

四个耦合模式在模拟和预测东亚季风系统方面的对比分析

张维娟¹, 杨波², 魏皓¹

(1. 天津科技大学 海洋科学与工程学院, 天津 300457; 2. 中国海洋大学 海洋环境学院, 青岛 266100)

摘要: 基于政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告(AR4)中的海气耦合模式实验, 本文研究了温室气体辐射强迫达到 4.5 W/m^2 (Representative Concentration Pathways, RCP4.5) 未来情景下东亚地区季风气候变化, 对 4 个海气耦合模式(FGOALS_s2.0 (Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model_s2.0)、GFDL_CM3(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Model v3)、MPI_ESM_LR(Max Planck Institute-Earth System Model-Low Resolution) 和 MIROC5(Model for Interdisciplinary Research on Climate v5))的模拟结果进行了对比。结果显示, 各模式均能较好地模拟东亚地区的季风气候态特征, 例如冬、夏季盛行风向, 降水、热通量的季节和海陆分布特点及降水北进南撤特征。然而, 各模式的模拟结果之间也存在差异, 例如与再分析资料相比, FGOALS_s2.0 模拟的风速偏大, GFDL_CM3 模拟的降水较低, 综合比较得出, GFDL_CM3 对东亚地区气候变化的模拟效果最好。对未来气候的预测方面, 4 个模式给出较为一致的结论: 未来 100 a 东亚季风的总体变化趋势为季风环流夏季风增强, 冬季风减弱, 夏季风速增加 3.7%左右; 降水增加, 尤以陆地增加明显, 东亚地区未来降水全年增加量约为 4.62%; 大部分地区热通量有增加的趋势, 这是温室效应增强的结果。

关键词: 政府间气候变化专门委员会(IPCC); 耦合模式; 东亚季风; 评估; 预测

中图分类号: P732.2, P467 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2014)09-0096-13

doi: 10.11759/hyqx20130827003

季风是全球大气环流系统的重要组成部分, 其变化对季风区海洋动力环境变化有重要的影响。刘秦玉等^[1]研究指出, 冬、春季东北季风在南海海域形成风生环流, 反气旋式环流引起的海水下潜或气旋式环流引起海水的上涌影响海表面温度(seasurface temperature, SST)的水平分布, 从而形成海面异常冷暖中心; 蔡荣硕等^[2]研究指出中国近海 SST 与东亚季风年际变异的相关区域主要为南海, 冬季比夏季更为明显, 且南海冬、夏季 SST 与经向南北风和副热带反气旋(高压)的年际变异有明显关系; 袁承仪^[3]指出, 东亚冬季风减弱, 导致水温整体水平升高。因此要预测未来东中国海海洋动力环境变化, 必须首先了解对其有重要影响的东亚季风系统的变化趋势。

现阶段气候变化的预估, 都是通过地球气候系统耦合模式(海陆气冰耦合)对不同排放情景下的未来气候变化进行模拟^[4]。全球约十几个国家的 23 个复杂的全球气候系统模式(GCM)参加了全球气候变化预估对比^[5](模式的具体信息见网址: <http://www.pemdi.llnl.gov/>)。Zheng 等^[6]利用 10 种耦合模式, 预测了在 CO_2 加倍的情景下, 亚洲夏季风的变化。其中有 9 种模式显示在该情景下, 海陆温差将会变小, 进

而导致亚洲夏季风减弱, 包括索马里交叉赤道流、低层印度南海季风流和高层热带西风急流均会减弱, 但是东亚季风却增加大约 16.7%。孙颖等^[7]分析了政府间气候变化专门委员会(IPCC)第四次评估报告(AR4)的 19 个气候模式, 预计在全球变暖的情景下, 东亚地区未来百年降水增加, 西南季风气流加强, 大气水汽含量增加; 其他学者也指出, 东亚夏季风增强, 冬季风减弱的变化趋势^[8-9]。

尽管不同模式对不同情景的预测结果不尽相同, 甚至有的模式之间差异较大, 但是对未来全球气候变化趋势的预测还是较为一致的: 即全球气温增高, 降雨量增加。而对于未来东亚季风气候变化的预测也得出一致结论: 冬季风减弱, 夏季风增强, 降雨量和水汽含量增加。

不同气候模式对东亚地区气候变化的模拟效果, 前人也做了很多分析工作。孙颖等^[10]利用多种气候

收稿日期: 2013-08-27; 修回日期: 2014-02-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(2010CB428904)

作者简介: 张维娟(1986-), 女, 汉族, 河北人, 硕士研究生, E-mail: zwjuan_101786@163.com; 杨波, 通信作者, 0532-66781737, E-mail: yang.bo@ouc.edu.cn

模式对东亚夏季风降雨与环流年代际变化进行模拟,结果显示:GFDL_CM2.0(Geophysical Fluid Dynamics Laboratory Coupled Model v2.0)具有较好的模拟性能;张莉等^[11]利用 GFDL_CM2.1、ECHAM5/MPI-OM (the European Centre-Hamburg model version 5/Max Planck Institute-Earth System Model)等模式对东亚季风降雨进行了模拟分析;许崇海等^[12]通过 IPCC AR4 模式对东亚地区气候模拟能力进行分析,其结果显示:GFDL_CM2.1、ECHAM5/MPI-OM、FGOALS(Flexible Global Ocean-Atmosphere-Land System model)的模拟结果与观测 20 a 平均值的相关系数都较高,模拟效果较好;此外,周天军等^[13]在对基于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(LASG/IAP)的大气环流谱模式 SAMIL(Spectral Atmospheric Model of IAP LASG)的气候系统模式 FGOALS_s 的分析研究中指出,该耦合模式能较好地模拟大气、海洋和陆面的气候平均态,也能较好地再现赤道太平洋年际变率,但模拟的热带海温偏低、中纬度海温偏高,此外,模拟的北大西洋高纬度海温明显偏低。

2007 年 9 月在荷兰召开的关于新情景专家会议上提出一套不同于原来情景(A2: 温室气体高排放情景; A1B: 温室气体中排放情景)的新未来情景。该情景设定是在审议以往 IPCC 各类情景的基础上,概述各项不断发展的研究计划、在 2 个不同时间尺度上提出的一套“基准排放情景”。本文将从 GFDL_CM3、MIROC5(Model for Interdisciplinary Research on Climate v5)、FGOALS_s2.0 和 MPI_ESM_LR(Max Planck Institute-Earth System Model-Low Resolution)4 个气候耦合模式入手,着重分析评估其对东亚季风气候态特征的模拟结果及对温室气体辐射强迫达到 4.5 W/m^2 (Representative Concentration Pathways, RCP4.5)未来情景下季风变化的预测,为后续对东中国海动力环境对东亚季风系统气候变化响应的情景预测工作提供依据。

1 模式、数据和情景介绍

气候模式是根据其复杂程度不同进行分类的,可分为简单气候模式、耦合气候模式和中等复杂程度的地球气候模式^[14],这里我们分析的模式为海气耦合模式。

1.1 模式简介

本文所分析的模式分别为 FGOALS_s2.0、

GFDL_CM3、MPI_ESM_LR 和 MIROC5。FGOALS_s2.0 是基于大气环流谱模式 SAMIL 的海气耦合模式^[15]。其大气分量为 SAMIL 模式,水平方向为菱形截断 42 波,分辨率相当于 $2.8125^\circ \times 1.66^\circ$ (经度 \times 纬度)。海洋分量为 LICOM(LASG/IAP Climate Ocean Model)模式,其分辨率为 $1^\circ \times 1^\circ$,垂向分为 30 层,地面和海冰模块分别为 NCAR(The National Center for Atmospheric Research)研制的通用过程模块 CLM(Community Land Model)和海冰模式 CSIM4(Community Sea Ice Model Version 4),分辨率分别与大气和海洋分辨率相同。GFDL_CM3 是地球流体力学实验室模式。与之前的模式相比,该模式的大气模块采用的是 AM3(Atmospheric component Version 3), 144×90 个网格点,水平分辨率约为 $2.5^\circ \times 2.0^\circ$ (经度 \times 纬度),垂向分辨率范围大约为:近地面为 70 m,到对流层顶为 1~1.5 km,平流层大部分为 3~4 km,并且考虑了气溶胶。而海洋模块共 360×200 个网格,经向分辨率为 1° ,纬向分辨率在赤道附近约为 0.3° ,随着向南北两极逐渐增加到 1° 。MPI_ESM_LR 大气水平方向共 192×96 个网格,分辨率约为 $1.875^\circ \times 1.875^\circ$ (经度 \times 纬度),垂向分为 47 层,海洋网格采用双极网格(bi-polar grid),垂向分为 40 层,并考虑气溶胶辐射作用。MIROC5 是日本东京大学耦合模型,其大气分量采用 CCSR/NIES/FRCGC AGCM(Center for Climate System Research/National Institute for Environmental Studies/Frontier Research Center for Global Change Atmospheric General Circulation Model),共 256×128 个网格点,水平分辨率约为 $1.41^\circ \times 1.41^\circ$,垂直分为 40 层,海洋和海冰分量为 COCO v4.5(CCSR Ocean Component model version 4.5),共 256×224 个网格,分辨率约为 $1.41^\circ \times 1^\circ$ (经度 \times 纬度),垂直分为 49 层。各耦合模式的情况见表 1。

