

# 东亚夏季降水和高空急流关系的未来变化预估

戴翼<sup>①②</sup>, 陆日宇<sup>①\*</sup>

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

② 中国科学院大学, 北京 100049

\* 联系人, E-mail: lr@mail.iap.ac.cn

2012-08-20 收稿, 2012-09-20 接受, 2013-02-05 网络版发表

国家重点基础研究发展计划(2009CB421400)资助

**摘要** 利用 CMIP5(Coupled Model Intercomparison Project phase 5)中的 17 个模式, 基于历史试验、RCP4.5 以及 RCP8.5 排放情景下的模拟结果, 分析了东亚夏季降水及东亚高空急流的时空分布特征. 分析结果发现: 模式结果能较好模拟出东亚和西北太平洋地区降水和高空纬向风较强的年际变率, 以及东亚雨带降水异常和东亚高空急流南北偏移之间的相关关系. 此外, 预估结果表明在 RCP4.5 和 RCP8.5 两种排放情景下, 21 世纪东亚雨带降水以及高空急流的年际变率增强, 这与以往的研究结果吻合. 同时也发现, 虽然模式之间尚存在较明显的差异, 但是总体来说, 在全球变暖背景下, 东亚夏季雨带降水异常和东亚高空急流南北偏移之间的关系将变得更加密切.

## 关键词

东亚夏季降水  
东亚高空急流  
年际变率  
相关关系  
预估

东亚季风对中国东部地区、朝鲜半岛和日本中南部地区具有重要的社会和经济影响, 东亚夏季风的变异所引发的旱涝灾害是东亚最主要的自然灾害, 常常给本地区带来重大损失. 东亚夏季降水的年际变率与旱涝灾害的发生频次有重要的联系, 因此, 降水年际变率可以作为衡量全球变暖后旱涝灾害的发生频次如何变化的一个重要的近似指标.

许多预估结果指出东亚夏季降水量在全球变暖背景下将会增加<sup>[1-5]</sup>. 同时, 也有研究指出, 降水量的增加会引起降水年际变率的相应增强, 未来东亚夏季降水的年际变率将会增强<sup>[6,7]</sup>. 然而, Lu 和 Fu<sup>[7]</sup>的分析结果表明, 在全球变暖背景下, 东亚夏季降水年际变率的增强幅度远远高于降水量的增加幅度, 从而预示着将来旱涝灾害的发生可能会更加频繁.

东亚夏季降水与东亚高空急流有密切的关系. 东亚夏季高空急流作为中纬度地区对流层上层和平流层下层大气环流系统的一个重要组成部分, 呈现出独特的变化规律<sup>[8,9]</sup>, 其位置和强度的变化对东亚

夏季气候异常有重要的影响<sup>[10-12]</sup>. 东亚高空急流在年际变化时间尺度上主要表现为经向上的移动<sup>[13]</sup>. 急流的南北偏移与东亚夏季雨带降水的关系密切, 当急流位置偏南(北)时, 东亚夏季降水偏多(少)<sup>[11,14]</sup>. 因此, 深入认识东亚夏季高空急流的年际变化规律及其与东亚降水的关系对于更好地掌握东亚旱涝灾害的发生规律具有重要的意义.

目前, 尽管对全球变暖背景下东亚地区夏季降水变化的预估已有不少的研究, 对急流的变化趋势也有研究<sup>[15]</sup>, 但是对未来东亚夏季降水与高空急流关系的变化趋势进行的针对性研究很少. 而认识这种关系的变化趋势不仅可以使我们更好地认识东亚夏季降水和东亚高空急流的变化趋势, 还可以有助于深入认识东亚气候的可预测性.

Lu 和 Fu<sup>[7]</sup>分析 CMIP3 的结果表明, 在全球变暖背景下, 东亚夏季降水异常和东亚高空急流之间的相关关系没有显著改变. 这主要表现在如下两个方面: 一是多模式集合平均的结果表明这两者之间的

**引用格式:** 戴翼, 陆日宇. 东亚夏季降水和高空急流关系的未来变化预估. 科学通报, 2013, 58: 717-723

**英文版见:** Dai Y, Lu R Y. Projected change in the relationship between East Asian summer rainfall and upper-tropospheric westerly jet. Chin Sci Bull, 2013, 58, doi: 10.1007/s11434-012-5540-1

相关系数没有明显改变;二是各个模式预估结果之间差别非常大,使得东亚夏季降水与高空急流之间关系的预估结果更加具有不确定性.耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5)给我们提供了再次预估东亚夏季降水与高空急流关系变化的机会,这正是本研究的出发点.

