

冯娟, 李建平. 2012. IPCC AMIP 模式对西南澳类季风环流的模拟[J]. 气候与环境研究, 17 (4): 409-421, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10110. Feng Juan, Li Jianping. 2012. Evaluation of IPCC AMIP models in simulating monsoon-like southwest Australian circulation[J]. Climatic and Environmental Research(in Chinese), 17 (4): 409-421.

IPCC AMIP 模式对西南澳类季风环流的模拟

冯娟^{1,2} 李建平¹

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

摘 要 以西南澳类季风环流为出发点, 考察了 IPCC 第四次评估报告 AMIP 提供的 12 个大气环流模式对于澳大利亚西南部 (SWWA) 地区降水的季节演化特征, 西南澳类季风环流 (SWAC) 的季节特征、季节演化、对应的异常环流型及其年际变率的模拟性能进行了评估。结果表明, 除了 NCAR_CAM3 模式以外, 其余模式均能较好的再现 SWWA 地区近地层盛行风向季节性反转及副热带高压脊线的季节性跳跃特征。对副热带高压脊线的季节演化特征, 虽然大部分模式可以模拟出其季节移动特征, 但是对于副热带高压脊线的北跳、南撤时间、到达位置和年内振幅均不能很好模拟。其次, 除了 NCAR_CAM3, 其余模式基本能刻画出与 SWAC 相联系的异常环流型结构; 而对于 SWAC 的年际变率, 基本所有模式均不能较好模拟。整体权衡, GISS_MODEL_E_R 在模拟 SWAC 环流的年际变率方面表现出较其它模式稍好的性能, 大致可以模拟出与观测 SWAC 相似的特征, 对 SWWA 地区的冬季降水显示出了与观测相似的显著影响。

关键词 西南澳类季风环流 模式评估 季节特征 季节循环 大气环流模式比较计划

文章编号 1006-9585 (2012) 04-0409-13

中图分类号 P437

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2011.10110

Evaluation of IPCC AMIP Models in Simulating Monsoon-Like Southwest Australian Circulation

FENG Juan^{1,2} and LI Jianping¹

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

Abstract Based on the variability of the southwest Australian circulation (SWAC), the simulation capabilities of 12 atmospheric general circulation models (AGCMs) provided by IPCC AR4 have been evaluated and compared. The seasonal features, annual cycle, associated circulation anomalies pattern, and interannual variability of the SWAC, as well as the seasonal march of the southwest Western Australia (SWWA) rainfall are analyzed by using the IPCC AMIP models data. Result shows that except the NCAR_CAM3, the else models can capture the basic seasonal features and corresponding circulation anomalous characteristics of the SWAC, but not for the seasonal march of the subtropical high ridge within the SWAC domain and interannual variability of the SWAC. Thus the relevant part of the models should be improved to well simulate the SWWA climate. In a word, the GISS_MODEL_E_R exhibits a little better performance among the 12 different models, which could generally capture the features of SWAC and shows similar significant impact

收稿日期 2010-08-23 收到, 2012-04-25 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2010CB950400, 国家自然科学基金资助项目 41030961

作者简介 冯娟, 女, 1983 年出生, 博士, 助理研究员, 主要从事亚澳季风变率、气候变化方面的研究。E-mail: fengjuan@mail.iap.ac.cn

通讯作者 李建平, E-mail: ljpl@lasg.iap.ac.cn

on the SWWA winter rainfall as in the observation.

Key words monsoon-like southwest Australian circulation (SWAC), model evaluation, seasonal features, annual cycle, Atmospheric Model Intercomparison Project (AMIP)

1 引言

澳大利亚西南部 [SWWA, (30°S , 115°E) 和(35°S , 120°E) 连线的西南部] 雨季出现在南半球的冬季(5~10月),其降水在过去 700 a 一直较为稳定,降水的年际变率不超过年降水总量的 10%,但在近 50 年其降水持续减少,雨季降水总量减少了将近 20%,降水的减少导致地表径流量减少了近 50% (Indian Ocean Climate Initiative, 2002)。而降水的减少正好处于全球变暖的大背景之下,因此 SWWA 地区是全球气候变化的一个典型缩影,也是区域气候对全球气候变化响应的典型实体。

Feng et al. (2010) 的研究指出,澳大利亚西南部 (SWWA) 存在类似季风特征的环流系统——西南澳类季风环流 (SWAC),此环流不仅可以解释 SWWA 地区前冬和后冬降水的年际变率,而且揭示了 SWWA 地区降水的长期变化趋势可以归因于 SWAC 的长期趋势。因此,SWAC 的提出为进一步研究 SWWA 地区降水的归因、未来情景分析、敏感性试验提供了新的方法和视角。另一方面,如果现有的模式可以较好的刻画 SWAC 的变化,反过来将有助于进一步深入分析 SWWA 地区的降水变化。

然而,对气候变化模拟和预测的唯一定量工具就是气候模式,而就目前的水平,模式尚存在很大不确定性,模式本身误差较大,且模式之间的差异也较大。近年来,大气环流模式在很多方面得到了提高,这些模式是否可以较好的模拟 SWAC,尚有待评估。围绕着政府间气候变化委员会第四次评估报告 (Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report, IPCC AR4) 的编写,由世界气候研究计划 (WCRP) “气候变率和可预报性研究” (CLIVAR) 数值模拟工作组协调全世界多个大气环流模式 (AGCM) 参与的“大气环流模式比较计划” (Atmospheric Model Intercomparison Projection, AMIP),为这一工作的开展提供了契机。

AMIP 是一个专为大气环流模式所设计的试验计划,是全球大气环流模式的标准输出试验协议,

依靠国际间共同的努力去确定大气模式的气候系统误差,为从事全球气候模式的诊断分析、验证、比较、整合和数据交流提供了一个基本平台。1989 年, WCRP 的数值试验工作组 (WGNE) 提出并建立了大气模式比较计划。通过模式结果与观测结果及模式结果之间的比较,发现模拟误差并改进模式正是 AMIP 计划的科学意义所在 (Gates et al., 1992)。

为了对模式进行系统分析, AMIP 已批准了 26 个分析子计划 (sub-project), 包括季节内变化概况、亚洲季风的季节内到年际变化、东亚气候、季风降水、西非季风、北美季风、地表和大气辐射通量、水汽和云反馈过程、土壤湿度和大陆的水分平衡、陆面过程参数化、角动量和行星动量平衡、全球云的评估、大气传输和能量、对流层湿度和经向湿通量、平流层循环的模拟、非线性体制的诊断、季节气候的超集合模拟等等 (AMIP NEWSLETTER NO.10, 详见 <http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/amip/NEWS/amipnl10.pdf> [2010-08-24])。这些分析计划几乎覆盖了大气环流和气候研究的各个方面,非常全面精细。可以说, AMIP 是在空前的规模和细节上对几乎所有大气环流模式进行的最为系统的检验。

许多研究工作从不同的方面、不同的角度对 IPCC 模式结果进行了比较 (Mao and Robock, 1998; 周天军和赵宗慈, 2006; Irannejad and Henderson-Sellers, 2007; 汪方和丁一汇, 2008; 张丽和李建平, 2008; 秦大河和罗勇, 2008; Li and Zhang, 2009; 赵煜飞和李建平, 2009; 肖栋等, 2010; Zhang and Li, 2010)。从比较结果来看,几乎所有的模式都能模拟出大尺度大气环流的平均季节结构,但对年际变率和季节内变化的模拟仍不理想。且没有任何一个模式能在各个方面都模拟的很好。

