

PRECIS对SRES A1B情景下的中国区域气候变化预估分析

潘婕^{1,2,3,4}, 刘珂⁵, 夏冬冬^{2,3}

(1. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081; 2. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081;

3. 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室, 北京 100081; 4. 北京大学物理学院, 北京 100871;

5. 黄河水利委员会水文局, 河南 郑州 450004)

摘 要: 利用海气耦合大气环流模式HadCM3为PRECIS提供初始场和边界条件, 驱动PRECIS模拟产生SRES A1B情景下的区域气候情景数据, 分析了中国区域1961—2100年降水、气温的变化。结果表明: 在SRES A1B情景下, 中国区域未来降水量、气温总体呈现明显上升趋势, 气温中日最低气温增幅最大, 日最高气温增幅最小; 21世纪前半叶(2011—2040年)到中叶(2041—2070年)期间, 降水量、气温增加速率达到最高; 降水在总体增加趋势中呈现出较多局地特征, 21世纪后半叶, 105°E以东地区出现多个降水增幅大值区; 平均气温在未来各时段各区域均表现出升温的整体特征, 新疆和东北地区升温幅度最大。

关键词: 区域气候变化; PRECIS; SRES A1B情景; 降水; 气温

中图分类号: P467 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2017)01-0034-13

1 引言

自工业化革命以来, 人类活动导致的温室气体排放增加已引起全球气候变暖。与全球变暖相应, 中国气候亦发生了明显变化: 1951—2009年期间, 中国陆地表面平均温度以约0.23 °C/10 a的速率上升, 59 a间增温1.38 °C; 20世纪50年代以来, 尽管全国平均降水量变化并不显著, 但其时空变化特征明显, 其中, 南方和西部地区降水增加, 而华北、东北地区降水量则呈总体减少、干旱加剧的趋势^[1]。气候变化影响人类赖以生存的自然生态系统, 威胁生物多样性与人体健康, 且一些极端天气气候事件也随之呈现频率加大、程度加剧的趋势, 造成人类生存环境恶化, 阻碍社会经济的可持续发展^[2], 因此, 对各种温室气体可能排放情景下的未来气候可能变化进行合理的预测估计具有重要的科学意义。

全球气候模式(General Circulation Model,

GCM)是预估未来气候情景的一种有效工具, 它能够较好地模拟出大尺度的气候平均特征, 各国科学家利用不同GCM进行了大量数值模拟实验, 取得了众多成果^[3-4]。IPCC第五次气候变化评估报告采用了耦合模式比较计划第五阶段(CMIP5)的60多个GCM对未来全球气候变化开展情景预估, 在多种典型浓度路径(RCPs)^[5]温室气体排放情景下, 2081—2100年相对于1986—2005年, 全球平均温度增幅可能在0.3~4.8 °C之间。

然而, 当前全球气候模式的水平分辨率比较低, 一般为几百千米, 无法很好地描述局地气候的变化特征。有3种方式解决这一问题, 一种是提高GCM的空间分辨率, 但是需要很大的计算量, 且模式分辨率不能无限制增加; 其二是采用变网格方案, 提高所关心区域的分辨率, 同时对其他地区采取相对较低的分辨率; 其三是引入降尺度技术。目前常采用的是降尺度技术。现有的降尺度技术包

收稿日期: 2015-04-28; 修回日期: 2016-11-28。

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2012BAC19B10)。

作者简介: 潘婕(1975-), 女, 副研究员, 博士, 主要从事气候资源与气候变化研究。E-mail: panjie@caas.cn

通讯作者: 夏冬冬(1975-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事海洋战略研究。E-mail: xdd@nmefc.gov.cn

括统计降尺度与动力降尺度,区域气候模式(Regional Climate Model, RCM)属于后者,是目前较为常用的区域化技术。RCM具有较高的分辨率和更完善的物理过程,能够有效弥补GCM分辨率不足的缺陷,更细致地描述下垫面特征(例如地形和海陆分布以及地表植被分布),更好地刻画气候的局地信息特征。目前世界上常用的RCM主要包括美国国家大气研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR)发展的RegCM系列,美国科罗拉多州立大学(Colorado State University, CSU)的RAMS,英国气象局Hadley气候预测与研究中心的HadRM3,德国马普气象研究所的REMO,澳大利亚的DARLAM以及日本的MRI等。中国学者高学杰等应用RegCM系列区域气候模式,进行了大量的中国地区高分辨率气候气候变化情景预估及分析^[6-11]。

以HadRM3为核心的PRECIS(Providing Regional Climates for Impacts Studies)^[12]是在中国应用较为广泛的区域气候模拟系统之一,主要应用于气候模拟分析、研究以及气候变化影响评估方面^[13]。PRECIS已在全球多个国家和地区开展了多个区域气候模拟试验,包括孟加拉^[14]、巴基斯坦^[15]、俄罗斯^[16]、印度^[17]等国家以及非洲南部^[18]、地中海地区^[19]、欧洲^[20]、中东地区^[21]、非洲西部^[22]、南美洲^[23]、中美洲^[24]、北美洲^[25]等地区。2003年中国引入PRECIS系统,用于为气候变化影响评估工作构建中国区域的高分辨率气候情景,其产生的大量情景数据已广泛应用于中国多个领域的影响评估工作,如农业^[26-28]、林业^[29-31]、水文与水资源^[32-34]、生态系统^[35-40]、人体健康^[41]等等,先后支撑了中国气候变化影响、风险评估和适应方面的多个国内、国际合作项目研究任务。

早期上述工作应用的气候情景数据多为排放情景特别报告(Special Report on Emissions Scenarios, SRES) A2/B2情景下的结果^[42],近年来, SRES A1B情景下的区域气候情景数据在国内外各领域的气候变化研究中应用更为广泛,因此,本文利用Hadley中心的全球气候模式HadCM3驱动PRECIS,模拟产生SRES A1B情景下中国区域1961—2100年的降水、气温,从总体趋势、11 a滑动平均、30 a线性回归、30 a平均态、频率分布等方面分析SRES A1B情景下未来降水、气温相对于气候

基准时段的变化,为气候变化影响评估、风险分析、适应研究提供气候变化参考背景。其中,“30 a平均”或“30 a线性回归”分析所取时段如下: Bs(1961—1990年)、2020s(2011—2040年)、2050s(2041—2070年)、2080s(2071—2100年)。

2 情景和模式简介

未来全球气候的变化趋势主要取决于人类社会的发展方向,包括人口变化、经济发展、技术进步、能源供需以及土地利用变化等。SRES在对现有的众多排放情景进行全面回顾和综合分析的基础上,为未来世界设计了4种可能的社会经济发展框架^[42],假设了不同的未来世界发展方向。SRES情景考虑的社会经济发展的主要方向包括全球性或区域性经济发展,以及侧重于发展经济或致力于保护环境,其考虑的4种未来世界发展框架为A1、A2、B1和B2。SRES A1和B1情景族都倾向于全球趋同,而A2和B2情景族则更多地着眼于区域发展;两个A情景族都致力于发展经济,而两个B情景族则倾向于可持续发展,协调考虑经济增长与环境保护。

在A1情景族(高经济发展情景)中,根据不同的能源供应方式又分为3组情景,以分别描述能源系统中技术变化的不同方向: A1FI情景组,未来的能源供应以矿物燃料为主; A1T为技术发展情景,非化石燃料成为主要的能源来源; A1B为各种能源之间的平衡发展情景^[42]。

英国气象局Hadley气候预测与研究中心研发的区域气候模拟系统在中国地区已开展了SRES A2/B2/A1B情景下的气候变化模拟工作,许吟隆等^[43]对A2情景、杨红龙等^[44]对B2情景的未来气候变化响应已做了分析研究,本文则分析A1B情景下的未来气候变化响应。