## 1 资料和方法

本文分析的资料主要为CMIP5中的17个模式在3个情景下的模拟结果.表1介绍了各个模式的基本情况.各个模式更加详细的信息参见<http://www.pcmdi.llnl.gov/cmip5>.我们可以利用这些数量的模式模拟结果,通过分析模式间的差异定性判别预估结果中存在的确定性.3个试验分别是历史试验(historical)和两个未来情景试验:RCP4.5, RCP8.5.历史试验相当于IPCC AR4中的20世纪模拟试验(20C3M),采用随时间变化的强迫场包括温室气体、太阳常数、火山活动、臭氧和气溶胶.新一代情景称为“典型浓度路径(representative concentration pathway, RCP)”,RCP4.5, RCP8.5是该情景在2100年达到的辐射强迫约为4.5和8.5 W/m<sup>2</sup>,分别代表了温室气体中等排放以及高排放情景.

CMIP5和CMIP3之间的主要区别之一是前者的

表1 模式的基本信息

模式	国家	大气水平分辨率
CanESM2	加拿大	2.8°×2.8°
CCSM4	美国	0.9°×1.3°
CNRM-CM5	法国	1.4°×1.4°
Fgoals-g2	中国	3.0°×2.8°
Fgoals-s2	中国	1.7°×2.8°
GFDL-CM3	美国	2.0°×2.5°
GFDL-ESM2G	美国	2.0°×2.5°
GISS-E2-R	美国	2.0°×2.5°
HadGEM2-CC	英国	1.3°×1.9°
HadGEM2-ES	英国	1.3°×1.9°
INMCM4	俄罗斯	1.5°×2.0°
MIROC5	日本	1.4°×1.4°
MIROC-ESM	日本	2.8°×2.8°
MIROC-ESM-CHEM	日本	2.8°×2.8°
MPI-ESM-LR	德国	1.9°×1.9°
MRI-CGCM3	日本	1.1°×1.1°
NorESM1-M	挪威	1.9°×2.5°

模式分辨率普遍高于后者.很多研究表明,提高气候模式水平分辨率对改进东亚地区气候的模拟性能是十分重要的<sup>[16-18]</sup>.模式分辨率的提高以及其他一些改进可能会使得CMIP5的预估结果显著不同于以往利用CMIP3所得到的结果.

因为各个气候模式之间存在动力框架、参数化方案、分辨率等的不同,所以会出现在相同或相似的外强迫下(如温室气体),各模式的模拟结果存在不同程度的差异.然而,由于难以确定各个模式预估结果之间的优劣性,我们不能确定哪些模式中能够更准确地预估出未来的气候变化.因此,本文采用等权重系数来求取多模式集合平均,这也是在气候预估研究中广泛使用的方法.前人的研究工作指出多模式集合平均的结果较单个模式具有更为可靠的模拟能力<sup>[19,20]</sup>.

由于模式的水平分辨率各不相同,为了分析多模式集成结果,将各个模式的结果插值到2.5°×2.5°的经纬度网格上,这样也就和再分析资料的水平分辨率保持一致.本文使用了NCEP/NCAR再分析资料以及全球降水气候学计划(GPCP)降水资料.

系用标准偏差来简单地定量描述年际变率的强度,用相关系数描述两个变量之间关系的强弱.模式模拟能力评估分析的时间段对环流场为1958~2005年,对降水场为1979~2005年;而对21世纪的预估分析时间段为2006~2099年,对照的20世纪模拟则为1900~2005年.这些时间段的长度可以给出较为可靠的年际变率强度和关系强弱.在计算年际变率和相关系数时,先进行滤波剔出了时间尺度大于9年的分量.

## 2 模式模拟能力的简单评估分析

图1给出了再分析资料以及多模式集合平均的夏季(6~8月)200 hPa纬向风气候态以及年际变率的水平分布.对于夏季平均的气候态而言,再分析资料中200 hPa上急流轴处于40°N附近,急流最大值位于青藏高原北部,最大风速超过30 m/s.尽管各个模式之间存在明显的差异,如有些模式模拟的急流最大值位于北太平洋(图略),但是模式集合平均的结果能较好地模拟出高空急流的主要空间分布特征,模拟的急流轴位于40°N附近,急流最大值也位于青藏高原北部,而且急流轴的南北摆动特征也基本上与观测的一致(图1(b)).然而,模式集合平均的急流