1.2 情景介绍

随着全球气温不断增加,温室气体排放备受关注,与此同时,IPCC 提出了一套“基准排放情景”——“RCP”。RCP 提供了大气温室气体(GHG)浓度随时间变化的预估^[16]。它既是在特定的长期时间下温室气体浓度或辐射强迫的结果,也是实现这一结果随时间推移所经历的轨迹,是几个具有类似辐射强迫和排放特征的不同情景。需要强调的是,RCP 是各种合理的可替代未来情景,而不是对未来结果的预测和预报。

表 1 4 个耦合模式的介绍

Tab.1 Summary of the four coupling models

模式名称	国家	模式所在中心	大气分辨率(经度×纬度)
FGOALS_s2.0	中国	LASG/ Institute of Atmospheric Physics	2.8125°×1.66°
GFDL_CM3	美国	US DePt. of Commerce/NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	2.5°×2.0°
MPI_ESM_LR	德国	Max Planck Institute for Meteorology	1.88°×1.88°
MIROC5	日本	Atmosphere and Ocean Research Institute , National Institute for Environmental Studies, and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	1.41°×1.41°

根据现有文献, 情景模拟共产生了 4 个 RCP: RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5 及 RCP3-PD。其中 RCP3-PD 以 RCP2.6 为代表, RCP2.6 表示到 2100 年前, 由近似 CO₂ 当量浓度所引起的辐射强迫达到大约 2.6 W/m², 其后开始下降, 该情景是一种理想的状态。RCP4.5 和 RCP6.0 代表的是两个中间“稳定路径”, 其近似 CO₂ 当量浓度所引起的辐射强迫在 2100 年之后分别大约稳定在 4.5 W/m² 和 6.0 W/m²。RCP8.5 代表到 2100 年, 由近似 CO₂ 当量浓度所引起的辐射强迫达到大约 8.5 W/m², 并将继续上升一段时间。本文中只研究了一个情景, 即代表中端路径的 RCP4.5。

1.3 数据资料

本文中, 采用了全球综合分析降水集(CMAP)降水资料和 NCAR/NCEP 再分析资料的气候态的风场、热通量资料。其中, CAMP 降水数据为 1981~2010 年 30 a 月平均降水, 分辨率为 2.5°×2.5°; 而 NCAR/NCEP 再分析数据为 1951~2000 年的月均数据场, 分辨率约为 1.875°×1.91°(经度×纬度), 风场数据选取 10 m 风场。

本文的主要工作分为 2 部分: (1)考察模式对东亚季风区气候态特征的模拟效果, 选取 1951~2000 年 50 a 月平均气候态数据, 与再分析数据进行对比; (2)对未来东亚季风变化做出预测, 其中, 以 2026~2075 年 50 a 月平均模式数据作为未来平均场。

这里需要指出的是, 本研究中所选的 CMAP 再分析降水资料集的起始时间为 1981 年, 所以只选取了 30 a 的数据, 而耦合模式降水数据为 1951~2000 年 50 a 年月平均数据, 所选数据年代不同, 可能会造成数据不匹配的问题。为此, 我们对比了 4 个耦合模式 1981~2010 年 30 a 平均降水和 1951~2000 年 50 a 平均降水的分布及量值差异。其结果显示, 夏季 4 个耦合模式模拟的大部分区域 30 a 平均降水比 50 a 平均降水偏少, 最大量值差异在 0.5 mm/d 左右, 相较于

夏季降水量, 其差异影响很小; 而在冬季, 除 FGOALS_s2.0 模拟的 30 a 平均与 50 a 平均降水量值差异较大, 在 0.8 mm/d 左右, 其他 3 个耦合模式模拟的结果差异不大, 几乎所有区域在 0 左右。因此, 虽然本文用来对比的降水数据集所选年代不同, 但是对验证耦合模式模拟降水大体的分布形态不会产生大的影响, 可以忽略该部分影响。

2 气候态模拟结果分析

按地域划分, 亚洲季风分为东亚季风和南亚季风, 其中东亚季风区可分为东亚、南中国海和西北太平洋。郑伟鹏等^[17]在其研究中根据降水变化率, 将东亚夏季风区定义为 20°~45°N, 110°~120°E, 将印度夏季风区定义为 10°~30°N, 70°~80°E; Kripalani^[18]将东亚地区取为 20°~40°N, 100°~145°E。本文根据研究所关心区域及模式结果变化率, 将东亚季风区选取为 20°~40°N, 110°~145°E, 主要对该区域的季风和降水平均态特征进行分析。

2.1 东亚地区风场与降水模拟结果

图1和图2分别给出东亚地区夏(6~8月, 以 JJA 表示)、冬(12~次年2月, 以 DJF 表示, 下同)季节, 4 个模式模拟的及再分析风场和降水分布情况。从图1可以看出, 在夏季, 东亚季风由副热带海洋吹向陆地, 因而盛行偏南风, 降水基本特点为南部降水多, 西北部降水少, 在南海地区夏季降水可达到10 mm/d 左右, 在东中国海海域及朝鲜半岛地区降水能达到8 mm/d 左右, 而中国西北地区则只有1~2 mm/d。从图2可以看出, 冬季风则由陆地吹向海洋形成偏北风, 海上降水要高于陆地降水, 降水量明显低于夏季, 并在东海及日本半岛以东海域有一降水高值区, 降水量大概在6 mm/d 左右。从模式对该地区夏、冬季风场的模拟情况可以看出, 各模式都模拟出了该地区夏、冬季的盛行风向, 以及海上风速比陆地风

速大的特点; 对于降水的模拟, 4个模式都能将东亚地区降水特点模拟出来, 只是不同模式模拟的降水量大小有所差异, 其中 GFDL_CM3模拟的降水较资料数据偏小, 相较于夏季再分析降水数据, 该模式模拟结果在中国东部沿海地区有一南北向的低值带。对比可以看出, 模式的模拟结果基本与资料数据结果吻合, 但是, 模式结果仍存在一定的偏差, 例如, FGOALS_s2.0的风速模拟结果偏大, 而另外3个模式的模拟结果尤其是陆地风速则偏小。MIROC5模式对于夏季风的模拟, 其东分量明显比南分量大, 在冬季, 台湾半岛与大陆之间的风速明显小于以东风速, 这些与资料结果和其他几个模式的模拟结果不同。但总体来说, 上述几个模式均能较好地模拟出东亚季风及降水的基本特点及分布情况。

为了更好地评估模式对于东亚季风系统的模拟效果, 我们还对东亚季风降水随时间在南北方向上

的迁移做了分析。图3给出了 CMAP 数据在东亚地区纬向平均降水随时间的变化情况, 随时间推移, 降水有北进南退的变化特点。在5月中下旬, 雨带迅速北进到长江流域, 并继续北上到35°N左右, 然后南撤; 在7~9月份, 南部降水达到最大, 最大值在 11 mm/d 左右。4个耦合模式均能成功地模拟上述降水季节变化特点(图4), 但是降水量值总体偏低, 这可能与模式考虑了气溶胶强迫有关, 气溶胶辐射强迫可以减少模式模拟的降水量^[19]。4个模式中, FGOALS_s2.0和 GFDL_CM3能将东亚季风暴发的时间较好地再现出来, 而 MIROC5模拟的降水大值区范围较资料结果偏大, 最大降水区相对北移, 时间相对提前1个月。

就东亚地区区域平均而言, 模式模拟的降水(除 MIROC5)较观测值低(见图 5), 其中以 GFDL_CM3 模拟的降水量值与再分析数据差值最大。只有 FGOALS_s2.0 模拟出双峰结构, 即夏季降水是