PRECIS是以区域气候模式HadRM3P为基础,结合用户友好的数据处理与可视化界面而构建的区域气候模拟系统^[12]。其中, HadRM3P是基于海气耦合气候模式HadCM3中的大气部分HadAM3H发展而来的高分辨率有限区域大气-陆面模式。HadRM3P的大气部分为单向嵌套的静力平衡模式,采用规则的经纬网格和混合垂直坐标系,垂直方向分为19层,最低层约50 m,最高层为0.5 hPa。最下

面4层采用地形追随 σ 坐标系(σ =气压/地表气压),最上面3层采用 P 坐标系,中间采用混合坐标系。模式方程采用旋转球坐标系动力方程组,网格经旋转后得到近似均匀的水平网格,本文中所使用的输出值在旋转坐标系下水平分辨率为 $0.44^\circ \times 0.44^\circ$,在赤道地区约为 $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ 。模式运行调整时间为1 a,模式积分步长为5 min,本文所使用的模式输出值为1961—2100年的逐日值。

由于本文的气候变化情景数据由HadCM3在SRES A1B情景下的模拟结果提供初始场和边界条件驱动PRECIS而生成,因此HadCM3模拟能力直接影响到PRECIS的模拟效果。此前已有不少学者对多个GCM在东亚的模拟能力进行了验证和比

较^[45-48],结果表明,在众多的GCM中,HadCM3能够较好地模拟东亚地区的季风气候特征。而利用已有观测数据开展的一些PRECIS模拟能力验证工作^[13, 43, 49]表明,PRECIS对中国区域当代气候状态具有良好的再现能力。

3 模拟结果

3.1 趋势和年代际变化

图1展示了PRECIS在SRES A1B情景下模拟的中国区域平均的降水、气温变化,图中,红色折线为逐年要素值的11 a滑动平均序列,如1966年对应

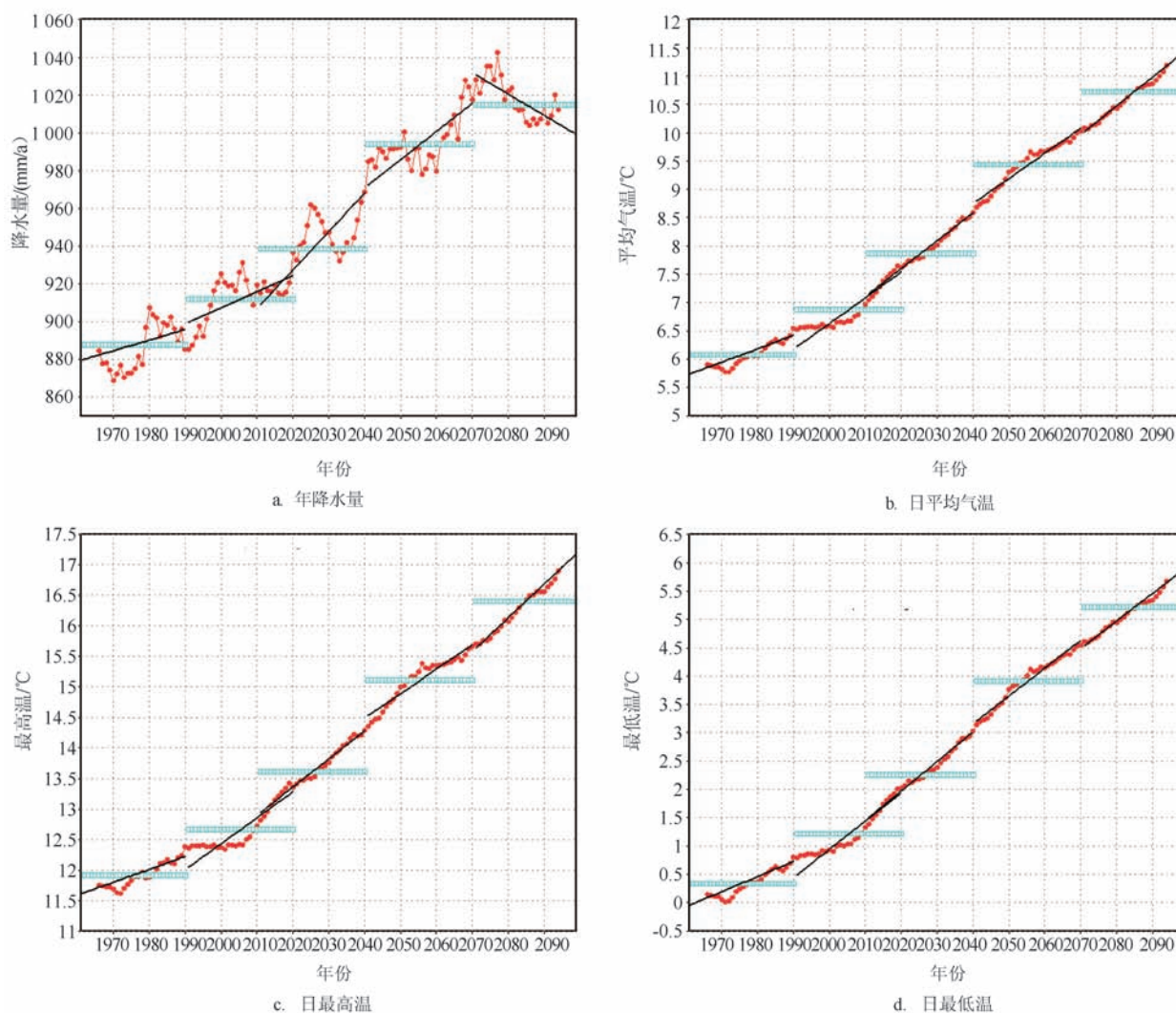


图1 SRES A1B情景下中国区域平均的降水、气温变化
(红线:11 a滑动平均;蓝线:30 a平均;黑线:30 a线性变化趋势)

的值代表了1961—1971年的平均值,依此类推;蓝色线条为30 a平均值,其值为线条所覆盖年份的30 a平均值;黑色实线代表了30 a线性变化趋势,以直线所覆盖年份的30 a逐年均值为时间序列,利用最小二乘法线性拟合估计其变化趋势。

可以看出,中国区域平均的降水和气温在SRES A1B情景下未来的总体变化均呈现明显的上升趋势。表1为中国区域平均的降水和气温30 a平均值和相对于气候基准时段(Bs)的变化值,其变化值同样表明了降水和气温的总体增加趋势。与气候基准时段相比,到21世纪末期,中国区域平均的30 a平均降水总量增加了约127 mm/a,亦即平均每年增加了超过14%的降水量。从图1a可看出,1961—2100年140 a期间,1965—1975年的平均年降水量最小,约为869 mm/a,2072—2082年最大,达到了约1042 mm/a,两者相差173 mm/a。而从单个年份看(图略),1983年降水量最小,为816.36 mm/a,2066年最大,为1134.39 mm/a,两者差距达318.03 mm/a,140 a间,降水量最大的前4个年份均出现在2065—2090年间,而降水量最小的前6个年份则出现在1960—1990年间。可见,无论从单个年份还是11 a平均或是30 a平均,21世纪末期的降水量均比气候基准时段大为增加。

年降水量(见图1a)的11 a滑动平均曲线表明,从20世纪60年代开始至21世纪末,降水量在总体增加的趋势中呈现年代际波动。30 a平均值(见表1)亦显示,降水量呈现增加趋势,尤其2050s相对于2020s,30 a年间年均值增加了约55 mm/a,超过了Bs至2020s的50 a间增加量(约51 mm/a),而2080s增加量较小,相对于2050s仅增加了近21 mm/a,这主

要是因为2080s的后半段降水量有所减少,从最小二乘法线性拟合趋势线可看出,2080s的30 a线性变化趋势为降水量显著减少,而其余4个时段的线性变化趋势均为降水量明显增加。

