

关于亚洲中高纬区极端气候的研究
——国家自然科学基金重大项目内容及阶段进展简介

王会军

南京信息工程大学大气科学学院

摘要 近年来极端气候的发生频率和强度有明显增强的趋势，在我国尤为突出（Yin et al., 2023b），造成了越来越大的对经济社会和人民生命安全的威胁。我国科学家也越来越关注我国及东亚区域的极端气候问题。对比而言，亚洲中高纬区虽然也是气候变化的高敏感区，受到的关注却相当少，可能是源于气候资料的相对欠缺，也可能和亚洲高纬度区域（特别是西伯利亚地区）人口少、经济社会发展之后有关。实际上，随着对于北极放大效应的研究的深入，极其有必要开展对整个亚洲中高纬区开展气候变化影响和极端气候研究，把我国科学家高度关注的研究区域从东亚区向北延伸。其中有很多关键科学问题需要研究，特别是该区域极端气候的形成与变异过程、机制以及可预测性，极端气候对生态系统的影响，极端气候的未来演变趋势，等等。因此，国家自然科学基金委地学部在择优的基础上以重大项目的力度支持了这个方面的研究（项目执行期为 2020-2024 年）。本文概要介绍了该项目的框架和若干初步研究进展。

关键词：亚洲中高纬区 极端气候 气候预测 预估 生态系统

一、为什么要聚焦亚洲中高纬区极端气候问题？

亚洲中高纬区（本项目关注区为 35°N 以北、60°E 以东的亚洲地区），主要包括中国北方、朝鲜半岛、日本、蒙古、西伯利亚及中亚部分地区。该区域是我国未来发展战略的核心区域，涉及到“一带一路”倡议、中日韩自由贸易区建设、中俄远东地区合作发展规划和中蒙经贸合作中期发展纲要等的实施。此外，亚洲中高纬区是全球气候系统及生态环境变化的高敏感区。过去几十年，该地区增暖幅度显著高于全球平均，极端气候频发，对区域生态环境、人民生活和社会经济建设等造成了严重影响。如 2010 年夏季，高温热浪导致俄罗斯近 5000 人死亡，

经济损失超过了 150 亿美元；2012 年冬季，欧亚大陆遭遇低温严寒，造成近千人死亡；2012 年夏季，北京“7·21”特大暴雨造成 160 万人受灾、79 人死亡，经济损失约 116 亿元；2016 年夏季，中国东北遭遇严重干旱，造成粮食减产，经济损失高达 156 亿元。因此，开展亚洲中高纬区极端气候变化、生态影响与预测预估研究具有重大意义，可为区域经济发展和生态文明建设提供坚实的科技支撑。世界气候研究计划（WCRP）将极端气候变化规律与成因研究作为未来国际气候变化研究领域的七大主要挑战之一。

在亚洲区域，针对极端气候变异机理的研究主要集中在亚洲季风区和中国西北地区等（翟盘茂和潘晓华，2003；张莉和丁一汇，2008；任国玉等，2010；黄建平等，2014；李崇银等，2019；Yin et al., 2022; Yin et al., 2023b）。研究指出厄尔尼诺—南方涛动、印度洋海温异常模态、北大西洋海温异常模态、北极涛动/北大西洋涛动、北太平洋涛动、太平洋年代际振荡、大西洋年代际振荡等，在年际和年代际尺度上对亚洲季风区和中国西北地区极端气候变异具有重要影响（杨修群等，2005；李威和翟盘茂，2009；Gao et al., 2017；Li and Wang, 2019；Naveendrakumar et al., 2019；Wang et al., 2019）。但对于亚洲中高纬非季风区，尤其是广袤的西伯利亚地区夏半年极端气候变异机制的研究相当薄弱。少数已有研究指出，在西伯利亚近些年的极端高温事件的形成过程中，中高纬大气内部变率起着重要作用（Hafez, 2012；Kornhuber 等，2019）。

