

Overview on Projections of Heat Waves and Extreme Heavy Rainfalls in China

Xiaojun Guo¹, Zongci Zhao^{1,2}, Yong Luo¹, Jianbin Huang¹

¹Center for Earth System Science, Tsinghua University, Beijing

²National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing

Email: zhaozongci@tsinghua.edu.cn

Received: Dec. 1st, 2016; accepted: Dec. 19th, 2016; published: Dec. 22nd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

By use of global and regional climate models, taking into account the various scenarios with the increases of human emissions, both warm days and warm nights in China are projected to increase while the cold days and cold nights are projected to reduce obviously. The frequency and intensity of heat waves in China are projected to increase significantly. The frequency and the intensity of extreme heavy rainfalls in China are projected to likely increase and strengthen, especially along the Yangtze River Valley. As the global annual averaged temperature crosses the different global warming targets (from 1.5°C to 5.0°C) relative to the pre-industrial period, the frequency and the intensity of both heat waves and extreme heavy rainfalls in China are projected to increase and enhance. For example, considering the RCP8.5 emission scenario, as global temperature crosses the 2.0°C global warming target (at around 2037 - 2038), the frequency of the heat waves in China is projected to increase by 7 days. The extreme heavy rainfalls in China (R99p) are projected to likely increase by 38 mm relative to 1971 - 2000. There are still large uncertainties in the future climate change projections due to the uncertainties within climate models, and the complexity of human emissions scenarios, especially rainfall projections, thus more research is needed to be further verified.

Keywords

Overview, Projection, Heat Waves, Extreme Heavy Rainfalls, Climate Models, China

中国热浪和极端强降水变化预估综述

郭晓君¹, 赵宗慈^{1,2}, 罗 勇¹, 黄建斌¹

¹清华大学地球系统科学中心, 北京

²中国气象局国家气候中心, 北京

Email: zhaozongci@tsinghua.edu.cn

收稿日期: 2016年12月1日; 录用日期: 2016年12月19日; 发布日期: 2016年12月22日

摘要

利用全球和区域气候模式, 所有研究结果考虑人类排放增加的各种情景, 预估的中国暖日和暖夜将增加, 冷日和冷夜将减少, 中国热浪频次明显增加, 强度增强, 中国极端强降水频次将可能增加, 强度更强, 尤以长江流域更明显。当全球温升控制目标从1.5°C增加到5.0°C, 中国热浪频次将增加和强度增强, 极端强降水的强度和频次也可能增强和增加。例如, 考虑RCP8.5高排放情景, 当全球达到2°C温升控制目标(约2037~2038年)时, 与目前气候(1971~2000年)对比, 每年中国热浪日数将增加7天, 中国极端强降水量(R99p)将可能增加38毫米。由于气候模式的不确定性以及人类排放情景的复杂性, 未来中国气候变化的预估仍存在较大的不确定性, 尤其是降水的预估, 有待更多的研究做进一步的验证。

关键词

综述, 预估, 热浪, 极端强降水, 气候模式, 中国

1. 引言

热浪和极端强降水事件对人类健康和社会生产的影响非常显著。进入 21 世纪以来, 观测到的全球热浪和极端强降水发生的频次增多以及强度增强, 并造成巨大的经济损失, 因而引起更大的关注[1] [2]。观测到的中国近 30 年热浪与极端强降水的频次和强度也明显增加[3] [4]。

国外做未来热浪与极端强降水预估大多采用全球和区域气候模式, 考虑未来各种人类排放情景和气候系统内部相互作用, 做出本世纪未来几十年全球或区域的极端气候事件变化的预估。也有些研究用同样的方法, 预估未来达到各种温升控制目标时, 如未来全球升温 1.5°C, 2.0°C 或更高, 计算高温和极端强降水的变化的预估。计算方法主要采用的模式来自第三次和第五次全球气候模式对比计划给出的全球气候模式和地球系统模式, (简称 CMIP3 和 CMIP5), 未来预估的人类排放情景分别选用各国政府间气候变化委员会 IPCC 给出的 SRES A2 (高排放)、A1B (中排放)和 B1 (低排放), 以及 RCP2.6 (低排放)、RCP4.5 (中低排放)、RCP6.0 (中排放)和 RCP8.5 (高排放)。计算未来预估的变化是相对于目前气候态的变化, 其气候态一般取 20 世纪后几十年的平均表示, 或取 20 世纪后期到 21 世纪初期的几十年的平均表示[1] [2]。这些研究方法存在的问题是, 一方面全球气候模式对于模拟区域尺度气候变化特别是极端气候事件的变化可靠性较低, 另一方面人类排放情景是设定的, 不一定是真实的排放。这些都有待进一步的改进。

