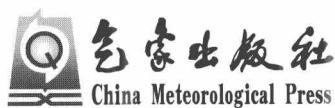


气候变化 对中国粮食生产 影响研究

赵艳霞○主编

气候变化对中国粮食 生产影响研究

赵艳霞 主编



内 容 简 介

本书是2008年公益性行业(气象)科研专项“气候变化对中国粮食生产影响评价系统研究”两年多研究的初步成果,涉及的主要内容包括气候变化与农业气候资源、气候变化与作物产量、气候变化与作物需水、气候变化与农业气象灾害和气候变化对作物综合影响。全书由项目组成员在项目支持下发表的32篇论文编纂而成,可供气象、农业等领域的科研、业务人员以及灾害防御、规划等相关部门参考和使用。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对中国粮食生产影响研究/赵艳霞主编.

—北京:气象出版社,2012.4

ISBN 978-7-5029-5463-5

I. ①气… II. ①赵… III. ①气候变化-影响-粮食-生产-中国-文集
IV. ①F326.11-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 056132 号

气候变化对中国粮食生产影响评价系统研究

赵艳霞 主编

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街46号

总 编 室:010-68407112

网 址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:陈 红

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 媛

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:520千字

版 次:2012年4月第1版

定 价:70.00元

邮政编码:100081

发 行 部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终 审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:20.5

彩 插:2

印 次:2012年4月第1次印刷

前言

受全球气候变化的影响,近 50 年我国的气候发生了显著变化,极端天气/气候事件与灾害的频率和强度明显增大。气候预测表明,未来 50~100 年我国地表气温将继续增加,极端天气/气候事件与灾害的频率和强度继续增大。气候变暖将导致作物生育期缩短和加速病虫害的发生发展,作物产量不稳定性增加;极端天气/气候事件将导致作物严重减产。另据预测,到 2020 年,中国人口总量将达到 14.6 亿,人口总量高峰将出现在 2033 年前后,达 15 亿左右。因此,中国的粮食安全问题引起世界的广泛关注。

2007 年我国发布的《气候变化国家评估报告》指出,气候变化将对中国自然生态系统和社会经济系统产生重要影响,尤其是对农牧业生产、水资源供需等影响较为显著,而且这些影响以负面为主,某些影响具有不可逆性。如果不采取措施,气候变化将严重影响中国未来的粮食安全。

IPCC 第四次评估报告进一步确认当前出现的气候变化这一事实,而对因全球变暖所产生的各种影响、减小对气候变化的脆弱性方面的研究成果却存在较大的不确定性,温度升高对未来粮食生产的影响结论均为低信度水平,说明关于气候变化对粮食生产影响的研究还很不成熟。另外,IPCC 第四次评估报告的文献中涉及的研究区域很不平衡,绝大多数文献来自欧洲和北美,还有少量来自印度和日本,关于中国气候变化对粮食生产影响的研究文献少之又少,从而给气候外交谈判带来巨大压力。

目前气候变化对中国的粮食生产影响研究还较为薄弱,影响的评价方法还不成熟。公益性行业(气象)科研专项“气候变化对中国粮食生产影响评价系统研究”项目的实施,促进了气候变化对作物影响评估方面的科学研究,同时通过与气候业务结合,也提升了气候变化业务服务的能力。在 2008 年的公益性行业(气象)科研专项的支持下,启动了“气候变化对中国粮食生产影响评价系统研究”项目,目标是在未来气候预测的基础上,结合作物产量预测模型,构建气候变化对粮食生产影响的评价方法,并结合气候业务建立气候变化对粮食产量影响评价系统,为适应气候变化、降低气候变化脆弱性提供科学依据,也为国家更新《气候变化国家评估报告》及参与 IPCC 第五次评估报告的撰写提供科技支撑。

项目承担单位是中国气象科学研究院,参加单位包括中国科学院大气物理研究所、中国农业科学研究院、国家气候中心、河南省气象科学研究所及南京信息工程大学。通过科研业务人员两年多的努力,较好地完成了项目既定的目标。作为项目成果的一部分,本书对项目组成员在项目支持下发表的相关论文共 32 篇进行编纂汇总,可供气象、农业等领域的科研、业务人员以及灾害防御、规划等相关部门参考和使用。

本书为项目研究成果,虽然给出的是一些定量化的结果,但限于学科的发展水平和问题本身的复杂性以及有限的研究时间,所得结果必然存在一定的不确定性。另外,本书编纂时间较紧,书中难免有不足和疏漏之处,欢迎读者批评指正。

本书的出版得到行业专项 GYHY200806008 和 GYHY201106027 的资助,在此表示感谢。

编者

2012 年 3 月

目 录

前言

一、气候变化与农业气候资源

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	杨红龙 许吟隆 张镭等(3)
Changes of Accumulated Temperature, Growing Season and Precipitation in the North China Plain from 1961 to 2009	Song Yanling Zhao Yanxia Wang Chunyi(10)
Trends of the Thermal Growing Season in China, 1951—2007	Song Yanling Hans W. Linderholm Chen Deliang, <i>et al.</i> (22)
多模式集合对中国气温的模拟效果及未来 30 年中国气温变化预估	刘珂 许吟隆 陶生才等(39)
长江中下游水稻生长季极端高温和低温事件的演变趋势	刘娟 杨沈斌 王主玉等(49)
SRES B2 情景下长江中下游稻区农业气候特征分析	申双和 王主玉 杨沈斌等(56)