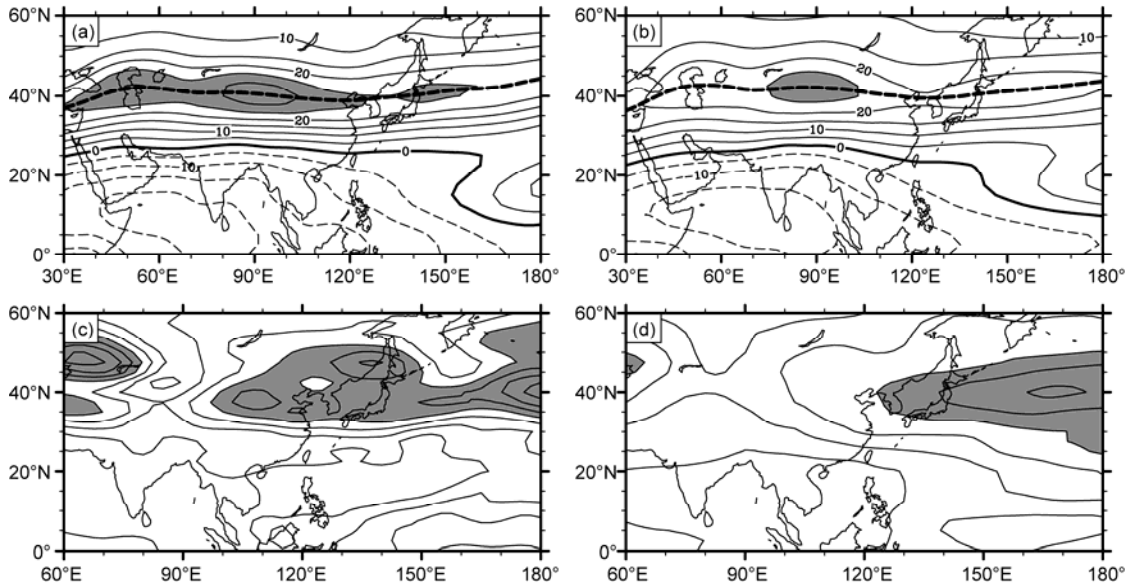


图 1 夏季 200 hPa 纬向风的气候态((a), (b))与年际标准差((c), (d))

(a), (c)为观测结果; (b), (d)为模式集合平均的结果. (a), (b)中等值线间距为 5 m/s, 阴影区为大于 25 m/s 的区域; (c), (d)中等值线间距为 0.5 m/s, 阴影区为大于 3.5 m/s 的区域, 略去小于 2.0 m/s 的等值线

与观测存在比较明显的差异. 这种差异首先体现在模拟的急流强度比观测明显偏弱, 大体上具有 5 m/s 的差别. 此外, 差异还表现在急流的宽度上, 模式模拟的急流较观测的偏宽. 模式模拟急流的这些不足和模式模拟的经向温度梯度偏弱有关<sup>[8,21]</sup>.

在观测中, 200 hPa 纬向风的年际变率有两个大值区, 其一为东亚中纬度地区, 并向东延伸到北太平洋地区, 这对应着东亚高空急流具有显著的年际变化特征<sup>[10]</sup>; 另一大值区位于乌拉尔山脉附近(图 1(c)). 模式集合平均的结果与观测大致相同, 较好地给出了这两个年际变率大值区的位置, 尽管集合平均的模拟结果未能分辨出年际变率强度在东亚中纬度地区的细部分布特征, 而且模拟的年际变率强度较观测的偏弱.

图 2 为 GPCP 资料以及模式集合平均的夏季降水以及降水年际标准差的空分布. 在 GPCP 资料中, 图中所给出的区域中有 4 个降水大值区, 分别位于印度西海岸、孟加拉湾东部、南海东部、菲律宾海并向东延伸到热带太平洋. 集合平均的模拟结果较好地抓住了这些分布特征, 尽管在青藏高原南侧存在明显较强的降水区. 在东亚地区, GPCP 资料给出的雨带呈西南-东北向分布, 中国华南地区、长江流域、朝鲜半岛、日本南部均有较多的降水, 构成了东亚夏季

雨带. 集合平均的结果大体上体现出了呈西南-东北向分布的东亚夏季雨带, 但较观测位置偏南, 且强度稍弱.