未来中国的热浪与极端强降水如何变化是人们关注的焦点, 类似国外的研究, 国内目前做未来气候变化预估主要应用的工具也是第三次和第五次全球气候模式对比计划(分别简称 CMIP3 和 CMIP5)提供的模式, 以及区域气候模式的计算结果, 经过与观测对比评估检验表明, 大多数 CMIP3 和 CMIP5 模式以及区域气候模式能够较好的模拟出中国热浪和极端强降水的空间分布特征和热浪的时间变化特征, 但是模拟极端强降水的时间变化特征稍差[3] [4]。同样类似国外的做法, 未来预估的人类排放情景分别选用 IPCC 给出的 SRES A2 (高排放)、A1B (中排放)和 B1 (低排放), 以及 RCP2.6 (低排放)、RCP4.5 (中低排放)、RCP6.0 (中排放)和 RCP8.5 (高排放)。预估的变化同样是类似于国外的研究, 相对于目前气候态的变化[1]

[2]。本文综述近些年对这些方面的研究，即对未来中国热浪和极端强降水变化的预估，特别是当全球达到不同的温升控制目标时这两类极端气候事件的变化预估。

2. 未来中国热浪变化的预估

热浪的指标和定义：描述极端温度变化的常用指标为暖昼日数、暖夜日数、冷昼日数、冷夜日数、暖日持续日数和冷日持续日数。中国热浪的定义很多，常用指标有：热浪频次、最长热浪持续天数、热浪日数和高温(日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)日数。

热浪预估方法：一般用多个全球气候模式(CMIP3 和 CMIP5)考虑人类排放高、中和低情景，计算各个模式和所有模式集合平均对中国和分区热浪未来几十年相对于目前气候态的变化的预估。少量研究用中国区域气候模式考虑未来人类排放情景做热浪的预估。

综合多个研究结果：表 1 给出自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 全球气候模式与区域气候模式做中国热浪预估的研究[5] [6] [7] [8] [9]，从表中注意到：1) 大约 50 个气候模式一致预估由于人类排放增加，未来中国暖日和暖夜将明显增加，冷日和冷夜将明显减少；2) 大约 35 个模式预估，随着人类排放增加，热浪日数将会增加且强度增强；3) 考虑人类中等排放情景，到 2024 年前，至少有 50%的夏季气温比 2013 年更炎热；4) 由于气候模式模拟气温变化的能力较高，并且研究结论来自大量模式的模拟结果，因此对未来的中国热浪变化预估的可靠性很高。

3. 未来中国极端强降水变化的预估

极端强降水的指标和定义：中国地域辽阔，各个地区的地理环境差异大，降水变化随不同区域而有明显的不同，表征极端强降水的指标很多，有些以 1 日或 5 日降水量或强度表示，有些用日降水量大于 25 毫米(大雨)或大于 50 毫米(暴雨、大暴雨、特大暴雨)的日数表示，也有用降水百分率(如 95%或 99%，简称 R95p 或 R99p)表示。

极端强降水的预估方法：一般用多个全球气候模式(CMIP3 和 CMIP5)考虑人类排放高、中和低情景，计算各个模式和所有模式集合平均对中国和分区强降水未来几十年相对于目前气候态的变化的预估。少量研究用中国区域气候模式考虑未来人类排放情景做极端强降水的预估。

综合多个研究结果：表 2 给出自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 全球气候模式与区域气候模式做中国极端强降水变化预估的研究[8] [10]-[15]。从表中看到：1) 大约 70 个气候模式一致预估由于人类排放增加，未来中国极端强降水事件将有增加趋势；2) 长江流域降雨强度和最大 5 日降水总量频次的增加最强，洪涝灾害风险明显增加；3) 东北地区、华北地区、华南与东南沿海地区以及西北地区和青藏高原极端强降水可能更加频繁并且强度更大；4) 由于气候模式对中国降水的模拟效果较差，特别是极端强降水的模拟存在更大的不确定性，因此，研究成果有待更多的研究进行进一步的验证。