二、气候变化与作物产量

Responses of Rice Yields to Recent Climate Change in China: An Empirical Assessment Based on Long-term Observations at Different Spatial Scales(1981—2005)	Zhang Tianyi Zhu Jiang Reiner Wassmann(65)
Regional Simulation of Rice Yield Change in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River under SRES A2 and B2 Scenarios	Yang Shenbin Shen Shuanghe Zhao Yanxia(84)
Simulating the Rice Yield Change in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River under SRES B2 Scenario	Shen Shuanghe Yang Shenbin Zhao Yanxia, <i>et al.</i> (92)
气候变化对长江中下游稻区水稻产量的影响	杨沈斌 申双和 赵小艳等(109)
温度导致的我国东北三省玉米产量波动模拟	张建平 王春乙 杨晓光等(121)
气候变化情景下东北地区玉米产量变化模拟	张建平 赵艳霞 王春乙等(129)
增温对河南省冬小麦产量的影响分析	成林 刘荣花 马志红(136)

三、气候变化与作物需水

黄淮平原冬小麦底墒水分布规律·····	刘荣花	方文松	朱自玺等(145)
黄淮平原冬小麦灌溉需水量的影响因素与不同年型特征·····			
·····	方文松	刘荣花	朱自玺等(153)
未来气候变化对中国东北三省玉米需水量的影响预测·····	张建平	王春乙	杨晓光等(161)
限量灌溉下冬小麦水分利用效率模拟·····	成林	李树岩	刘荣花等(170)

四、气候变化与农业气象灾害

Projected Change in Heat Waves over China Using the PRECIS Climate Model ·····	Yang Honglong	Xu Yinlong	Zhang Lei, <i>et al.</i> (181)
Effect of Drought on Winter Wheat Yield during 2001—2100 in North China ·····	Song Yanling	Zhao Yanxia	(196)
长江中下游地区高温热害对水稻的影响·····	张倩	赵艳霞	王春乙(213)
气候变化对中国农业气象灾害与病虫害的影响·····	李祎君	王春乙	赵蓓等(221)
基于 CI 指数的河南省近 40 a 干旱特征分析·····	李树岩	刘荣花	师丽魁等(233)
高温热浪脆弱性与适应性研究进展·····	杨红龙	许吟隆	陶生才等(240)
水稻低温冷害研究进展·····	王主玉	申双和	(247)
农业对气候变化的脆弱性·····	陶生才	许吟隆	刘珂等(252)

五、气候变化对作物综合影响

河南省稻麦类作物对气候变化的响应·····	成林	薛昌颖	李彤霄等(261)
气候变化对我国农作物种植结构的影响·····	李祎君	王春乙	(268)
中国粮食生产的综合影响因素分析·····	熊伟	林而达	蒋金荷等(275)
河南省气候变化及其对冬小麦越冬期的影响·····	李彤霄	赵国强	李有(285)
基于气象资料的中国冬小麦收获指数模型·····	姬兴杰	于永强	张稳等(292)
近 20 年中国冬小麦收获指数时空格局 ·····	姬兴杰	于永强	张稳等(305)
河南省农业综合抗旱能力分析与区划·····	李树岩	刘荣花	成林等(315)

一、气候变化与农业气候资源

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

杨红龙^{1,2} 许吟隆² 张镭¹ 潘婕² 陶生才²

(1. 半干旱气候变化教育部重点实验室/兰州大学大气科学学院, 兰州 730000;

2. 中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘 要:利用 Hadley 气候预测与研究中心的区域气候模式系统 PRECIS 单向嵌套该中心全球海气耦合气候模式 HadCM3 高分辨率的大气部分 HadAM3H, 分析了 SRESA2 情景下 2071—2100 年相对于气候基准时段(1961—1990 年)中国区域的气候变化, 包括气温和降水的年际、季节和日时间尺度的变化以及极端气候事件的变化趋势。模拟结果表明: 气温呈明显增加趋势, 其中新疆和东北地区增温明显。而降水表现了更大的年际变化和季节变化, 冬季南方降水减少, 但沿黄河流域的降水明显增加, 夏季与冬季相比呈现出相反的趋势。此外, 连续高温日数呈现增加趋势, 而连续霜冻日数呈现减少趋势。连续湿日数也表现出一定的增加趋势。