本文的工作从描述 SWAC 的角度出发,考察了 IPCC AR4 提供的 12 个 AMIP 大气环流模式对 SWAC 的模拟能力。所分析的内容,涉及 SWAC 的基本季节特征、年循环特征和年际变率。我们希望通过模式与观测、模式与模式之间的比较,为模式的发展和未来的改进工作提供一些依据;同时也为

利用 IPCC AR4 的模式结果,开展澳大利亚西南部的气候研究提供一个基本的模式性能参考,为澳大利亚西南部冬季降水的未来变化趋势做出预测。

2 资料和方法

本文用到的模式资料包括参加 IPCC AR4 的来自 8 个国家的 12 个大气环流模式的试验结果。表 1 列出了有关模式的基本信息,其中除了来自我国的 GMAIL、美国 NASA 的 GISS_MODEL_E_R、俄罗斯的 INMCM3_0 和法国的 IPSL_CM4 为格点模式,其余均为谱模式。

由于各模式组提交的积分时间不尽相同,为了统一比较时段,本文选取了 1980~1999 年逐月的模拟结果。分析时段选取了南半球冬季 6~8 月(如无特别说明,本文中的季节均以南半球为基准),集中考察在冬季时各个模式对 SWAC 的模拟性能。对于有多次试验的模式,选取第一组试验结果进行分析。

观测资料采用了 NCEP/NCAR 的逐月平均再分析资料(Kalnay et al., 1996),基本的气象要素场为海平面气压场(SLP)、水平风场(u, v)。降水数据为澳大利亚气象局提供的观测格点降水资料(Jones and Beard, 1998)。另外,利用 ERA-40 再分

析资料(Uppala et al., 2005)对基于 NCEP/NCAR 的结果进行了对比分析。

SWAC 环流指数(SWACI)的计算参照 Li and Zeng (2000, 2002, 2003) 和李建平和曾庆存(2005)所定义的动态标准化季节变率指数(DNS)。对于给定的高度层和格点位置(i, j),对于第 n 年的第 m 月,其具体形式如下:

$$\delta_{nm}(i, j) = \frac{\|V_1(i, j) - V_{nm}(i, j)\|}{\|V(i, j)\|} - 2, \quad (1)$$

其中, $V_1(i, j)$ 是点(i, j)上 1 月气候平均的风矢量(1968~1996 年平均,单位: m/s), $V_{nm}(i, j)$ 是第 n 年第 m 月格点(i, j)上的月平均风矢量(单位: m/s)。 $V(i, j)$ 是格点位置(i, j)上的 1 月和 7 月气候平均(1968~1996 年平均,单位: m/s)风矢量的平均。量 A 的范数表示如下式:

$$\|A\| = \left(\iint_S |A|^2 dS \right)^{1/2}, \quad (2)$$

其中, S 代表所计算的区域。在实际计算中用 5 点公式计算范数的近似值,即在点(i, j),

$$\|A_{i,j}\| \approx \Delta s \left[(|A_{i-1,j}^2| + 4|A_{i,j}^2| + |A_{i+1,j}^2|) \cos \varphi_j + |A_{i,j-1}^2| \cos \varphi_{j-1} + |A_{i,j+1}^2| \cos \varphi_{j+1} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

其中, φ_j 是点(i, j)所在的纬度, $\Delta s = a \Delta \varphi \Delta \lambda / 4$, a 是地球平均半径, $\Delta \varphi$ 和 $\Delta \lambda$ 分别代表经向、纬向方

表 1 参加 IPCC 第四次评估的 12 个 AMIP 的全球大气环流模式概况

Table 1 The surveys of the 12 AMIP AGCMs in the IPCC AR4 (Intergovernmental Panel on Climate Change, Fourth Assessment Report)

模式名称	来源	分辨率	模拟时段
CNRM_CM3	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	T42(128×64)	1979 年 1 月至 2000 年 12 月
GFDL_CM2_1	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA	144×90	1980 年 1 月至 1999 年 12 月
GISS_MODEL_E_R	NASA Goddard Institute for Space Studies, USA	5×4	1979 年 1 月至 2002 年 12 月
IAP_GMAIL	State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Institute of Atmospheric Physics, China	2.8125×2.8	1978 年 1 月至 1999 年 12 月
INMCM3_0	Institute for Numerical Mathematics, Russia	5×4	1979 年 1 月至 2003 年 12 月
IPSL_CM4	Institute Pierre Simon Laplace, France	96×72	1979 年 1 月至 2002 年 12 月
MIROC3_2_HIRES	CCSR/NIES/FRCGC, Japan	T160(320×160)	1979 年 1 月至 2002 年 12 月
MIROC3_2_MEDRES	CCSR/NIES/FRCGC, Japan	T42(128×64)	1979 年 1 月至 2002 年 12 月
MPI_ECHAM5	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	T63(192×96)	1978 年 1 月至 1999 年 12 月
MRI_CGCM2_3_2A	Meteorological Research Institute, Japan	T42(128×64)	1978 年 12 月至 2002 年 1 月
NCAR_CAM3	National Center for Atmospheric Research, USA	T85(256×128)	1977 年 9 月至 2000 年 8 月
UKMO_HADGEM1	Met Office, UK	192×144	1979 年 1 月至 2000 年 12 月

向上的分辨率,单位是弧度。

这里之所以选择了1月和7月作为冬季(北半球)/夏季(南半球)和夏季(北半球)/冬季(南半球)的代表,是因为对于地球上的绝大部分区域,在平均状态下,1月和7月是冬季(北半球)/夏季(南半球)和夏季(北半球)/冬季(南半球)的极端状态(曾庆存和张邦林,1998)。 $\delta > 0$ 则表明冬、夏季的风向夹角变化至少大于了 90° ,反映了季风是地表盛行风向有显著转变这一主要环流特征,公式1右边的“2”为冬、夏季的盛行风是否基本反向的临界值。分母可以被认为年平均或者是冬、夏季的平均,因为年平均和冬、夏季季节平均之间的差异是很小的(Zeng, 1994)。于是分子表示了给定计算月的风矢相对于相反的参考态的变化。通过这个公式,可以得到计算月的 δ 值。得到了逐点 (i, j) 上的 $\delta_{nm}(i, j)$ 的值,则第 n 年第 m 月的季风指数 MI_{nm} 可以通过对季风区域做区域平均得到: $MI_{nm} = \{\delta_{nm}(i, j)\}$, $\{\}$ 表示的是在特定高度层对季风区域的 $\delta_{nm}(i, j)$ 做区域平均。SWAC环流指数选取的区域为 $(35^\circ\text{S} \sim 25^\circ\text{S}, 100^\circ\text{E} \sim 145^\circ\text{E})$,使用的为850 hPa的结果(Feng et al., 2010)。

判断副热带高压(简称副高)脊线的方法采用文献(李建平和丑纪范,1998;占瑞芬等,2004;李建平和朱建磊,2008)提出的方法。

3 模式对澳大利亚环流特征的模拟

3.1 对季节特征的模拟

图1和图2分别给出了观测和IPCC AR4的12个大气环流模式模拟的澳大利亚地区1月(夏季)和

7月(冬季)对流层低层925 hPa的环流特征以及副高脊线的位置。相比于观测结果(图1),可以看到除了NCAR的CAM3,其余模式均能较好的再现澳大利亚西南部风向的季节性反转和副高脊线的季节性跳跃特征。具体来看,MIROC_3_2_HIRES、MIROC_3_2_MEDRES、MPI_ECHAM5和MRI_CGCM2_3_2A模拟的1月副高脊线均稍偏北,而7月的则稍偏南,也即模拟的副高脊线的年内振幅较大;而GFDL_CM2_1中1月和7月的副高脊线均偏南;GISS_MODEL_E_R中1月份的副高脊线稍偏南;INMCM3_0中7月份的副高脊线略偏南,IPSL_CM4中的1月份的副高脊线偏北。

