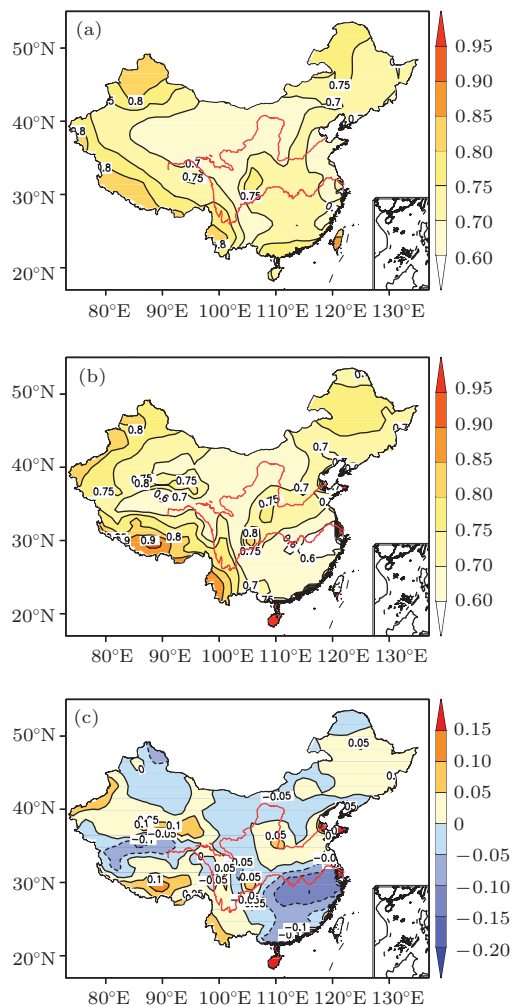


图3 (网刊彩色) 中国区域春季日平均气温的标度指数分布(1975—2005年) (a) 观测资料的标度指数分布; (b) BCC_CSM1.1(m)模式模拟资料的标度指数分布; (c) 模式模拟值与观测资料的标度指数差值分布

秋季, 观测的日平均气温的标度指数呈现西大东小的分布特征, 尤其是青藏高原地区标度指数明显大于其他区域(图5(a)), 而且也明显大于春季和夏季这一地区的标度指数. 秋季, 青藏高原地区及新疆北部、云南西部、黑龙江西北部等地日平均气温的标度指数普遍大于0.8; 而黄淮大部、江淮、江南、华南、东北大部、西北地区东北部标度指数相对较小, 其值一般在0.7—0.75之间. 观测的秋季日平

均气温的标度指数与夏季相比,在青藏高原地区及新疆北部、云南西部等地明显增大,而在东北大部、黄淮、江南大部、华南南部等地变小.模式模拟的秋季日平均气温标度指数的大值区主要在青藏高原南部和东部沿海地区(图5(b)).与观测相比,模式模拟的秋季日平均气温的标度指数在中东部地区偏大,西部偏小,其中东北大部、华北西南部、黄淮西北部、江南西南部、华南中部和东部等地偏大0.05以上;西北大部及云南西部等地偏小0.05以上(图5(c)).这表明模式模拟的秋季日平均气温的长程相关性在西部偏弱,东部偏强,尤其是在我国东部沿海地区,模式模拟值的长程相关性明显偏强.

冬季,台站观测的日平均气温的标度指数分布呈现自西向东减小的分布特征,标度指数大于0.8

的地区包括西南大部、西北大部、内蒙古大部、东北北部、华北东北部和西南部等地(图6(a)).模式模拟的冬季日平均气温的标度指数大于0.8的地区主要在新疆、西藏东部、四川东北部、江汉、华北东部以及东部沿海等地(图6(b)).与观测相比,除了西藏南部局地以及东部沿海地区偏大外,模式模拟值的标度指数在全国大部分地区接近观测或偏小,其中西北地区大部、西藏大部、云南、黑龙江中东部等地偏小0.1—0.2,西藏西部、青海西南部偏小0.2以上(图6(c)).这表明模式模拟的冬季日平均气温的长程相关性在这些地区显著偏弱.而在长江中下游地区至华北一带以及东北南部等地,模式模拟效果较好.