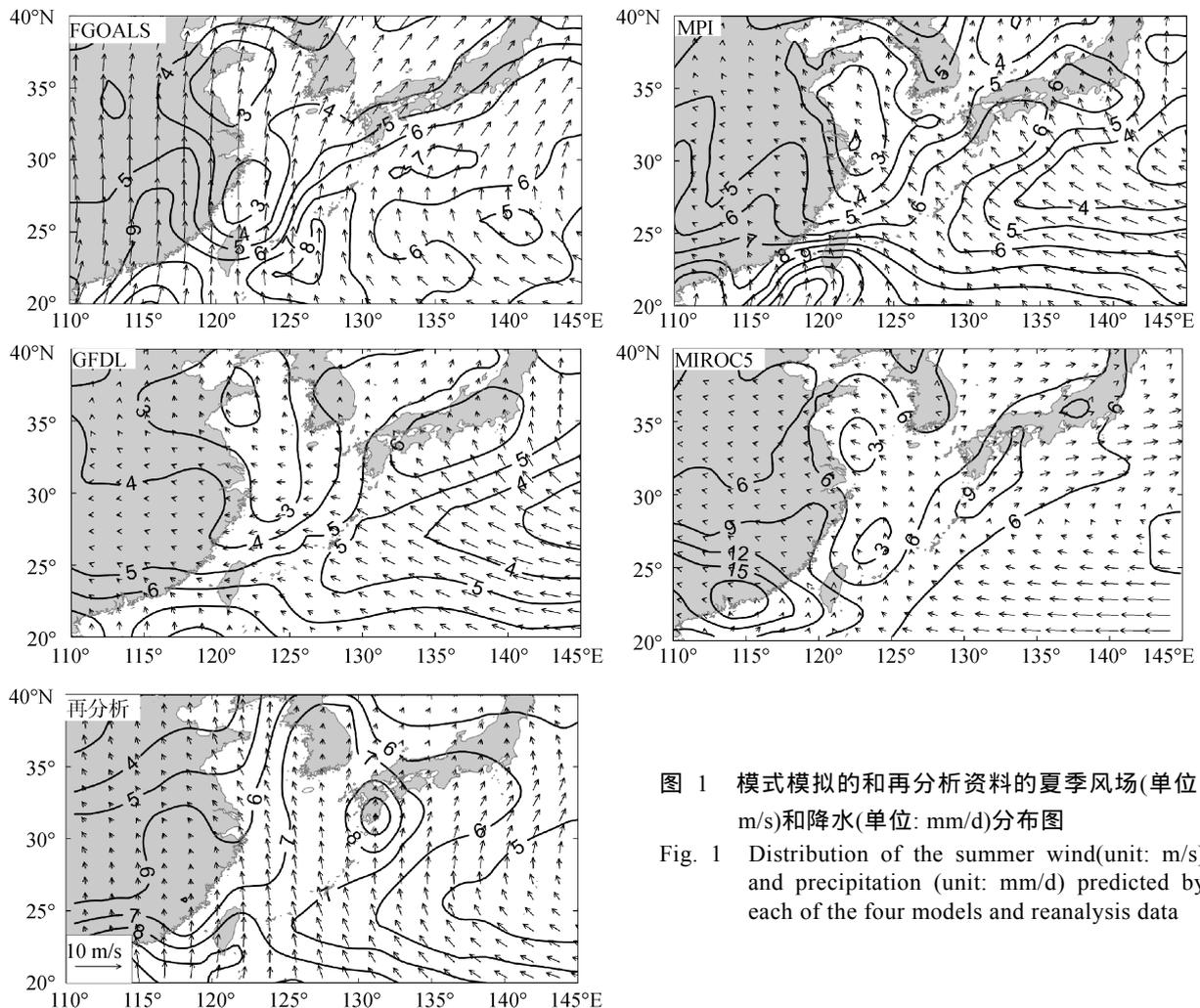


图 1 模式模拟的和再分析资料的夏季风场(单位: m/s)和降水(单位: mm/d)分布图

Fig. 1 Distribution of the summer wind(unit: m/s) and precipitation (unit: mm/d) predicted by each of the four models and reanalysis data

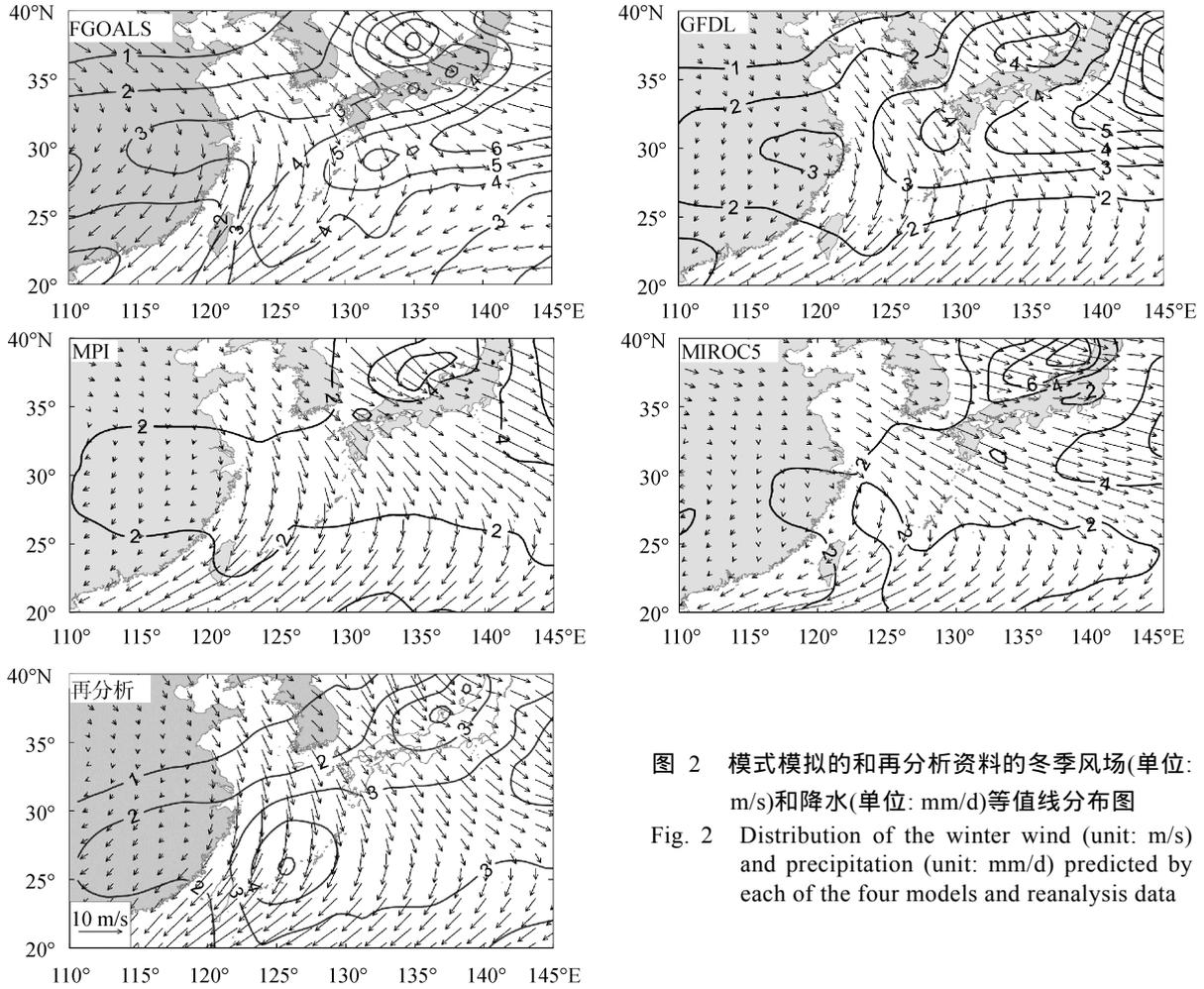


图 2 模式模拟的和再分析资料的冬季风场(单位: m/s)和降水(单位: mm/d)等值线分布图
Fig. 2 Distribution of the winter wind (unit: m/s) and precipitation (unit: mm/d) predicted by each of the four models and reanalysis data

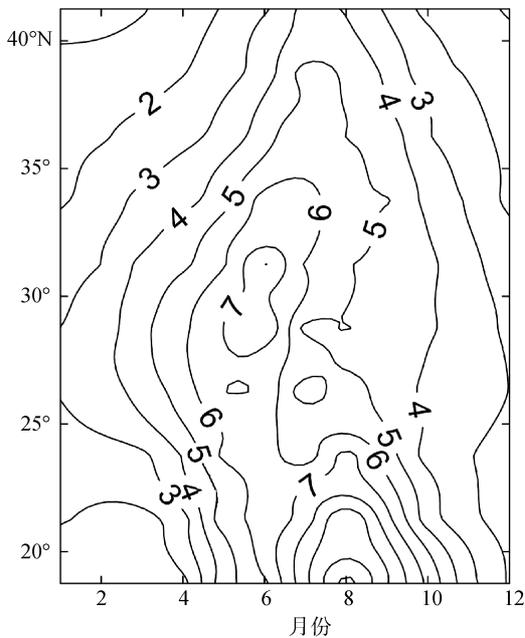


图 3 CMAP 东亚季风降水纬向平均分布图 (单位: mm/d)
Fig. 3 The zonal mean distribution of the East Asian monsoon precipitation from CMAP (unit: mm/d)