总体来说,AMIP的12个大气环流模式对于澳大利亚区域大气环流的模拟,除了NCAR_CAM3模式,其余模式均能很好的模拟出澳洲西南部对流层低层风向随着季节反转的特征。而对于副高脊线位置的模拟,虽然大部分模式基本上能模拟出副高脊线随着季节的推进和撤退,但是对于具体位置的刻画并不是很好。相对来说,GISS_MODEL_E_R和IAP_GMAIL对于副高脊线的模拟较好。

3.2 对季节循环的模拟

图3给出了SWAC区域纬向平均的副高脊线位置随着季节的演化特征。可以看到,两套再分析资料关于副高脊线位置季节性移动的结果是一致的,副高脊线于5月初到达了最北端的位置,之后基本维持稳定,于9月初开始南撤。相比之下,虽然大部分模式能够较好的反应副高脊线随着时间推进的位置变化:从1~5月,表现为北进;5~8月较稳定的维持在 30°S 以北而之后表现为南撤,但

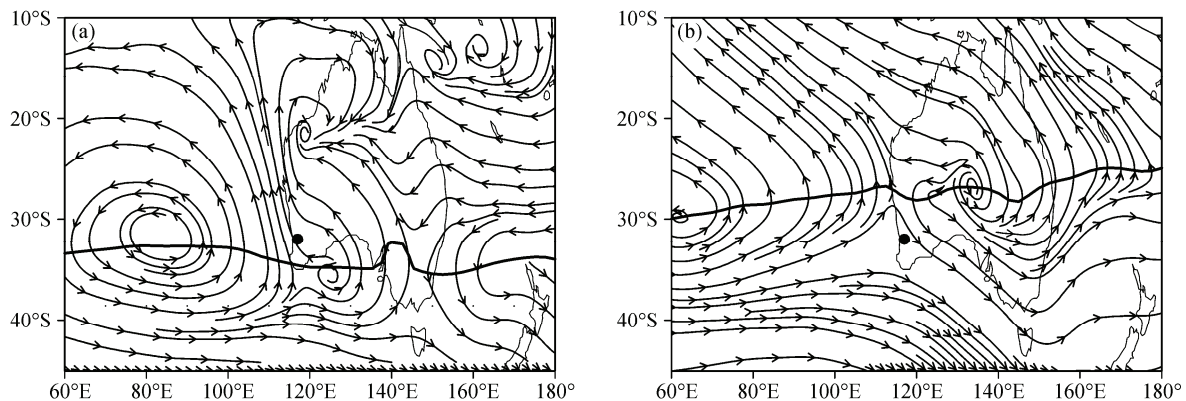


图1 气候平均的澳大利亚地区1月(左列)和7月(右列)对流层低层925 hPa的水平环流分布。图中的实线为副高脊线所在位置,圆点代表西澳首府佩思所在地

Fig.1 The climatology stream lines in January (left column) and July (right column) at 925 hPa. The solid line is the ridge of the subtropical high and the location of Perth is dotted