降水年际标准差的空分布与降水量的分布相似, 即降水量大的地区年际变率也较大(图 2(c)), 这一点在印度西海岸、孟加拉湾东部和南海东部得到了很好的体现. 而在菲律宾海以及其北部西北太平洋和东亚雨带, 降水年际标准差相对于降水总量的比值较其他地区大. 集合平均的结果较好地模拟出降水年际标准差的空分布, 尽管在印度洋模拟得偏强、而在西北太平洋偏弱一些. 总体来说, 相比于降水量的模拟, 降水年际变率强度的模拟更接近观测结果. 模拟的降水标准差与观测的空间相关系数为 0.847, 高于模拟的降水量与观测的空间相关系数 0.829, 说明气候模式模拟年际变率的能力稍强于模拟降水量的能力.

### 3 东亚高空急流、东亚降水以及两者之间的关系变化预估

图 3 为 200 hPa 纬向风和降水量在 RCP4.5 排放情景下 2006~2099 年相对于 20 世纪的变化预估结果. 在东亚大陆上, 沿着 40°N 附近有 1 m/s 以上的增加, 21 世纪急流有增强的趋势(图 3(a)). 这与张耀存和郭

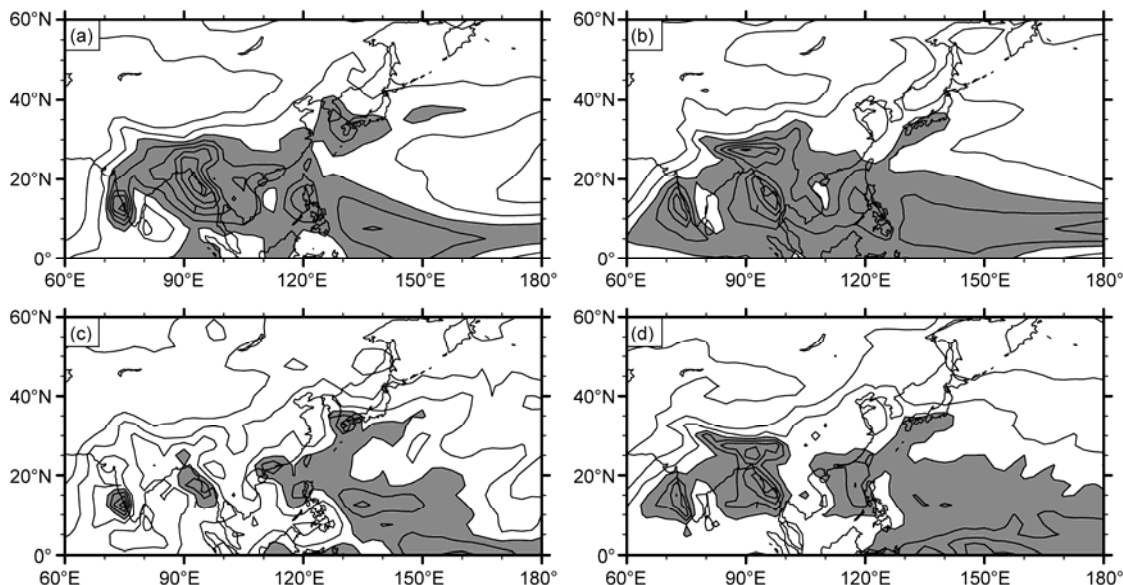


图2 同图1, 但为夏季降水的气候态和年际标准差

(a), (b)中等值线间隔为 2 mm/d, 阴影区为大于 6 mm/d 的区域; (c), (d)中等值线间隔为 0.4 mm/d, 阴影区为大于 1.6 mm/d 的区域