关键词:PRECIS; SRESA2 情景; 极端事件

引言

20 世纪的全球平均地表温度上升了 $(0.74 \pm 0.18)^\circ\text{C}$ ^[1]。中国近 100 年来平均地表温度也明显上升, 幅度为 $0.5 \sim 0.8^\circ\text{C}$, 增温速率比同期全球平均略强。中国近 50 年来年平均地表温度上升 1.1°C , 增温速率为 $0.22^\circ\text{C}/10\text{a}$, 比全球或北半球同期平均高得多, 其中冬季增温最为明显, 北方和青藏高原比较明显; 降水量小幅增加, 但趋势变化不明显^[2]。气候变暖已经引起了极端气候事件的变化, 如低温日数和霜冻日数趋于减少, 高温事件趋于增多^[3]。

预估由于温室气体排放增加所引起的未来气候变化, 全球气候模式(GCM)是一种有效的工具。各国科学家利用 GCMs 进行了大量的数值模拟实验, 取得了很多成果^[1]。中国科学家也在这方面进行了大量的研究工作^[4~7]。但由于 GCMs 的水平分辨率通常为几百千米, 对山地和海岸带等区域尺度的地形特征和陆面物理过程的描述则显得不足。GCMs 对中国区域降水中心的模拟偏差很大^[8,9]。Zhou 等^[10]的研究表明 GCMs 很难模拟出中国区域气温的空间分布。同时也有研究表明, 在东亚地区数值模式需要较高的分辨率才能对中国区域大尺度季风降水的分布有较好的模拟^[11]。

高分辨率的区域气候模式(RCM)可以很好地反映影响局地气候的地面特征量及其气候本身未来的波动规律, 可以很好地解决 GCMs 的局限性。随着计算机技术的发展, RCM 被广泛应用于多年代际时间尺度的气候模拟和气候变化预估^[1]。区域气候模式在中国区域的应用

已开展了很多工作^[12~16],但对气候变化情景下较长时间尺度的积分模拟研究较少。中国科学家于 2003 年引进 Hadley 气候预测与研究中心(以下简称 Hadley 气候中心)发展的区域气候模式系统 PRECIS(Providing Regional Climates for Impacts Studies)^[17],构建中国区域高分辨率(水平网格距 50 km)的 SRES 气候变化情景。许吟隆等^[16]对 PRECIS 模拟的 SRESA2, B2 排放情景下中国 21 世纪末期的气候变化结果进行过一些初步的统计分析。本文在许吟隆等研究工作的基础上利用区域气候模式系统 PRECIS 单向嵌套该中心全球海—气耦合气候模式 HadCM3 高分辨率的大气部分 HadAM3H,详细分析 SRES A2 情景下 2071—2100 年相对于气候基准时段(1961—1990 年)中国区域的气候变化,包括平均气候和极端气候事件。

1 模式和情景的介绍

PRECIS 由 HadAM3H 为其提供边界场和初始场,包含气候基准时段、SRESA2 情景下 2071—2100 年 HadAM3H 模拟的全球气候情景数据库、RCM 本身和运行 RCM 所需的其他数据库。PRECIS 的大气部分应用静力平衡方程,其水平分辨率在旋转坐标下为 $0.44^{\circ} \times 0.44^{\circ}$,在中纬度地区水平格点间距约为 50 km,积分时间步长为 5 min。垂直方向采用 σ 坐标,分为 19 层,最上层为 0.5 hPa。水平方向计算应用 Arakawa B 网格,应用水平扩散项控制非线性不稳定。关于 PRECIS 物理过程的详细介绍可参阅文献^[17]。

SRESA2 情景的主要特征是:强调家庭和当地传统;不同地区人口出生率不一致,导致全球人口持续增长;经济发展主要是区域性的,人均经济增长和技术变化的速度要慢于其他情景。

2 结果与分析

在温室气体浓度增加的情景下,分析平均气候和极端气候事件频率和强度变化的一个主要方法是把模拟的当前气候信息当作参考,通过与之比较来分析未来的变化^[18]。本文利用这种方法分析在温室气体浓度增加情景下中国区域未来的气候变化。为了更加显著地显示模拟效果,未来时段选取 2071—2100 年,参考时段或基准时段选取 1961—1990 年。

2.1 年平均气温和降水量变化

本文首先利用模拟的基准时段和 2071—2100 年的气温和降水的年际变化来分析气候变化的长期趋势。图 1 显示了中国区域平均气温和降水距平(相对于基准时段,下同)。由图 1 可以看出,气温表现出了明显的升高趋势,到 2100 年将升高 5.6°C 。降水也表现为正距平,且呈现更大的波动,表明未来降水比基准时段具有更大的年际变化。Giorgi^[19]研究指出这是典型的区域降水特征。

全球气候模式的模拟结果^[20]表明:21 世纪东亚可能变得更暖和更湿。为了评估中国区域未来气候的季节变化特征,本文利用 PRECIS 模拟的 2071—2100 年的季节和年平均气温、降水相对于基准时段的距平(柱状)来分析季节变化趋势,利用它们的标准偏差(误差线)来分析气温和降水的年际变率。由图 2(a)可以看出:未来情景下各季气温都呈现了升高趋势,夏季最明显,增幅达 5°C 。同时各个季节气温的增幅都大于年际变率,这也证明了气温模拟结果的可靠性。与气温变化特征不同,降水的变化呈现了较大波动,并且年际变率大于平均增幅