不同于年降水量的是,气温没有明显的年代际波动,无论是日平均气温(见图1b)、日最高气温(见图1c)还是日最低气温(见图1d),均呈现出一致的变化趋势,且30 a线性变化趋势线与11 a滑动平均曲线大致重合,尤其在2010年之后,基本上表现为线性增温。与气候基准时段相比,21世纪最后30 a气温平均升高了4.50~4.88℃,其中增幅最大的是日最低气温,增幅为4.88℃,日最高气温则比日最低气温和日平均气温增幅小,为4.50℃。从逐年值(图略)看,日平均气温自1968年的5.17℃开始,在小幅度的年际波动中逐渐上升,在2100年达到了最高值,超过12℃,也就是说,到21世纪末,中国区域年平均气温与上世纪60年代末期的年平均气温低值年份相比,最高已经增温一倍以上。而日最低气温和最高气温也分别从1968年的-0.58℃和11.03℃增加到了2100年的6.45℃和17.84℃,增温显著。

值得注意的是,从2020s到2050s,气温攀升的幅度与降水量增幅一样,也是几个时段中最快的,这暗示着在SRES A1B情景下,2020—2050s是未来百年间气温、降水变化最剧烈的时期,该时期的洪涝和高温极端气候事件值得关注。

3.2 30 a平均变化空间分布

图2为SRES A1B情景下中国区域2020s、2050s、2080s分别相对于Bs的30 a平均变化空间分

表1 SRES A1B情景下中国区域平均的降水和温度各时段30 a平均值和相对于Bs的变化值

变量		1961—1990年	2011—2040年	2041—2070年	2071—2100年
年降水量/(mm/a)	平均值	887.55	938.37	993.81	1014.77
	变化值	0.00	50.82	106.26	127.22
日平均气温/℃	平均值	6.08	7.87	9.44	10.73
	变化值	0.00	1.79	3.36	4.65
日最高气温/℃	平均值	11.91	13.61	15.11	16.41
	变化值	0.00	1.70	3.20	4.50
日最低气温/℃	平均值	0.34	2.26	3.92	5.22
	变化值	0.00	1.92	3.58	4.88

注:平均值为30 a平均;变化值为相对于1961—1990年30 a平均的变化

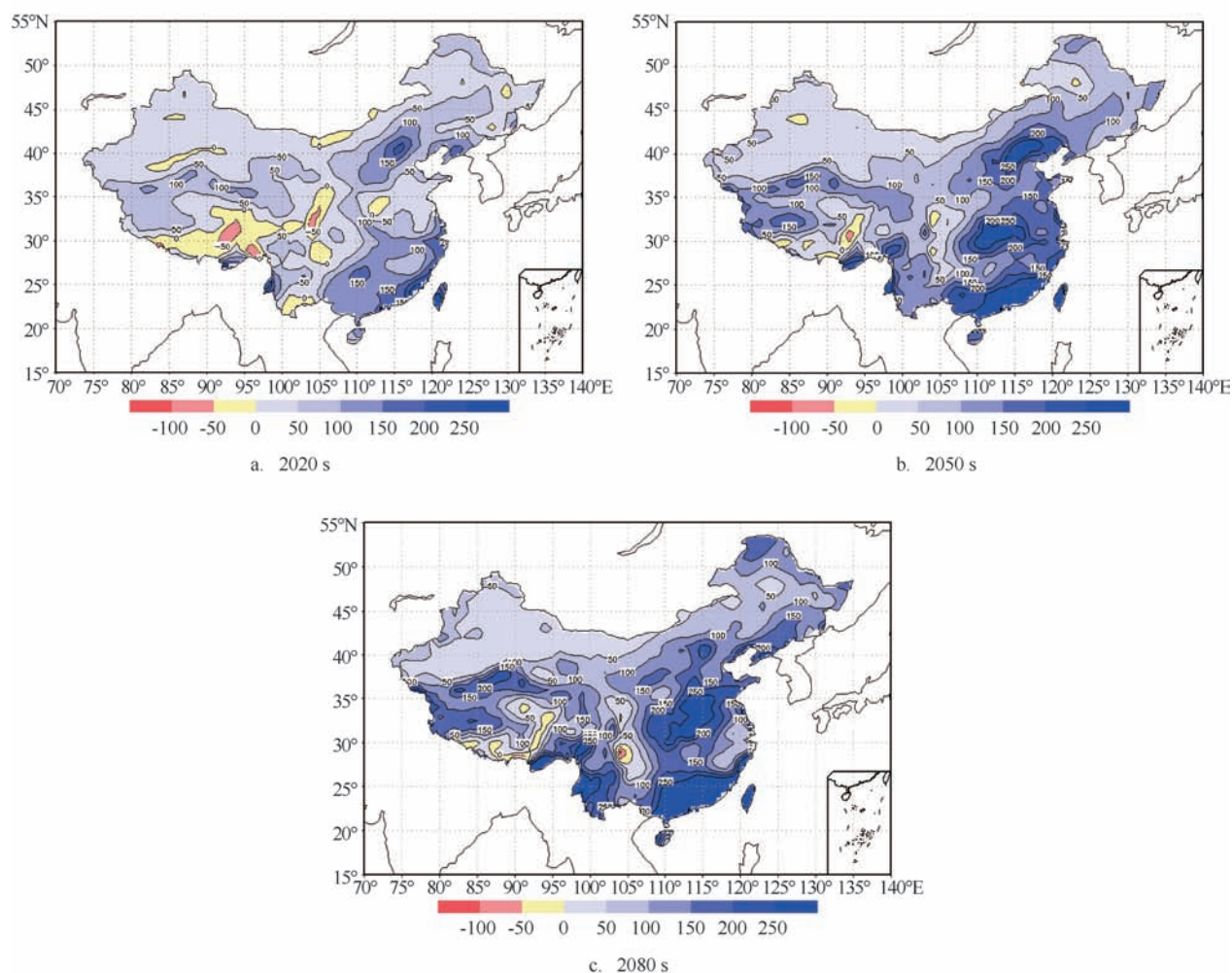


图2 SRES A1B情景下30 a平均年降水量变化(相对于Bs,单位:mm/a)

布图。从图上可以看出,中国大部分地区降水量呈增加趋势,且随时间的推移,越往后增加幅度越大。在总体增加趋势中,降水变化又呈现出较多局地特征,对于2020s,降水量增幅最大的区域主要为东南沿海和华北地区,其中增幅最大的地方为福建沿海和台湾岛,降水量增加达250 mm/a以上,其余地区降水量增幅一般在100 mm/a以内,降水量减少的区域主要分布在西南、西北、青藏高原的部分地区。对2050s和2080s而言,除了藏南和川藏边界尚有小部分降水减少的地区外,几乎所有区域均呈现降水量增加的趋势,尤其是105°E以东地区,降水量增加明显,2050s降水量增加最大的区域主要分布在华北、长江中下游以及华南地区,而2080s华南地区仍然是降水增加最明显的区域,另一区域为长江中下游以北至黄淮区域。

图3为2020s、2050s、2080s 3个时段日平均气温30 a年均值变化的空间分布图。可以看出,各个时段的日平均气温变化均呈一致增加的趋势,其中北方地区增温幅度大于南方地区,尤其是2050s和2080s,35°N以北大部分地区增温分别在3.4℃和4.6℃以上。2020s在新疆地区和东北地区升温最大,2050s和2080s新疆地区和东北地区仍保持着最明显的升温趋势,在2080s升温幅度最大达到了5.6℃以上,尤其是新疆北部升温明显,大部分区域升温都超过5.2℃。3个时段中,华南均为增温幅度最小的地区,广东至福建沿海即使在2080s升温也未超过3.6℃,相较于该区域气候基准时段的年平均气温(18~20℃),其升温幅度并不剧烈,反而是东北地区尤其黑龙江北部,过去年平均气温不超过0℃,而到21世纪后期升温超过了5℃,值得人们关

