

5 个 CMIP5 模式对低纬高原气温的模拟和预估*

王 麟^{1,2}, 刘毅鹏¹, 汪 健^{1,2}, 丁宇超^{1,2}, 杨若文^{1,2}

(1. 云南大学 资源环境与地球科学学院 大气科学系, 云南 昆明 650091;

2. 云南省国际河流与跨境生态安全重点实验室, 云南 昆明 650091)

摘要:利用 CMIP5 中 5 个气候模式 1961—2005 年的月平均气象要素资料、低纬高原区高分辨的月平均温度格点资料,采用 BP 神经网络、EOF 分析以及多元回归方法对低纬高原地区 2006 年 1 月至 2009 年 12 月期间的温度进行预估研究.结果表明,各温度模型集合模拟的低纬高原地区未来 94 年温度在 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 三种排放情景下均呈明显的上升趋势.至 2009 年,与 2005 年平均温度相比,RCP2.6 排放情景下,温度升高 0.9℃,RCP4.5 排放情景下,温度升高 1.8℃,RCP8.5 排放情景下,温度升高 3.3℃.

关键词:BP 神经网络;温度;降尺度;排放情景;低纬高原

中图分类号:P 423.3 **文献标志码:**A **文章编号:**0258-7971(2015)06-0851-10

低纬高原是指纬度低于 30°,海拔高于 1 000 m 的高原地区.我国低纬高原地区以云南为主体,包括贵州西部、广西西部和四川南部.这一地区受到全球最强盛的亚洲季风和复杂地形相互作用的影响^[1].各个气候模式直接输出的结果分辨率较低,不能很好地模拟再现地形复杂的低纬高原地区温度时空变化特征^[2-3].降尺度的方法可以提高分辨率,帮助终端使用者很好地进行气候预测^[4],在数值预报能力有限的情况下,采用降尺度的方法可以更加精确地对气候进行预测^[5-6].BP 神经网络是大气科学领域应用最广泛的神经网络模型之一.相较于其他网络模型,BP 神经网络通用性好,较为成熟,可较好地应用于气候要素的预测研究.Mccann 等^[7]使用神经网络对雷暴进行短期预报,结果表明神经网络模型对雷暴预报的准确性较高,验证了神经网络模型在雷暴预报方面的可行性.Coulibaly 等^[8]使用神经网络模型对日降水和温度进行降尺度,并用全球气候模式的多个变量降水和温度进行预测.Hung 等^[9]则使用神经网络对太阳辐射以及泰国曼谷的降水进行预测.Dean 等^[10]采用线性回归方法和非线性神经网络方法进行了机场雨(雾)

的预报试验,并对 2 个方法进行对比,凸显神经网络解决非线性问题的优越性.赵旭寰等^[11]使用神经网络的方法进行雷暴预测,凸显了神经网络方法进行雷暴预测的可行性.Chu 等^[12]研究了在海河流域气候变化情景下,统计降尺度的日平均气温与蒸发皿蒸发量和降水量的关系.自实施 CMIP5 研究计划以来,许多学者对 CMIP5 中多种气候模式的模拟能力进行了评估,结果表明 CMIP5 中的多种气候模式对温度以及天气系统等模拟效果较好^[13-18].Valeria 等^[19]使用 CMIP5 中耦合模式模拟北半球中纬度地区大气环流对斜压涡度及行星波增长规模进行分析表明,局部变化与潜在社会影响并不是影响大气环流变化的关键因素.陈晓晨等^[20]使用比较计划第 5 阶段(CMIP5)的 43 个参加耦合模式全球气候模式模拟数据和多种观测资料,通过中国地区 1980—2005 年降水实测值与全球气候模式输出降水的对比分析,评估其对中国降水的模拟能力,对于降水夏强冬弱的季节性变化趋势,模式能够较好地模拟,但存在降水偏多的问题,在月、季、年时间尺度下,对于大部分单个模式结果,多模式集合模拟的平均值效果更好.《云南省未

* 收稿日期:2015-07-30

基金项目:国家自然科学基金(41375097,41405001);教育部博士点基金(20135301120010).

作者简介:王 麟(1988-),男,山东人,博士生,主要从事气候变化及其机理研究.E-mail:manutd0521@163.com.

通信作者:杨若文(1982-),男,宁夏人,博士,讲师,主要从事气候变化及其机理研究.E-mail:yangruowen@gmail.com.

来 10~30 年气候变化预估及其影响评估报告》一书对云南气候变化基本特征、气候变化对主要领域的影响进行了概述,并对云南未来 10~30 年不同温室气体排放情景下降水、气温、极端天气气候事件以及气象灾害变化趋势进行预估,在此基础上进一步分析气候变化对云南主要领域可能产生的影响,并提出了适应对策建议^[21].前人利用神经网络的研究大多集中于雷暴与降水,且以短期的预估为主.本文利用 CMIP5 中的 5 个模式,采用 BP 神经网络模型对低纬高原地区的温度进行长期预估研究,以期为制定低纬高原区的适应气候变化预案提供科学依据.