要进一步深入认识亚洲中高纬区极端气候变异机理，需要从海洋—大气相互作用角度开展系统研究。已有研究指出，北极海冰的快速消融及其伴随的北极放大效应是近些年欧亚大陆冬季低温暴雪事件频发的重要原因（Liu et al., 2012；Mori et al., 2014；Kug et al., 2015；Overland et al., 2015；Yin et al., 2023a），也是引起近些年东亚霾污染、高温和旱涝异常的重要因素（Wang et al., 2015）。陆面（如土壤温湿、积雪、冻土等）过程异常也对气候/极端气候有重要影响，是预测气候和极端气候的重要因子。已有研究多关注东亚地区（Xue et al., 2018；丁一汇等，2013；Si and Ding, 2013）；广阔的西伯利亚地区陆表过程对于气候变化异常高度敏感，相关过程如何影响局地极端气候变化及其机制还缺少系统性研究（Bartsch et al., 2009；Iijima et al., 2010）。实际上，已有关于极端气候的研究也

主要集中在季风区，对于广袤的亚洲中高纬区域极端气候的研究非常欠缺，缺少深入系统的科学认知，即便对于已有较多研究的亚洲季风区，随着气候系统的变化，该地区极端气候的形成机理也会有所不同，所以对亚洲季风区极端气候变化机制的认识仍有待深入。因此，亟需加强对亚洲中高纬区极端气候变化基本事实的系统认识，从海洋/海冰—大气—陆面多圈层相互作用来深入理解其变异机理。

近几十年，世界多个国家都致力于高精度、高分辨率气候系统模式的研发和改进，并力求将它们用于区域气候的模拟和预测（Flato et al., 2013）。目前气候系统模式对于热带地区气候系统具有较好的模拟和预测能力（Chikamoto 等，2015），但对中高纬区的海洋/海冰—大气相互作用、陆面—大气相互作用的过程模拟存在较大误差（Lindvall 等，2012；Sillmann 等，2013），使得模式对该地区气候和极端气候的模拟及预测能力较低。因此，要提高中高纬区极端气候的模拟和预测预估能力，就需要有针对性地发展和完善模式相关物理过程的刻画。

目前国际国内气候预测业务的对象主要是季节/月平均气候异常。极端气候的变异规律与平均气候不同，其预测更加困难，目前国际上极端气候的预测研究尚属初始阶段，缺乏成熟的预测理论和有效的预测方法。如何充分挖掘多圈层过程的异常信息，综合考虑不同圈层相互作用对亚洲中高纬区极端气候的影响及机理，是发展极端气候预测理论的重要基础，进一步构建高效的预测系统和方法，提升该地区极端气候的预测准确率，是防灾减灾的迫切需求。

气候变化和极端气候对亚洲中高纬区生态环境和人类社会产生显著影响。但是人类活动和自然变化在亚洲中高纬区极端事件变化中的定量贡献存在着很大的不确定性。极端气候的未来变化预估直接关系到人类社会的可持续发展，为社会各界所高度关注（IPCC, 2013; IPCC, 2021）。因此，需要结合 CMIP6 和 CMIP5 系列试验的模拟和预估结果，系统分析亚洲中高纬区极端气候的未来演变趋势、变化特征以及不确定性，以期在未来开展有序人类活动及区域可持续发展规划提供更坚实的科学支撑。

极端气候严重影响生态系统的结构与功能，如生物多样性、净初级生产力、碳氮水循环过程等，甚至影响陆地植被覆盖和分布格局，进而对生态系统服务造成不可估量的巨大影响，乃至生态环境不可恢复的破坏（IPCC, 2014）。因此，系统研究极端气候对亚洲中高纬区生态系统过程的影响，并预估其未来变化，对

区域经济发展和生态文明建设具有重要意义。

因此，本项目聚焦于亚洲中高纬区极端气候，从多圈层相互作用角度深入认识其变异机理；开发和完善气候系统模式，改进极端气候的模拟效能；发展极端气候的预测理论与方法；量化自然因子与人类活动对极端气候变化的相对贡献，评估极端气候对生态环境的影响，科学预估未来极端气候和生态环境的演变趋势。期待研究结果可为亚洲中高纬区防灾减灾、区域经济发展和生态文明建设提供坚实的科技支撑。