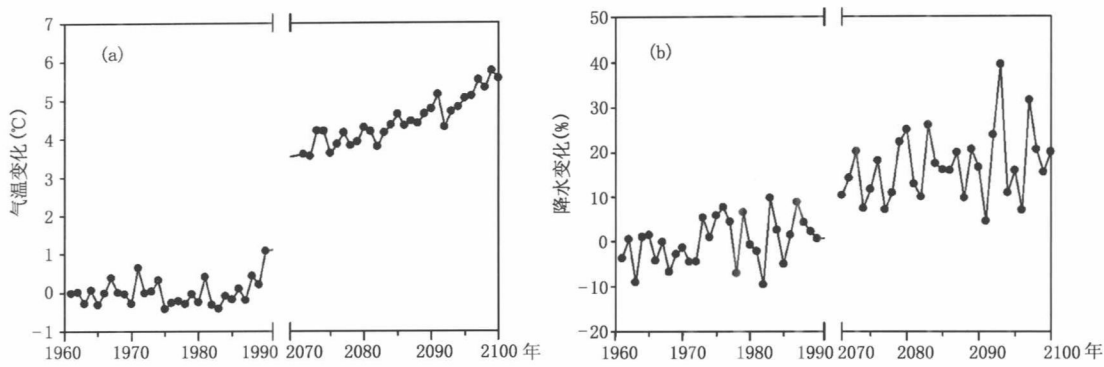


图 1 PRECIS 模拟的气温(a)和降水(b)的年际变化

(图 2b),这也表明降水变化具有更大的不确定性。尽管模拟的结果具有很大的不确定性,但降水的季节变化都呈现了正距平,表明未来情景下 2071—2100 年降水量也呈现增加趋势,但波动较大。降水变化的空间分布也表现出这种特征。

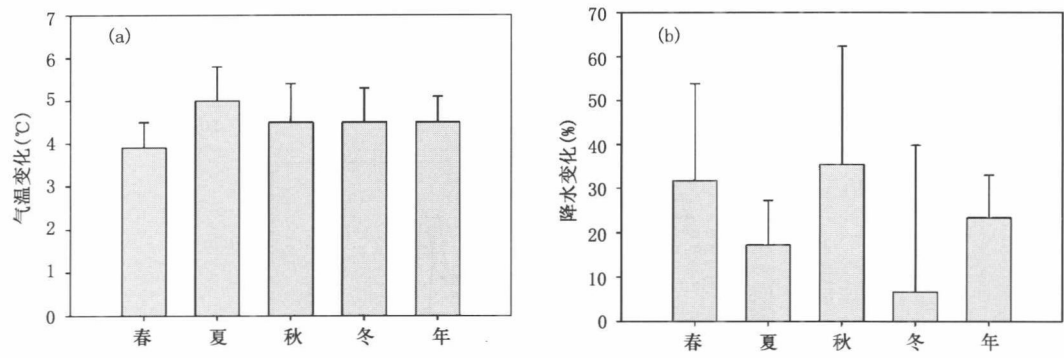


图 2 PRECIS 模拟的 2071—2100 年气温(a)和降水(b)的季节和年平均变化以及标准偏差

从 2071—2100 年中国区域年、冬季和夏季平均气温和降水量相对于基准时段变化的空间分布(图略)可以看出,年、冬季和夏季平均气温变化呈一致增加趋势,北方地区增幅大于南方地区,其中西北地区年平均气温增幅最大,达 5℃ 以上;冬季东北东部和青藏高原部分地区增幅较大;夏季东北和西北部分地区增幅高达 6℃。中国大部分地区年平均降水量将呈增加趋势,而在青藏高原南部、川藏交界地区和西南部分地区呈现减少趋势;冬季华北平原和黄土高原地区降水量增加明显,而长江以南地区降水量呈减少趋势,华南地区明显减少;夏季长江中下游以南地区降水量增加显著,黄河中上游地区降水量呈现减少趋势。

2.2 日平均气温和降水量变化

全球变暖不仅仅引起了平均气候的变化而且引起了短时间尺度极端事件强度和频率的变化^[21]。本文通过统计分析离气象观测站点(693 个气象台站)最近的模式格点的日平均气温和降水资料^[22]来分析未来情景下日时间尺度的气候变化特征。由于模式格点和观测站点的海拔不一致,所以将模拟和观测的平均、最低和最高气温利用干绝热递减率订正到海平面,然后分析它们的统计特征,极端事件的分析直接利用基准时段和 2071—2100 年时段的模拟值。

图 3 显示了平均、最低和最高气温的统计分布特征。从图中可以看出:在低值频段,模式模拟的最高、最低和平均气温统计分布特征与观测结果符合较好,但模式模拟的高值略有偏高,最高气温在 25~30℃ 范围模拟较差。2071—2100 年情景下,最高、最低和平均气温统计分布形状比较相似,但增幅(平均值)存在差异,最低气温增幅最大。相对于平均值的变化,气温的统计分布形状的变化更值得关注。从最高气温的统计分布可以看出未来气温的分布不仅向暖方向移动,同时高温部分分布形状变宽,反映了气温变率增加,可能会潜在地引起更多极端高温事件的发生。最低气温的统计分布形状表现得更高更窄,反映了 2071—2100 年低温冷害事件发生概率可能减少,这与 Gao 等^[23]和 Zhang 等^[12]的模拟结果一致。