先降低后增加的特点,并于 8 月达到最大降水量, GFDL_CM3 模拟出 7 月降水量最大,而 MIROC5 模拟的 6、7 月份降水量基本相同并达到峰值,相较于其他模式,降水最大值要提前达到。

2.2 热通量模拟结果

图 6、图 7 分别给出了再分析数据及各模式模拟的热通量冬、夏季分布情况。再分析数据显示,无论是夏季还是冬季,热通量在海洋和陆地的分布界线明显。陆地上,冬季和夏季几乎没有热通量的变化,而海洋上,夏季热通量为正,即获得热量,而冬季为负,失去热量。在沿岸海域,夏季获得热量相对较多,冬季失去的热量也相对较大。热通量的模拟结果与再分析数据基本吻合, FGOALS_s2.0 和 MPI_ESM_LR 夏季海上热通量大值区范围模拟结果偏小,而 MIROC5 模拟范围相对较大,极值相对较高;而冬季正好相反,除 MIROC5,其他 3 个模式模拟的大值区域相对较大,极值较高,即失去的热量相对于再分析结果要多。

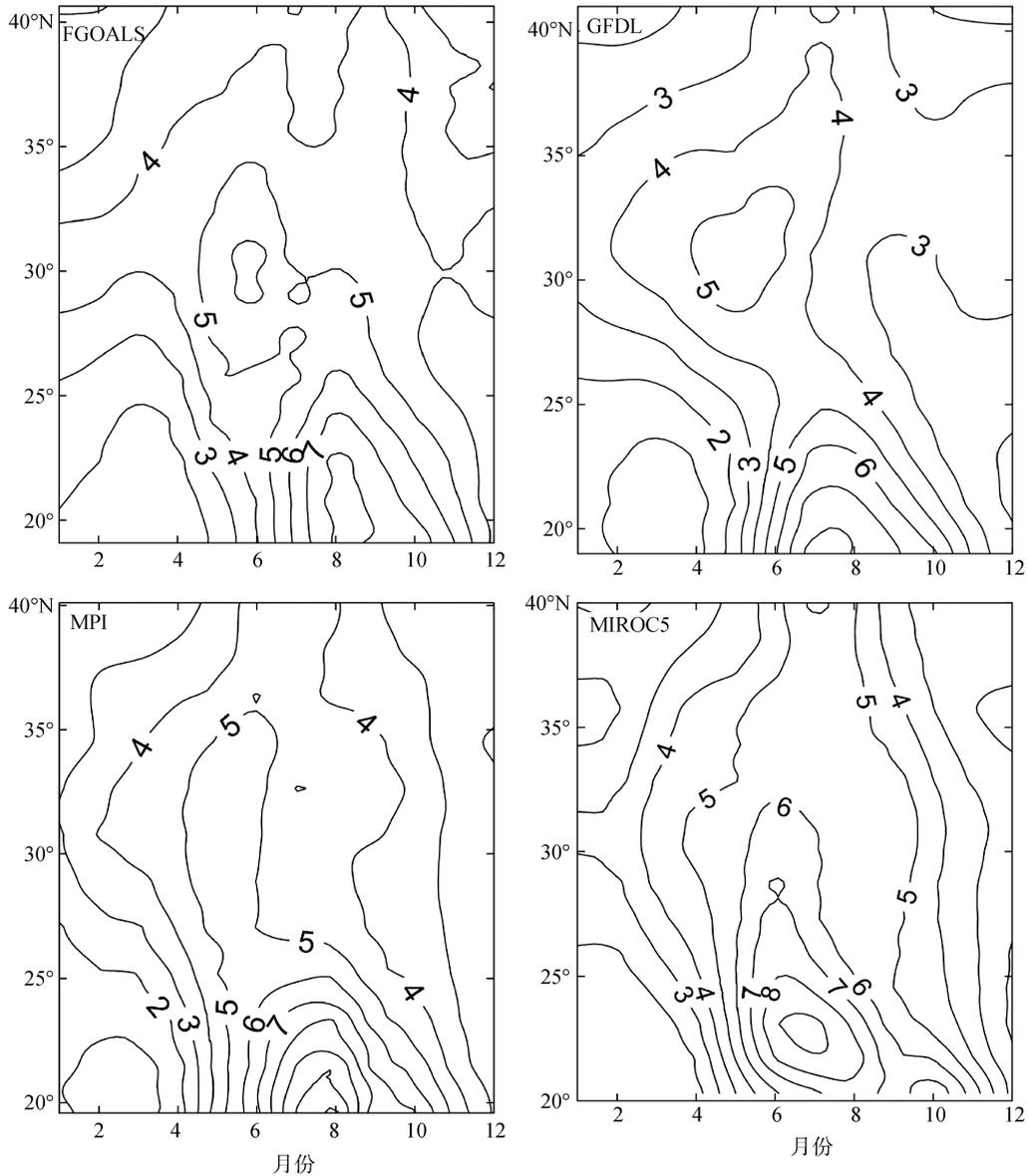


图 4 模式模拟东亚季风降水纬向平均分布(单位: mm/d)

Fig. 4 The zonal mean distribution of the East Asian monsoon precipitation predicted by each of the four models (unit: mm/d)

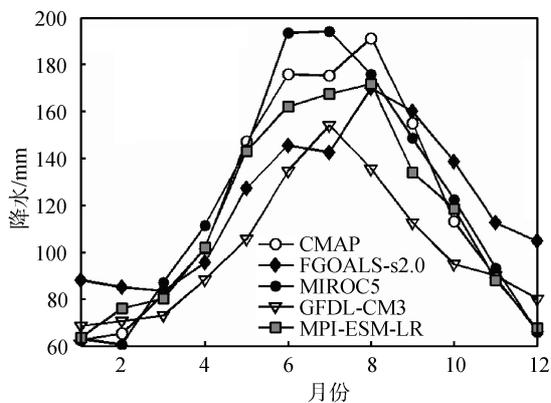


图 5 再分析数据与模式模拟的月平均降水

Fig. 5 Average monthly rainfall of CMAP and the models

总的来说, 通过对比模式模拟结果与再分析资料数据的风场、降水及热通量得出: 4 个模式均能较好的模拟出局区域季风环流的特点, 同时模式也抓住了东亚季风系统变化的一些特征, 如东亚季风降水带北进南撤的特点。其中, 各模式对某些变量的模拟有一定优势, 例如, FGOALS_s2.0 在模拟降水方面较其他 3 个模式要好, 但是, 综合考虑各方面因素, 以 GFDL_CM3 模拟总体效果最好。