4. 不同全球温升控制目标下中国热浪与极端强降水变化预估

不同全球温升控制目标的提出：2009 年在丹麦哥本哈根召开的《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)第 15 次缔约方会议上，提出将全球平均温度相对于工业革命前的升幅控制在 2°C 以下， 2°C 温升控制目标已经被很多国家接受和采用[16]。2010 年在墨西哥坎昆召开的第 16 次缔约方会议再次确认了 2°C 温升控制目标[17]。2015 年在法国巴黎召开的第 21 次缔约方会议和联合国气候变化大会，继续明确提出与工业化前相比，将全球温升控制在 2°C 以下，并且更进一步提出尽可能争取将温升控制目标限制在 1.5°C 以下[18]。

不同全球温升控制目标下热浪和极端强降水的预估方法：利用多个全球气候模式(CMIP3 和 CMIP5)

Table 1. Studies on projections of heat waves in China by using CMIP3 and CMIP5 global climate models since 2010
表 1. 自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 全球模式做中国热浪预估的研究

作者 (发表时间)	模式数	预估情景和时段	预估结果
Li <i>et al.</i> (2011) [5]	24 个 CMIP3 模式	CO ₂ 加倍 (1pctto2x)	7~8 月的暖日和暖夜增加 20~40 天, 冷夜和冷 日减少 4~5 天(相对 1961~1990 年)
贺山峰等 (2012) [6]	英国 Hadley 中心的 PRECIS 区域气候模式	B2 情景, 2011~2040 年、 2041~2070 年和 2071~2100 年	年均热浪日数分别增加到 22.6 天、30.6 天 和 39.0 天(基准时段 1961~1990 年为 11.5 天)
Yao <i>et al.</i> (2012) [7]	8 个 CMIP5 模式	RCP4.5 情景 2046~2060 年	热浪持续时间指数将会增长 260% (相对 1986~2005 年)
Zhou <i>et al.</i> (2014) [8]	24 个 CMIP5 模式	RCP4.5 情景 RCP8.5 情景 2081~2100 年	暖日持续日数增加 87 天 暖日持续日数增加 136 天 (相对 1986~2005 年)
Sun <i>et al.</i> (2014) [9]	26 个 CMIP5 模式	RCP4.5 情景 2024 年以前	至少有 50% 的夏季比 2013 年更炎热

Table 2. Studies on projections of extreme heavy rainfall in China by using CMIP3 and CMIP5 global climate models since 2010
表 2. 自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 全球模式做中国极端强降水预估的研究

作者 (发表时间)	模式数	预估时段	预估结果
Li <i>et al.</i> (2011) [10]	24 个 CMIP3 模式	CO ₂ 加倍 (1pctto2x)	7~8 月大部分地区降水总量增加(超过 20 毫米)
Feng <i>et al.</i> (2011) [11]	德国马普气象研究所开发的高分辨 率全球气候模式 ECHAM5	A1B 情景 2080~2100 年	大部分地区极端强降水变化呈增加趋势, 东部大部分地区的极端强降水的增长率增加超过 25%, 更强的降水日数呈增加趋势(相对 1980~2000 年)
Chen <i>et al.</i> (2012) [12]	13 个 CMIP3 模式	A2、A1B 和 B1 情景 2081~2100 年	极端强降水在东北地区、华北地区、 长江下游和华南地区将会显著地增加
Jiang <i>et al.</i> (2012) [13]	7 个 CMIP3 模式	A2、A1B 和 B1 情景 2071~2100 年	极端强降水事件更加频繁且强度更大, 其中长江中下游地区、东南沿海地区、 西北地区的西部以及青藏高原地区的增加更为显著
Gu <i>et al.</i> (2012) [14]	区域气候模式 RegCM4	A1B 情景 2070~2099 年	长江流域大部分地区降雨强度和最大五天降水总量 频次的增加最强, 洪涝灾害风险明显增加
Chen (2013) [15]	16 个 CMIP5 模式	RCP4.5 和 RCP8.5 情景 2080~2099 年	年降水总量显著增加, 降水趋于极端化, 中雨、 大雨和暴雨的发生频次明显增加, 极端强降水事件 在全国范围内表现出一致增强的趋势
Zhou <i>et al.</i> (2014) [8]	24 个 CMIP5 模式	RCP4.5 和 RCP8.5 情景 2081~2100 年	极端强降水显著地增加