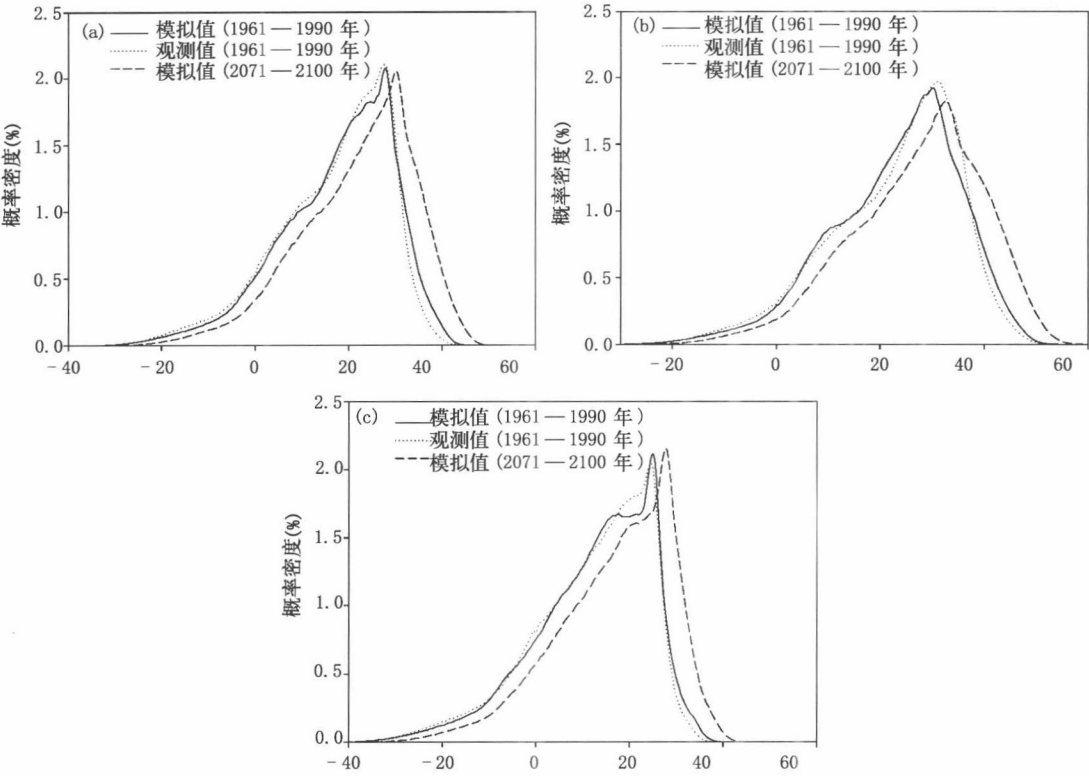


图 3 日平均气温(a)、最高气温(b)和最低气温(c)的统计分布

降水的模拟结果偏差相对较大,但模拟的总体趋势符合较好(图 4)。由图 4 可以看出几乎所有日降水量都有所增加,尤其是极端降水(图中的曲线)。降水总量增加的同时极端降水也表现出了增加,暗示了未来情景下发生洪涝灾害事件的潜在危险增加。连续的天气事件可能导致灾害事件(如干旱、洪涝等)的发生,通过对这些天气事件持续期的分析,可以发现极端事件频率和强度的变化^[24]。图 5 显示了未来情景下连续高温日数、连续霜冻日数、连续湿日和连续干日数*的变化,试图分析未来情景下中国区域极端事件的可能趋势。

* 连续高温日数:日最高气温>35℃的连续日数;连续霜冻日数:日最低气温<0℃的连续日数;连续湿日:日降水量≥1 mm 的连续日数;连续干日数:日降水量<1 mm 的连续日数。

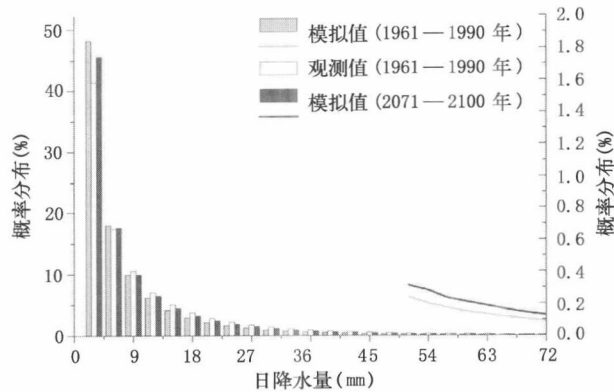


图4 中国区域模拟的日降水量的统计分布(曲线为模拟的极端降水值的概率分布)