二、项目的研究内容和科学目标

项目的执行期为 2020 年 1 月至 2024 年 12 月，由南京信息工程大学和中国科学院大气物理研究所等单位承担，项目负责人为王会军教授，课题负责人包括孙建奇研究员，张明华研究员，王会军教授，姜大膀研究员和周波涛教授。项目主要研究任务包括以下五个内容。

- 1、分析亚洲中高纬区极端气候在年际和年代际尺度上的时空变化特征；剖析影响亚洲中高纬区极端气候变异的主要海气模态及海冰关键区，探究欧亚大陆陆面过程异常对极端气候的作用，从多圈层相互作用角度揭示亚洲中高纬区极端气候年际和年代际变异的机理。
- 2、改进中国科学院气候系统模式的物理过程方案并提高模式分辨率，增强模式对海洋/海冰—大气相互作用、陆面—大气相互作用的模拟性能；进一步系统评估模式对影响亚洲中高纬区极端气候变异的主要海气模态、关键区海冰和主要陆气过程的模拟能力。
- 3、研发亚洲中高纬区极端气候的季节—年际预测理论，并研制统计预测方法和模型；研制适用于亚洲中高纬区极端气候预测的高分辨率动力嵌套预测系统；研制亚洲中高纬区极端气候的统计—动力相结合的预测方法和模型；开展亚洲中高纬区极端气候的实时预测试验。
- 4、基于历史观测资料和国际耦合模式比较计划（CMIP6）不同强迫试验结果，利用最优指纹等多种检测归因方法，量化人类活动和自然外强迫对亚洲中高纬区极端气候变化的贡献；发展多模式集合预估方法，预估亚洲中高纬区极

端气候的未来演变趋势；开展亚洲中高纬区极端气候的高分辨率动力降尺度预估试验。

- 5、分析亚洲中高纬区不同生态系统净初级生产力、碳氮水通量和植被覆盖等的时空变化规律；研究极端气候影响亚洲中高纬区生态系统的物理过程与机制；预估亚洲中高纬区不同生态系统净初级生产力、碳氮水通量、植被覆盖等的变化趋势与空间格局以及其对极端气候变化的响应。

项目的主要研究目标为：揭示影响极端气候变异的主要海气模态、海冰关键区、以及关键陆面过程，辨识影响极端气候变异的主要气候因子，建立海洋/海冰—大气—陆面多圈层相互作用影响亚洲中高纬区极端气候的物理图像；改进中国科学院气候系统模式，提升模式对亚洲中高纬区极端气候的模拟性能；提出亚洲中高纬极端气候新的预测理论和方法，发展针对亚洲中高纬区极端气候的统计、动力、统计和动力相结合的预测方法和模型；揭示人类活动和自然因子对亚洲中高纬区极端气候变化的影响和主要物理过程，并量化两者的相对贡献，对未来极端气候的演变特征与趋势作科学预估；阐明极端气候对亚洲中高纬区生态系统的影响与机理，科学预估未来全球变暖背景下亚洲中高纬区生态系统的变化趋势及对极端气候变化的响应。项目的内容、目标和技术路线概要见图 1。