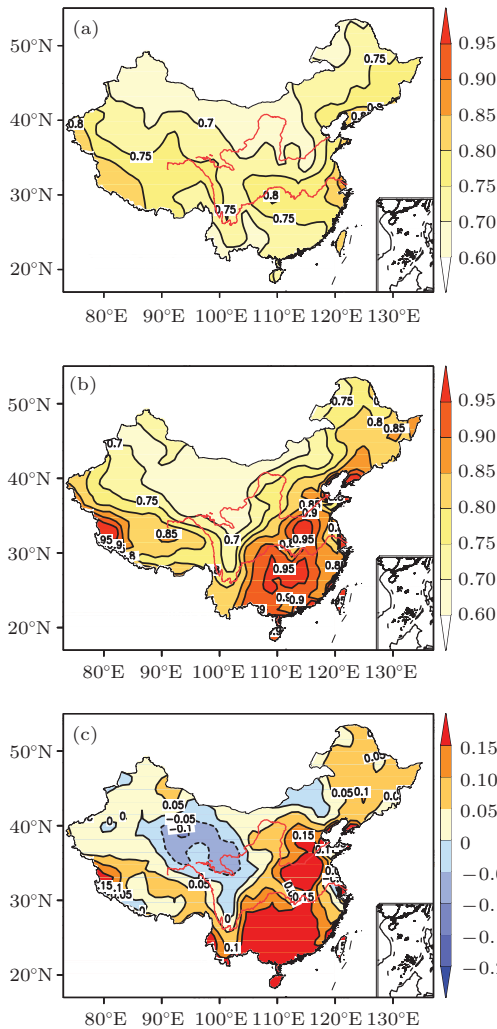


图4 (网刊彩色) 中国区域夏季日平均气温的标度指数分布(1975—2005年) (a) 观测资料的标度指数分布; (b) BCC_CSM1.1(m) 模式模拟资料的标度指数分布; (c) 模式模拟值与观测资料的标度指数差值分布

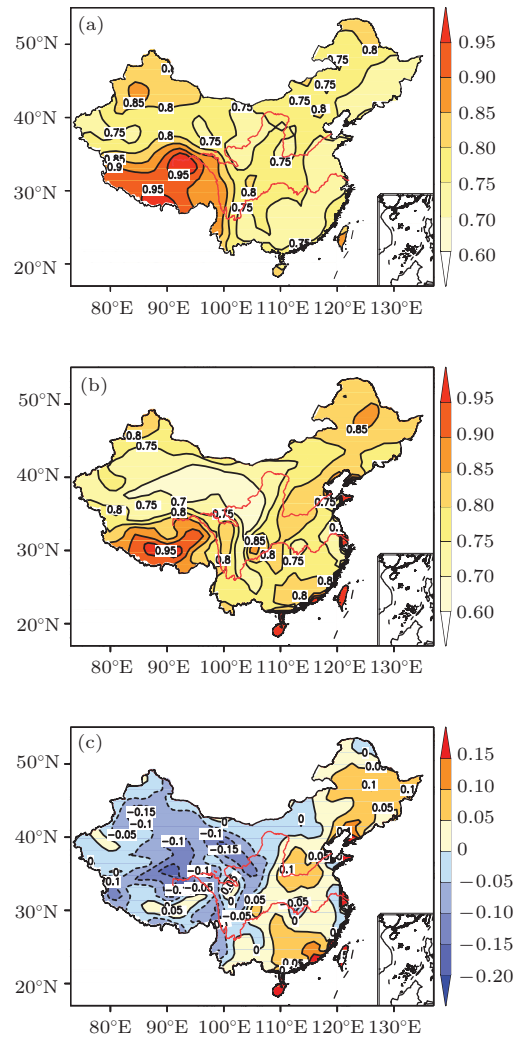


图5 (网刊彩色) 中国区域秋季日平均气温的标度指数分布(1975—2005年) (a) 观测资料的标度指数分布; (b) BCC_CSM1.1(m) 模式模拟资料的标度指数分布; (c) 模式模拟值与观测资料的标度指数差值分布