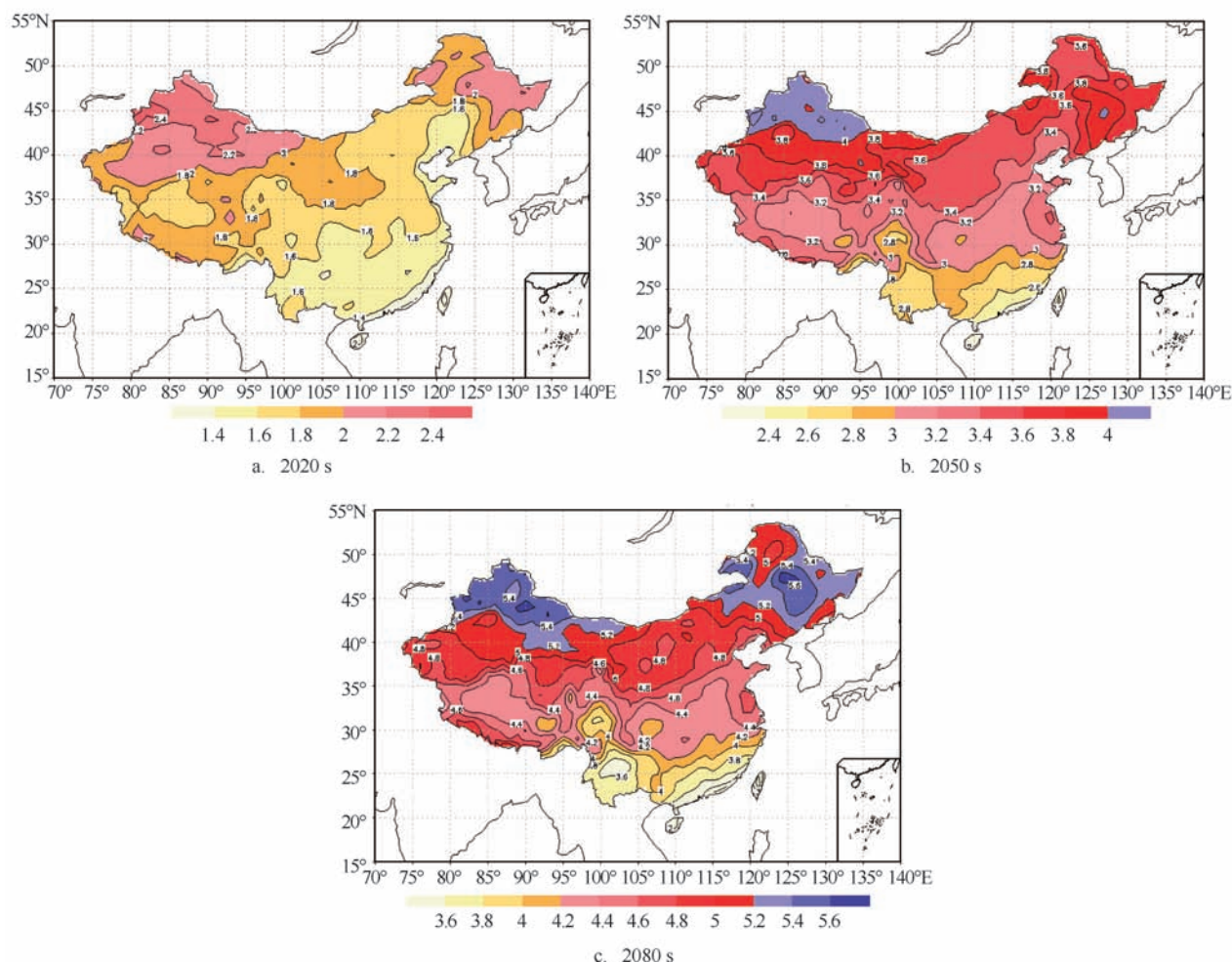


图3 SRES A1B情景下30 a平均气温变化(相对于Bs,单位:℃)

注。此外,在各个时段,青藏高原南部降水明显减少,同时升温明显,增温幅度到2080s可达5℃以上,表明该区域干旱化趋势将日愈加剧,同样值得关注。

日最高气温和最低气温的30 a年均值变化(图略)与日平均气温变化相类似,从2020s到2080s,呈现一致增温的趋势且增幅随时间推移而明显增加,北方增温普遍大于南方。日最低气温的总体增幅最大,平均气温增幅次之,最高气温增幅最小。

3.3 频率分布变化

将降水量模拟值按我国雨量级别划分为7组:毛毛雨(0~0.1 mm/d)、小雨(0.1~10 mm/d)、中雨(10~25 mm/d)、大雨(25~50 mm/d)、暴雨(50~100 mm/d)、大暴雨(100~250 mm/d)、特大暴雨(250 mm/d及以上),分别统计逐日逐格点的降水

量在各组区间内的出现频率,频率取自然对数绘制出图4,其中,未来降雨量频率线和基准时段频率线之间用阴影填色,未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影。

可以看到,SRES A1B情景下,各时段的雨量频率分布与气候基准时段相比变化不大,但也能看出,雨量较大的区间频率有所增加,而特大暴雨以上的降水发生次数极少,在大样本情况下几乎可忽略不计。

图5—7分别为SRES A1B情景下日平均气温、日最高气温、日最低气温的频率分布,其中黑色折线为气候基准时段频率,紫色折线为未来各时期频率,未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影。