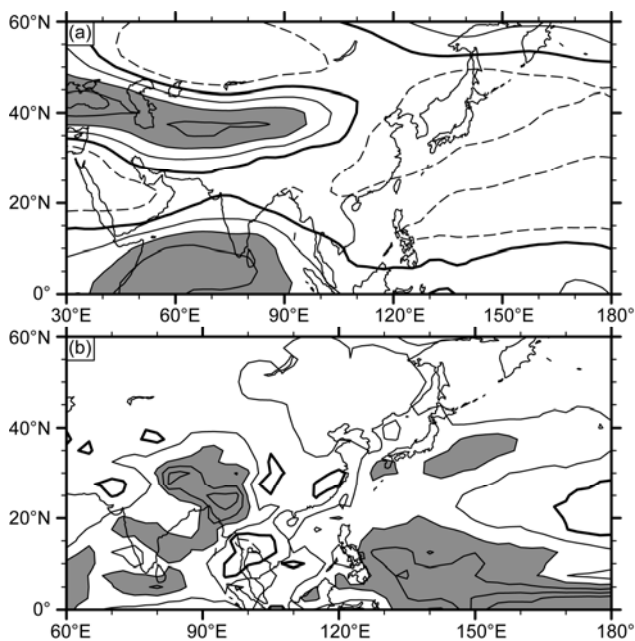


图3 RCP4.5 排放情景下, 夏季 200 hPa 纬向风(a)和降水(b)的气候平均态在 21 世纪的变化

(a)中等值线间距为 0.5 m/s, 阴影区为大于 1 m/s 的区域; (b)中等值线间隔为 0.2 mm/d, 阴影区为大于 0.4 mm/d 的区域

兰丽<sup>[15]</sup>的结果是一致的. 而在我们所关注的东亚沿海地区和西北太平洋地区, 纬向风有微弱的减少. 除了少数一些小的区域之外, 在图 3(b)所给出的区域中,

未来夏季降水量均呈现出增加的趋势. 东亚及其周边地区的降水也呈增加的趋势, 特别是在西北太平洋和东北亚地区降水增加较明显, 这大体上与以往的研究结果一致<sup>[2,4,22-24]</sup>.

我们也分析了 200 hPa 纬向风和降水量在 RCP8.5 排放情景下的变化预估结果(图略), 基本和 RCP4.5 排放情景的结果一致, 即在东亚沿海和西北太平洋 200 hPa 纬向风变化不明显, 而降水量呈增加的趋势.

图 4 给出了 200 hPa 纬向风和降水的年际标准差在 RCP4.5 排放情景下的变化预估结果. 图 4(a)中可以看到在东亚和西北太平洋地区纬向风的年际变率呈增强的趋势. 有趣的是, 在夏季高空急流轴所在的位置(40°N 附近), 年际标准差呈现出很弱的变化, 而其南北两侧标准差均增强. 这说明在全球变暖背景下, 东亚高空急流的年际变率增强主要体现为高空急流南北偏移的特征加强, 而不是表现为急流强度变异幅度的增强.

在变暖背景下, 绝大部分地区, 包括东亚和西北太平洋地区, 降水的年际变率增强(图 4(b)). 这种增强更为明显地出现在华南和副热带西北太平洋. 以往的研究结果也表明大部分气候模式都给出未来东亚夏季降水的年际变率将会增强的预估结果<sup>[6,7]</sup>, 这与本文的分析结果一致.

东亚夏季高空急流与东亚降水有密切的关系,

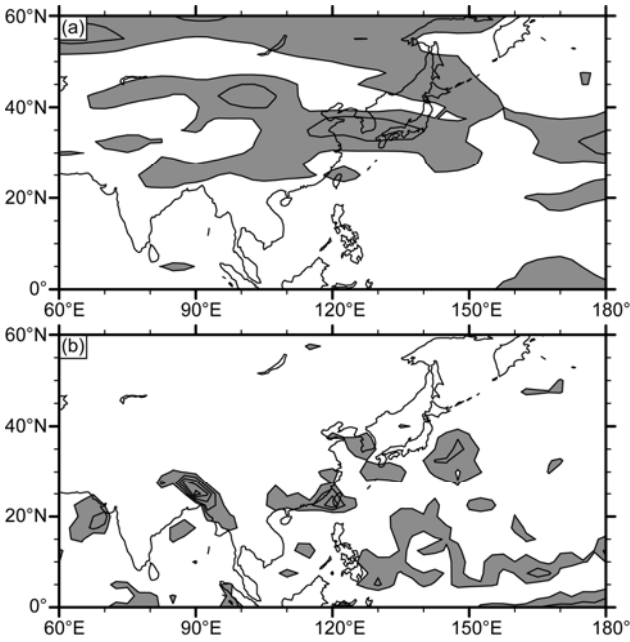


图4 RCP4.5 情景下, 200 hPa 纬向风(a)和降水(b)的年际变率变化情况

(a)中等值线间距为 0.1 m/s, 阴影区为大于 0.1 mm/d 的区域; (b)中等值线间距为 0.1 mm/d, 阴影区为大于 0.1 mm/d 的区域

急流位置的南北移动对东亚夏季雨带的降水异常有重要的影响. 下面将探讨东亚夏季降水异常与东亚高空急流南北偏移之间的关系在全球变暖背景下可能发生的变化.