1 资料及排放情景介绍

1.1 资料 曹杰等^[22]选取 CMIP5 中的 16 个模式进行低纬高原地区降水的预估研究,本文从模拟效果较好的模式中选取 GFDL、CCSM 及 IPSL 这 3 个模式,并另外选取 HadGEM2-AO 与 MIROC5 模式进行同样的研究作对比.将选取的 5 个气候模式的模拟结果作为建立模型的输入因子.输入因子场包括 700 hPa 的比湿场、UV 风场及位势高度场,时间为 1961 年 1 月至 2099 年 12 月.将根据观测重建的高分辨率格点月平均温度资料作为建立和验证模型的输出因子,时间为 1961 年 1 月至 2005 年 12 月,空间分辨率为 $0.208\ 33^{\circ}\times 0.208\ 33^{\circ}$ ^[22].其中建立模型的样本为 1961 年 1 月至 1990 年 12 月,共 360 个样本资料;以 1991 年 1 月至 2005 年 12 月的 180 个样本资料,作为独立样本对模型进行验证.

表 1 5 个 CMIP5 全球气候模式基本信息

Tab.1 Five global climate models' details of CMIP5		
模式名称	单位及所属国家	分辨率
CCSM4	NCAR,美国	288×192
GFDL-CM3	NOAA GFDL,美国	144×90
HadGEM2-AO	NIMR/KMA,韩国/英国	192×145
IPSL	IPSL,法国	96×96
MIROC5	MIROC5,日本	256×128

1.2 排放情景介绍 温室气体排放情景是对未来气候变化预估的基础.本文使用 CMIP5 中 5 种模式的 3 种排放情景的数据对低纬高原地区未来温度进行预估研究,3 种排放情景分别是 RCP2.6 情景、

RCP4.5 情景、RCP8.5 情景^[23-24].

1.2.1 RCP2.6 情景 该情景是把全球平均气温上升限制在 2 ℃ 之内的情景.无论从温室气体排放,还是从辐射强迫看,RCP2.6 均为最低的情景.21 世纪后半叶能源应用为负排放,应用的是全球环境评估综合模式 (IMAGE),采用中等排放标准,假定所有国家均参加.2010—2100 年累计温室气体排放比基准年减少 70%.为此,要彻底改变能源结构及 CO₂ 外的温室气体的排放,特别提倡应用生物质能、恢复森林.

1.2.2 RCP4.5 情景 该情景是 2100 年辐射强迫稳定在 $4.5\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.用全球变化评估模式 (GCAM) 模拟,模式考虑了与全球经济框架相适应的,长期存在的全球温室气体和生存期短的物质排放,以及土地利用和陆面变化.模式的改进包括历史排放及陆面覆盖信息,并遵循用最低代价达到辐射强迫目标的途径.为限制温室气体排放,需改变能源体系,多用电能、低排放能源技术,开展碳捕获及地质储藏技术.通过降尺度得到模拟的排放及土地利用的区域信息.

1.2.3 RCP8.5 情景 这是最高的温室气体排放情景.该情景假定人口最多、技术革新率不高、能源改善缓慢,所以收入增长慢.这将导致长时间高能源需求及高温室气体排放,而缺少应对气候变化的政策.与过去的情景相比,有两点重要改进,一是建立了大气污染预估的空间分布图,二是加强了土地利用和陆面变化的预估.

表 2 典型浓度目标

Tab.2 Representative concentration pathways	
排放情景	描述
RCP2.6	辐射强迫在 2100 年前达到峰值,至 2100 年下降到 $2.6\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,CO ₂ 典型浓度峰值约 $490\ \text{mL}\cdot\text{m}^{-3}$
RCP4.5	辐射强迫稳定在 $4.5\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,2100 年后 CO ₂ 典型浓度稳定在约 $650\ \text{mL}\cdot\text{m}^{-3}$
RCP8.5	辐射强迫上升至 $8.5\ \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$,2100 年 CO ₂ 典型浓度达到约 $1\ 370\ \text{mL}\cdot\text{m}^{-3}$

2 BP 神经网络模型的建立及效果评估

对格点上的温度资料进行 EOF 分析,第 1 模

态的方差贡献为 97.57%,且通过了 North 检验,这里将温度 EOF 第 1 模态对应的时间系数作为建立 BP 神经网络温度模型的输出向量.计算所选低纬高原区域内每个格点上的模式资料与实测温度 EOF 第 1 模态对应时间系数的相关系数,将通过 95%置信度检验的格点进行区域平均后,筛选出 6 个中心作为输入节点.给定目标精度为 0.000 1,学习速率为 0.1,最大迭代次数为 1 000,建立基于各个气候模式的低纬高原区温度的 BP 神经网络模型.为简单起见,将使用 CCSM4 模式资料作为输入节点建立的神经网络模型称为 CCSM4 温度模型,其余 4 种神经网络模型分别称作 GFDL-CM3 温度模型、HadGEM2-AO 温度模型、IPSL 温度模型及 MIROC5 温度模型.

所建立的 5 个温度模型中,CCSM4、HadGEM2-AO、IPSL 和 MIROC5 温度模型的每个输入层节点与每个隐含层节点间产生 1 个连接权值,输入层与隐含层间共产生 6×11 个连接权值;每个隐含层节点与每个输出层节点间产生 1 个连接权值,隐含层与输出层间共产生 11×1 个连接权值;每个隐含层节产生 1 个隐含层阈值,隐含层共产生 11×1 个阈值;每个输出层节点产生 1 个输出层阈值,输出层共产生 1×1 个阈值.GFDL-CM3 温度模型有 9 个隐含层节点,因此 GFDL-CM3 温度模型中的输入层与隐含层间共产生 6×9 个连接权值,隐含层与输出层间共产生 9×1 个连接权值,隐含层产生 9×1 个阈值,输出层产生 1×1 个阈值.表 3 给出的是所建立 5 个模型隐含层的阈值,而 CCSM4 温度模型输出层阈值为-0.433 8,GFDL-CM3 温度模型输出层阈值为-0.006 1,HadGEM2-AO 温度模型输出层阈值为-0.163 2,IPSL 温度模型输出层阈值为-0.617 0,MIROC5 温度模型输出层阈值为0.935 8.