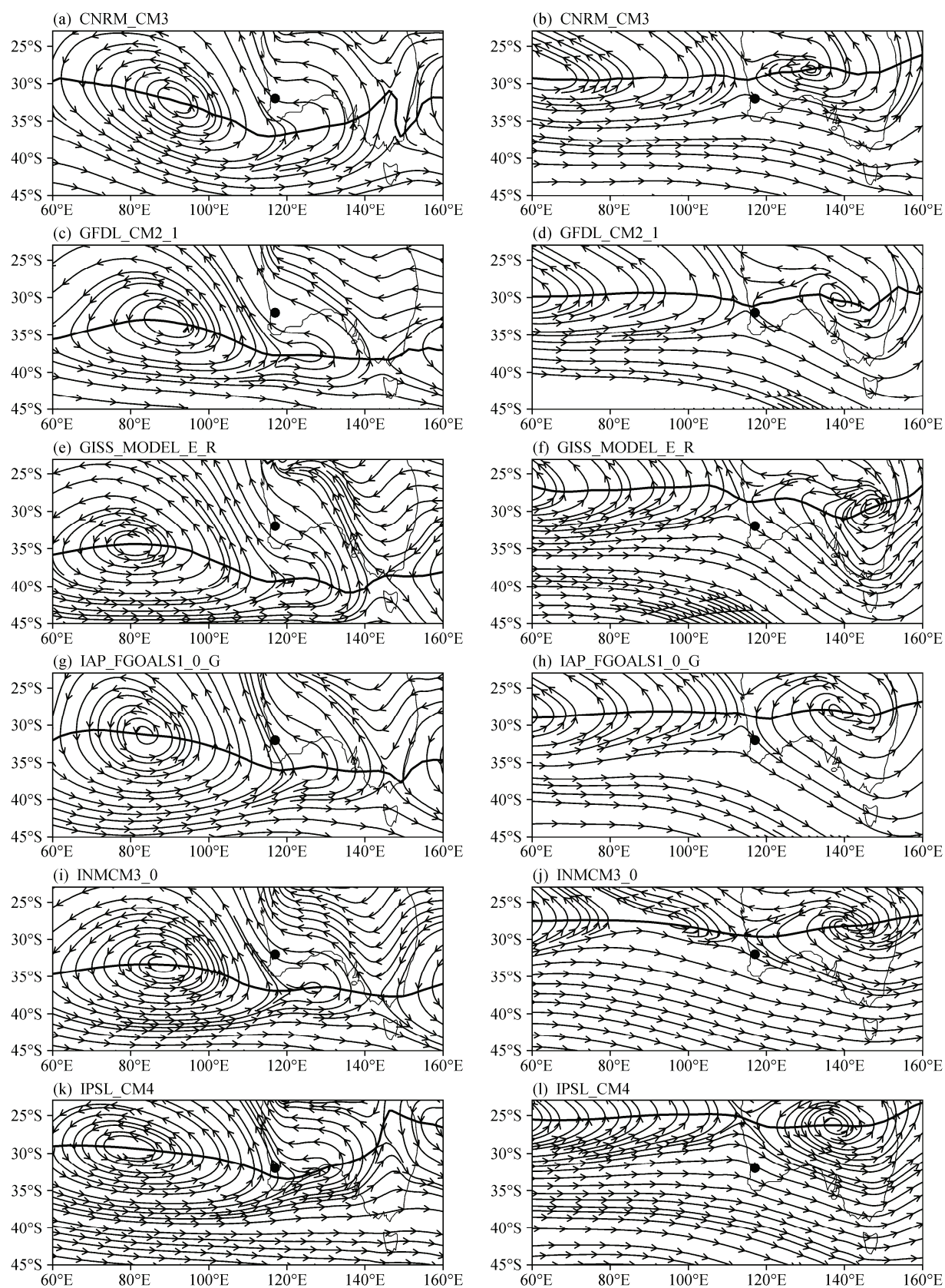


图2 同图1, 但为 AMIP 模式模拟的结果

Fig.2 Same as Fig. 1, but for the AMIP AGCMs

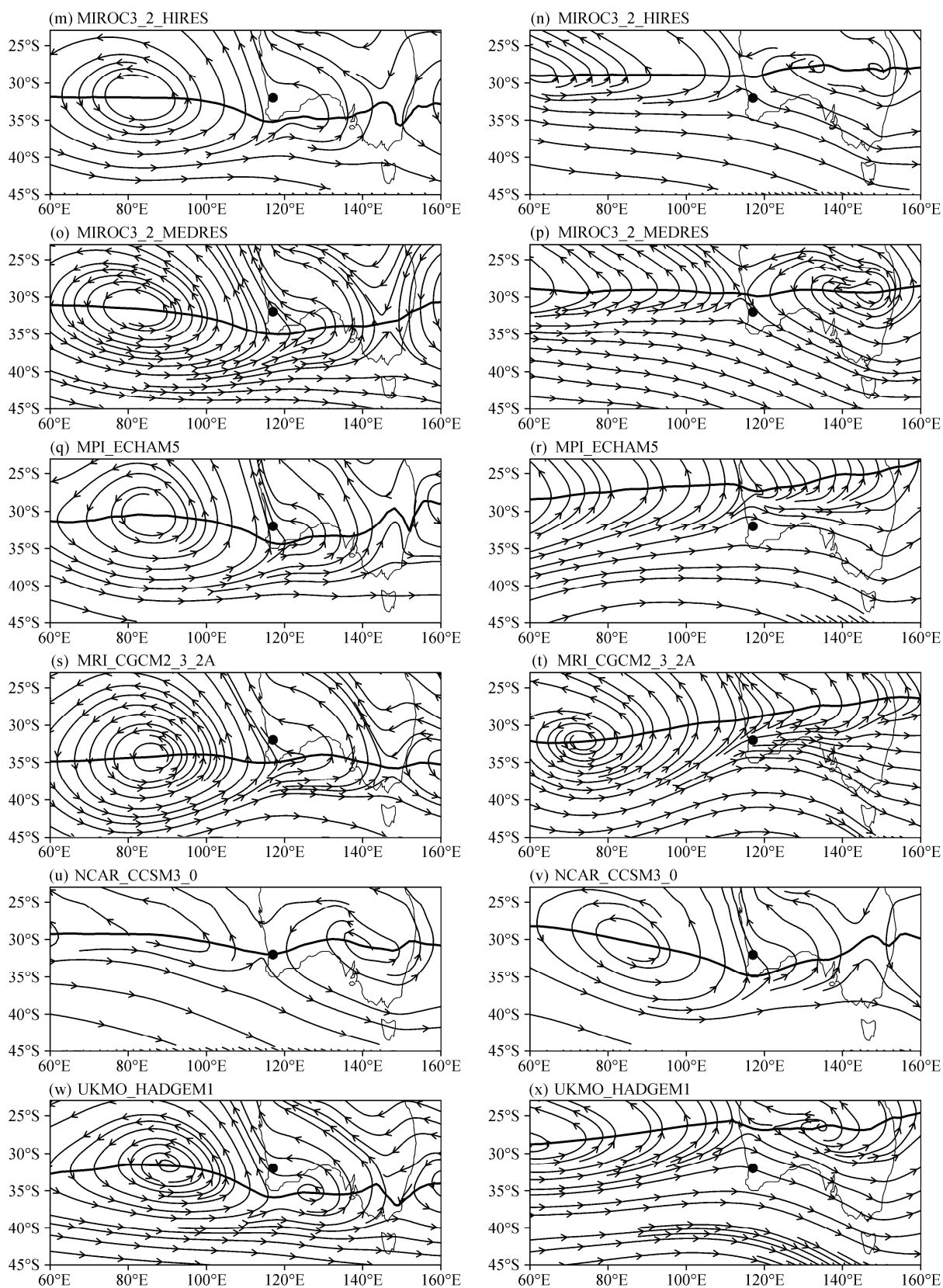


图2 (续)

Fig.2 (Continued)

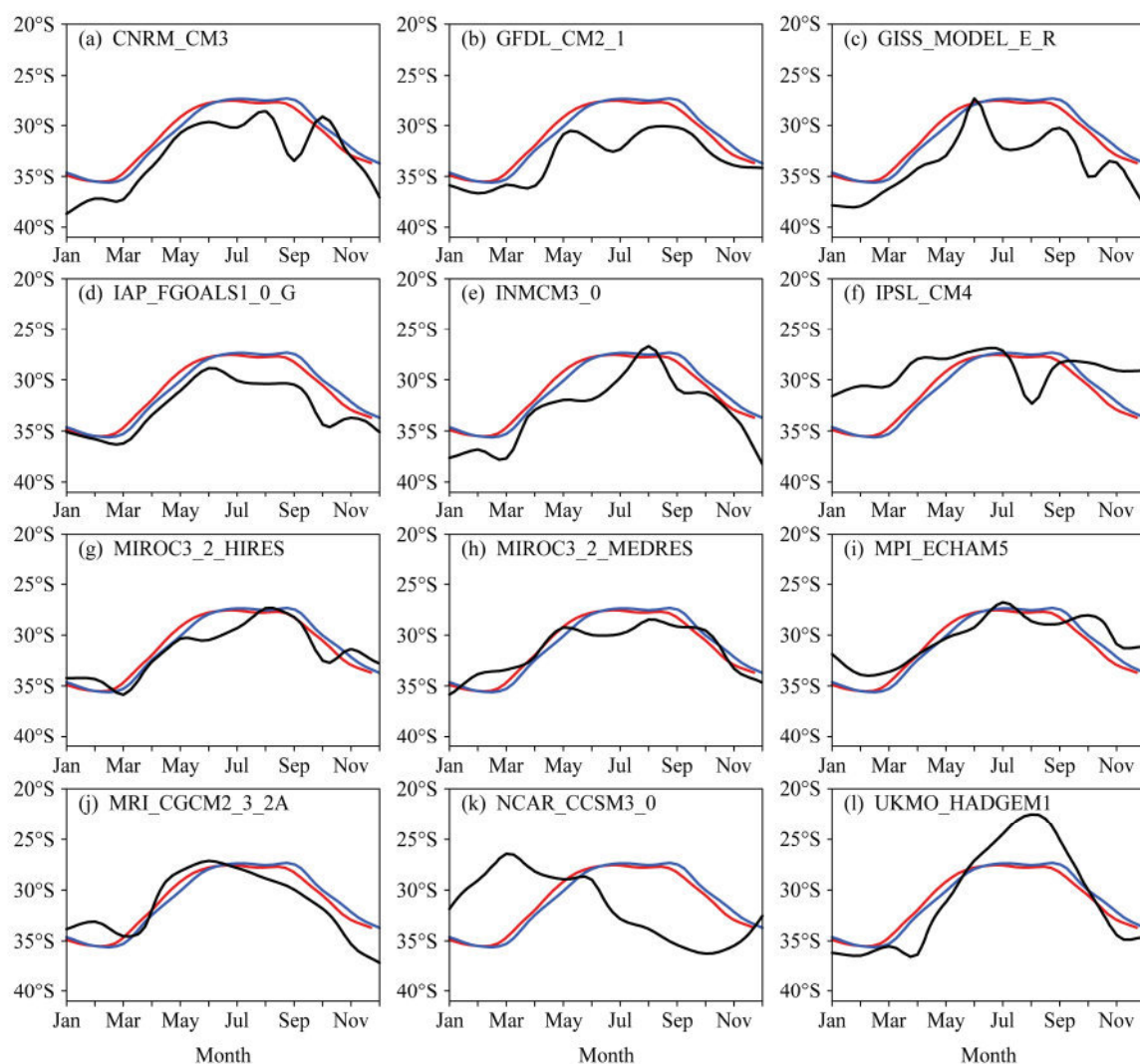


图3 观测的和模式模拟的纬向平均(100°E~145°E)的副高脊线位置的季节循环。红线和蓝线分别为 NCEP/NCAR 以及 ERA-40 再分析资料的结果,黑线为模式资料的结果