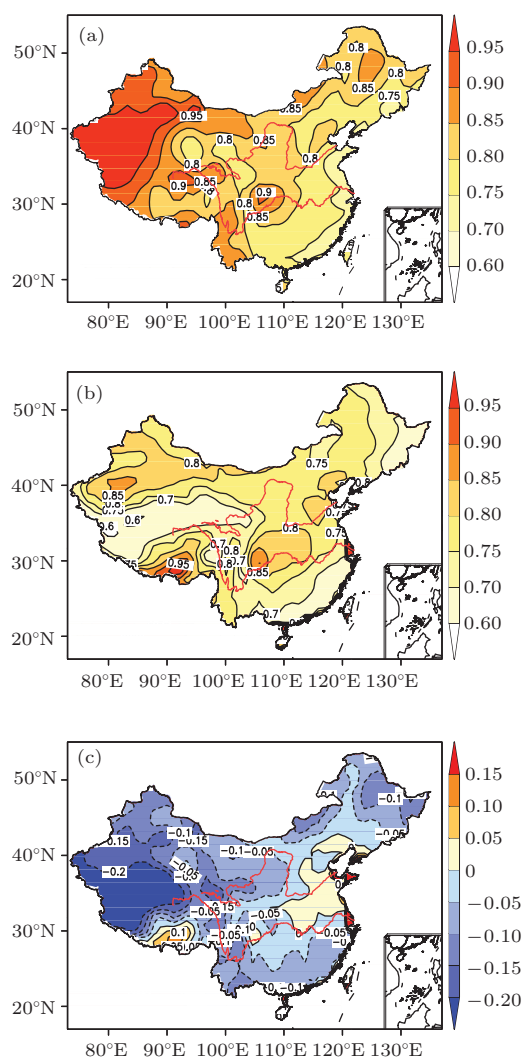


图6 (网刊彩色) 中国区域冬季日平均气温的标度指数分布(1975—2005年) (a) 观测资料的标度指数分布; (b) BCC_CSM1.1(m) 模式模拟资料的标度指数分布; (c) 模式模拟值与观测资料的标度指数差值分布

4 结 论

本文采用 DFA 方法对中国四季日平均气温的观测资料进行了标度分析, 发现观测到的四季日平均气温具有很好的长程相关性特征, 标度指数在秋冬季大于春夏季, 中国西部地区尤其是新疆和西藏的长程相关性要强于其他地区, 这一特征在秋季和冬季尤为显著. Kiraly 和 Janosi^[36] 利用 DFA 方法研究表明, 澳大利亚日平均气温的长程相关性与纬度、海拔高度有关, 离赤道越近、海拔高度越高, 长程相关性越大, 并且海岛比陆地大. 对中国区域四季的日平均气温的长程相关性的分析没有发现类似文献^[36] 得到的结论. 但中国区域内海拔高度较高的青藏高原地区的长程相关性在四个季节均比中国其余大部分地区偏大, 尤其是在秋季和冬季,

青藏高原部分地区的标度指数达到 0.90, 部分地区甚至大于 0.95, 接近 1.0. 根据标度指数的物理意义可知, 标度指数接近 1.0, 意味着一个近似为 $1/f$ 噪声的行为. 这个行为与非线性系统的自组织临界现象有着密切的联系. 它表明在标度指数接近 1.0 的区域, 气温是极其不稳定的, 对一些小扰动非常敏感, 任意一个小的扰动可能会通过大气系统内部的相互作用传播到其他区域.

对 BCC_CSM1.1(m) 模式模拟的中国地区四季气温的 DFA 分析结果表明, 该模式能够在一定程度上反映出中国四季日平均气温的长程相关性特征, 其中夏季大部分地区日平均气温的标度指数明显大于冬春季. 与观测资料相比, 模式模拟的日平均气温标度指数在春季和秋季较接近观测资料, 夏季全国大部分地区偏大, 而冬季全国大部分地区偏小. 模式对春季日平均气温模拟效果最差的地方位于江南地区, 其标度指数明显小于观测资料; 夏季, 模式对中国中东部大部分地区及西藏大部等地的长程相关性的模拟明显偏强, 而对于西北地区东部的模拟明显偏弱; 秋季, 模式模拟较差的地方主要位于甘肃、青海西部以及东部沿海的部分地区; 冬季, 模式对中国西部地区、东北北部及内蒙古东北部等地模拟效果较差, 模拟效果较好的地区主要是江南北部、江汉、江淮、黄淮、华北、东北南部等地.