图 1(a) 为实测 1991—2005 年平均温度空间分布图.由图可知,低纬高原地区的温度空间分布特征为:四川西南部、西藏东南部分区域以及云南东北部分区域平均温度在 0 ℃ 以下,部分地区平均温度甚至在-3 ℃ 以下;四川东南部 and 南部、云南元谋、贵州西南角、广西西部、云南西南部温度较高,平均温度基本在 18 ℃ 以上,云南元谋地区、云南南部部分区域、广西西部部分区域的平均温度达到 21 ℃ 以上;云南中西部、中部、东北部、贵州西部平均温度基本在 9~15 ℃ 之间;云南东南部、贵州西南部平均温度基本在 15~18 ℃ 之间.总的来说,低纬高原地区平均温度分布情况为从低纬高原地区西北角向东南部呈扇形扩散方式至整个低纬高原地区(除低纬高原中部部分高温区域,即云南北部与四川南部接壤区域),随扩散方向温度升高.图 1(b) 至图 1(f) 分别为通过 CCSM4、GFDL-CM3、HadGEM2-AO、IPSL 与 MIROC5 温度模型得到低纬高原地区 1991—2005 年平均温度空间分布图.对比图 1(a) 可知,各个模型的平均温度空间分布从低纬高原地区西北角向东南部呈扇形扩散方式至整个低纬高原地区(除低纬高原中部的一小部分高温区域,即云南北部与四川南部接壤区域),沿扩散方向温度升高,与实测 1991—2005 年平均温度相一致,其中 CCSM4 与 GFDL-CM3 模型的温度区间的格点数与实测 1991—2005 年平均温度之间的偏差较大,而 IPSL 与 MIROC5 模型与实际情况偏差很小.总的来说,各个温度预估模型模拟的低纬高原地区温度空间分布与实际情况的相关系数均达到 0.99 以上,通过 0.01 的显著性检验,各预估模型低纬高原地区温度均展现出一定的模拟能力.

图 2 给出了实测温度平均分布(图 2(a)) 以及

表 3 各模型隐含层阈值
Tab.3 Hidden layers' threshold of the five models

模型	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CCSM4	1.75	-1.54	1.35	1.41	1.26	-0.01	0.1	-0.14	-1.31	-1.78	-1.48
GFDL-CM2	2.03	-1.53	-1.89	0.26	-0.64	0.85	-1.03	-1.41	-0.04	—	—
HadGEM2-AO	1.1	1.6	2.6	0.76	1.4	-0.64	0.88	2.8	0.24	-0.88	2.3
IPSL	-1.9	-1.7	1.2	-1.4	-0.45	-0.6	0.53	-0.24	-0.51	1.6	2
MIROC5	-2.3	1.8	1.5	0.59	-0.78	0.26	-0.27	0.9	1.2	-1.9	2.1