为了做定量化分析, 选择指数分别表征急流南北移动和东亚降水. 首先, 采用 Lu<sup>[11]</sup>定义的东亚高空急流指数(EAJI), 其定义为: (120°~150°E, 30°~40°N)和(120°~150°E, 40°~50°N)区域平均的 200 hPa 纬向风的差值. 该指数为正时, 急流位置偏南; 指数为负时, 急流位置偏北. 此外, 采用 Lu 和 Fu<sup>[7]</sup>定义的东亚降水指数(EASRI), 其定义为: 以(100°E, 25°N), (100°E, 35°N), (160°E, 30°N), (160°E, 40°N)4 个点为顶点的平行四边形区域平均的夏季降水. 该指数能较好地描述呈西南-东北向的东亚夏季副热带雨带的降水. 我们用这两个指数之间的相关系数(CC)来表示夏季高空急流和降水的关系.

图 5 是 RCP4.5 和 RCP8.5 两个排放情景下未来东亚夏季降水指数年际变率的变化. 可以看到在全球变暖背景下, 东亚夏季降水的年际变率增强. 在 RCP4.5 排放情景下, 对于东亚夏季降水的年际变率, 除了 CanESM2 和 GISS-E2-R 两个模式有很小的减弱

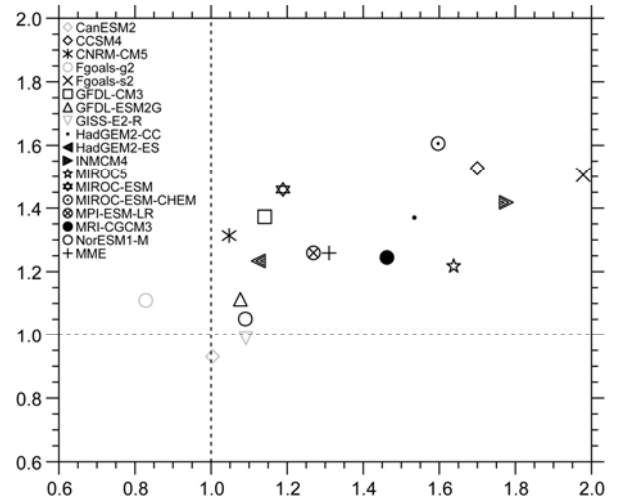


图5 RCP4.5 和 RCP8.5 两个排放情景下 21 世纪东亚夏季降水指数年际变率的变化  
纵坐标为 RCP4.5 情景下 21 世纪年际变率相对于 20 世纪的比率, 横坐标为 RCP8.5 情景下的比率

(<0.1)之外, 其他模式的结果均显示 21 世纪东亚夏季降水的年际变率有增强的趋势. 与之相类似地, 在 RCP8.5 高排放情景下, 除了 Fgoals-g2 模式, 其他模式的结果均显示东亚夏季降水的年际变率在 21 世纪有增强的趋势. 有 10 个模式在 RCP8.5 高排放情景下年际变率的增强幅度强于 RCP4.5 排放情景. 意味着未来温室气体排放的越多, 东亚降水的年际变率越大.

图 6 是在 RCP4.5 和 RCP8.5 两个排放情景下, 21 世纪东亚夏季降水与东亚高空急流关系的变化情况. 在 RCP4.5 排放情景下(图 6(a)), 大部分(12 个)模式的结果显示 21 世纪东亚夏季降水指数与东亚高空急流指数的相关系数增大, 即它们的关系将变得更加密切. 而在 RCP8.5 高排放情景下(图 6(b)), 预估出关系增强和减弱的模式各占一半左右, 表明在 RCP8.5 高排放情景下, 未来东亚夏季降水和高空急流之间的关系的变化存在很大的不确定性.

在变暖背景下, 东亚夏季降水的年际变率增强可能是导致东亚降水与高空急流之间关系增强的原因之一. 由于东亚夏季雨带的降水异常可以引起高空急流的南北偏移<sup>[25]</sup>, 因此, 降水变率增强可以导致东亚高空急流南北偏移和东亚雨带降水异常之间的关系变得更加显著. 然而, 由于东亚高空急流还存在较明显的年代际变化<sup>[26,27]</sup>, 同时急流南北偏移的形成机理复杂, 如涉及瞬变波的反馈作用等<sup>[28]</sup>, 而且, 除了东亚高空急流, 影响东亚夏季降水异常的影响