参考文献

- [1] Bunde E K, Bunde A, Havlin S, Goldreich Y 1996 *Physica A* **231** 393
- [2] Bunde E K, Bunde A, Havlin S, Roman H E, Goldreich Y, Schellnhuber H J 1998 *Phys. Rev. Lett.* **81** 729
- [3] Talkner P, Weber R O 2000 *Phys. Rev. E* **62** 150
- [4] Eichner J F, Bunde E K, Bunde A, Havlin S 2003 *Phys. Rev. E* **68** 046133
- [5] Yang P C, Bian J C, Wang G L, Zhou X J 2003 *Chin. Sci. Bull.* **48** 1470 (in Chinese) [杨培才, 卞建春, 王革丽, 周秀骥 2003 科学通报 **48** 1470]
- [6] Dai X G, Fu C B, Wang P 2005 *Chin. Phys.* **14** 850
- [7] Feng G L, Dong W J, Jia X J 2004 *Chin. Phys.* **13** 1582
- [8] Shukla J 1998 *Science* **282** 5389
- [9] Feng G L, Cao H X 1998 *Quart. J. Appl. Meteorology* **9** 219 (in Chinese) [封国林, 曹鸿兴 1998 应用气象学报 **9** 219]
- [10] Pedron I T 2010 *J. Phys.: Conf. Ser.* **246** 012034
- [11] Feng T, Fu Z T, Deng X, Mao J Y 2009 *Phys. Lett. A* **373** 4134
- [12] Gao L H, Fu Z T 2013 *Atmos. Ocean. Sci. Lett.* **6** 74