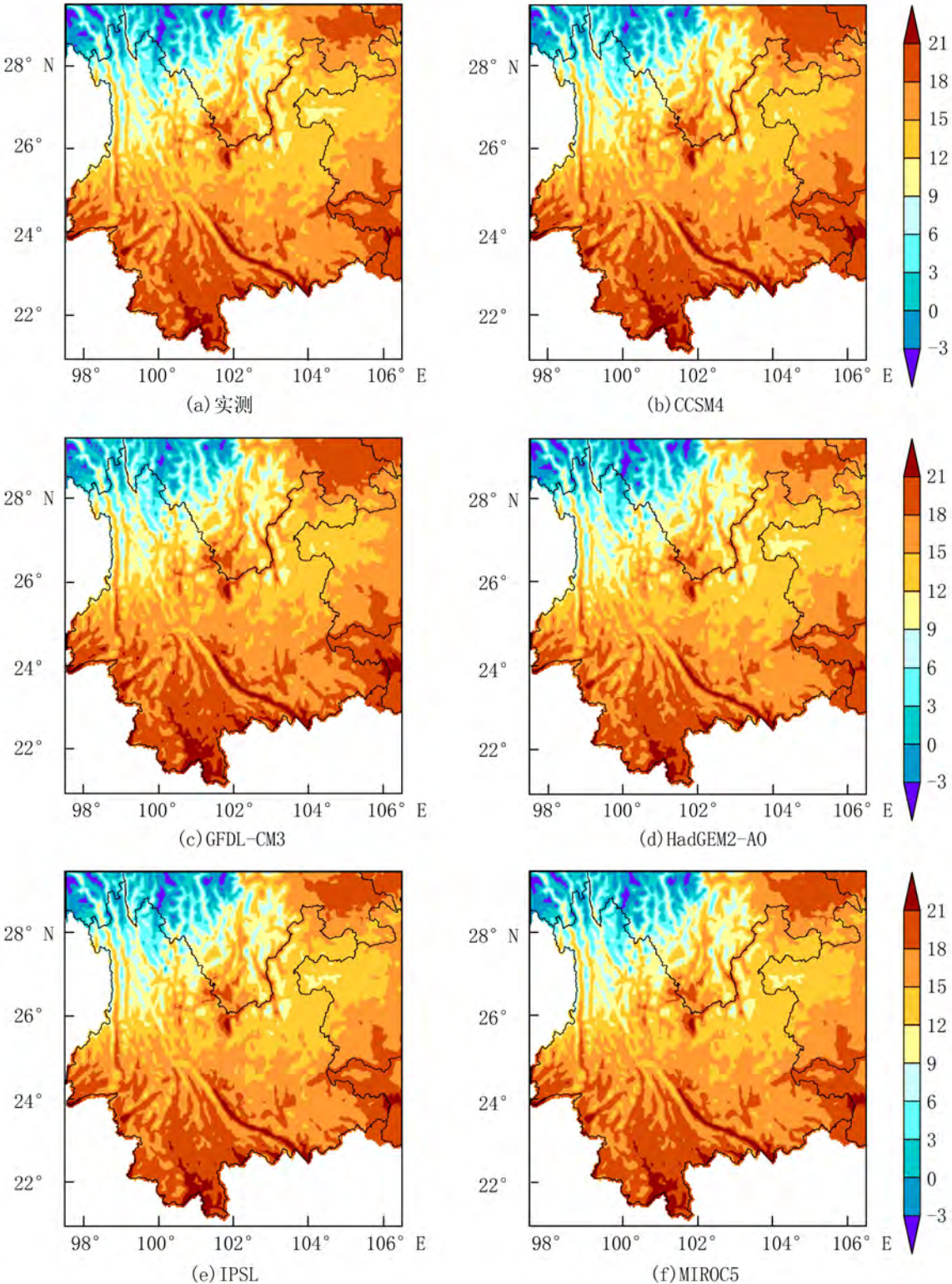


图 1 各模型 1991—2005 年平均的低纬高原区温度空间分布(单位:℃)

Fig.1 Temperature distribution in low latitude highland of the five models from 1991 to 2005 (unit:℃)

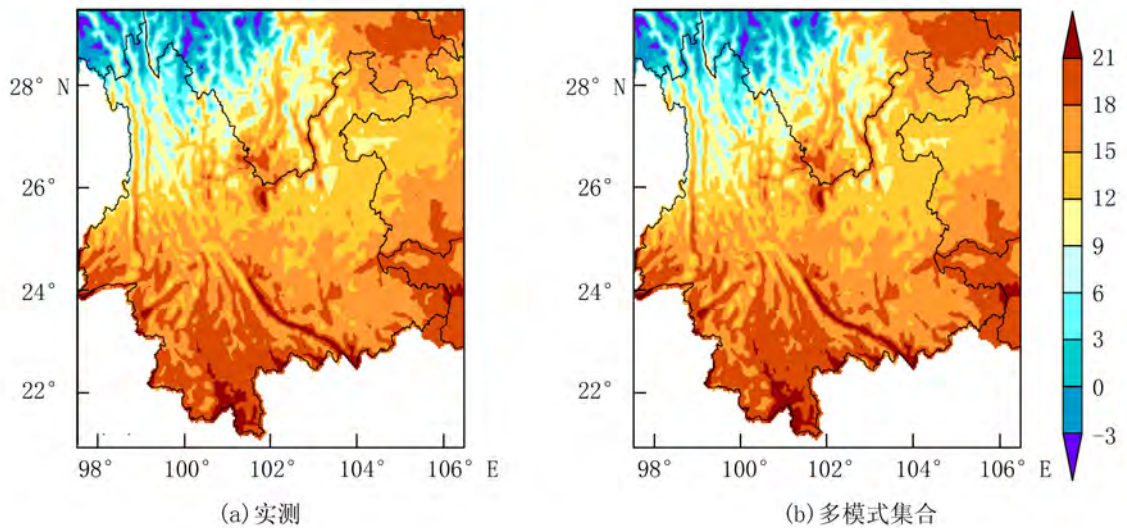


图 2 低纬高原地区温度平均分布(单位:℃)

Fig.2 Mean temperature distribution in low latitude highland (unit:℃)

5 个模型的输出结果的集合空间场温度平均分布(图 2(b)).对比集合所得到的温度平均空间场与实测温度平均空间场的分布情况可知,温度分布的一致性及吻合度都有所提高.

图 3 为各个模型 1991—2005 年平均的低纬高原区温度与实测温度的差值分布图.根据差值分析可以得知, HadGEM2 模式的温度整体略低于实测温度,而其他 4 个模式则略高于实测,其中, CCSM4 与 GFDL 模式比 IPSL 与 MIROC5 模式更为偏高.整体的情况在低纬高原地区的北部和东部区域偏差更大一些,而在云南的西南区域,与实测最为相近.整个低纬高原地区中部较实测情况偏差不大.

由图 4 以及表 4 可以看出集合温度区域平均与实测温度区域平均随时间的变化趋势基本相一致,且各模式下温度区域平均及集合温度区域平均与实测温度区域平均的相关很好,相关系数均通过 0.05 的显著性检验.集合温度区域平均尤为突出,进一步提高了 BP 神经网络模型输出的准确性.

通过对 BP 神经网络模型模拟的温度空间场与实测温度空间场的分布对比及时间序列的相关分析可知,神经网络建立的模型对温度的模拟效果较好,有较高的可行性及可信度,可以用神经网络建立降尺度预测模型对低纬高原地区未来温度进行预估研究.