Fig.3 The averaged position of the subtropical high ridge at the meridional scale of the SWAC domain (100°E~145°E). The red, blue, and black lines indicate NCEP/NCAR, ERA-40, and AMIP models, respectively

是没有任何一个模式能较好的模拟出副高脊线位置的季节演化特征。相对来说, MPI_ECHAM5、MRI_CGCM2_3_2A 和 MIROC3_2_HIRES 较好的反映了副高脊线位置的季节性移动特征。另外, IAP_FGOALS1_0_G 在 5 月份之前对于副高脊线位置的模拟很好,但是之后表现不好。值得注意的是 CAM3 模式对于副高脊线移动方向模拟结果与观测结果是完全相反的;同时在 IPSL_CM4 中,副高位置在 8 月份出现了南撤、UKMO_HADGEM1 则在 8 月份出现了突然的北跳,与观测结果相比存在较大误差。与对环流场季节特征的模拟结果相比,各模式对于 SWAC 区域环流季节循环的模拟能力较差。这说明,大气环流模式对于南半球副热带高压的年循环模拟能力有待提高,对副热带高压的季节性移动

及其影响因素的研究有待加强。

进一步我们分析了各个模式对于澳大利亚西南部地区降水季节演化特征的模拟能力。如图 4 所示,与对副高脊线位置模拟结果相似, NCAR_CAM3 模式模拟的降水季节推进与观测结果相反,雨季出现在南半球夏季而非冬季;其余模式基本可以再现澳大利亚西南部地区雨季为冬季的特征,但是对于降水的量级、季节演化特征模拟均表现出较大的不确定性。

3.3 对西南澳类季风环流型的模拟

Feng et al. (2010) 指出 SWAC 的强、弱变化与邻近区域大气环流异常的变化紧密相连。在强 SWAC 年,澳洲区域的中纬度表现为显著的负海平面气压异常,伴随着异常的西风,从而有利于降水

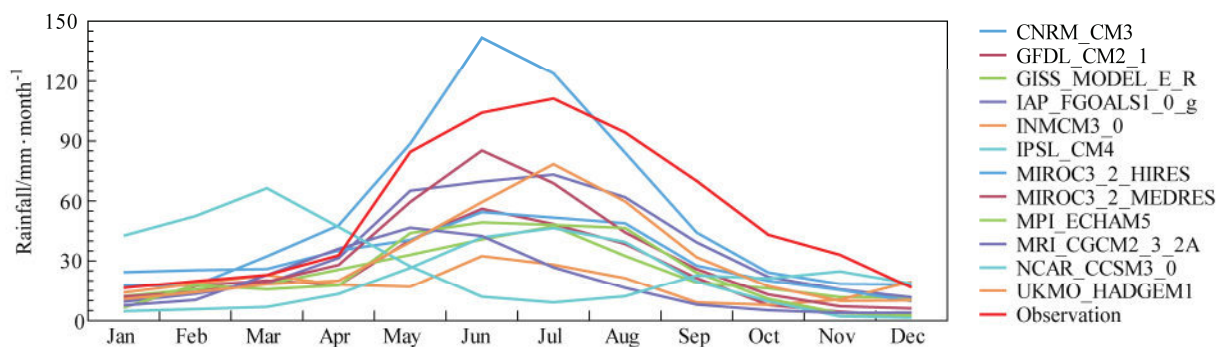


图4 AMIP 各个模式及观测的澳大利亚西南部地区降水的季节演化特征

Fig. 4 Annual cycle of the SWWA rainfall from AMIP models and observations

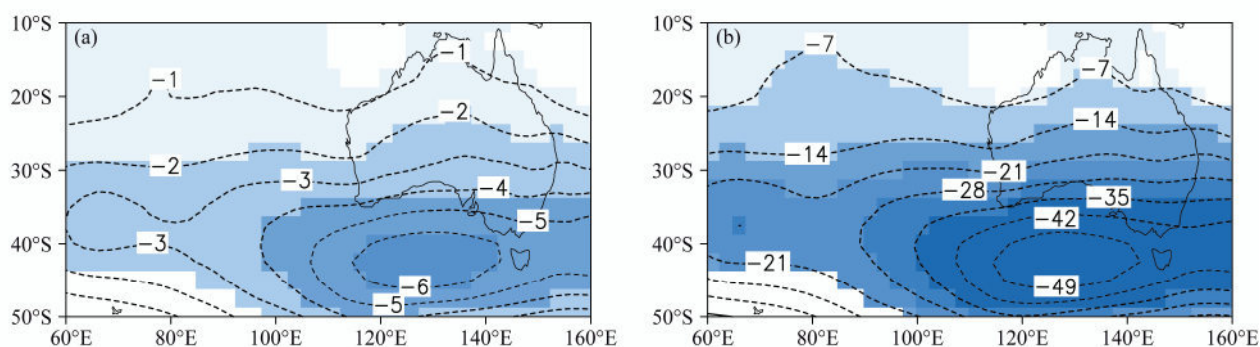


图5 1980~1999 年观测的 SWACI 回归的海平面气压场 (左列, 单位: Pa) 和 925 hPa 的位势高度 (右列, 单位: gpm) 的水平分布, 蓝色阴影表示通过 0.05 显著性检验的区域

Fig.5 The regression pattern of the SWACI respective to the observational sea level pressure (left column, units: Pa) and geopotential height at 925 hPa (right column, units: gpm). The blue shaded areas denote significance at the 0.05 level

的产生; 而弱 SWAC 年则对应着相反的环流形势。鉴于此, 我们考察了 AMIP 的大气环流模式对于与 SWAC 相联系的异常环流型的模拟能力。

图 5 给出了 1980~1999 年观测的 SWACI 回归的海平面气压场和位势高度场的空间分布。可以看出, SWAC 异常在海平面气压与位势高度上表现出相似的结构, 均对应着中纬度的显著负异常。因此, 我们仅选取海平面气压来考察模式对于 SWAC 所对应的异常环流型的模拟性能。总体来说, 除了 NCAR_CAM3 模式以外, 基本上所有模式均能再现 SWAC 所对应的环流异常特征, 但是对于异常范围以及其中心位置则基本不能很好模拟 (图 6)。这说明模式对于与 SWAC 相联系的大尺度环流特征有一定的模拟能力。

3.4 对西南澳类季风环流年际变化的模拟

以上结果表明, 除了 NCAR_CAM3 以外, 基本上所有模式均能较好的刻画与 SWAC 相联系的异常环流型, 那么模式对 SWAC 的年际变率是否有较好的模拟能力呢?