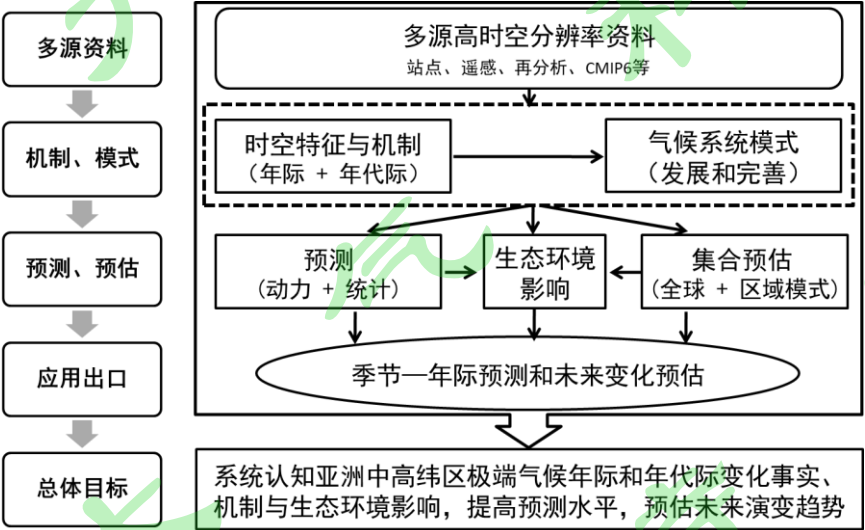


图 1 项目的内容和技术路线概要

三、项目执行两年来的若干研究进展

项目执行两年来取得了若干研究进展，部分结果已经成文发表，包括项目第一资助论文 60 余篇。本项目的执行也对相关科学研究工作和学术交流与科普工作起到了很好的推动作用。两年来的主要进展概括如下。

1、亚洲中高纬区极端气候变异特征与机理

1.1 亚洲中高纬区极端降水事件频次年际变化及机制

东、西西伯利亚地区极端降水频次年际变化均与各自区域上空对流层高层（低层）的异常偶极型环流模态（异常气旋）有关。这些局地环流异常为极端降水频次的增加提供了有利的动力和水汽条件。西西伯利亚极端降水受极地—欧亚模态和北大西洋涛动模态的共同影响。在 1987—2004 年，东西伯利亚极端降水受到斯堪的纳维亚模态的影响，而在 2005—2015 年，东西伯利亚极端降水则受英国—贝加尔走廊模态的影响。该影响的年代际变化可能与两个遥相关模态本身结构的年代际变化有关。此外，在上世纪 90 年代末期之后，东亚夏季风对东西伯利亚极端降水的影响也有所增强。其可能原因是：与东亚夏季风同时出现的蒙古气旋异常增强和东扩，这有利于东亚夏季风将水汽输送到东西伯利亚地区（Hong et al, 2022）。

1.2 北极海冰减少对欧亚中高纬地区春季极端高温事件的影响

冬季巴伦支海—喀拉海海冰异常对 2000 年后欧亚地区春季极端高温事件的年际变化具有重要影响。冬季海冰异常可以通过影响平流层—对流层相互作用，进而导致次年春季欧亚地区对流层大气环流的变化，从而有利于该地区春季极端高温事件呈现出南、北偶极的分布特征。交叉检验结果显示，利用冬季巴伦支海—喀拉海海冰异常预测的欧亚春季极端高温事件偶极模态指数与观测指数的相关系数在 2001—2018 为 0.71，表明上述海冰异常可以作为春季欧亚地区极端高温事件年际变化的重要预测因子(Sun et al., 2022)。

1.3 亚洲中高纬区土壤消融过程对极端高温的影响

土壤冻融过程与地表水热交换、生态系统和区域气候密切相关。基于大气模式 CAM4.0 模拟了亚洲中高纬区土壤消融过程对极端高温的影响。设计两组数值

试验：第一组为参照试验；第二组为移除了土壤消融过程的敏感性试验。结果表明，夏季的土壤消融过程会使土壤含冰量减少，液态水含量增多。由于土壤消融吸热，导致土壤温度减小。表层土壤温度的减小使得地气温差减小，进一步引起了地表感热通量的减小。与此同时，向下的土壤热通量增加，造成地表净辐射通量减少，也使得地表感热通量减小。感热通量的减小导致地面加热大气的能力减弱，因此造成了极端高温事件的减少。