3 不同排放情景下对低纬高原地区未来温度预估

通过对比分析各个温度预估模型分别在

RCP2.6、RCP4.5 和 RCP8.5 的排放情景下,低纬高原地区未来 94 年(2006—2099 年)平均温度与实测 1961—2005 年平均温度差值的空间分布情况(图略)可知,在 RCP2.6 情景下, CCSM4、GFDL-CM3、IPSL 和 MIROC5 模型的温度全场一致升高,其中 CCSM4 与 GFDL-CM3 的升高幅度较大, IPSL 与 MIROC5 升高幅度较小,4 个模型温度分布均具有由南向北温度升高幅度逐渐增大的趋势. HadGEM2-AO 模型则出现全场一致降低,降低幅度很小,基本在 0.1℃ 以内,与样本平均温度大致相同.在 RCP4.5 情景下,各个模型的温度全场一致升高,由南往北温度升高幅度有逐渐增大的趋势.在 RCP8.5 情景下 GFDL-CM3 模型未来 94 年平均温度比 RCP4.5 未来 94 年平均温度有所降低,其他 4 个模型均比 RCP4.5 情况有所升高,其中 CCSM4 模型升高幅度较大,其余升高幅度不大.

图 5(a)为 5 个温度模型的集合在 RCP2.6 情景下低纬高原地区未来 94 年(2006—2099 年)平均温度与实测 1961—2005 年平均温度差值的空间分布.由图可知,在 RCP2.6 情景下未来 94 年集合平均温度的空间分布为:低纬高原东北部以及西北部地区温度升高 1~1.5℃ 之间,其他地区温度升高 0.5~1℃ 之间.总的来说,温度全场一致升高,升高幅度较大,且由南往北温度升高幅度有逐渐增大的趋势.图 5(b)为 5 个温度模型的集合在 RCP4.5 情景下低纬高原地区未来 94 年平均温度与在 RCP2.6 情景下未来 94 年平均温度差值的空间分布.由

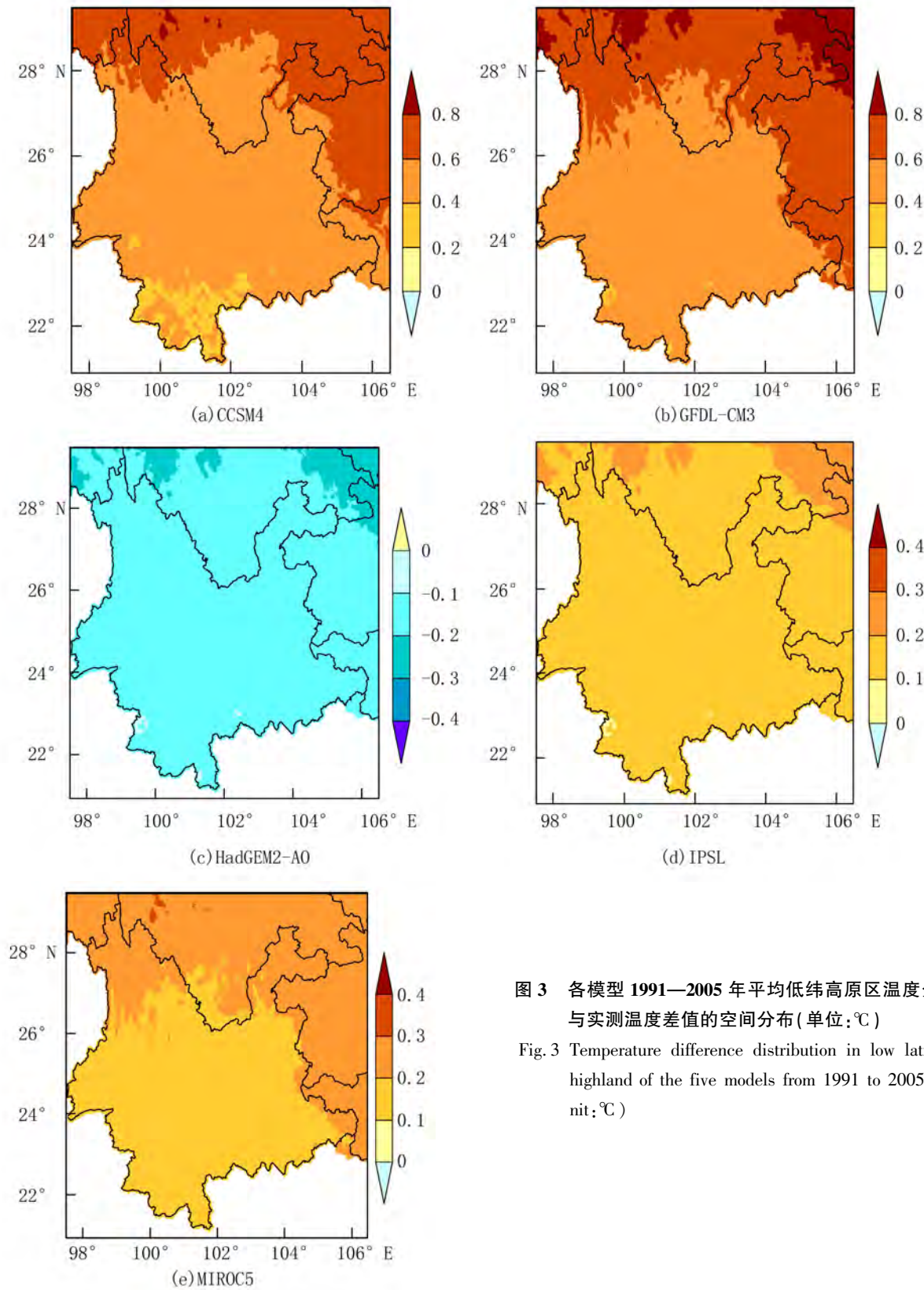


图 3 各模型 1991—2005 年平均低纬高原区温度分别与实测温度差值的空间分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig.3 Temperature difference distribution in low latitude highland of the five models from 1991 to 2005 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