图 7 给出了观测和模式模拟的 6~8 月平均的 SWACI 的标准化时间序列。可以看出, 基本上所有的模式均不能很好的刻画出 SWAC 的年际变化特征。表 2 给出了各个模式模拟的 SWACI 所对应的标准差及其与观测 SWACI 之间的相关系数。可以看出, 基本上所有模式均不能很好的刻画出 SWAC 的年际变化。有 5 个模式模拟的年际变率偏大 (分别为: CNRM_CM3、IAP_GMAIL、MIROC_HIRES、MPI_ECHAM5 和 UKMO_HADGEM1), 而其余模式模拟的 SWAC 的年际变率则较小。

同时 NCAR_CAM3 模式虽然不能够模拟出澳大利亚区域环流的季节特征, 但是其模拟的 SWACI 与观测结果之间的相关系数达到了 0.66。这可能与 NCAR_CAM3 模式模拟的季节循环与观测结果相反有关系。因为 SWACI 的计算同时取决于与分析的季风期相反变化的气候背景。而如文中所示, NCAR_CAM3 模式对于澳洲区域的副高脊线位置模拟结果是观测资料相反的, 也即此模式模拟的西南澳洲区域的季节循环是与观测相反的。而计算

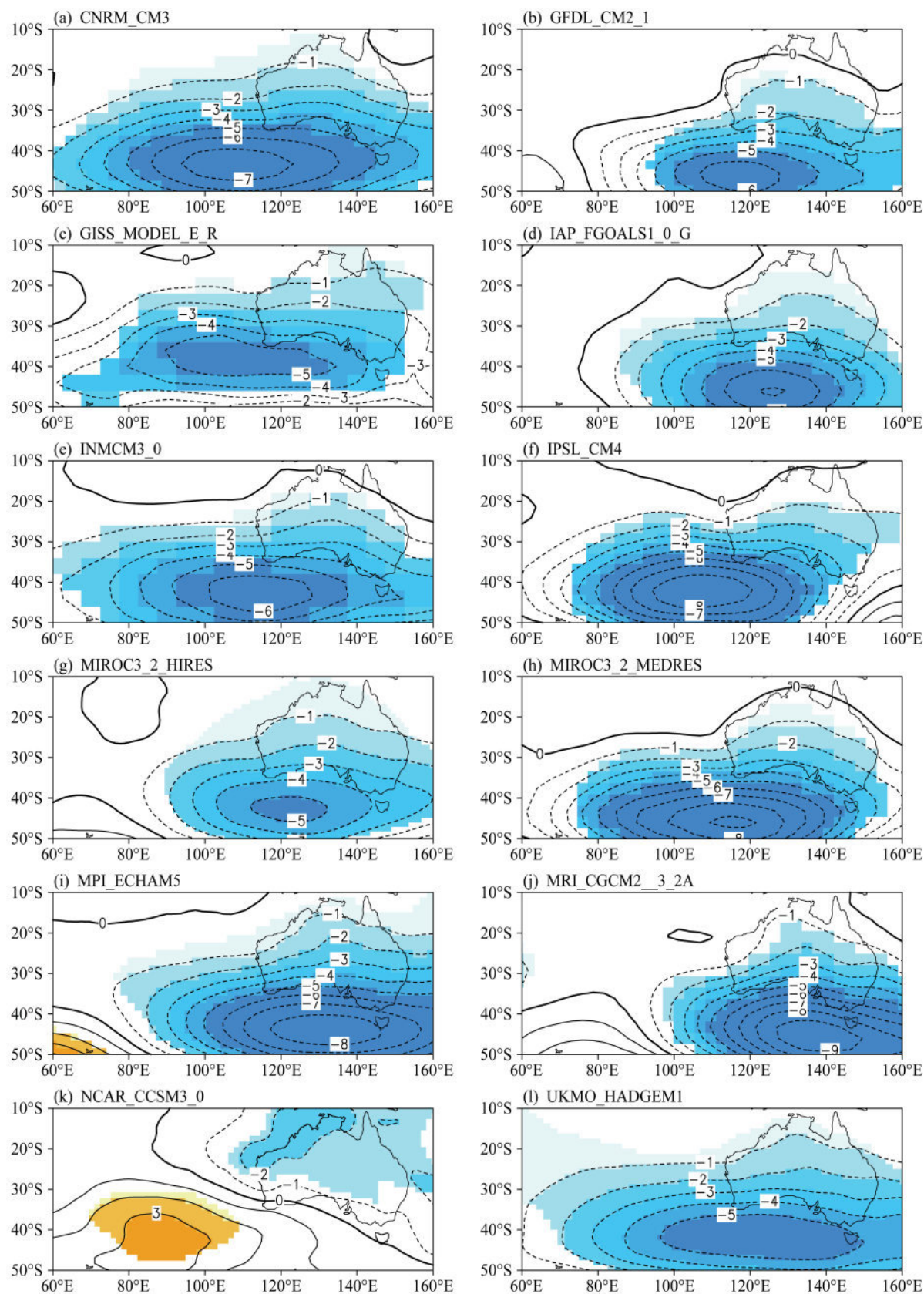


图 6 1980~1999 年模式模拟的 SWAI 回归的海平面气压场 (单位: Pa) 的水平分布。黄色、蓝色阴影分别表示通过 0.05 正、负显著性检验的区域

Fig. 6 The regression pattern of the SWAI respective to the sea level pressure (Pa) from the AMIP modes. The yellow and blue shaded areas denote positive and negative significance at 0.05 level

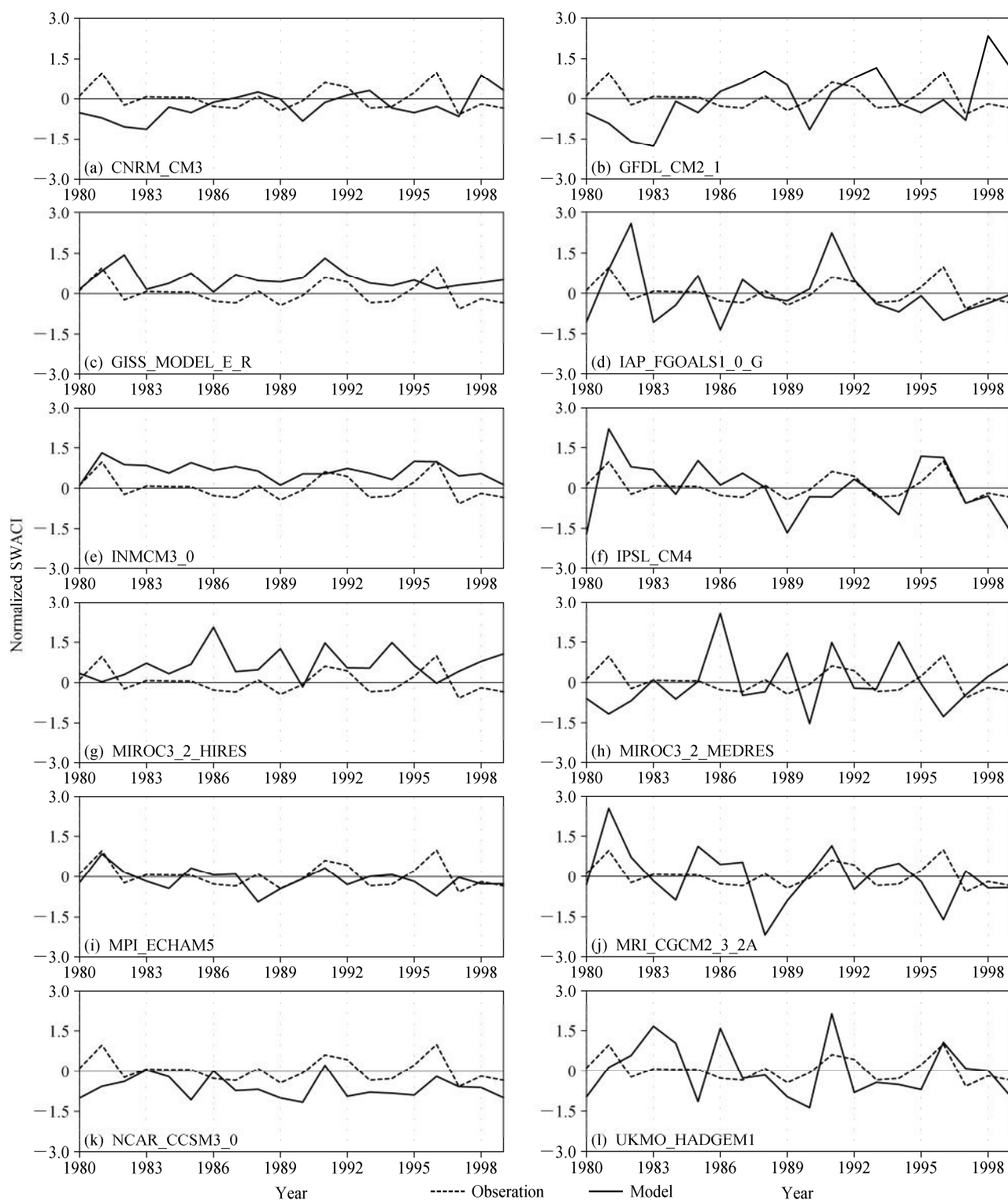


图7 1980~1999年观测和模式模拟的SWACI在6~8月的标准化时间序列

Fig.7 The normalized time series of SWACI from NCEP/NCAR (dashed line) and AMIP models (solid line) from June to August during 1980-1999