1.4 2020 年超强梅雨的发生机制

2020 年发生在江淮流域、朝鲜半岛和日本南部（简称梅雨区）的暴力梅造成了巨大的人员伤亡和经济损失。此次暴力梅的主要特征为：入梅早（6 月 1 日）、出梅晚（8 月 1 日）以及较强的梅雨期降水。2020 年异常早入梅和晚出梅时期的降水占梅雨期总降水的一半以上。研究表明，东亚急流提前北跳是造成入梅偏早的主要原因，而西北太平洋副热带高压（西太副高）的作用并不显著。5 月北大西洋海表温度（SST）异常激发出东传的罗斯贝波，同时西北太平洋的暖 SST 异常改变该罗斯贝波的传播，在两者共同的作用下造成东亚急流的提前北跳，导致入梅偏早。2020 年 7 月破纪录的北印度洋-南海 SST 暖异常和拉普特夫-东西伯利亚海的海冰密集度的偏少阻止西太副高和东亚急流的北跳。推迟北跳的西太副高和东亚急流有利于梅雨降水增多，最终导致出梅偏晚。此外，前期北太平洋环流振荡模态、4 月平流层状态以及印度洋偶极子可能是极端梅雨的潜在预测因子 (Li et al., 2022)。

2、模式改进和完善

2.1 中高层大气环流模式框架的构建和检验

针对 CAS-ESM 的中高层大气模式第一代版本 IAP-AGCM-HT 1.0 在中层上层大气的模拟偏差进行改进，通过提高模式上边界，更好地刻画高层-低层大气的相互作用，构建了中高层大气环流模式 IAP-AGCM-HT 2.0 框架，并完成了其 Rossby-Haurwitz 检验。此外，IAP-AGCM-HT 1.0 参加国际模式比较计划 QBOi，已基本完成所要求的模拟试验，即通过一系列张弛逼近试验来研究 QBO 及其影响，平流层低纬年际变率对中高纬地区的影响，现正在进行数据后处理以及模拟结果评估(Chai et al., 2021)。

2.2 CAS-ESM 对降水的模拟评估和机理分析

利用 CAS-ESM 1.0 针对陆地降水日变化的模拟、改进和机理开展了系统性的分析和研究，包括选择 CAM5 的物理参数化方案时对降水日变化的振幅和位相的影响、利用边界层高度和抬升凝结高度估算公式 PBLH—LCL 模拟的影响等。利用 WRF 模式在热带带状区域开展了 $45\text{ km} \times 45\text{ km}$ 水平分辨率的敏感性试验，分析不同积云对流参数化方案和辐射参数化方案的模拟差异。还开展了 CAS-ESM 2.0 低分辨率和高分辨率的长期积分数值试验，并在亚洲中高纬地区初步分析了极端降水的模拟性能。

3、预测和预估

3.1 东北复合型高温干旱事件的统计-动力预测模型

东北地区作为我国重要的粮仓，复合型高温干旱事件对当地的粮食产量有重要影响。团队基于“联合变量法”定义了一个新的复合型高温干旱指数，发现东北地区的复合型高温干旱事件与极地-欧亚遥相关型波列（POL 波列）和太平洋-日本遥相关型波列（PJ 波列）紧密相联，影响因子包括 2 月的热带太平洋海温异常、3 月的巴伦支海海冰异常以及 4 月的欧亚大陆土壤湿度异常等。基于上述预测因子构建了物理-经验统计预测模型，该模型预测的东北高温干旱事件与观测结果相关系数高，均方根误差低，交叉检验和独立样本回报结果均较好(Li et al., 2022)。

3.2 人类活动对亚洲中高纬区高/低温变化的影响

基于 CMIP6 不同外强迫试验数据，课题组分析了人类活动和其他外强迫对亚洲中高纬极端高/低温变化的影响。采用最优指纹法和概率比检测并量化了外强迫信号对极端高/低温变化的影响，包括年最大日最高温度和年最小日最低温度。结果表明，两者从 1979 年到 2014 年有所增加，全强迫（ALL）、温室气体（GHG）和人类活动（ANT）外强迫试验合理再现了高/低温的时空特征。其中，人类活动的影响可以在极端高/低温的变化中被检测到。在极端高温变化中，ANT 和 NAT 强迫的影响可以被区分开。在极端低温变化中，GHG 强迫可以与其他人类活动信号区分开。研究还表明，由于人类活动的影响使得亚洲中高纬 20 年一