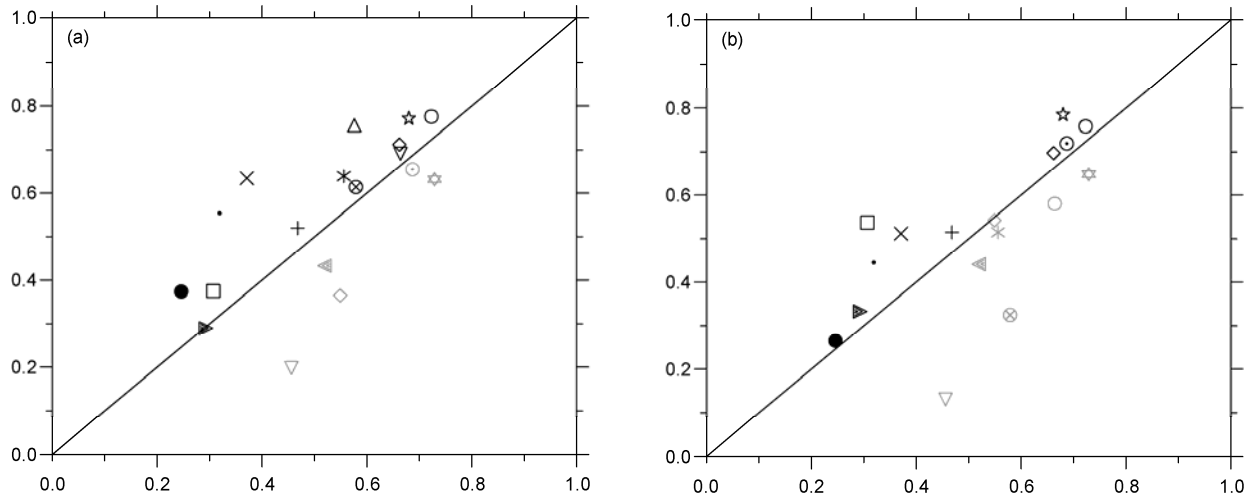


图6 RCP4.5(a)和RCP8.5(b)两个排放情景下21世纪东亚夏季降水指数与东亚高空急流指数相关系数的变化情况  
纵坐标表示RCP4.5或RCP8.5情景下21世纪的相关系数,横坐标为20世纪情景下的相关系数.图中模式标志同图5

响因子还有很多,因而,对两者之间的关系未来可能发生的变化还需更多的研究.此外,在研究东亚高空急流和降水变化时,还应注意欧亚大陆陆地表面温度变化所引起的影响<sup>[29,30]</sup>.

#### 4 结论

本文利用CMIP5 17个模式的输出结果,分析了两种排放情景下东亚夏季高空急流、东亚夏季降水、以及两者之间的联系可能发生的变化,结果表明:

(1) 多模式集合平均结果能较好地模拟出东亚和西北太平洋地区存在较强的降水年际变率以及急流的年际变率.

(2) 在两种排放情景下,21世纪夏季东亚地区降水以及急流南北偏移的年际变率增强.

(3) 在全球变暖情景下,21世纪东亚降水和高空急流之间的关系将变得更加密切,然而在RCP8.5高排放情景下,这两者之间关系变化存在较大的不确定性,具体产生原因尚需要进一步分析.

致谢 中国科学院大气物理研究所林中达博士阅读了初稿并提了修改建议,在此表示感谢.

#### 参考文献

- 1 Bueh C, Cubasch U, Lin Y, et al. The change of North China climate in transient simulations using the IPCC SRES A2 and B2 scenarios with a coupled atmosphere-ocean general circulation model. *Adv Atmos Sci*, 2003, 20: 755-766
- 2 Kimoto M. Simulated change of the East Asian circulation under the global warming. *Geophys Res Lett*, 2005, 32: L16701
- 3 Kitoh A, Hosaka M, Adachi Y, et al. Future projections of precipitation characteristics in East Asia simulated by the MRI CGCM2. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 467-478
- 4 Lee E J, Kwon W T, Baek H J. Summer precipitation changes in Northeast Asia from the AOGCM global warming experiments. *J Meteorol Soc Jpn*, 2008, 86: 475-490
- 5 Wang H J, Sun J Q, Chen H P, et al. Extreme climate in China: Facts, simulation and projection. *Meteorol Zeitsch*, 2012, 21: 279-304
- 6 Kripalani R H, Oh J H, Chaudhari H S. Response of the East Asian summer monsoon to doubled atmospheric CO<sub>2</sub>: Coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4. *Theor Appl Clim*, 2007, 87: 1-28
- 7 Lu R Y, Fu Y H. Intensification of East Asian summer rainfall interannual variability in the 21st century simulated by 12 CMIP3 coupled models. *J Clim*, 2010, 23: 3316-3331
- 8 Zhang Y C, Kuang X Y, Guo W D, et al. Seasonal evolution of the upper-tropospheric westerly jet core over East Asia. *Geophys Res Lett*, 2006, 33: L11708