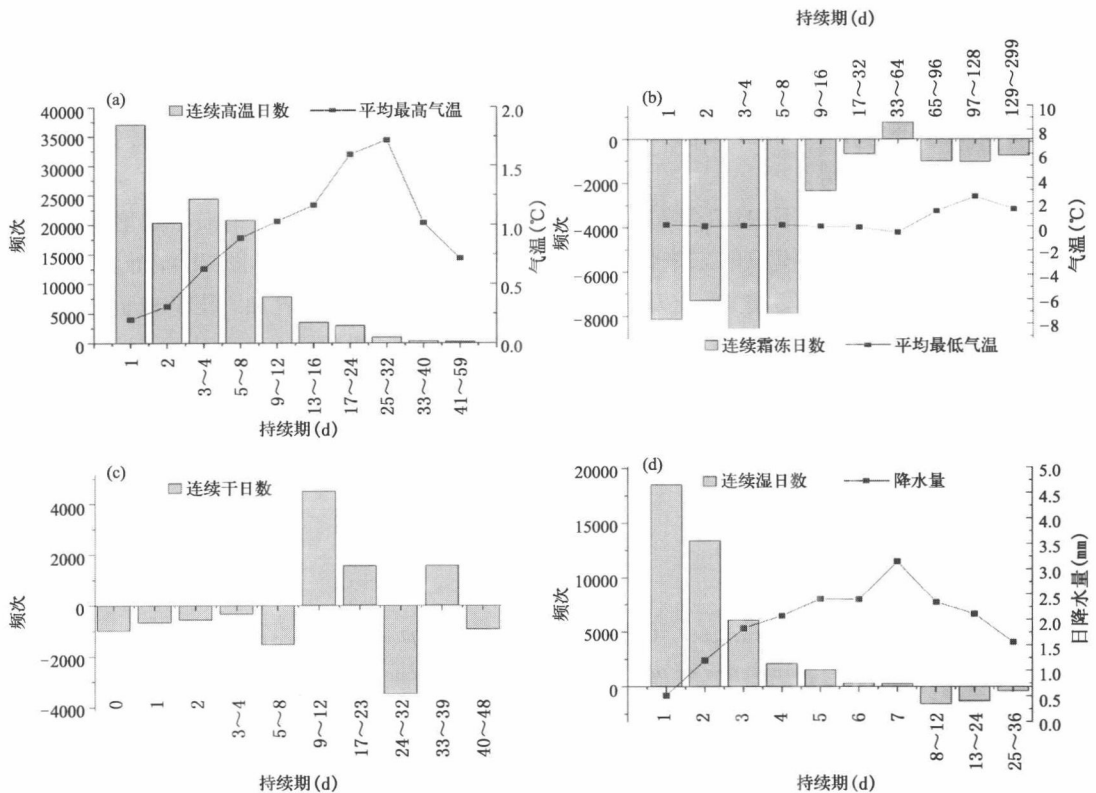


图5 SRES A2 情景下 2071—2100 年不同持续期的连续高温日数(a)、霜冻日数(b)、干日数(c)和湿日数(d)相对于 1960—1990 年的频数变化

由图 5(a)和图 5(b)可见,不仅未来发生高温日数的频数增加,而且高温日数持续期间的平均最高气温也呈现了增加趋势,暗示了未来的高温热浪事件的频率和强度可能更大。除了 33~64 d 这段持续期以外,其他持续期的连续霜冻日数都呈现了减少趋势。此外,连续霜冻持续期的平均最低气温也呈现了增加趋势,最大增幅达 2.5℃。未来连续霜冻日数减少和连续高温日数增加与地面最高和最低气温升高趋势相符合。

由不同持续期的连续干日数和连续湿日数的频次变化图(图 5c 和图 5d)可以看出,持续期 <9 d 及持续期为 24~32 d、40~48 d 的连续干日数呈现了减少趋势,其余干日数表现出了增加趋势。持续期 <8 d 的连续湿日数呈现了增加趋势,而 >8 d 的连续湿日数呈现了小幅减少,但持续期间的平均日降水量却呈现增加趋势。这一结果与连续干日数的变化结果一致,表明随着温室气体浓度增加,水循环加快导致未来降水总量增加,但这种增加是不成比例的。

3 结论和讨论

利用区域气候模式系统 PRECIS 模拟分析了 SRES A2 排放情景下未来中国区域气候变化,预估了气温和降水的年、季节以及日时间尺度的变化。模拟结果表明未来中国区域可能变得更暖和、更湿。模拟的气温呈现了明显的升高趋势,其中西北和东北地区增幅最为显著,夏季增幅达 6°C 。降水呈现了正距平,但波动较大,季节变化明显,冬季南方降水减少但沿黄河流域的降水明显增加。夏季的变化趋势与冬季相比呈现出相反的趋势,长江中下游以南的大部分地区降水量显著增加,而黄土高原地区降水明显减少。此外,连续高温日数显著增加,而连续霜冻日数呈现减少趋势;连续湿日数也表现出了一定的增加趋势,而连续干日数有一定的减少,但并没有明显趋势。