SWACI 的时候,其大小取决于1月与7月风速之差的范数(绝对值),因此相反的季节循环并没有影响其对 SWACI 的值产生影响。这在一定程度上说明,模式对于大尺度环流系统季节特征的模拟能力

与其对于年际变率的模拟能力之间没有必然的联系。有可能模式对于季节特征的模拟不好,但是却能很好的捕捉其年际变率。因此,当分析模式的模拟性能时,必须指出模拟的时间尺度。另一方面,

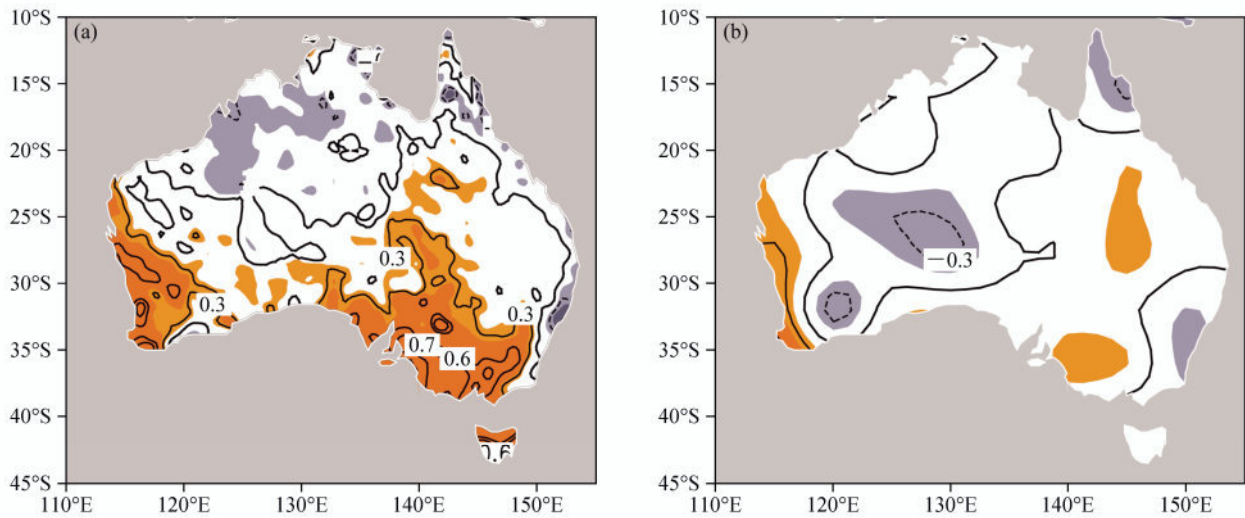


图 8 SWACI 与澳大利亚降水在 6~8 月时段的相关分布: (a) 观测结果; (b) GISS_MODEL_E_R 模式结果。红、蓝色阴影分别表示通过了显著性水平为 0.1 的正、负显著性检验的区域

Fig.8 The correlation pattern between the SWACI and Australian rainfall from June to August of (a) NCEP/NCAR and (b) GISS_MODEL_E_R. The red and blue shaded areas denote regions of positive and negative significance at the 0.1 level

也说明本文所使用的季风指数的合理性,更能准确的反映季风环流的年际变率。其次,MIROC_HIRES 和 MIROC_MEDRES 两个模式的区别仅在于分辨率,但是对于 SWAC 年际变率的模拟却表现出较大差别,前者模拟的年际变率较大,而后者较小。总而言之,综合 12 个大气环流模式,相比于其它模式,GISS_MODEL_E_R 略能较好的反映 SWAC 的季节特征、所对应的环流型以及年际变化,而 NCAR_CAM3 则较好的反映了 SWAC 的年际变率。

表 2 模式模拟的 SWACI 与观测 SWACI 之间的相关系数以及对应的标准差和方差

Table 2 The correlation coefficients between the models simulated SWACI and the observed SWACI, and their corresponding standard errors and variance

来源	相关系数	标准差	方差
NCEP/NCAR	1	0.43	0.19
CNRM_CM3	-0.17	0.49	0.24
GFDL_CM2_1	0.20	0.35	0.12
GISS_MODEL_E_R	0.58*	0.31	0.10
IAP_FGOALS1_0_G	-0.33	0.54	0.29
INMCM3_0	0.10	0.38	0.15
IPSL_CM4	0.30	0.39	0.16
MIROC_HIRES	0.38	0.53	0.28
MIROC_MEDRES	0.12	0.32	0.10
MPI_ECHAM5	0.26	0.68	0.46
MRI_CGCM2_3	0.14	0.38	0.14
NCAR_CCSM3.0	0.66*	0.22	0.05
UKMO_HADGEM1	0.30	0.63	0.40

*表示相关系数通过了 0.05 显著性水平检验。

图 8 给出了观测的 SWACI 和 GISS_MODEL_E_R 模式模拟的 SWACI 与降水的空间相关分布。可以看到,两者均在 SWWA 地区表现出显著的正相关,也即 GISS_MODEL_E_R 基本上可以较好的捕捉 SWAC 环流对于 SWWA 地区冬季降水的影响。

4 小结和讨论

本文利用 NCEP/NCAR、ERA 再分析数据、观测降水与 IPCC AMIP 试验提供的 12 个大气环流模式结果进行了对比分析,从季节、年循环和年际变率特征几个方面,评估各大气环流模式对西南澳类季风环流(SWAC)的模拟能力。

首先,比较了各模式对澳大利亚冬、夏季环流特征的模拟能力。结果表明,除了 NCAR_CAM3 模式,其余模式基本上可以模拟出 SWWA 区域在对流层低层风向的季节性反转这一现象,并且能较好的模拟副热带高压脊线在冬、夏季节的北跳和南撤特征。但是与观测资料相比,模式对于副高脊线具体地理位置的模拟较差。另外,除了 NCAR_CAM3,其余模式均能较好的反映 SWAC 所对应的环流异常特征,也即在大尺度范围的季节特征上,模式对 SWAC 有较高的模拟技巧,但是对于异常的中心位置以及强度模拟能力则较差。

其次,评估了模式对于西南澳洲区域副高脊线位置季节循环的模拟性能。与观测相比,NCAR_

CAM3 模式对于副热带高压的季节循环模拟结果与观测资料基本相反。对比其余模式的模拟结果,副高脊线虽然表现出一定的类似季节循环的特征,但是在北跳时间、稳定位置、南撤时间、最北端和最南端位置的模拟上与观测资料相比均表现出较大的差异。这表明,模式对于 SWAC 区域环流的季节循环的模拟能力还存在较多不足之处,结果不甚理想。