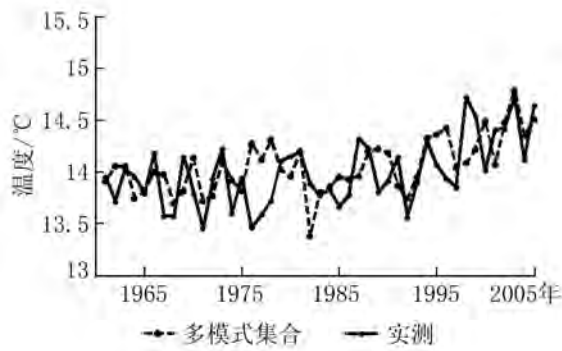


图4 各模型集合温度区域平均与实测温度区域平均趋势对比

Fig.4 Comparison of mean temperature trend in low latitude highland between the five models' ensemble and observations

表4 各模式下温度区域平均及集合温度区域平均与实测温度区域平均相关系数

Tab.4 Correlation coefficient of mean temperature in low latitude highland between observations and the five models include ensemble

模型	相关系数
CCSM4	0.961 8
GFDL-CM3	0.950 2
HadGEM2-AO	0.962 6
IPSL	0.961 7
MIROC5	0.964 4
ensemble	0.982 4

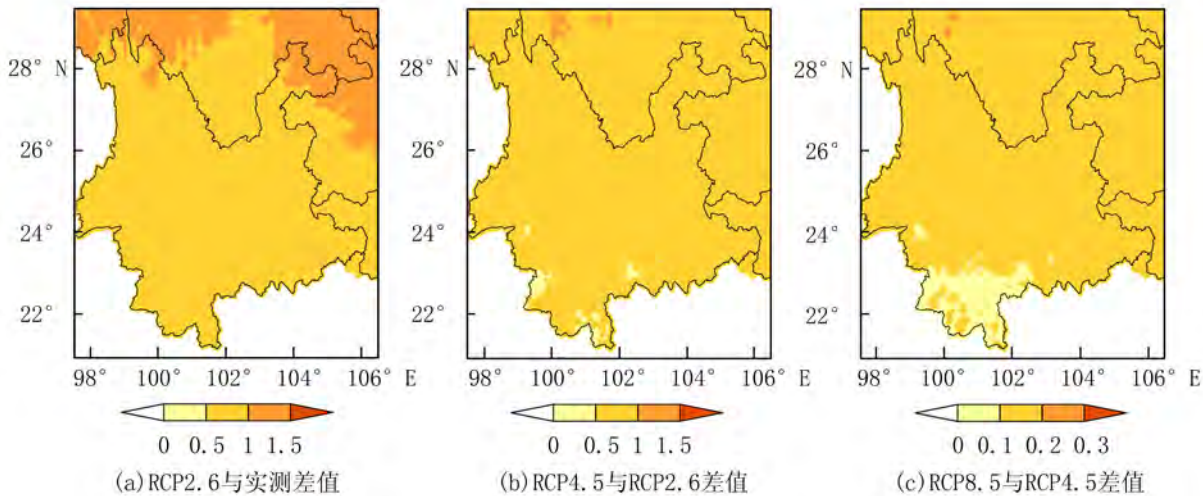


图5 各模型集合不同情境间1961—2005年平均温度差值空间分布(单位:℃)

Fig.5 Mean temperature difference distribution from 1961 to 2005 by different emission scenarios of the five models (unit:℃)

图可知,RCP4.5 情景下未来 94 年平均温度比 RCP2.6 情景下未来 94 年平均温度有所升高.其中,低纬高原大部分区域温度升高在 0.5~1℃之间,只在北部少部分区域温度升高在 1℃以上,而南部少部分区域温度升高在 0~0.5℃之间.总的来说,温度全场一致升高,但升高幅度不大.图 5(c)为 5 个温度模型的集合在 RCP8.5 情景下低纬高原地区未来 94 年平均温度与在 RCP4.5 情景下未来 94 年平均温度差值的空间分布.可以看出,RCP8.5 情景下未来 94 年平均温度比 RCP4.5 情景下未来 94 年平均温度有所升高;低纬高原南部少部分区域温度升高在 0~0.1℃之间,北部少部分区域温度升高在 0.2~0.5℃之间,其他地区温度上升在 0.1~0.2℃之间.总的来说,温度全场一致升高,

但升高幅度较小,由南往北温度升高幅度有逐渐增大的趋势.可见,在不同排放情境下,CO₂ 排放严重程度不同,低纬高原地区温度的增幅也存在一定的差异.