本文模拟的未来情景下中国区域夏季增温明显,而观测资料显示近年来冬季增温明显,这一差异的可能原因是模式模拟的未来情景下夏季降水增加相对较少(见图 2b),而夏季净辐射相对较大,从而使地面蒸发增加,土壤干燥,导致潜热减少,感热增加,引起地面气温的增加^[25]。而土壤湿度和大气环流的正反馈作用可能会加强这一机制,从而导致地面气温的持续升高^[26]。

本研究中只利用了单个区域模式的模拟结果,可能存在很大的不确定性。但考虑到模拟结果和未来情景的合理性,模拟的结果可为气候影响评估提供有用的信息,也可以对未来气候变化给出合理的解释。

参考文献

- [1] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. 2007. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 996.
- [2] 丁一汇, 何建坤, 林而达. 2009. 中国气候变化: 科学、影响、适应及对策研究. 北京: 中国环境科学出版社.
- [3] Zhai P, Pan X. 2003. Trend in temperature extremes during 1951—1999 in China. *Geophys Res Lett*, **30**(17): 1-4.
- [4] Wang H, Zeng Q, Zhang X. 1993. The numerical simulation of the climatic change caused by CO_2 doubling. *Science in China: Series B*, **36**(4): 451-462.
- [5] Xu Y, Zhao Z, Luo Y, et al. 2005. Climate change projections for the 21st century by the NCC/IAP. T63 Model with SRES scenarios. *Acta Meteorologica Sinica*, **19**(4): 407-417.
- [6] Yu Y, Yu R, Zhang X, et al. 2002. A flexible global coupled climate model. *Adv Atmos Sci*, **19**: 169-190.
- [7] 周天军, 王在志, 宇如聪, 等. 2005. 基于 LASG/IAP 大气环流谱模式的气候系统模式. *气象学报*, **63**(5): 702-715.
- [8] Zhou T, Zhao X. 2002. Simulation of the East Asian summer monsoon using a variable resolution atmospheric GCM. *Climate Dynamics*, **19**: 167-180.
- [9] 高学杰, 林万涛, Kucharsky F, 等. 2004. 实况海温强迫的 CCM3 模式对中国区域气候的模拟能力. *大气科学*, **28**(1): 78-90.

- [10] Zhou T, Yu R. 2006. Twentieth century surface air temperature over China and the globe simulated by coupled climate models. *J Climate*, **19**(22):5843-5858.
- [11] Gao X, Xu Y, Zhao Z, *et al.* 2006. On the role of resolution and topography in the simulation of East Asia precipitation. *Theor Appl Climatol*, **86**(1): 173-185.
- [12] Zhang Y, Xu Y, Dong W, *et al.* 2006. A future climate scenario of regional changes in extreme climate events over China using the PRECIS climate model. *Geophys Res Lett*, **33**, L24702, doi:10.1029/2006GL027229.
- [13] 许吟隆, 张勇, 林一骅, 等. 2006. 利用 PRECIS 分析 SRES B2 情景下中国区域的气候变化响应. 科学通报, **51**(17): 2068-2074.
- [14] 张勇, 许吟隆, 董文杰, 等. 2007. SRES B2 情景下中国区域最高、最低气温及日较差变化分布特征初步分析. 地球物理学报, **50**(3):714-723.
- [15] Gao X, Shi Y, Song R, *et al.* 2008. Reduction of future monsoon precipitation over China: Comparison between a high resolution RCM simulation and the driving GCM. *Meteorology and Atmospheric Physics*, **100**(1):73-86.
- [16] 许吟隆, 黄晓莹, 张勇, 等. 2005. 中国 21 世纪气候变化情景的统计分析. 气候变化研究进展, **1**(2):80-83.
- [17] Jones R G, Noguer M, Hassell D, *et al.* 2004. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS. Exeter, UK: Met Off Hadley Centre.
- [18] Meehl G A, Zwiers F, Evans J, *et al.* 2000. Trends in extreme weather and climate events: Issues related to modeling extremes in projections of future climate change. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **81**(3):427-436.
- [19] Giorgi F. 2005. Interdecadal variability of regional climate change: Implications for the development of regional climate change scenarios. *Meteorol Atmos Phys*, **89**:1-15.
- [20] Kripalani R H, Oh J H, Chaudhari H S. 2006. Response of the East Asian summer monsoon to doubled atmospheric CO₂: Coupled climate model simulations and projections under IPCC AR4. *Theor Appl Climatol*, **87**(1):1-28.
- [21] Kitoh A, Hosaka M, Adachi Y, *et al.* 2005. Future projections of precipitation characteristics in East Asia simulated by the MRI CGCM2. *Advances in Atmospheric Sciences*, **22**(4):467-478.
- [22] Im E, Kwon W, Ahn J, *et al.* 2007. Multi-decadal scenario simulation over Korea using a one way double nested regional climate model system. Part 1: Recent climate simulation (1971—2000). *Climate Dynamics*, **28**(7):759-780.
- [23] Gao X, Zhao Z, Giorgi F. 2002. Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia. *Advances in Atmospheric Sciences*, **19**(5):927-942.
- [24] Halenka T, Kalvová J, Chladová Z, *et al.* 2006. On the capability of RegCM to capture extremes in long term regional climate simulation-comparison with the observations for Czech Republic. *Theoretical and Applied Climatology*, **86**(1):125-145.
- [25] Räisänen J, Hansson U, Ullerstig A, *et al.* 2004. European climate in the late twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios. *Climate Dynamics*, **22**:13-21.
- [26] Fischer E M, Seneviratne S I, Vidale P L, *et al.* 2007. Soil moisture atmosphere interactions during the 2003 European summer heat wave. *Journal of Climate*, **20**(20):5081-5099.