最后分析了模式对 SWAC 年际变率的模拟能力。结果显示,除了 NCAR_CAM3 模式以外,其余模式均能再现与 SWAC 相联系的大尺度环流异常型,但是均不能较好的反映 SWAC 的年际变率大小及其对应的年际特征。

综合以上结果,可以看到大气环流模式对于澳大利亚西南部地区环流的年际特征、季节循环的模拟较差,而对于季节特征则有较好的模拟能力。那么导致大多数模式对澳大利亚西南部地区区域环流季节演化特征及其年际变化模拟不好的原因是什么?有待于进一步的研究。Feng et al. (2010) 的结果显示 SWAC 的变化与南印度洋海温异常有密切联系。这表明或许是由于模式对于南印度洋地区的区域气候特征的模拟能力较差,进一步利用敏感性数值试验,考察模式的响应,将会为改进该区域模式的模拟能力提供一定的参考。下一步我们将利用最新的 IPCC AR5 模式结果,进一步分析它们对于 SWAC 的模拟能力,从而选取对 SWAC 模拟性能较好的模式,开展敏感性数值试验、未来情景预估研究等。事实上,前人并没有注意到 SWAC 的存在,所以,进一步深入开展大气模式、海气耦合模式对于 SWAC 的模拟,揭示影响 SWAC 变化的可能原因,将有利于进一步提高模式的模拟能力,从而为研究 SWWA 地区降水变化的成因分析以未来的可能变化趋势预测提供必要的基础。

参考文献 (References)

- Feng Juan, Li Jianping, Li Yun. 2010. A monsoon-like southwest Australian circulation and its relation with rainfall in Southwest Western Australia[J]. J. Climate, 23: 1334–1353.
- Gates W, Mitchell J, Boer G, et al. 1992. Climate modelling, climate prediction and model validation[C]// Houghton J T, Callander B A, Varney S K, eds. Climate Change 1992: the Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge: Cambridge University Press, 97–134.
- Indian Ocean Climate Initiative. 2002. Climate variability and change in Southwest Western Australia[P]. Perth, 34pp.
- Irannejad P, Henderson-Sellers A. 2007. Evaluation of AMIP II global climate model simulations of the land surface water budget and its components over the GEWEX-CEOP regions[J]. Journal of Hydrometeorology, 8: 304–326.
- Jones D A, Bead G. 1998. Verification of Australian monthly district rainfall totals using high resolution gridded analyses[J]. Aust. Meteor. Mag., 47: 41–54.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR Reanalysis Project[J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77: 437–471.
- 李建平, 丑纪范. 1998. 副热带高压带断裂的动力学分析—地转作用[J]. 科学通报, 34 (3): 434–437. Li Jianping, Chou Jifan. 1998. Dynamics analysis on splitting of subtropical high-pressure zone-geostrophic effect[J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 43 (15): 1285–1289.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2000. Significance of the normalized seasonality of wind field and its rationality for characterizing the monsoon[J]. Science in China (D), 43: 647–653.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2002. A unified monsoon index[J]. Geophys. Res. Lett., 29: 1274, doi: 10/1029/2001GL013874.
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2003. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 20: 299–302.
- 李建平, 曾庆存. 2005. 一个新的季风指数及其年际变化和与雨量的关系[J]. 气候与环境研究, 10 (3): 351–365. Li Jianping, Zeng Qingcun. 2005. A new monsoon index, its interannual variability and relation with monsoon precipitation[J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 10 (3): 351–365.
- 李建平, 朱建磊. 2008. 晚春初夏西太平洋副热带高压南撤过程的气候学特征[J]. 气象学报, 66 (6): 926–939. Li Jianping, Zhu Jianlei. 2008. Climatological features of the western Pacific subtropical high southward retreat process in late-spring and early-summer[J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 66 (6): 926–939.
- Li Jianping, Zhang Li. 2009. Wind onset and withdrawal of Asian summer monsoon and their simulated performance in AMIP models[J]. Climatol. Dyn., 32 (7–8): 935–968, doi: 10. 1007/s00382-008-0465-8.
- Mao Jianping, Robock A. 1998. Surface air temperature simulations by AMIP General circulation models: Volcanic and ENSO signals and systematic errors[J]. J. Climate, 11: 1538–1552.
- 秦大河, 罗勇. 2008. 全球气候变化的原因和未来变化趋势[J]. 科学对社会的影响, (2): 16–21. Qin Dahe, Luo Yong. 2008. Causes of global climate change and future trends[J]. Impact of Science on Society (in Chinese), (2): 16–21.
- Uppala S M, Källberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis[J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 612: 2961–3012.
- 汪方, 丁一汇. 2008. 全球气候模式对东亚地区地表短波辐射的模拟检验[J]. 应用气象学报, 19 (6): 749–759. Wang Fang, Ding Yihui. 2008. Validation of simulation on surface shortwave radiation over East Asia by global climate models[J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 19 (6): 749–759.
- 肖栋, 李建平, 周秀骥, 等. 2010. 全球海气系统年代际突变时空特征的模拟评估[J]. 气象学报, 68 (6): 763–778. Xiao Dong, Li Jianping, Zhou Xiuji, et al. 2010. An evaluation of the spatiotemporal structures of the decadal abrupt changes in the global ocean-atmosphere system simulated

- by the coupled climate models [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 68 (6): 763–778.
- Zeng Qingcun. 1994. Proceedings of the Interannual Conference on Monsoon Variability and Prediction[R]. Trieste, Italy, 9–13 May, 1994. Vol. II. 452–459.
- 曾庆存, 张邦林. 1998. 大气环流的季节变化和季风[J]. *大气科学*, 22 (6): 805–813. Zeng Qingcun, Zhang Banglin. 1998. On the variation of atmospheric general circulation and the monsoon[J]. *Chinese Journal Atmospheric Science* (in Chinese), 22 (6): 805–813.
- 占瑞芬, 李建平, 何金海. 2004. 西太平洋副热带高压双脊线及其对 1998 年夏季长江流域“二度梅”的影响[J]. *气象学报*, 62 (3): 294–307. Zhan Ruifen, Li Jianping, He Jinhai. 2004. Influence of the double ridges of west Pacific subtropical high on the second Meiyu over the Yangtze River valley during 1998[J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 62 (3): 294–307.
- 张丽, 李建平. 2008. 风向变化研究特征季风模拟评估中的应用[J]. *大气科学*, 32 (1): 53–66. Zhang Li, Li Jianping. 2008. The variation of wind direction and its application on evaluating monsoon simulation[J]. *Chinese Journal Atmospheric Science* (in Chinese), 32 (1): 53–66.
- Zhang Li, Li Jianping. 2010. Twice wind onsets of monsoon over the Western North Pacific and their simulations in AMIP models[J]. *International Journal of Climatology*, 30: 582–600.
- 赵煜飞, 李建平. 2009. AMIP 模式对大气经向质量输送的模拟评估 [J]. *气象学报*, 67 (6): 983–999. Zhao Yufei, Li Jianping. 2009. Evaluation of AMIP models on simulating atmospheric mass meridional transport[J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 67(6): 983–999.
- 周天军, 赵宗慈. 2006. 20 世纪中国气候变暖的归因分析[J]. *气候变化研究进展*, 2 (1): 28–31. Zhou Tianjun, Zhao Zongci. 2006. Attribution of the climate warming in China for the 20th century[J]. *Advances in Climate Change Research* (in Chinese), 2 (1): 28–31.