3 未来东亚季风变化预测

本文根据 4 个耦合模式的结果, 对未来东亚季风的变化进行预测。本文只考虑在 RCP4.5 情景下,

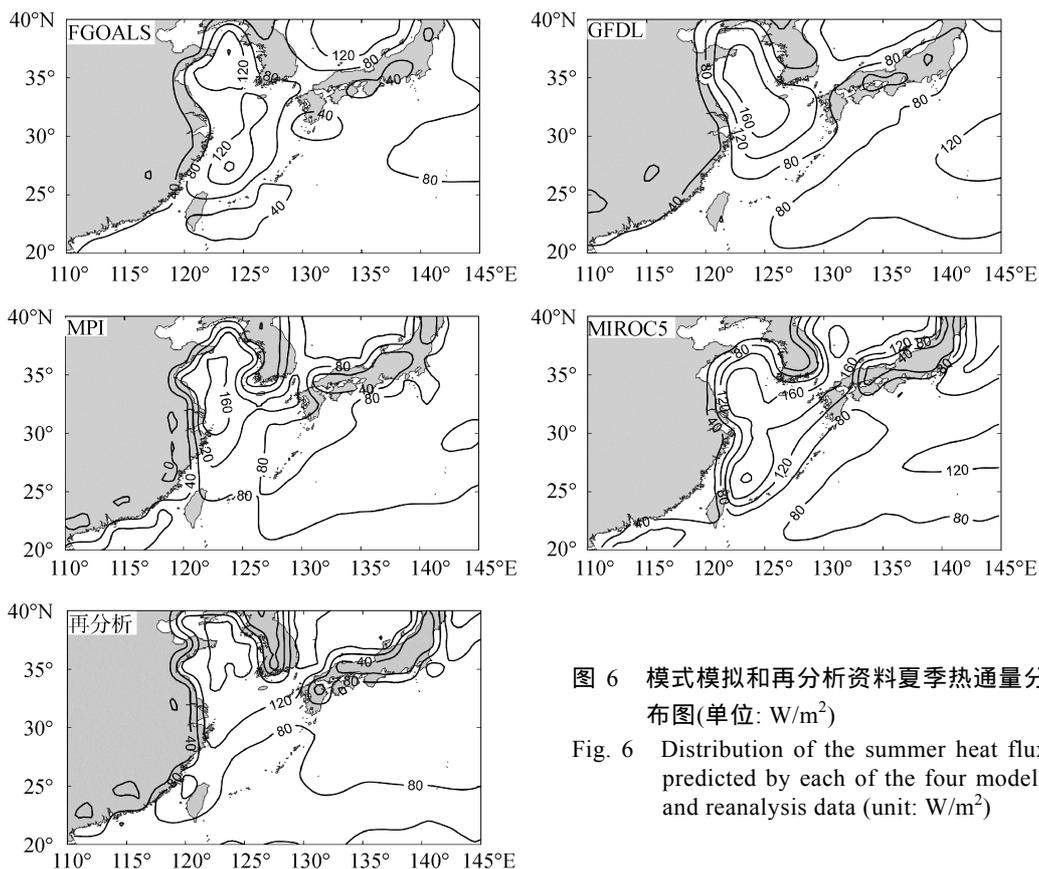


图 6 模式模拟和再分析资料夏季热通量分布图(单位: W/m^2)
Fig. 6 Distribution of the summer heat flux predicted by each of the four models and reanalysis data (unit: W/m^2)

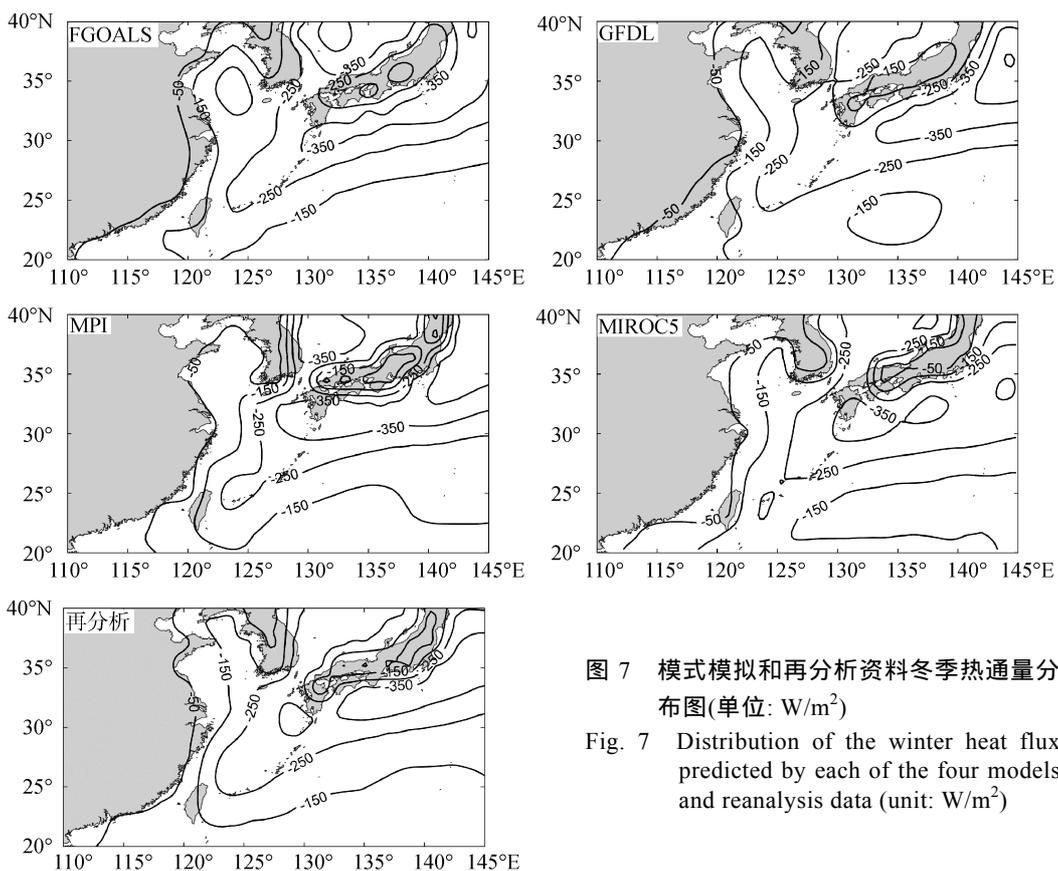


图 7 模式模拟和再分析资料冬季热通量分布图(单位: W/m^2)
Fig. 7 Distribution of the winter heat flux predicted by each of the four models and reanalysis data (unit: W/m^2)

上述 4 个模式风场、降水及热通量的变化, 即通过比较未来(即 2026~2075 年)与现在(即 1951~2000 年)的差, 得出未来百年东亚季风的变化情况。

3.1 风场及降水变化结果

在 RCP4.5 情景下, 不同模式对未来东亚夏季和冬季季风及降水的模拟结果见图 8 和图 9。从图中可以得出, 在 RCP4.5 情景下, 除 MPI_ESM_LR 外, 其他模型结果显示, 东亚季风环流变化趋势为夏季风增强, 冬季风减弱。FGOALS_s2.0 和 GFDL_CM3 模拟的夏季风经向分量增加明显; MIROC5 则主要是纬向分量的变化, 大致以 27°N 为界分为南北两部分变化, 但与其夏季风分布对应, 因此, 其变化也是夏季风增强。MPI_ESM_LR 的模拟结果则较为复杂, 总体来说与其他 3 个模式的模拟结果刚好相反, 夏季风是减弱的, 而 4 个耦合模式的平均结果显示东亚地区夏季风是增强的。对于冬季风的预测, 4 个模式模拟的陆地风速均有所增加, 但是增加幅度很小; 对于海上风速, 除 FGOALS_s2.0, 其他 3 个模式的

预测结果则较为一致, 经向分量减小, 纬向风则略有增大, 而 FGOALS_s2.0 的模拟结果以 30°N 为界, 以北风速减小, 以南则增大, 但就 4 个模式模拟结果的平均值来看, 冬季风是减弱的。

从降水的预测结果可以看出, 尽管不同模式预测结果不尽相同, 但未来百年东亚降水的总变化趋势是略有增加的。4 个模式当中, 除去 MIROC5, 其他 3 个模式模拟的东亚大部分地区夏季降水是增加的, 主要增加区域包括中国东部沿海、日本半岛附近海区及西北太平洋赤道附近海区。而通过月平均降水变化曲线(图 10)、东亚降水纬向平均变化图(图略)也能得出, RCP4.5 情景下, 东亚降水是增加的。

3.2 热通量变化

夏季热通量变化的预测结果(图 11)显示, 除 GFDL_CM3, 其他 3 个模式的陆地热通量均有所增加。而海上热通量, GFDL_CM3 与 FGOALS_S2.0 的模拟结果为大部分海域热通量减少, 尤其外海海域