遇的极端高温事件发生概率增加了约 3 倍，而极端低温事件变为 50 年一遇(Jiang et al., 2022)。

3.3 中国区域高温高湿复合极端事件的未来变化预估

课题组使用 18 个 CMIP6 模式逐日输出数据的研究指出，到本世纪末，中国日最高湿球温度显著增加，部分地区均有超过 35℃ 的湿热复合事件发生，尤其在中国人口集中的东部和四川盆地，在 SSP5-8.5 高排放情景下尤为明显。在 SSP5-8.5 情景下，中国有将近 81% 的人口暴露于极端湿热复合事件，即使在 SSP1-2.6 情景下，这个比例也达到了 51%。进一步的研究指出，中国湿热人口暴露度的增加主要是因为气候变化(Chen et al., 2022)。

4、生态环境影响

4.1 亚洲中高纬度地区植被对气候的敏感性

项目组系统分析了 1982–2020 年亚洲中高纬度地区植被变化对气候驱动因子的响应。结果表明：亚洲中高纬年际变率叶面积指数（LAI）呈现以中部地区最大，向南北两侧递减的特征，其中贝加尔湖以西的中西伯利亚高原以及日本海沿岸植被变化最为显著。从长期趋势来看，1982 年以来亚洲中高纬大部分地区的植被呈现增加趋势，增长趋势最明显的区域出现在高纬地区；贝加尔湖以西的俄罗斯南部地区以及日本海沿岸则出现了植被退化。气温上升对亚洲中高纬度大多数地区春夏植被增趋势贡献最大，以春季尤为显著。对于年际变化，春季 LAI 年际变化受气温影响最大，春季高温对亚洲中高纬大多数地区植被生长都有促进的作用；夏季 LAI 对气温的敏感性降低，植被较为丰富地区对辐射敏感性高，在气候相对干旱的地区对降水更敏感。

2、增温能缓解森林生态系统磷限制

磷是森林生态系统生产力的限制因子，可调节碳循环对气候变暖的反馈。基于鼎湖山站的长期自然增温平台，系统地评估了增温对森林生态系统磷循环的影响。研究发现，在磷匮乏生态系统中，增温可维持植物加速生长的磷需求。增温影响下，增强的植物磷需求主要通过增强生态系统内部生物化学过程（如植物磷

重吸收、土壤磷矿化和磷溶解)以增加磷供应来满足,而不是通过影响磷通量(如凋落物磷矿化和磷的径流和淋失损失)和改变更耗能的途径(如增强细根和菌根真菌)来实现。该成果扩展了对气候驱动的养分需求/供应假说的理解,提出了增温背景下维持植物高磷需求的多种磷获取策略,拓展了传统的评估方法(仅通过有效磷评估磷供应)和理论(仅通过土壤磷矿化评估磷转化),为增进磷调控森林碳汇功能响应增温的认识提供了重要的线索,为改善地球系统模型提供了新的思路(Lie et al., 2022)。

四、结语

目前为止,我国以重大项目方式支持的以亚洲中高纬为研究区域的气候变化类重大项目,本项目是首个。因此,项目组在执行期的后半程将按照项目计划任务书的内容逐步推进和深化五个课题的研究,重点关注变化的成因、机制和预测预估问题,力争圆满完成预期目标,并取得一批优秀的创新成果,并科学支撑经济和社会可持续发展。

参考文献 (references):