图 6 为各模型集合的低纬高原地区 2006—2099 年全区平均温度预估时间序列.由图 6 可知,在不同排放情景下,未来温度呈上升趋势;且随着 RCP2.6、RCP4.5 以及 RCP8.5 不同排放情景的变化(即随着 CO₂ 排放严重程度的增加),温度升高幅度也在不断增加;至 2099 年,与 2005 年平均情况相比,在 RCP2.6 排放情景下,温度升高 0.9℃;RCP4.5 排放情景下,温度升高 1.8℃;RCP8.5 排放情景下,温度升高 3.3℃.

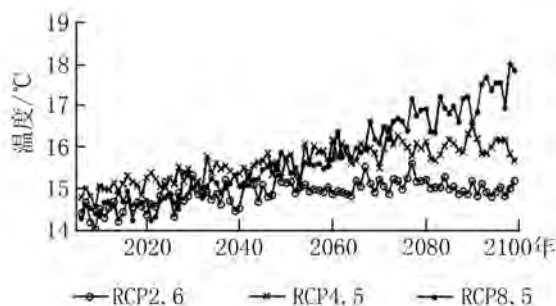


图 6 不同排放情景下各模型集合 2006—2099 年全区平均温度时间序列

Fig.6 Mean temperature time series in low latitude highland from 2006 to 2099 by different emission scenarios of the five models' ensemble

4 结 论

本文利用 CMIP5 中 5 个模式资料、高分辨率的温度格点资料,建立 BP 神经网络温度预估模型。主要结论如下:

(1)模型模拟温度与实测温度的对比分析表明建立的 BP 神经网络模型对低纬高原地区温度有较好的模拟能力,可以使用 BP 神经网络对低纬高原地区未来温度进行预估研究,各模型集合模拟的能力强于独立模型。IPSL 与 MIROC5 模型对历史时期温度空间分布的模拟更为准确,其余模型的模拟效果次之。各模式已建好的神经网络模型的输出值与实测温度资料的 EOF 第 1 时间向量的相关系数较高,且通过 99% 的信度检验;集合的温度区域平均与实测的温度区域平均随时间变化趋势基本一致,进一步提高了 BP 神经网络模型输出的准确性。

(2)使用已建好的 BP 神经网络降尺度预测模型对低纬高原地区未来 94 年的温度变化趋势进行预估研究,在 RCP2.6、RCP4.5、RCP8.5 三种排放情景下,温度均呈现上升趋势。在不同排放情境下,CO₂ 排放严重程度不同,温度增幅存在一定差异。至 2099 年,与 2005 年平均情况相比,在 RCP2.6 排放情景下,温度升高 0.9 °C;RCP4.5 排放情景下,温度升高 1.8 °C;RCP8.5 排放情景下,温度升高 3.3 °C。

本文仅以温度作为研究要素,分析了 5 个 CMIP5 模式对低纬高原地区模拟情况,并分别做出未来温度的预估;且预估仅基于 CO₂ 排放情况,并未考虑气候演变所带来的影响。这些问题将在以

后的研究中加以改进,并根据气象要素之间的联系,做进一步全面的分析。

致谢:本研究还属于“喜马拉雅地区气候变化适应性研究(Himalayas Climate Change Adaptation Programme, HICAP)”项目内容,得到挪威外交部(Ministry of Foreign Affairs, Norway)和瑞典国际发展署(Swedish International Development Agency)联合资助。特此致谢。

参考文献:

- [1] 汤阳,杨若文,胡金明,等.海表温度异常与中国低纬高原 5 月降水的 ESVD 研究[J].热带气象学报, 2013,29(3):449-457.
- TANG Y, YANG R W, HU J M, et al. ESVD analyses of the anomaly of sea surface temperature and the precipitation in May over Low-Latitude Plateau of China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2013, 29(3):449-457.
- [2] TIMBAL B, FERNANDEZ E, LI Z. Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia [J]. Environmental Modeling & Software, 2009, 24:341-358.
- [3] REINER S, DENNIS P L. A case study of statistical downscaling in Australia using weather classification by recursive partitioning [J]. Journal of Hydrology, 1998 (212/213):362-379.
- [4] MARAUN D, WETTERHALL F, IRESON A M, et al. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user[J]. Reviews of Geophysics, 2010, 48:RG3003.
- [5] SHAO Q, LI M. An improved statistical analogue downscaling procedure for seasonal precipitation forecast[J]. Stoch Environ Res Risk Assess, 2013, 27:819-830.
- [6] CHARLES A, TIMBAL B, FERNANDEZ E, et al. Analog downscaling of seasonal rainfall forecasts in the Murray Darling Basin [J]. American Meteorological Society, 2013, 141:1 099-1 117.
- [7] MCCANN D W. A neural network short term forecasting of thunderstorms[J]. Weather and Forecasting, 1992, 7 (5):525-534.
- [8] COULIBALY P, DIBIKE Y B. Downscaling precipitation and temperature with Temporal Neural Networks [J]. Journal of Hydrometeorology, 2005, 6:483-496.
- [9] HUNG N Q, BABEL M S, WEESAKUL S, et al. An artificial neural network models for rainfall forecasting in Bangkok, Thailand [J]. Hydrology and Earth System Sci-