从图5可以看出,各个时段内均为5~10℃之

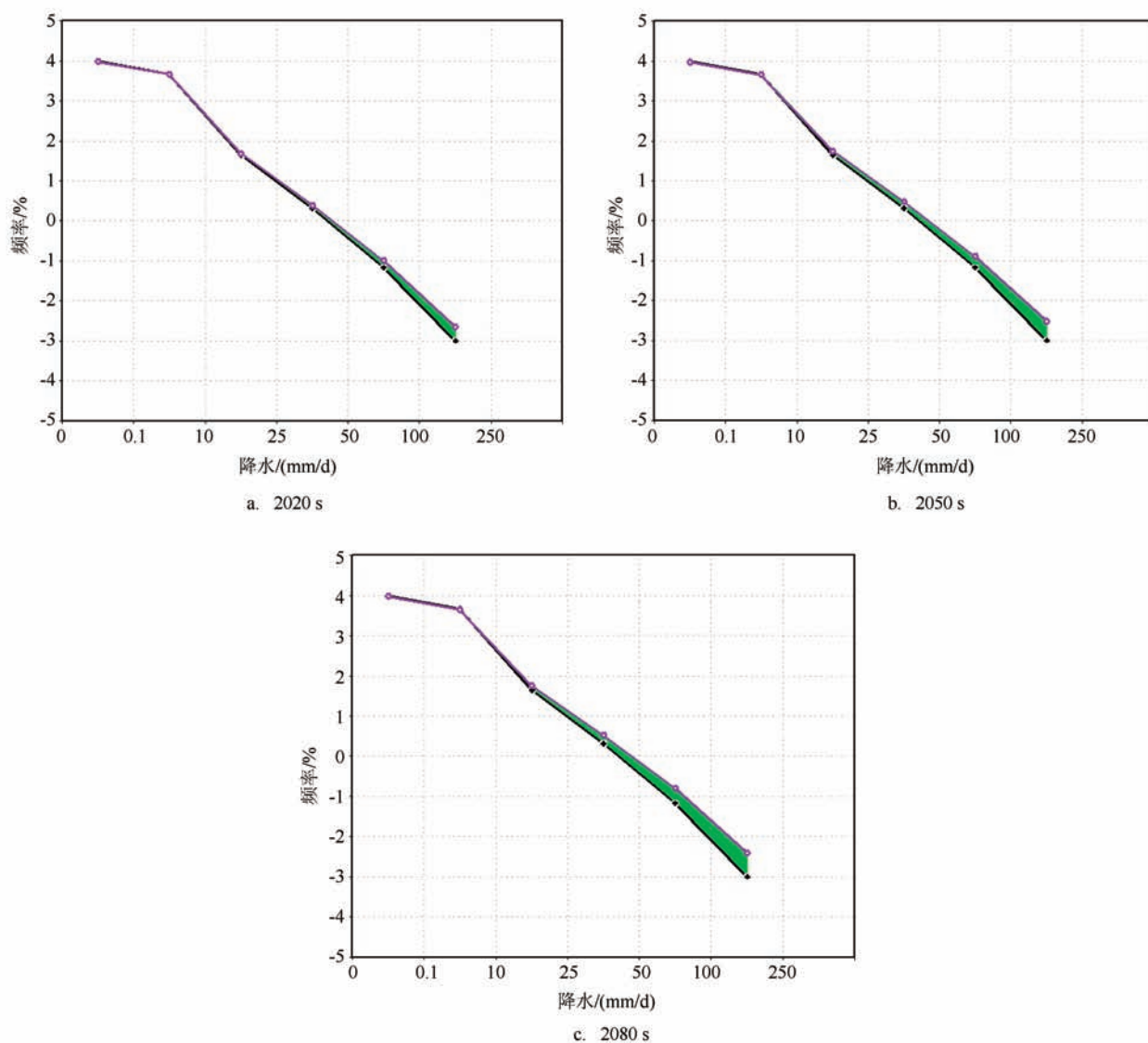


图4 SRES A1B情景下中国区域平均降水频率分布(取自然对数)

(黑色折线为气候基准时段频率,紫色折线为未来各时期频率;未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影)

间的平均气温出现频率最高,而21世纪末10~15℃的出现频率由气候基准时段的第5名提升到了第2名。根据频率折线和填色阴影分布可以看出,未来3个时段的平均气温分布频率均往高温方向偏移,越往后偏移越多,亦即未来平均温高值出现频率加大、低值出现频率减少,5℃以下及15~20℃的平均温出现频率逐渐降低,5~15℃及20℃以上的平均温出现频率则逐渐增大。

图6显示,除了2080s,各个时段内均为10~15℃之间的日最高气温出现频率最高,而2080s则为40℃以上的日最高气温出现最多。同平均气温

一样,未来3个时段的日最高气温分布频率均往高温方向偏移,随时间推移越往后偏移越多,10℃以下的最高温出现频率逐渐降低,10℃以上的最高温出现频率则逐渐增大,40℃以上的日最高温出现频率在2050s已显著增大,到了2080s更为突出,40℃以上的日最高温出现频率比其他温度区间都大,而目前我国所定义的高温天气为日最高气温达到或超过35℃的情况,可见到了2080s,现阶段所定义的高温天气届时将成为常态(发生频率最高),将对人们的生产、生活产生难以估量的影响。

由图7可见,气候基准时段以-5~0℃之间的

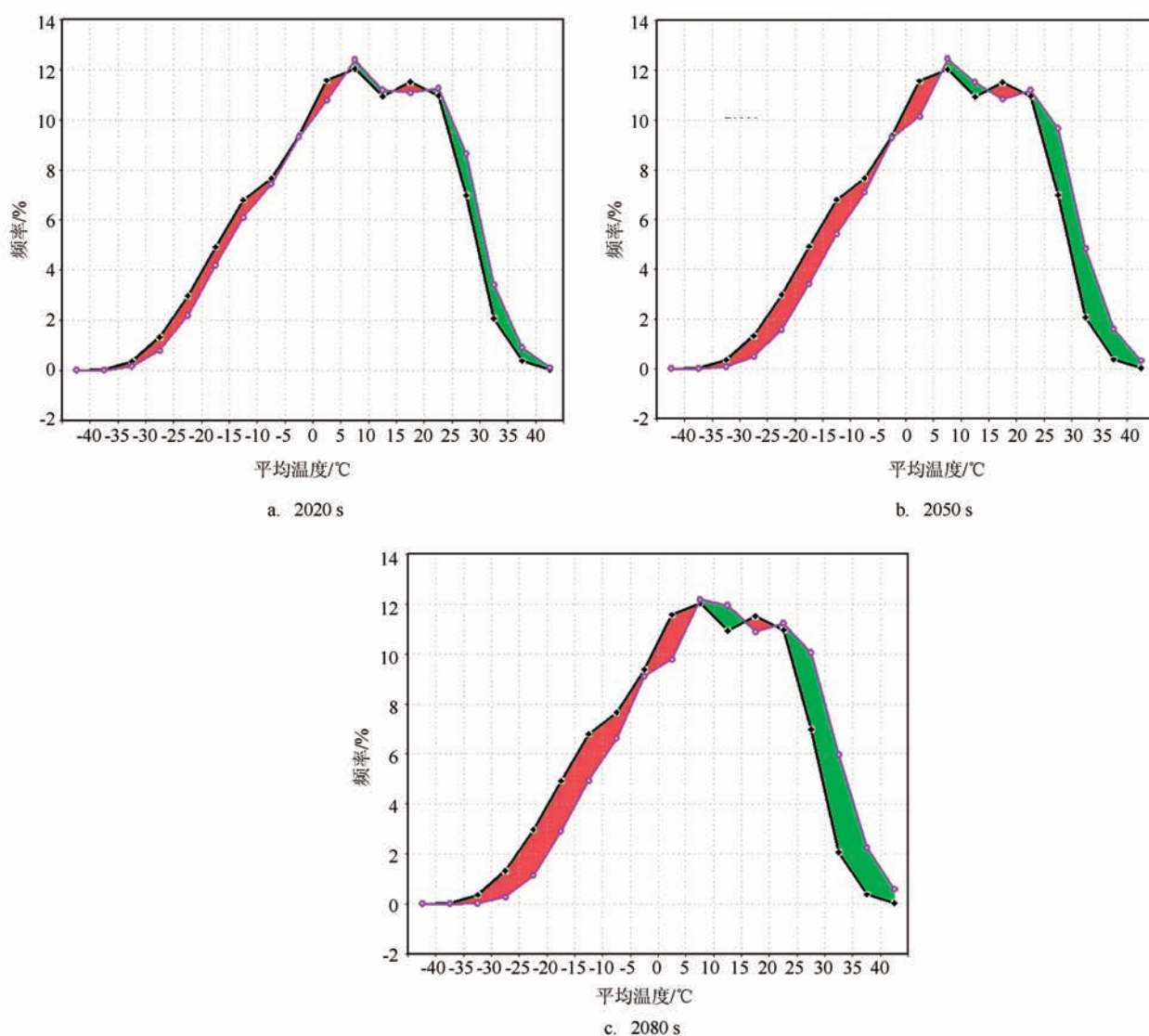


图5 SRES A1B情景下中国日平均气温频率分布

(黑色折线为气候基准时段频率,紫色折线为未来各时期频率;未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影)

日最低气温出现频率最高,而未来各个时段内则为 $0\sim 5^{\circ}\text{C}$ 之间的日最低气温出现频率最大。未来3个时段的日最低气温分布频率均往高温方向偏移, 0°C 以下及 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的日最低气温出现频率逐渐降低, $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 及 15°C 以上的日最低气温出现频率则逐渐增大,但未出现 40°C 以上的日最低气温。

4 结论与讨论

本文利用区域气候模拟系统PRECIS在SRES A1B情景下模拟产生的区域气候情景数据,分析了

中国区域未来百年内降水、气温相对于气候基准时段的变化,结果表明,在该情景下:

(1)中国区域未来降水量、气温总体呈现明显上升趋势,气温中日最低气温增幅最大,日最高气温增幅最小;

(2)2020s到2050s期间,降水量、气温增加速率达到最高,暗示着在SRES A1B情景下,该时期可能是未来百年间降水、气温变化剧烈的时期,洪涝和高温极端气候事件值得关注;

(3)降水在总体增加趋势中呈现出较多局地特征,21世纪后半叶, 105°E 以东地区出现多个降水增

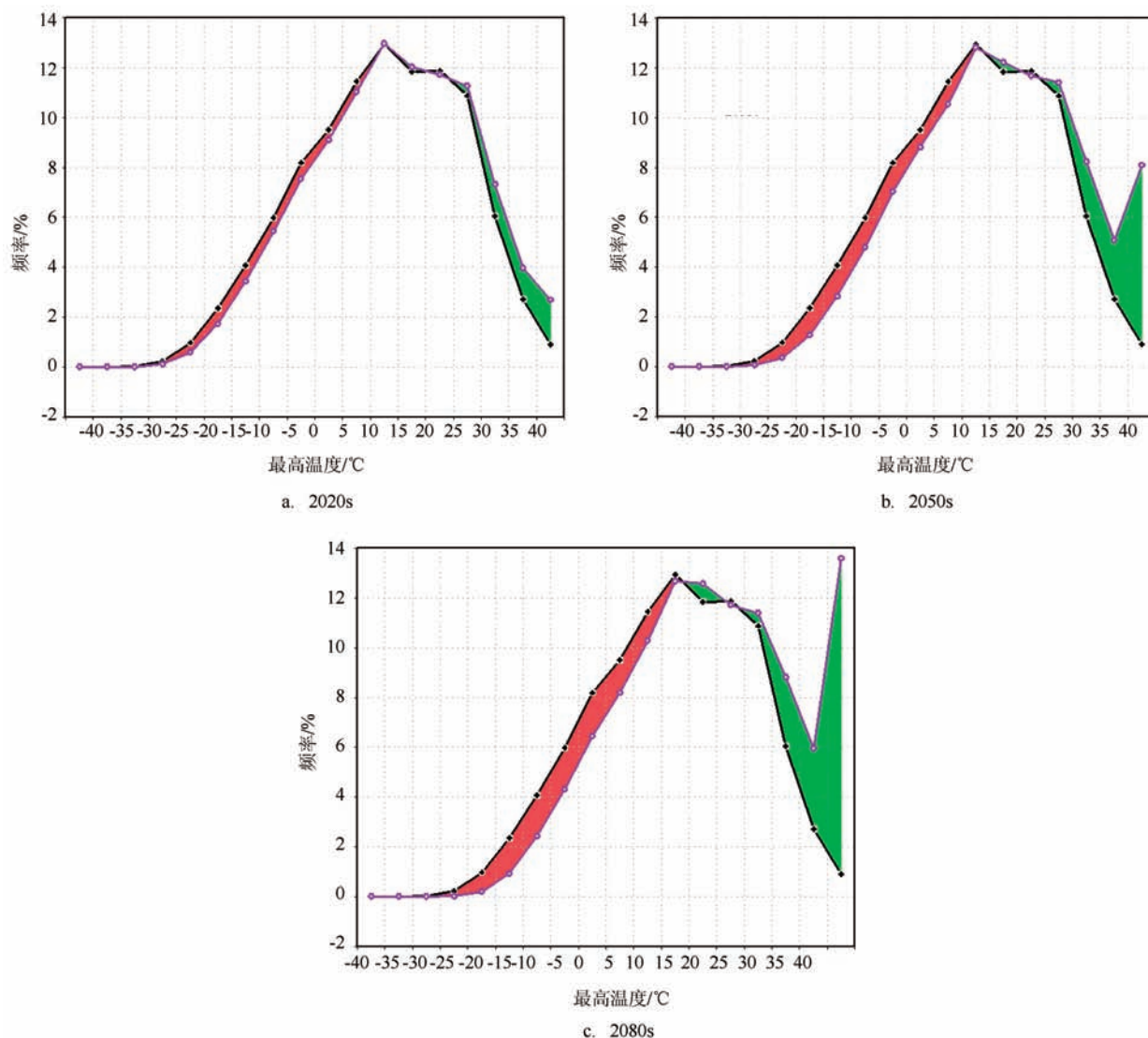


图6 SRES A1B情景下中国日最高气温频率分布

(黑色折线为气候基准时段频率,紫色折线为未来各时期频率;未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影)

幅大值区;

(4)气温在未来各时段各区域均表现出升温的整体特征,北方地区升温明显大于南方地区,新疆和东北地区升温幅度最大;

(5)未来3个时段的气温分布频率均往高温方向偏移,亦即未来气温高值出现频率加大、低值出现频率减少。2080s出现频率最多的日最高气温为40℃以上的值。目前我国所定义的高温天气为日最高气温达到或超过35℃的情况,可见到了2080s,现阶段所定义的高温天气届时将成为常态(发生频率最高),将对人们的生产、生活产生难以估量的影响。

响。

关于SRES A1B情景下21世纪未来气温和降水的变化,其他学者也利用不同的区域气候模式开展了一些预估。

高学杰等^[11]利用RegCM3对21世纪中国区域气候变化进行了水平分辨率为25 km的模拟试验,结果表明,SRES A1B情景下,未来平均气温将明显升高,且随时间推移升温增幅加大,升温高值区集中在高纬度和高海拔地区。中国区域平均降水增加。