- Bartsch A, Balzter H, George C, 2009: The influence of regional surface soil moisture anomalies on forest fires in Siberia observed from satellites. *Environ Res Lett*, 4: 45021
- Chai, Z.Y. , Zhang, M.H.*** , Zeng, Q.C. , **Zhang, H. , Jin, J.B.**, Xie, J.B. , You, T. , 2021: A high-top version of the IAP-AGCM: preliminary assessment and sensitivity. *Atmos. Ocean. Sci. Lett.* 14 (2), 2021, 100025
- Flato G, Marotzke J, Abiodun B, et al., 2013: Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T, Qin D, Plattner G, et al., (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Gao T, Wang H, Zhou T, 2017: Changes of extreme precipitation and nonlinear influence of climate variables over monsoon region in China. *Atmos Res*, 197: 379-389
- Hafez Y, 2012: Blocking systems persist over North Hemisphere and its role in extreme hot waves over Russia during summer 2010, *Atmospheric Model Applications*, Dr. Yucel I (Ed.), ISBN: 978-953-51-0488-9
- Hong H, Sun J, Wang H (2022), Interannual variations in summer extreme precipitation frequency over northern Asia and related atmospheric circulation patterns. *Journal of Hydrometeorology*, 23, 619-636.**

- Iijima Y, Fedorov A, Park H, et al., 2010: Abrupt increases in soil temperatures following increased precipitation in a permafrost region, central Lena River Basin, Russia. *Permafrost and Periglacial Process*, 21: 30-41
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker T, Qin D, Plattner G, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. *Cambridge University Press*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.
- Jiang, W. H., H. P. Chen, and Z. Q. Shi, 2022: Anthropogenic influence on extreme temperature changes over the mid-high latitudes of Asia. *International Journal of Climatology*, 42, 8619-8631.
- Kornhuber K, Osprey S, Coumou D, et al., 2019: Extreme weather events in early summer 2018 connected by a recurrent hemispheric wave-7 pattern. *Environ Res Lett*, 14: 054002
- Kug JS, Jeong JH, Jang YS, et al., 2015: Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia. *Nat Geosci*, 8: 759-762
- Li H., B. Sun, H. J. Wang, and X. Yuan, 2021: Joint effects of three oceans on the 2020 super Mei-yu. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, <https://doi.org/10.1016/j.aosl.2021.100127>.
- Li, H. X., B. Sun, H. J. Wang, B. T. Zhou, and M. K. Duan, 2022: Mechanisms and physical-empirical prediction model of concurrent heatwaves and droughts in July-August over northeastern China. *Journal of Hydrology*, 614, 128535.
- Li J, Wang B, 2019: Predictability of summer extreme precipitation days over China. *Clim Dyn*, 51: 4543-4554
- Lindvall J, Svensson G, Hannay C, 2012: Evaluation of near-surface parameters in the two versions of the atmospheric model in CESM1 using flux station observations. *J Clim*, 26: 26-44
- Liu J, Curry J, Wang H, et al., 2012: Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. *Proc Natl Acad Sci USA*, 109: 4074-4079
- Mori M, Watanabe M, Shiogama H, et al., 2014: Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades. *Nat Geosci*, 7: 869-873
- Naveendrakumar G, Vithanage M, Kwon HH, et al., 2019: South Asian perspective on temperature and rainfall extremes: A review. *Atmos Res*, 225: 110-120
- Overland J, Francis J, Hall R, et al., 2015: The melting Arctic and mid-latitude weather patterns: Are they connected? *J Clim*, 28: 7917-7932