- [13] Jiang T H, Deng L T 2004 *J. Trop. Meteorol.* **20** 673 (in Chinese) [江田汉, 邓莲堂 2004 热带气象学报 **20** 673]
- [14] Yuan N M, Fu Z T, Mao J Y 2010 *Physica A* **389** 4087
- [15] Wang Q G, Hou W, Zheng Z H, Gao R 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 6640 (in Chinese) [王启光, 侯威, 郑志海, 高荣 2009 物理学报 **58** 6640]
- [16] Lin G X, Chen X, Fu Z T 2007 *Physica A* **383** 585
- [17] Mo S H, Lü J Q, Shen B, Li W J 2010 *J. Xi'an Univ. Technol.* **26** 148 (in Chinese) [莫淑红, 吕继强, 沈冰, 李文娟 2010 西安理工大学学报 **26** 148]
- [18] Zhao J, Lü J Q, Ning Y F, Shen B 2011 *J. Water Resources Water Eng.* **22** 74 (in Chinese) [赵静, 吕继强, 宁有丰, 沈冰 2011 水资源与水工程学报 **22** 74]
- [19] Zhen Z F, Zhang X L, Cao H X, Xie Z, Pan J H 2007 *Chin. J. Geophys.* **50** 420 (in Chinese) [郑祚芳, 张秀丽, 曹鸿兴, 谢庄, 潘家华 2007 地球物理学报 **50** 420]
- [20] Zhao Z C, Luo Y, Huang J B 2013 *Adv. Climate Change Res.* **9** 1 (in Chinese) [赵宗慈, 罗勇, 黄健斌 2013 气候变化研究进展 **9** 1]
- [21] Fraedrich K, Blender R 2003 *Phys. Rev. Lett.* **90** 108501
- [22] He W P 2008 *Ph. D. Dissertation* (Lanzhou: Lanzhou University) (in Chinese) [何文平 2008 博士学位论文 (兰州: 兰州大学)]
- [23] Govindan R B, Vyushin D, Bunde A, Brenner S, Havlin S, Schellnhuber H J 2002 *Phys. Rev. Lett.* **89** 028501
- [24] He W P, Feng G L, Wu Q, Wan S Q, Chou J F 2008 *Nonlinear Proc. Geophys.* **15** 601
- [25] Hou W, Zhang D Q, Zhou Y, Yang P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 109202 (in Chinese) [侯威, 章大全, 周云, 杨萍 2011 物理学报 **60** 109202]
- [26] Blender R, Fraedrich K 2003 *Geophys. Res. Lett.* **30** 1769 CLM7-1
- [27] Zhao S S, He W P 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 209201 (in Chinese) [赵珊珊, 何文平 2014 物理学报 **63** 209201]
- [28] Wu T W, Song L C, Li W P, Wang Z Z, Zhang H, Xin X G, Zhang Y W, Zhang L, Li J L, Wu F H, Liu Y M, Zhang F, Shi X L, Chu M, Zhang J, Fang Y J, Wang F, Lu Y X, Liu X W, Wei M, Liu Q X, Zhou W Y, Dong M, Zhao Q G, Ji J J, Laurent L, Zhou M Y 2014 *Acta Meteo. Sin.* **72** 12 (in Chinese) [吴统文, 宋连春, 李伟平, 王在志, 张华, 辛晓歌, 张艳武, 张莉, 李江龙, 吴方华, 刘一鸣, 张芳, 史学丽, 储敏, 张洁, 房永杰, 汪方, 路屹雄, 刘向文, 魏敏, 刘茜霞, 周文艳, 董敏, 赵其庚, 季劲钧, Laurent L, 周明煜 2014 气象学报 **72** 12]
- [29] Zhang L, Wu T W, Xin X G, Zhang J, Fang Y J, Wang Z Z, Wei M 2013 *Chinese J. Atmos. Sci.* **37** 994 (in Chinese) [张莉, 吴统文, 辛晓歌, 张洁, 房永杰, 王在志, 魏敏 2013 大气科学 **37** 994]
- [30] Wu T W, Yu R C, Zhang F 2008 *J. Atmos. Sci.* **65** 2235
- [31] Wu T W, Yu R C, Zhang F, Wang Z Z, Dong M, Wang L N, Jin X, Chen D L, Li L 2010 *Clim. Dyn.* **34** 123
- [32] Wu T W 2012 *Clim. Dyn.* **38** 725
- [33] Peng C K, Buldyrev S V, Havlin S, Simons M, Stanley H E, Goldberger A L 1994 *Phys. Rev. E* **49** 1685
- [34] Peng C K, Havlin S, Goldberger A L 1995 *Chaos* **5** 82
- [35] Tang Y F, Liu S L, Jiang R H 2013 *Chin. Phys. B* **22** 030504
- [36] Kiraly A, Janosi I M 2005 *Meteorol. Atmos. Phys.* **88** 119

Performance evaluation of the simulated daily average temperature series in four seasons in China by Beijing Climate Center climate system model*

Zhao Shan-Shan He Wen-Ping[†]

(National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 4 August 2014; revised manuscript received 25 September 2014)

Abstract

In the present paper, the detrended fluctuation analysis (DFA) method is first used to analyze the daily average temperature records in four seasons in China, and the results show that the seasonal temperature records exhibit long-range correlation in China, especially in Xinjiang and Xizang in western China. Based on the long-range correlation in observational temperature records, we use DFA to evaluate the performances of the simulated daily average temperature series in four seasons in China by Beijing Climate Center climate system model (BCC_CSM) (1.1 m), and find that the BCC_CSM (1.1 m) can reflect the long-range correlations in different seasons. In general, the simulated results are best in spring except for the bad performance in Jiangnan. In summer, the simulation performance is poor in middle-east China and most areas in Tibet, especially in the southern North China, western Huanghai, Jiangnan and South China. The long-rang correlation of the simulated data for autumn is stronger in Northeast China, southeast North China, while weaker in the most of Northwest China. In winter, except for the eastern seaboard, the simulated long-range correlations of daily temperature are weaker than that of observational records in most China. And the simulated performance is poor in Northwest China, Southwest China, northern South China, southern Jiangnan and northern Northeast China, especially in the western Tibet.

Keywords: detrended fluctuation analysis, scaling exponent, long-range correlation, model performance evaluation

PACS: 92.05.Fg, 92.40.Cy

DOI: 10.7498/aps.64.049201

* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant Nos. 2012CB955902, 2013CB430204) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41275074, 41475073).

[†] Corresponding author. E-mail: wenping_he@163.com