胡伯彦等^[50]利用MM5V3区域气候模式,对中

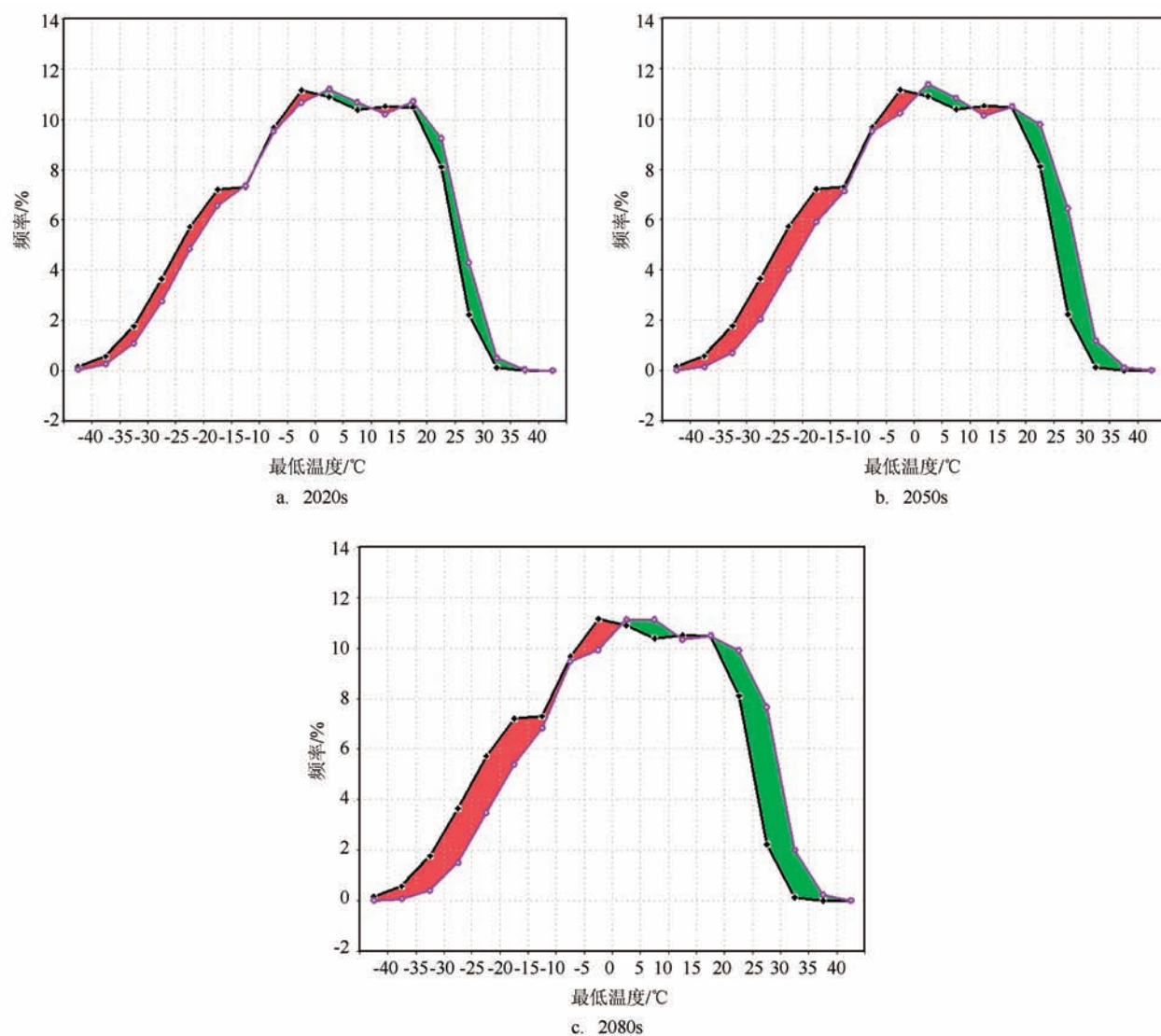


图7 SRES A1B情景下中国日最低气温频率分布

(黑色折线为气候基准时段频率,紫色折线为未来各时期频率;未来频率值小于气候基准时段频率值时,两折线间以红色阴影填充,反之则为绿色阴影)

国地区SRES A1B情景下21世纪中期(2041—2060年)进行了水平分辨率为50 km的模拟试验,结果表明,未来平均气温将明显升高,升温幅度北方大于南方,且21世纪中期各子区域的气温变率均有所增大,意味着极端温度事件发生概率有可能升高。降水变化具有一定的区域性特征,但除了西北地区,年总降水量呈现上升趋势,江淮地区增加最快。

王树舟等^[51]利用WRF预估了SRES A1B情景下中国21世纪中期(2041—2060年)和末期(2081—2100年)的气候变化,结果表明,全国大部分地区年平均气温上升,北方地区和青藏高原升温幅度较

大。21世纪中期,年平均降水在华南和东北大部基本未增加甚至有所减少,在西北及长江和黄河的中下游地区有所增加,21世纪末期则整体上是增加的,南方部分地区有所减少。

总的来说,上述研究结果与本工作展示出一些共性结论:SRES A1B情景下,未来平均气温明显升高,高纬地区升温较大,极端温度事件发生概率加大;降水量也有所增加,但具有区域性特征。

人类活动造成温室气体增加从而引起的气候变暖,白天太阳光照射到地球上,部分能量被大气吸收,夜间,地球表面通过长波辐射向宇宙散发白

天吸收的热量,其中部分热量又被大气吸收,因此,温室气体增加使地球表面和低层大气的日夜温度均升高,同时还导致了夜间的辐射降温效应减小,而每日的最低温通常出现在夜间,所以日最低气温的增幅高于日最高气温和平均气温。

此外,我国南方普遍湿度较大,尤其是广东至福建沿海水蒸气偏多,而水蒸气为最大的温室气体,在温室气体中的含量高出二氧化碳近两个数量级,因此在这些区域其原有的自然“温室效应”就较高,受人工排放的温室气体影响相对较小,而高纬度、干旱地区等湿度较低的区域则受人工温室气体的影响较大,因此北方增温普遍大于南方,例如黑龙江北部,气候基准时段的年平均气温在零度以下,而温室气体效应使其在SRES A1B情景下到21世纪末年平均气温能上升5~6℃,而广东至福建沿海地区Bs时段的年平均气温达到18~20℃,21世纪后期升温却未超过3.6℃,亦即原本温暖的地方升温缓慢,而原来凉爽的地方升温剧烈,在这些地区,无论对于人体健康或是动植物以及各个行业,均需要多加关注,采取相应的适应措施。尽管从平均气温上说南方湿度较大地区升温缓慢,但人工温室气体会加速水汽对流,使得大气湍流增加,气候趋于极端,反而会造成极端的低温、高温、强降水天气,因此其气候变化同样不可忽视。

致谢 本文所使用的PRECIS系统及其边界驱动数据来自于英国气象局Hadley气候预测与研究中心。中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所2003年委派许吟隆引入PRECIS并开始产生中国区域气候情景数据。Hadley中心区域模式组的Richard Jones, David Hein, Simon Wilson, David Hassell对此工作提供了帮助,在此一并表示感谢!

参考文献:

- [1] 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [2] 许吟隆, 吴绍洪, 吴建国, 等. 气候变化对中国生态和人体健康的影响与适应[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [3] IPCC. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2007.
- [4] IPCC. Summary for Policymakers[M]//Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 2013..
- [5] Meinshausen M, Smith S J, Calvin K, et al. The RCP Greenhouse Gas Concentrations and Their Extensions from 1765 to 2300[J]. Climatic Change, 2011, 109(1-2): 213-241, doi: 10.1007/s10584-011-0156-z.
- [6] Gao X J, Zhao Z C, Ding Y H, et al. Climate Change Due to Greenhouse Effects in China as Simulated by A Regional Climate Model[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2001, 18(6): 1224-1230.
- [7] Gao X J, Zhao Z C, Giorgi F. Changes of Extreme Events in Regional Climate Simulations over East Asia[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(5): 927-942.
- [8] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 I: 模式对中国气候模拟能力的检验[J]. 气象学报, 2003, 61(1): 20-28.
- [9] 高学杰, 赵宗慈, 丁一汇, 等. 温室效应引起的中国区域气候变化的数值模拟 II: 中国区域气候的可能变化[J]. 气象学报, 2003, 61(1): 29-38.
- [10] 高学杰, 石英, Giorgi F. 中国区域气候变化的一个高分辨率数值模拟[J]. 中国科学: 地球科学, 2010, 40(7): 911-922.
- [11] 高学杰, 石英, 张冬峰, 等. RegCM3 对 21 世纪中国区域气候变化的高分辨率模拟[J]. 科学通报, 2012, 57(5): 374-381.
- [12] Jones R G, Noguer M, Hassell D, et al. Generating High Resolution Climate Change Scenarios using PRECIS[M]. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004.
- [13] 王芳栋, 许吟隆, 李涛. 区域气候模式 PRECIS 对中国气候的长期数值模拟试验[J]. 中国农业气象, 2010, 31(3): 327-332.
- [14] Islam M N, Rafiuddin M, Ahmed A U, et al. Calibration of PRECIS in Employing Future Scenarios in Bangladesh[J]. International Journal of Climatology, 2008, 28(5): 617-628.
- [15] Ul Islam S, Rehman N, Sheikh M M. Future Change in the Frequency of Warm and Cold Spells over Pakistan Simulated by the PRECIS Regional Climate Model[J]. Climatic Change, 2009, 94(1-2): 35-45.
- [16] Shahgedanova M, Nosenko G, Khromova T, et al. Glacier Shrinkage and Climatic Change in the Russian Altai from the Mid-20th Century: An Assessment Using Remote Sensing and PRECIS Regional Climate Model[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2010, 115(D16): D16107.
- [17] Bhaskaran B, Ramachandran A, Jones R, et al. Regional Climate Model Applications on Sub-regional Scales over the Indian Monsoon Region: The Role of Domain Size on Downscaling Uncertainty[J]. Journal of Geophysical Research, 2012, 117(D17): D10113.
- [18] Tadross M, Jack C, Hewitson B. On RCM-based Projections of Change in Southern African Summer Climate[J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32(23): L23713.