- ences, 2009, 13: 1 413-1 425.
- [10] DEAN A R, FIEDLER B H. Forecasting warm season burnoff of low clouds at the San Francisco International Airport using linear regression and a neural network [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 2002, 41 (6): 629-639.
- [11] 赵旭寰, 王振会, 肖稳安, 等. 神经网络在雷暴预报中的应用初步研究[J]. *热带气象学报*, 2009, 25 (3): 357-358.
- ZHAO X H, WANG Z H, XIAO W A, et al. A preliminary study of neural network based short term thunderstorm forecast [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2009, 25 (3): 357-358.
- [12] CHU J T, XIA J, XU C Y, et al. Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China [J]. *Theor Appl Climatol*, 2011, 99: 149-161.
- [13] 姚遥, 罗勇, 黄建斌. 8个CMIP5模式对中国极端气温的模拟和预估[J]. *气候变化研究进展*, 2012, 8 (4): 250-256.
- YAO Y, LUO Y, HUANG J B. Evaluation and projection of temperature extremes over China based on 8 modeling data from CMIP5 [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2012, 8 (4): 250-256.
- [14] 李瑞青, 吕世华, 韩博. 10个CMIP5模式对亚澳季风环流及其变率的模拟[J]. *热带气象学报*, 2013, 29 (5): 749-758.
- LI R Q, LV S H, HAN B. Simulations of Asian-Australian monsoon circulation and variability by 10 CMIP5 models [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2013, 29 (5): 749-758.
- [15] XU K, SU J, ZHU C. The natural oscillation two types of ENSO events based on analyses of CMIP5 model control runs [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2014, 31 (4): 801-813.
- [16] 肖恒, 陆桂华, 吴志勇, 等. 珠江流域未来30年洪水对气候变化的响应[J]. *水利学报*, 2013, 44 (12): 1 409-1 419.
- XIAO H, LU G H, WU Z Y, et al. Flood response to climate change in the Pearl River basin for the next three decades [J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2013, 44 (12): 1 409-1 419.
- [17] 李振朝, 韦志刚, 吕世华, 等. CMIP5部分模式气温和降水模拟结果在北半球及青藏高原的检验[J]. *高原气象*, 2013, 32 (4): 921-928.
- LI Z C, WEI Z G, LV S H, et al. Verifications of surface air temperature and precipitation from CMIP5 model in Northern Hemisphere and Qinghai-Xizang Plateau [J]. *Plateau Meteorology*, 2013, 32 (4): 921-928.
- [18] 左金清, 李维京, 任宏伟. CMIP5模式对北极涛动的模拟评估[J]. *气候变化研究进展*, 2013, 9 (3): 157-164.
- ZUO J Q, LI W J, REN H W. The arctic oscillation in the CMIP5 models [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2013, 9 (3): 157-164.
- [19] VALERIA D B, SANDRO C, ALESSANDRO D A, et al. Northern Hemisphere winter midlatitude atmospheric variability in CMIP5 models [J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41 (4): 1 277-1 282.
- [20] 陈晓晨, 徐影, 许崇海, 等. CMIP5全球气候模式对中国地区降水模拟能力的评估[J]. *气候变化研究进展*, 2014, 10 (3): 217-225.
- CHEN X C, XU Y, XU C H, et al. Assessment of precipitation simulations in China by CMIP5 Multi-models [J]. *Advances in Climate Change Research*, 2014, 10 (3): 217-225.
- [21] 《云南省未来10~30年气候变化预估及其影响评估报告》编写委员会(程建刚, 宋连春, 黄玮, 等). 云南省未来10~30年气候变化预估及其影响评估报告[M]. 北京: 气象出版社, 2014.
- ‘Assessment report of climate change forecast and its impact on Yunnan Province in the next 1 to 3 decades’ writing committee (CHENG J G, SONG L C, HUANG W, et al.). Assessment report of climate change forecast and its impact on Yunnan Province in the next 1 to 3 decades [M]. Beijing: Meteorological Press, 2014.
- [22] 曹杰, 陶云, 杨若文, 等. 印太海气相互作用对中国低纬高原降水及地质灾害的影响[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- CAO J, TAO Y, YANG R W, et al. Impact of Indo-Pacific air-sea interaction on rainfall and geological disasters in low latitude highland of China [M]. Beijing: Science Press, 2014.
- [23] VAN V D P, EDMONDS J A, KAINUMA M, et al. A special issue on the RCPs [J]. *Climatic Change*, 2011, 109: 1-4.
- [24] VAN V D P, EDMONDS J A, KAINUMA M, et al. The representative concentration pathways: an overview [J]. *Climatic Change*, 2011, 109: 5-31.

Simulations and estimates of low latitude highland temperature by 5 CMIP5 models

WANG Lin^{1,2}, LIU Yi-peng¹, WANG Jian^{1,2}, DING Yu-chao^{1,2}, YANG Ruo-wen¹

(1.Department of Atmosphere Science, Yunnan University, Kunming 650091, China;

2.Yunnan Key Laboratory of International Rivers and Transboundary Eco-Security, Kunming 650091, China)

Abstract: The research applies monthly average data of 5 models on CMIP5 from 1961 to 2005 and temperature of the low latitude highland in high-resolution grid, followed by BP neural network, EOF analysis and Multiple Linear Regression to the area of low latitude highland between January 2006 and December 2009. The result shows that the temperature estimate of the future 94 years from the ensemble model simulation presents an apparent rising trend, in all emission scenario of RPC2.6, RCP4.5 and RCP8.5. In 2099, compared with the average temperature in 2005, temperature is likely to increase by 0.9°C on RCP2.6 emissions scenario, to increase by 1.8°C on RCP4.5, and to increase by 3.3°C on RCP8.5.

Key words: BP neural network; temperature; downscaling; emission scenario; low latitude highland