考虑多种未来人类排放情景, 计算未来达到某个全球温升控制目标如 2.0℃ 出现的时间, 由此进一步预估那个时段相对于目前气候态的热浪和极端强降水的变化。

综合多个研究结果: 目前中国的研究多数是预估达到 2℃ 温升控制目标时中国的气候变化, 少量预估多种温升控制目标(如从 1.5℃、2.0℃ 到 5.0℃)下中国的气候变化[19]-[25]。表 3 给出自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 模式对全球不同温升控制目标下中国气候变化预估的研究, 从表中注意到: 1) 100 多个气候模式考虑中等排放情景(如 A1B 和 RCP4.5), 全球增温达到 2℃ (约在 2040~2060 年)时, 中国年平均温度变暖约 2.5℃~2.9℃; 2) 2℃ 温升控制目标时, 中国热浪日数增加, 强度增强, 强降水亦有增强和增多的趋势; 3) 考虑 RCP8.5 高排放情景, 在达到 2℃ 温升控制目标(约 2025~2045 年)时, 与目前气候(1971~2000 年)对比, 每年中国热浪日数将增加 7 天, 中国极端强降水量(R99p)将可能增加 38 毫米; 4) 当

Table 3. Studies on projections of climate change in China by using CMIP3 and CMIP5 under the different global warming targets since 2010**表 3.** 自 2010 年以来用 CMIP3 和 CMIP5 对不同全球升温控制目标下中国气候变化预估的研究

作者(年)	模式数	升温控制目标 相应时段(年)	预估结果
姜大膀等 (2012) [19]	16 个 CMIP3 模 式	2°C A1B 情景为 2046 年(相对 1861~1890 年)	中国年均温度上升为 2.7°C~2.9°C, 变暖幅度明显比全球更大, 且变暖从南向北加强, 冬季的升温幅度比其他季节大。年均降水增加 3.4%~4.4%, 各季节内也为增加趋势
Zhang (2012) [20]	17 个 CMIP5 模 式	2°C RCP4.5 情景为 2047 年 (相对 1860~1899 年)	中国变暖比全球快, 西北和青藏高原变暖更快
张莉等 (2013) [21]	29 个 CMIP5 模 式	2°C RCP8.5 和 RCP4.5 情景分别 为 2038 年和 2047 年 (相对 1871~1900 年)	中国年平均地表温度升高至某一幅度的时间早于全球平均, 其中西部早于东部, 北方早于南方, 西北和东北北部地区更早
Lang and Sui (2013) [22]	区域气候模 式 RegCM3	2°C A1B 情景为 2029 年 (相对 1881~1900 年)	中国大部分地区的年平均热浪持续天数增加 0~6 天不等, 年平均降水日数(日降水量 > 10 毫米/天)和最大 5 天降水量分别增加 0.4 天/年和 5.1 毫米/年(相对 1986~2005 年)
陈晓晨等 (2015) [23]	18 个 CMIP5 模 式	2°C、3°C和 4°C 其中, RCP4.5 和 RCP8.5 情 景 2°C升温控制目标分别为 2046 年和 2038 年(相对 1861~1900 年)	在不同全球升温控制目标下, 极端暖事件(如暖夜、暖昼)显著增多; 强降水事件发生频次和强度都明显增加
Guo et al. (2016) [24]	12 个 CMIP5 模 式	1.5°C、2.0°C、2.5°C、3.0°C、 3.5°C、4.0°C、4.5°C、5.0°C 其中, RCP4.5 和 RCP8.5 情 景 2°C升温控制目标分别为 2046 年和 2037 年(相对 1881~1900 年)	RCP8.5 情景, 2°C全球升温控制目标对应中国年平均气温为 2.5°C, 热浪事件将会变得更频繁、更强以及持续时间更长, 1.5°C (4°C)升温控制目标下中国平均热浪日数和高温日数分别比 1971~2000 年(1.3 天/年和 5.2 天/年)增加了 4.1 (23.2)天/年和 3.9 (18.2)天/年
Guo et al. (2016) [25]	17 个 CMIP5 模 式	1.5°C、2.0°C、2.5°C、3.0°C、 3.5、4.0°C、4.5°C和 5.0°C 其中, RCP4.5 和 RCP8.5 情 景 2°C升温控制目标分别为 2046 年和 2037 年(相对 1881~1900 年)	当全球升温控制目标从 1.5°C升高到 5°C, 极端强降水强度将增强并且频次将增加, 大于 50 毫米降水日数从 1.5°C升温控制目标下增加 0.11 天/年(25.81%), 到 4°C升温控制目标下增加 0.40 天/年(95.52%)