- 9 Lin Z D, Lu R Y. Abrupt northward jump of the East Asian upper-tropospheric jet stream in mid-summer. *J Meteorol Soc Jpn*, 2008, 84: 857–866
- 10 李崇银, 王作台, 林士哲, 等. 东亚夏季风活动与东亚高空西风急流位置北跳关系的研究. *大气科学*, 2004, 28: 641–658
- 11 Lu R Y. Associations among the components of the East Asian summer monsoon system in the meridional direction. *J Meteorol Soc Jpn*, 2004, 82: 155–165
- 12 Xuan S L, Zhang Q Y, Sun S Q. Anomalous midsummer rainfall in Yangtze River-Huaihe River valleys and its association with the East Asia westerly jet. *Adv Atmos Sci*, 2011, 28: 387–397
- 13 Lin Z D, Lu R Y. Interannual meridional displacement of the East Asian upper-tropospheric jet stream in summer. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 199–211
- 14 Liang X Z, Wang W C. Association between China monsoon rainfall and tropospheric jets. *Quat J Meteorol Soc*, 1998, 124: 2597–2623
- 15 张耀存, 郭兰丽. 东亚副热带西风急流变化多模式模拟结果分析. *气象科学*, 2010, 30: 694–700
- 16 Sperber K, Potter G, Boyle J, et al. Simulation of the northern summer monsoon in the ECMWF model: Sensitivity to horizontal resolution. *Mon Weather Rev*, 1994, 122: 2461–2481
- 17 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. *大气科学*, 2006, 30: 185–192
- 18 Kusunoki S, Yoshimura J, Yoshimura H, et al. Change of Baiu rain band in global warming projection by an atmospheric general circulation model with a 20-km grid size. *J Meteorol Soc Jpn*, 2006, 84: 581–611
- 19 Jiang D, Wang H J, Lang X. Evaluation of East Asian climatology as simulated by seven coupled models. *Adv Atmos Sci*, 2005, 22: 479–495
- 20 许崇海, 沈新勇, 徐影. IPCC AR4 模式对东亚地区气候模拟能力的分析. *气候变化研究进展*, 2007, 3: 287–292
- 21 蔡琼琼, 周天军, 吴波, 等. 东亚副热带西风急流及其年际变率的海气耦合模式模拟. *海洋学报*, 2011, 33: 38–48
- 22 布和朝鲁. 东亚季风气候未来变化的情景分析: 基于 IPCC SRES A2 和 B2 方案的模拟结果. *科学通报*, 2003, 48: 737–742
- 23 Shi Y, Gao X J, Wang Y G, et al. Simulation and projection of monsoon rainfall and rain patterns over eastern China under global warming by RegCM3. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2009, 2: 308–313
- 24 Bao Q. Projected changes in Asian summer monsoon in RCP scenarios of CMIP5. *Atmos Oceanic Sci Lett*, 2012, 5: 43–45
- 25 Lu R Y, Lin Z D. Role of subtropical precipitation anomalies in maintaining the summertime meridional teleconnection over the western North Pacific and East Asia. *J Clim*, 2009, 22: 2058–2072
- 26 Lu R Y, Ye H, Jhun J G. Weakening of interannual variability in the summer East Asian upper-tropospheric westerly jet since the Mid-1990s. *Adv Atmos Sci*, 2011, 28: 1246–1258
- 27 Zhang Y C, Huang D Q. Has the East Asian westerly jet experienced a poleward displacement in recent decades? *Adv Atmos Sci*, 2011, 28: 1259–1265
- 28 Xiang Y, Yang X Q. The effect of transient eddy on interannual meridional displacement of summer East Asian subtropical jet. *Adv Atmos Sci*, 2012, 29: 484–492
- 29 徐康, 何金海, 祝从文. 近 50 年中国东部夏季降水与贝加尔湖地表气温年代际变化的关系. *气象学报*, 2011, 69: 570–580
- 30 Zhu C, Wang B, Qian W, et al. Recent weakening of northern East Asian summer monsoon: A possible response to global warming. *Geophys Res Lett*, 2012, 39: L09701