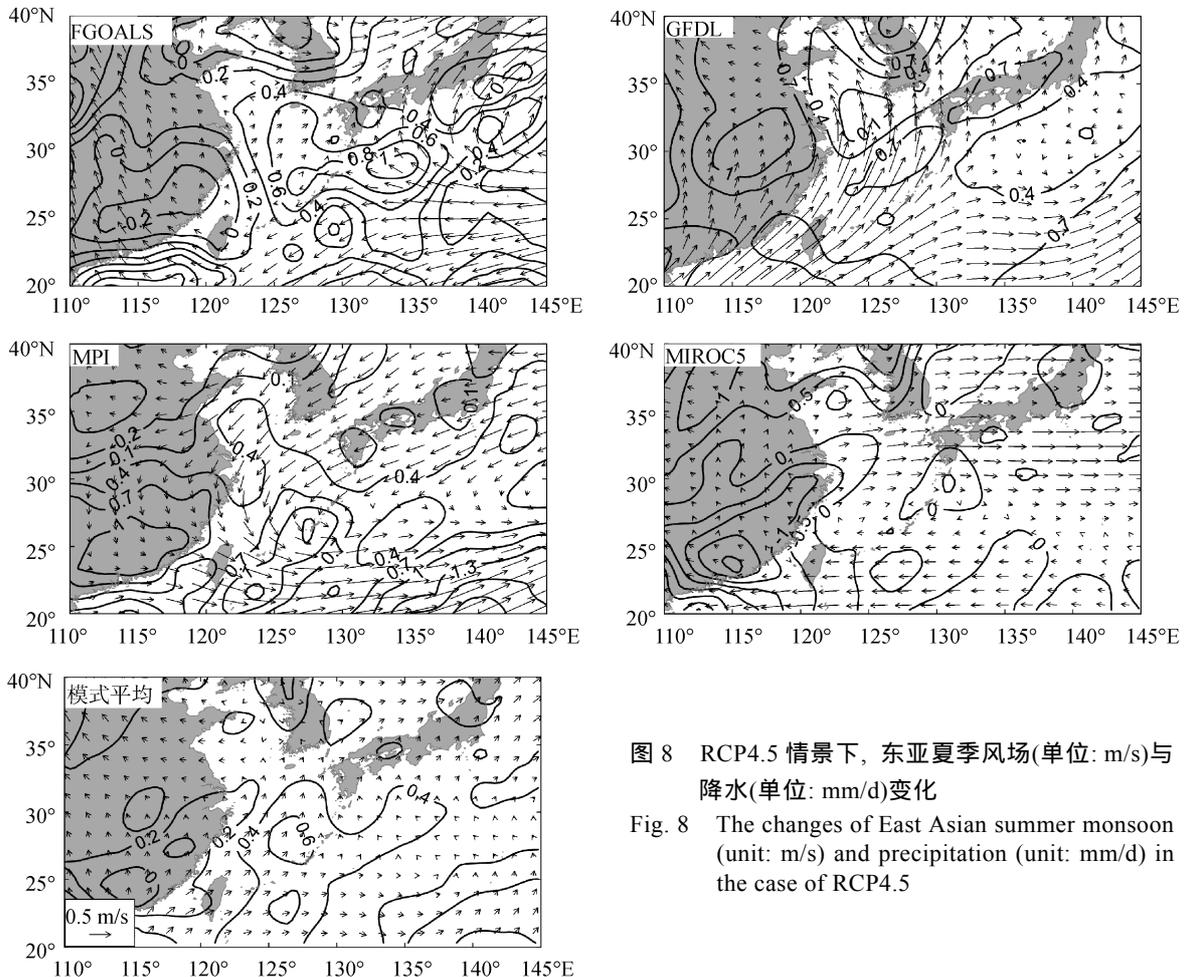


图 8 RCP4.5 情景下, 东亚夏季风场(单位: m/s)与降水(单位: mm/d)变化

Fig. 8 The changes of East Asian summer monsoon (unit: m/s) and precipitation (unit: mm/d) in the case of RCP4.5

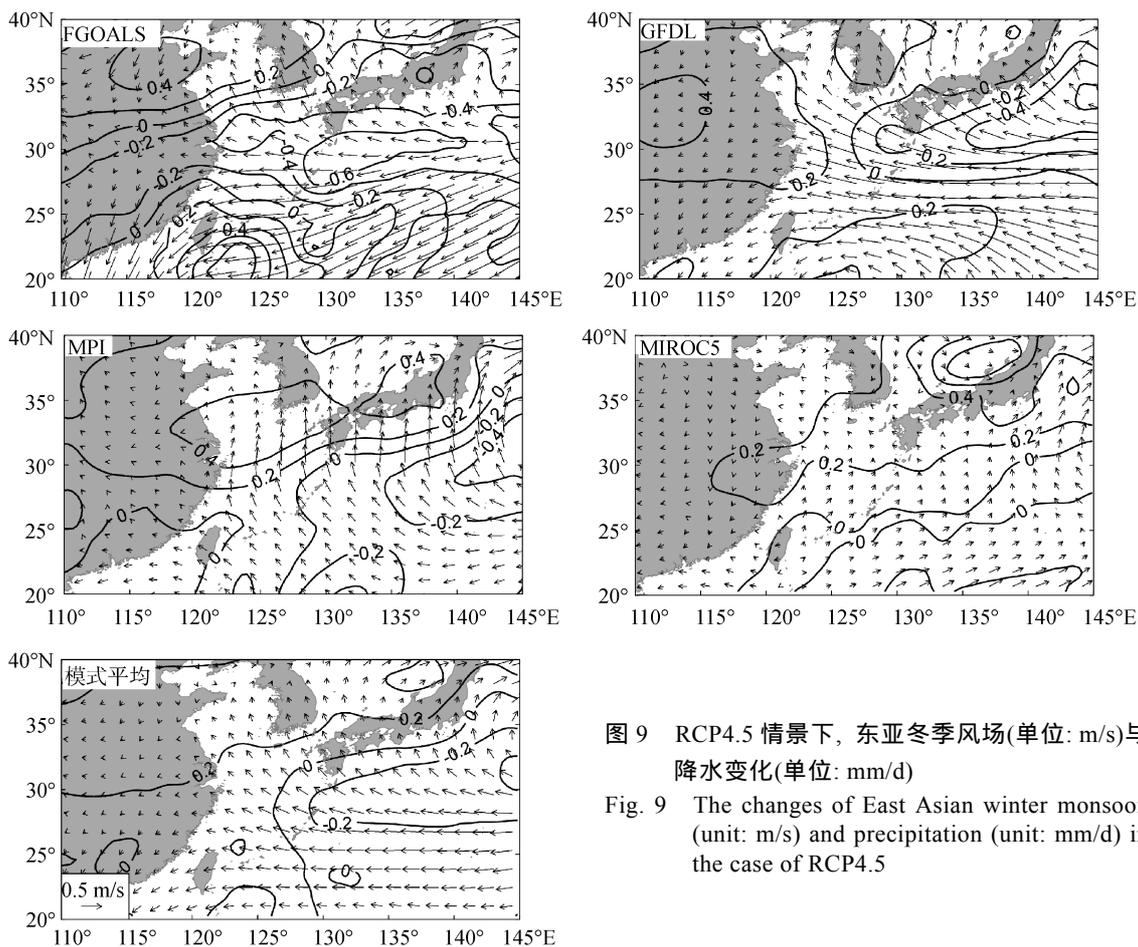


图9 RCP4.5 情景下, 东亚冬季风场(单位: m/s)与降水变化(单位: mm/d)

Fig. 9 The changes of East Asian winter monsoon (unit: m/s) and precipitation (unit: mm/d) in the case of RCP4.5