全球升温控制目标从 1.5°C 增加到 5.0°C 时, 中国热浪与极端强降水随着升温控制目标的增加而增强、频次增多。5) 预估中国各个分区的热浪和极端强降水的变化有所不同, 以江淮地区和华南最明显, 例如当全球升温控制目标为 1.5°C 时, 江淮地区和华南热浪日数分别增加 7 天和 10 天, 极端强降水分别增加 44 毫米和 49 毫米; 6) 不同升温控制目标下, 相对应达到某个升温控制目标的时间随着选用的模式和情景的不同差异较大, 中国热浪与极端强降水变化的预估也随着所选用的气候模式以及人类排放情景的不同而改变, 因此存在较大的不确定性, 有待更多的研究, 通过进一步发展模式, 给出更适合的人类排放情景, 才有可能增加不同升温控制目标下气候变化结论的可靠性。

5. 结论和讨论

结论: 做气候变化的预估需要利用全球和区域气候模式, 使用最多的是 CMIP3 和 CMIP5 全球气候模式, 评估表明, 这些模式以及它们的集合有较强的能力模拟中国热浪的变化特征, 对中国的极端强降水也具有一定的模拟能力。利用 CMIP3 和 CMIP5 模式, 考虑人类排放增加的各种情景, 如 RCP 的高中低情景: RCP8.5、RCP6.0、RCP4.5 和 RCP2.6, 做中国热浪和极端强降水预估, 主要结论有:

1) 气候模式考虑人类排放增加, 预估中国暖日和暖夜将增加, 冷日和冷夜将减少, 中国热浪频次明显增加, 强度增强, 具有高的可靠性。值得注意的是, 有研究利用 26 个 CMIP5 模式考虑人类中等排放情景, 到 2024 年前, 至少有 50% 的夏季比 2013 年更热;

2) 人类排放增加, 中国极端强降水将可能频次增加, 强度更强, 尤以长江流域更明显, 其降雨强度和最大五天降水总量频次的增加最强, 洪涝灾害风险明显增加, 具有较高的可靠性;

3) 计算不同温升控制目标下, 例如 UNFCCC 提出的 1.5°C 或 2.0°C, 考虑中等排放情景, 分别发生在大约 2026 年或 2029~2047 年, 中国热浪频次将增加和强度增强, 极端强降水的强度和频次也可能增强和增加。考虑高排放情景, 在达到全球温升控制目标 2°C, 大约 2037~2038 年时, 与目前气候(1971~2000 年)对比, 每年中国热浪日数将增加 7 天, 中国极端强降水量(R99p)将可能增加 38 毫米。

讨论: 需要强调指出的是, 目前做热浪和极端强降水未来变化预估都是采用全球和区域气候模式, 考虑未来不同的人类排放情景, 由于气候模式的不确定性和人类排放情景的复杂性, 造成未来气候变化的预估存在较大的不确定性, 尤其是降水的预估, 因此综述给出的中国热浪和极端强降水未来变化的预估只是趋势性的预估, 有待更多的研究做进一步的验证。尚需提出的是, 不同全球温升目标下的热浪和极端强降水变化的预估, 对于不同气候模式出现同一全球温升控制目标的时间差异较大, 因此也带来预估的不确定性, 有待进一步提高模式的模拟能力。

基金项目

公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306019), 中国清洁发展机制基金赠款项目(121312)。

参考文献 (References)