- [19] Kotroni V, Lykoudis S, Lagouvardos K, et al. A Fine Resolution Regional Climate Change Experiment for the Eastern Mediterranean: Analysis of the Present Climate Simulations[J]. *Global and Planetary Change*, 2008, 64(1-2): 93-104.
- [20] Bartholy J, Pongrácz R, Pieczka I, et al. Computational Analysis of Expected Climate Change in the Carpathian Basin Using A Dynamical Climate Model[M] // Margenov S, Vulkov L G, Waśniewski J. *Numerical Analysis and Its Applications*. Berlin Heidelberg: Springer, 2009, 5434: 176-183.
- [21] Black E, Brayshaw D J, Rambeau C M C. Past, Present and Future Precipitation in the Middle East: Insights from Models and Observations[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society a: Mathematical Physical and Engineering Sciences*, 2010, 368 (1931): 5173-5184.
- [22] Moufouma-Okia W, Rowell D P. Impact of Soil Moisture Initialisation and Lateral Boundary Conditions on Regional Climate Model Simulations of the West African Monsoon[J]. *Climate Dynamics*, 2010, 35(1): 213-229.
- [23] Alves L M, Marengo J. Assessment of regional seasonal predictability using the PRECIS regional climate modeling system over South America[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, 100(3-4): 337-350.
- [24] Karmalkar A V, Bradley R S, Diaz H F. Climate change in Central America and Mexico: Regional Climate Model Validation and Climate Change Projections[J]. *Climate Dynamics*, 2011, 37(3-4): 605-629.
- [25] Dulière V, Zhang Y X, Salathe E P. Extreme Precipitation and Temperature over the U.S. Pacific Northwest: A Comparison Between Observations, Reanalysis Data, and Regional Models[J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(7): 1950-1964.
- [26] 陶福祿, 熊伟, 许吟隆, 等. 气候变化情景下我国花生产量变化模拟[J]. *中国环境科学*, 2000, 20(5): 392-395.
- [27] 熊伟, 许吟隆, 林而达, 等. IPCC SRES A2和B2情景下我国玉米产量变化模拟[J]. *中国农业气象*, 2005, 26(1): 11-15.
- [28] 居辉, 熊伟, 许吟隆, 等. 气候变化对我国小麦产量的影响[J]. *作物学报*, 2005, 31(10): 1340-1343.
- [29] 朱建华, 侯振宏, 张小全. 气候变化对中国林业的影响与应对策略[J]. *林业经济*, 2009, (11): 78-83.
- [30] 李剑泉, 李智勇, 易浩若. 森林与全球气候变化的关系[J]. *西北林学院学报*, 2010, 25(4): 23-28.
- [31] 田晓瑞, 舒立福, 赵凤君, 等. 未来情景下西南地区森林火险变化[J]. *林业科学*, 2012, 48(1): 121-125.
- [32] 袁飞, 谢正辉, 任立良, 等. 气候变化对海河流域水文特性的影响. *水利学报*, 2005, 36(3): 274-279.
- [33] 刘浏, 徐宗学, 黄俊雄. 气候变化对太湖流域径流的影响[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 46(3): 371-377.
- [34] 陈豫英, 许吟隆, 陈楠, 等. SRES A2和B2情景下宁夏可利用降水资源的变化[J]. *中国沙漠*, 2011, 31(1): 207-216.
- [35] 吴建国, 吕佳佳. 气候变化对青藏高原高寒草甸适宜气候分布范围的潜在影响[J]. *草地学报*, 2009, 17(6): 699-705.
- [36] 吴建国. 气候变化对7种保护植物分布的潜在影响[J]. *武汉植物学研究*, 2010, 28(4): 437-452.
- [37] 吴建国. 未来气候变化对7种荒漠植物分布的潜在影响[J]. *干旱区地理*, 2011, 34(1): 70-85.
- [38] 吴建国. 气候变化对7种乔木植物分布的潜在影响[J]. *植物分类与资源学报*, 2011, 33(3): 335-349.
- [39] 赵东升, 吴绍洪, 尹云鹤. 气候变化情景下中国自然植被净初级生产力分布[J]. *应用生态学报*, 2011, 22(4): 897-904.
- [40] 石晓丽, 吴绍洪, 戴尔卓, 等. 气候变化情景下中国陆地生态系统碳吸收功能风险评价[J]. *地理研究*, 2011, 30(4): 601-611.
- [41] 杨坤, 潘婕, 杨国静, 等. 不同气候变化情景下中国血吸虫病传播的范围与强度预估[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(4): 248-253.
- [42] Nakićenovic N, Swart R. *Special Report on Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[M]. Cambridge, United Kingdom and New York: Cambridge University Press, 2000.
- [43] 许吟隆, 张勇, 林一骅, 等. 利用PRECIS分析SRES B2情景下中国区域的气候变化响应[J]. *科学通报*, 2006, 51(17): 2068-2074.
- [44] 杨红龙, 许吟隆, 张镭, 等. SRES A2情景下中国区域21世纪末平均和极端气候变化的模拟[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(3): 157-163.
- [45] 姜大膀, 王会军, 郎咸梅. 全球变暖背景下东亚气候变化的最新情景预测[J]. *地球物理学报*, 2004, 47(4): 590-596.
- [46] 许崇海, 罗勇, 徐影. 全球气候模式对中国降水分布时空特征的评估和预估[J]. *气候变化研究进展*, 2010, 6(6): 398-404.
- [47] 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.
- [48] 刘敏, 江志红. 13个IPCC AR4模式对中国区域近40 a气候模拟能力的评估[J]. *南京气象学院学报*, 2009, 32(2): 256-268.
- [49] 纪潇潇, 刘昌波, 潘婕, 等. PRECIS模拟系统对中国地面气温变化的QUMP集成预估[J]. *气候与环境研究*, 2015, 20(5): 500-510.
- [50] 胡伯彦, 汤剑平, 王淑瑜. 中国地区IPCC A1B情景下21世纪中期气候变化的数值模拟试验[J]. *气象科学*, 2012, 32(2): 127-136.
- [51] 王树舟, 于恩涛. 基于MIROC/WRF嵌套模式的中国气候变化预估[J]. *气候与环境研究*, 2014, 19(1): 11-22.

Projection of regional climate change over China from PRECIS under SRES A1B

PAN Jie^{1,2,3,4}, LIU Ke⁵, XIA Dong-dong^{2,3}

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081 China;

2. National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 3. Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting,

State Oceanic Administration, Beijing 100081 China; 4. School of Physics, Peking University, Beijing 100871 China;

5. Hydrology Bureau of YRCC, Zhengzhou 450004 China)

Abstract: PRECIS is employed to simulate the climate under SRES A1B over China from 1961 to 2100, driven by the output from coupled ocean-atmosphere general circulation model HadCM3 under SRES A1B. With the projected data, the change of precipitation and temperature over China is investigated. It is indicated that: 1. The precipitation and temperature over China show an overall upward trend in future, and as for the magnitude of temperature's increase, the daily minimum/maximum temperature has a largest/smallest increase respectively. 2. The precipitation and temperature show a maximum increase pace from 2020 s (2011—2040) to 2050 s (2041—2070) in all-time. 3. The upward trend of precipitation is character of territorial. 4. Temperature will increase for all areas and all periods in future, especially in Xinjiang and Northeast China, the increase magnitude is the largest.

Key words: regional climate change; PRECIS; SRES A1B; precipitation; temperature