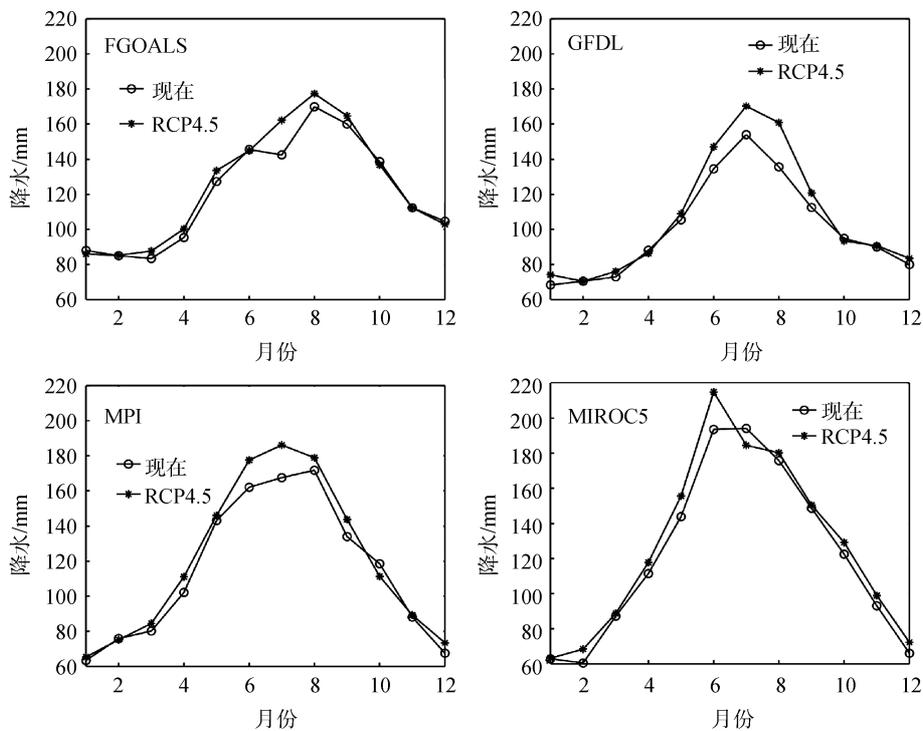


图10 4个模式模拟的月平均降水

Fig. 10 The average monthly precipitation predicted by each of the four models

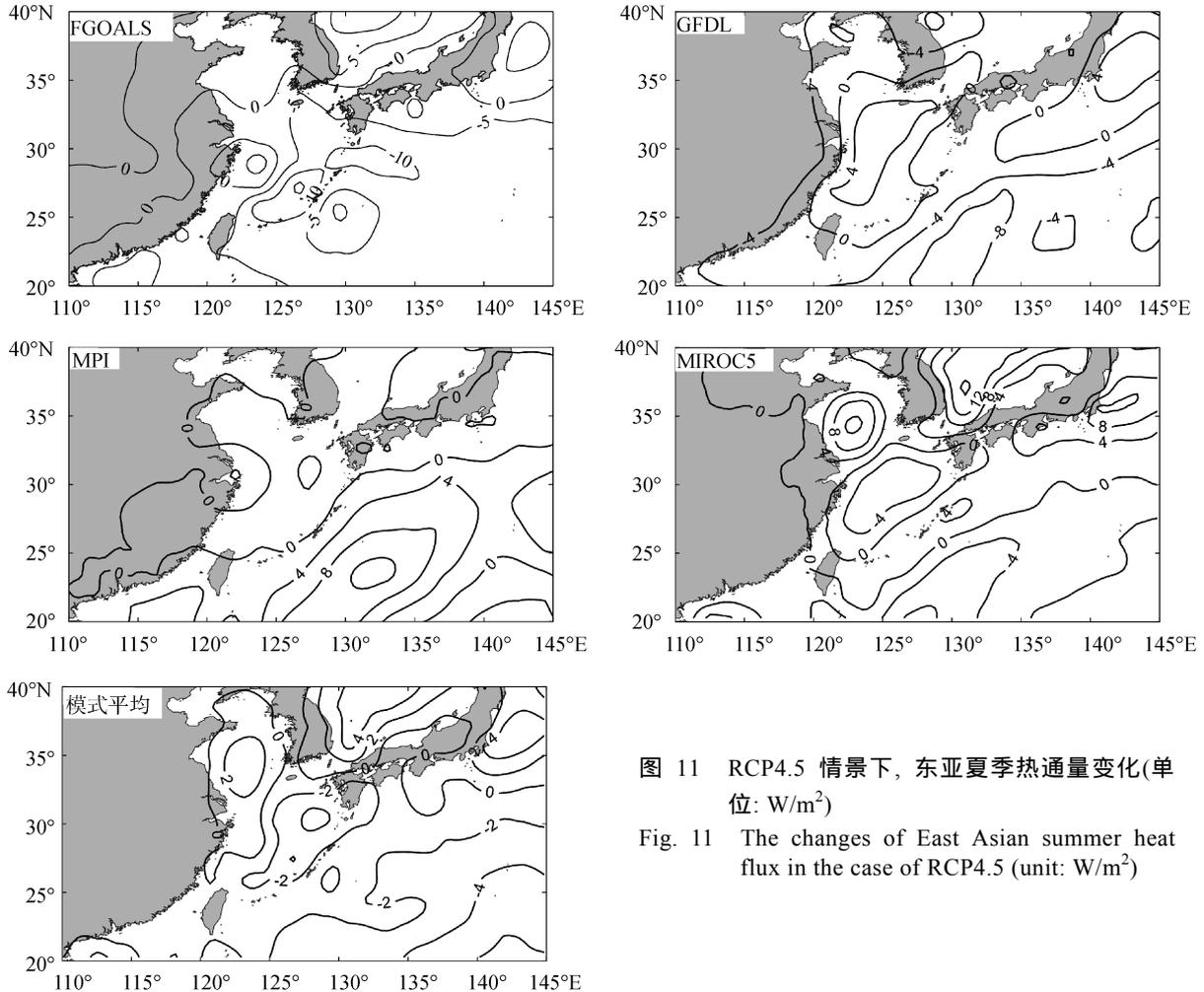


图 11 RCP4.5 情景下, 东亚夏季热通量变化(单位: W/m^2)

Fig. 11 The changes of East Asian summer heat flux in the case of RCP4.5 (unit: W/m^2)

降低的更多, 其他2个模式的结果为大部分海域呈现增加趋势, 其中, MIROC5显示日本半岛附近海域的热通量增加趋势明显。而对于冬季东亚地区热通量变化的预测, 4个模式的结果较为一致(图12): 东亚大部分地区热通量呈增加趋势, 且海上热通量增加明显高于陆地, 主要增加区域位于琉球岛链以东海域。

对于未来东亚夏季风速变化的预测, 4个模式当中, 除 MPI_ESM_LR, 其他3个模式的预测结果变大, 而对于冬季风速的预测结果则是 FGOALS_s2.0 预测结果变大, 其他3个减小。4个模式对未来降水的预测结果一致, 均为增加。表2给出的是降水和风速的变化。

综上所述, RCP4.5 情景下, 未来百年东亚地区季风系统的变化趋势为: 季风基本满足夏季季风增强, 冬季风减弱, 降水总变化趋势增加; 此外, 冬季热通量海上增加量大于陆地增加量, 夏季则是呈现海上略有减少、陆地增加的趋势。

表 2 4个耦合模式未来风速、降水变化
Tab. 2 The wind speed and precipitation changes in the future predicted by the four models

模式名称	风速变化(%)		降水变化(%)	
	夏季	冬季	夏季	全年
FGOALS_s2.0	7.24	4.19	5.79	2.83
GFDL_CM3	1.83	-0.33	12.73	6.28
MPI_ESM_LR	-4.74	-0.34	8.22	4.96
MIROC5	10.46	-0.10	2.86	4.42

4 结论

本文通过分析对比 FGOALS_s2.0 等4个耦合模式的未来(2026~2075年)RCP4.5情景下与历史气候态(1951~2000年)的东亚降水、风场, 预测东亚季风系统未来百年的变化。首先, 通过与 CMAP 降水集以及 NCEP 再分析数据的对比, 对4个模式的模拟结果进行评估; 基于此, 对未来情景下东亚季风变化情况进行预测。

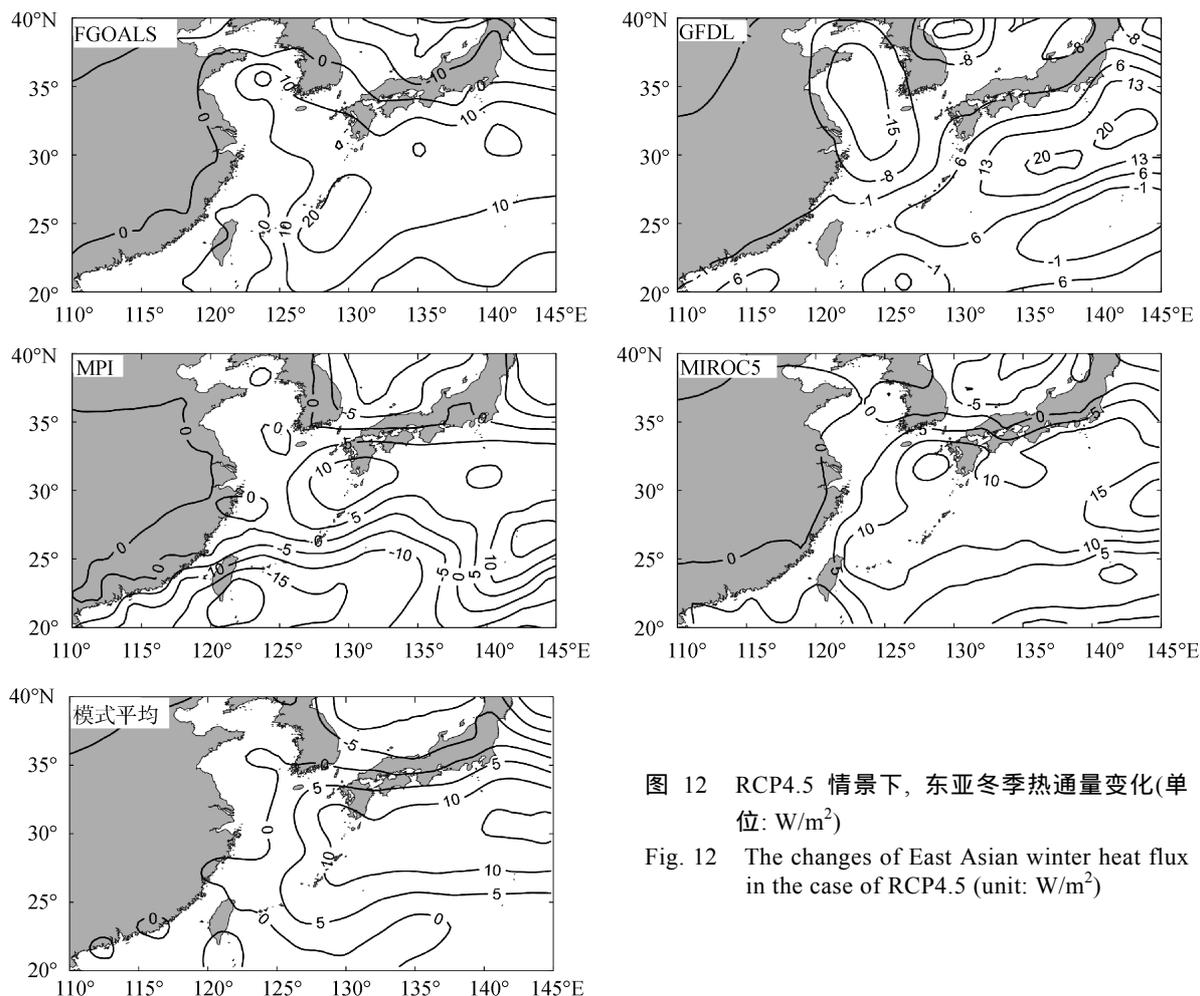


图 12 RCP4.5 情景下, 东亚冬季热通量变化(单位: W/m^2)