Changes of Accumulated Temperature, Growing Season and Precipitation in the North China Plain from 1961 to 2009

Song Yanling¹ Zhao Yanxia² Wang Chunyi³

(1. National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081;

3. Hainan Provincial Meteorological Service, Hainan 570203)

Abstract: Using the high-quality observed meteorological data, changes of the thermal conditions and precipitation over the North China Plain from 1961 to 2009 were examined. Trends of accumulated temperature and negative temperature, growing season duration, as well as seasonal and annual rainfalls at 48 stations were analyzed. The results show that the accumulated temperature increased significantly by $348.5\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$ due to global warming during 1961–2009 while the absolute accumulated negative temperature decreased apparently by $175.3\text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}$. The start of growing season displayed significant negative trend of -14.3 d during 1961–2009, but the end of growing season delayed insignificantly by 6.7 d . As a result, the length of growing season increased by 21.0 d . The annual and autumn rainfalls decreased slightly while summer rainfall and summer rainy days decreased significantly. In contrast, spring rainfall increased slightly without significant trends. All the results indicate that the thermal conditions were improved to benefit the crop growth over the North China Plain during 1961–2009, and the decreasing annual and summer rainfalls had no direct negative impact on the crop growth. But the decreasing summer rainfall was likely to influence the water resources in North China, especially the underground water, reservoir water, as well as river runoff which would have influenced the irrigation of agriculture.

Key words: North China Plain; agriculture; climate change

1 Introduction

At present, 40% of the earth's land surface is cropland and pasture^[1]. In developing countries, nearly 70% of people live in rural areas where agriculture is the largest support of livelihoods. For China, as a large developing country, the total population reached 1.3 billion with 73% of them pursuing agriculture, and the cropland was 1.2 billion hectares in 2008^[2]. About 20% of the global population lives in China is supported by only 7% of the world's cultivated land. Although Chinese agriculture has undergone tremendous structural

changes over the past decades, the average staple crop productivity has doubled in 25 years while the population increased by 25%^[3]. Until now, agriculture is still the most important industry for China since it supplies food for the 1.3 billion population.

The interannual, monthly, and daily distributions of climate variables (e. g., temperature and precipitation) affect a number of physical, chemical, and biological processes that influence the productivity of agriculture. The latitudinal distribution of crop is affected by the current climatic and atmospheric conditions, as well as the photoperiod^[4]. The total seasonal precipitation as well as its variability pattern are both of major importance to agriculture^[5]. Short-term natural extremes such as droughts and floods, interannual and decadal climate variations, as well as large-scale circulation changes, i. e., the El Niño/Southern Oscillation (ENSO), all have important effects on crops. Over the North China Plain, crop growth and productivity are also strongly influenced by weather, especially temperature and precipitation, which determine both phenological development and growth rate of crops^[6]. In particular, Chinese agriculture is strongly affected by the East Asian monsoon system, which often causes regional and largescale droughts or low temperature. As a result, the agriculture production fluctuates interannually with varying meteorological conditions.

In addition to interannual variability, regional climate in China is undergoing a change. The average annual temperature in China as a whole has increased by 1.5 °C during 1961–2009^[7], while the total precipitation has decreased over the last 50 years^[8–9]. It is doubtless that the agriculture meteorological resources are changing greatly due to the climate change. Many studies in China have focused on temperature change^[10–14], but relatively few studies have dealt with the change of other agriculture meteorological resources.

In this paper, based on the observed daily meteorological data, the changes of agro-climate resources, including accumulated temperature, absolute accumulated negative temperature in winter, the start, end, as well as length of growing season, and seasonal and annual precipitation, were analyzed in the North China Plain from 1961 to 2009. Particularly, the possible influences of thermal conditions and precipitation on both agriculture and irrigation was discussed. Then, some insights for agricultural decision making were provided.

2 Material and methods

2.1 Study area

The North China Plain includes Hebei, Beijing, Tianjin, Henan, Shanxi, and Shandong, covers temperate, semi-humid, and monsoon-controlled climatic zones with an annual mean temperature of 10–15 °C. Summers are rainy and hot (monthly mean temperatures range from 22 °C to 28 °C), whereas winters are dry and cold (monthly mean temperatures range from –10 °C to 1 °C). The total annual precipitation generally ranges from 400 to 800 mm^[15], depending on circulation patterns and topographic features, with only about 90 mm