- Si D, Ding Y, 2013: Decadal change in the correlation pattern between the Tibetan Plateau winter snow and the East Asian summer precipitation during 1979-2011. *J Clim*, 26: 7622-7634
- Sillmann J, Kharin V, Zhang X, et al., 2013: Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J Geophys Res: Atmos*, 118: 1716-1733
- Sun J, Liu S, Cohen J, Yu S (2022), Influence and prediction value of Arctic sea ice for spring Eurasian extreme heat events. *Communications Earth & Environment*, 3, 172.
- Wang H, Chen H, Liu J, 2015: Arctic sea ice decline intensified haze pollution in eastern China. *Atmos Ocean Sci Lett*, 8: 1-9
- Wang R, Zhang J, Guo E, et al., 2019: Spatial and temporal variations of precipitation concentration and their relationships with large-scale atmospheric circulations across Northeast China. *Atmos Res*, 222: 62-73
- Xue Y, Diallo I, Li W, et al., 2018: Spring land surface and subsurface temperature anomalies and subsequent downstream late spring-summer droughts/floods in North America and East Asia. *J Geophys Res*, 123: 5001-5019
- Yin Z., Y. Wan, Y. Zhang, et al., 2022. Why super sandstorm 2021 in North China? *National Science Review*, 9, nwab165.
- Z. Yin, Y. Zhang, B. Zhou et al., 2023a: Subseasonal variability and the “Arctic warming-Eurasia cooling” trend, *Science Bulletin*, <https://doi.org/10.1016/j.scib.2023.02.009>
- Yin, Z., Zhou, B., Duan, M., Chen, H., Wang, H., 2023b: Climate extremes become increasingly fierce in China, *The Innovation*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.xinn.2023.100406>.
- Chen H., He W., Sun J. and Chen L., 2022: Increases of extreme heat-humidity days endanger future populations living in China. *Environmental Research Letters*, 17, 064013.
- Lie, Z., Zhou, G., Huang, W., Kadowaki, K., Tissue, D. T., Yan, J., Peñuelas, J., Sardans, J., Li, Y., Liu, S., Chu, G., Meng, Z., He, X., & Liu, J., 2022: Warming drives sustained plant phosphorus demand in a humid tropical forest. *Global Change Biology*, 28, 4085–4096. <https://doi.org/10.1111/gcb.16194>
- 丁一汇, 孙颖, 刘芸芸, 等, 2013: 亚洲夏季风的年际和年代际变化及其未来预测. *大气科学*, 37: 253-280
- 黄建平, 冉津江, 季明霞, 2014: 中国干旱半干旱区洪涝灾害的初步分析. *气象学报*, 72: 1096-1107
- 李崇银, 杨辉, 赵晶晶, 2019: 大气环流系统组合性异常与极端天气气候事件发生. *大气科学学报*, 42: 321-333
- 李威, 翟盘茂, 2009: 中国极端强降水日数与 ENSO 的关系. *气候变化研究进展*, 5: 336-342
- 任国玉, 封国林, 严中伟, 2010: 中国极端气候变化观测研究回顾与展望. *气候与环境研究*, 15: 337-353
- 杨修群, 谢倩, 朱益民, 等, 2005: 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型. *地球物理学报*, 48: 789-797
- 翟盘茂, 潘晓华, 2003: 中国北方近 50 年温度和降水极端事件的变化. *地理学报*, 58: 1-10

张莉,丁一汇, 2008: 全球海气耦合模式对我国极端强降水模拟检验. *应用气象学报*, 19: 760-769

刊

第

卷

科

风

第

十

科

风

刊

十

卷

Research on extreme climate in middle and high latitudes of Asia

-- Brief introduction to the content and progress of major projects funded by the
National Natural Science Foundation

Wang Huijun

School of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and
Technology

In recent years, the frequency and intensity of extreme climate keep increasing significantly, particularly in China (Yin et al., 2023b), which poses more and more threats to the social-economic and life security. Chinese scientists are also paying more and more attention to the extreme climate in China and East Asia. In contrast, although the middle and high latitudes of Asia are also highly sensitive to climate change, they have received relatively little attention, which may be due to the relative lack of climatic data, or may be related to the low population and economic and social development in the high latitudes of Asia (especially Siberia). In fact, with the deepening of the research on the amplification effect of the Arctic warming, it is extremely necessary to carry out the research on the impact of climate change and extreme climate in the middle and high latitudes of Asia, and extend our research concern from East Asia to the north. There are many key scientific issues to be investigated, especially the processes, mechanisms and predictability of climate extremes in the region, their impact on ecosystems, and their future evolution. Therefore, the Geoscience Division of the National Natural Science Foundation of China supported this research as a major project on a merit-based selection (the project implementation period is 2020-2024). In this paper, the author briefly introduced the framework of the project and some preliminary research progresses.

Keywords: extreme climate in middle and high latitudes of Asia; climate prediction; projection; ecosystem