- [1] Field, C.B., *et al.* (2012) Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. IPCC Special Report, Cambridge University Press, Cambridge, 582.
- [2] Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M., IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- [3] 《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 903.
- [4] 秦大河, 主编. 中国极端天气气候事件和灾害风险管理与适应国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 377.
- [5] Li, H., Feng, L. and Zhou, T. (2011) Multi-Model Projection of July-August Climate Extreme Changes over China under CO₂ Doubling. Part II: Temperature. *Advances in Atmospheric Sciences*, **28**, 448-463. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-0052-x>
- [6] 贺山峰, 戴尔阜, 等. 中国高温致灾危险性时空格局预估[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(2): 91-97.
- [7] Yao, Y., Yong, L. and Huang, J.B. (2012) Evaluation and Projection of Temperature Extremes over China Based on CMIP5 Model. *Advances in Climate Change Research*, **3**, 179-185. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1248.2012.00179>
- [8] Zhou, B.T., Han Wen, Q.Z., Xu, Y., Song, L.C. and Zhang, X.B. (2014) Projected Changes in Temperature and Precipitation Extremes in China by the CMIP5 Multimodel Ensembles. *Journal of Climate*, **27**, 6591-6611. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-13-00761.1>
- [9] Sun, Y., Zhang, X.B., Zwiers, F.W., Song, L.C., Wan, H., Hu, T., Yin, H. and Ren, G.Y. (2014) Rapid Increase in the Risk of Extreme Summer Heat in Eastern China. *Nature Climate Change*, **4**, 1082-1085. <https://doi.org/10.1038/nclimate2410>
- [10] Li, H., Feng, L. and Zhou, T. (2011) Multi-Model Projection of July-August Climate Extreme Changes over China under CO₂ Doubling. Part I: Precipitation. *Advances in Atmospheric Sciences*, **28**, 433-447. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-0013-4>
- [11] Feng, L., Zhou, T.J., Wu, B., Li, T. and Luo, J.J. (2011) Projection of Future Precipitation Change over China with a High-Resolution Global Atmospheric Model. *Advances in Atmospheric Sciences*, **28**, 464-476. <https://doi.org/10.1007/s00376-010-0016-1>

- [12] Chen, H.P., Sun, J.Q., Chen, X.L. and Wen, Z. (2012) CGCM Projections of Heavy Rainfall Events in China. *International Journal of Climatology*, **32**, 441-450. <https://doi.org/10.1002/joc.2278>
- [13] Jiang, Z., Song, J., Li, L., Chen, W., Wang, Z. and Wang, J. (2012) Extreme Climate Events in China: IPCC-AR4 Model Evaluation and Projection. *Climatic Change*, **110**, 385-401. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0090-0>
- [14] Gu, H.H., Wang, G.L., Yu, Z.B. and Mei, R. (2012) Assessing Future Climate Changes and Extreme Indicators in East and South Asia Using the RegCM4 Regional Climate Model. *Climatic Change*, **114**, 301-317. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0411-y>
- [15] Chen, H.P. (2013) Projected Change in Extreme Rainfall Events in China by the End of the 21st Century Using CMIP5 Models. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 1462-1472. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5612-2>
- [16] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2009) COP15, Copenhagen Accord. Copenhagen, Denmark. <http://unfccc.int/>
- [17] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2010) COP16, Cancun Agreement. Cancun, Mexico. <http://unfccc.int/>
- [18] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (2015) COP21, Paris Agreement. Paris, France. <http://unfccc.int/>
- [19] 姜大膀, 富元海. 2°C 全球变暖背景下中国未来气候变化预估[J]. 大气科学, 2012, 36(2): 234-246.
- [20] Zhang, Y. (2012) Projections of 2.0°C Warming over the Globe and China under RCP4.5. *Atmospheric Oceanic Science Letters*, **5**, 514-520.
- [21] 张莉, 丁一汇, 吴统文, 辛晓歌, 张艳武, 徐影. CMIP5 模式对 21 世纪全球和中国年平均地表气温变化和 2°C 升温阈值的预估[J]. 气象学报, 2013, 71(6): 1047-1060.
- [22] Lang, X.M. and Sui, Y. (2013) Changes in Mean and Extreme Climates over China with a 2°C Global Warming. *Chinese Science Bulletin*, **58**, 1453-1461. <https://doi.org/10.1007/s11434-012-5520-5>
- [23] 陈晓晨, 徐影, 姚遥. 不同温升阈值下中国地区极端事件变化预估[J]. 大气科学, 2015, 39(6): 1123-1135.
- [24] Guo, X.J., Huang, J.B., Luo, Y., Zhao, Z.C. and Xu, Y. (2016) Projection of Heat Waves over China for Eight Different Global Warming Targets Using 12 CMIP5 Models. *Theoretical and Applied Climatology*, **1**, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1718-1>
- [25] Guo, X.J., Huang, J.B., Luo, Y., Zhao, Z.C. and Xu, Y. (2016) Projection of Precipitation Extremes over China for Eight Global Warming Targets by 17 CMIP5 Models. *Natural Hazards*, **84**, 2299-2319. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2553-0>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org