Fig. 12 The changes of East Asian winter heat flux in the case of RCP4.5 (unit: W/m^2)

4 个模式均较好地模拟了东亚地区的降水、热通量分布及夏季、冬季的盛行风向。尽管各模式仍然存在一定的偏差, 如降水模拟结果较再分析资料偏小(这可能与模式考虑气溶胶辐射强迫有关), 不同模式模拟的风速大小与资料存在偏差, 以及不同模式模拟的热通量极值分布与资料结果不完全一致等, 但总体来说, 上述 4 个耦合模式的模拟结果与再分析资料的结果还是比较吻合的, 用于对未来情景预测比较可信。

在 RCP4.5 情景下, 4 个耦合模式对未来百年东亚季风区季风的预测如下:

1) 未来东亚季风环流基本呈现夏季风增强, 冬季风减弱的趋势。但各模式结果不尽相同, FGOALS_s2.0 和 GFDL_CM3 的夏季风经向分量增加明显; 而对于冬季风, GFDL_CM3 和 MPI_ESM_LR 的预测结果则较为一致, 经向分量减小, 而 FGOALS_s2.0 模拟的冬季风速增加约 4.19%; 4 个模式对于冬季陆地风的预测都是略有增大的。

2) 未来降水总变化趋势是增加的, 除了 MIROC5, 其他几个模式给出的夏季降水增加明显, 主要降水增加区域为中国东部沿海、日本半岛海域以及北太平洋赤道附近海域; 而对于冬季降水的模拟, 大部分地区降水增加, 尤其陆地增加明显, 30°N 左右海域降水有减少的趋势。4 个模式全年降水平均增加 4.62%。

3) 未来东亚地区热通量的变化趋势为: 大部分地区热通量增加, 且海上热通量增加明显高于陆地, 主要增加区域位于琉球岛链以东海域。影响季风及降水的因素比较复杂, 热通量就是其中之一。在 RCP4.5 情景下, 东亚地区夏季陆地获得的太阳辐射高于海洋, 而太阳短波辐射是影响表层气温变化的主要因子, 因此陆地增温比海上偏高(图略), 这将导致东亚地区夏季海陆温差增加, 夏季风增强。而冬季海陆温差降低的结果将导致冬季风弱, 这可能是东亚季风环流夏季风增强、冬季风减弱的一个因素。

今后我们将会针对上述未来东亚季风系统变化

的大环境, 利用区域海洋动力模型, 研究东中国海水动力环境对未来东亚季风气候变化的响应, 从而预测未来我国东中国海水动力环境的变化情况。利用基于不同耦合模式的大气强迫驱动区域海洋模型得到的海洋动力响应会有差别, 例如黄海暖流和沿岸流场的具体结构、黄海冷水团的范围等, 但是对于预测未来区域海洋动力环境的变化趋势, 这些差别则不会产生太大影响, 尤其采用集合预报的思想, 有可能得出海洋动力环境的显著变化趋势。

参考文献:

- [1] 刘秦玉, 李薇, 徐启春. 东北季风与南海海洋环流的相互作用[J]. 海洋与湖沼, 1997, 28(5): 493-502.
- [2] 蔡荣硕, 陈际龙, 谭红建. 全球变换背景下中国近海表层海温变异及其与东亚季风的关系[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(1): 94-104.
- [3] 袁承仪. 黄海水温与环流变化特征及机制研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2011.
- [4] Wang Zaizhi, Yu Rucong, Bao Qing, et al. A comparison of the atmospheric circulations simulated by the FGOALS2s and SAMIL[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2007, 31 (2): 202-213.
- [5] 赵宗慈. 全球气候变化预估最新研究进展[J]. 气候变化研究进展, 2006, 2(2): 68-70.
- [6] Zheng Jian, Liu Qin yu, Huang Fei. Response of Asian Summer Monsoon to CO₂ Doubling[J]. Journal of Ocean University of China, 2011, 10 (3): 210-218.
- [7] 孙颖, 丁一汇. 未来百年东亚夏季降水和季风预测的研究[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2009, 39(11): 1487-1504.
- [8] 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[J]. 科学通报, 2003, 48(7): 737-742.
- [9] Hori M E, Ueda H. Impact of global warming on the East Asian winter monsoon as revealed by nine coupled Atmosphere ocean GCMs[J]. Geophysical Research Letters, 2006, 33(3): L03713.
- [10] 孙颖, 丁一汇. IPCC AR4 气候模式对东亚夏季风年代际变化的模拟性能评估[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 65- 80.
- [11] 张莉, 丁一汇, 孙颖. 全球海气耦合模式对东亚季风降水模拟的检验[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 261-276.
- [12] 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[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 287-292.
- [13] 周天军, 王在志, 宇如聪, 等. 基于 LASG/IAP 大气环流谱模式的气候系统模式[J]. 气象学报, 2005, 63(5): 702-715.
- [14] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2001: 473, 476.
- [15] 周天军, 宇如聪, 刘喜迎, 等. 一个气候系统模式中大洋热盐环流对全球增暖的响应[J]. 科学通报, 2005, 50(3): 269-275.
- [16] 陈敏鹏, 林而达. 代表性浓度路径情景下的全球温室气体减排和对中国的挑战[J]. 气候变化研究进展, 2010, 6(6): 436-442.
- [17] 郑伟鹏, 俞永强. 一个耦合气候系统模式模拟的中全新世时期亚洲季风系统变化[J]. 第四纪研究, 2009, 29(6): 1-11.
- [18] Kripalani R H, Oh J H, Chaudhari H S. Response of the East Asian summer monsoon to doubled atmospheric CO₂: Coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2007, 87: 1-28.
- [19] Ramanathan V, Chung C, Kim D, et al. Atmospheric brown clouds: Impacts on South Asian climate and hydrological cycle[J]. Proc Natl Acad, 2005, 102: 5326-5333.

Comaprison of four coupling models in simulation and forecast analysis of the East Asian monsoon system

ZHANG Wei-juan¹, YANG Bo², WEI Hao¹

(1. Marine science and engineering, Tianjin university of science and technology, Tianjin 300457, China;
2. institute of Marine environment, The ocean university of China, Qingdao 266100, China)

Received: Aug., 27, 2013

Key words: Intergovern mental Panel on Climate change(IPCC); the coupling mode; the East Asian monsoon; assessment; forecast

Abstract: In this paper, based on the ocean-atmosphere coupling model simulation experiment in the forth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC AR4), the East Asia monsoon climate changes under the RCP4.5 future scenario were analyzed and the simulation results of four ocean-atmosphere coupling model were compared. Comparison results showed that all models can well simulate the East Asia monsoon climate characteristics, such as, the prevailing wind in winter and summer, the characteristics of the sea and land distribution and the season of precipitation and heat flux. However, there were also some differences between simulation results of each model, Compared with the re-analysis data, higher simulated wind speed by FGOALS_s2. 0, and lower simulated precipitation by GFDL_CM3 were obtained. With comprehensive comparison, GFDL_CM3 model was the best model to simulate the climate changes in East Asia. Four models for the forecast of the future climate were relatively consistent: the overall trend of the future of East Asian monsoon is that summer monsoon circulation will enhance, wind in winter will weaken, and summer wind speed will increase about 3.7%. Precipitation will increase, especially on land, The addition of precipitation throughout the year will be about 4.62% in East Asia. In most of the East Asia, the heat flux has a tendency to increase, which is the result of the greenhouse effect enhancement.

(本文编辑: 李晓燕)