

马耀明 胡泽勇 田立德 等. 青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(2): 207-215. doi: 10.11867/j. issn. 1001-8166. 2014. 02. 0207. [Ma Yaoming, Hu Zeyong, Tian Lide, et al. Study progresses of the Tibet Plateau climate system change and mechanism of its impact on East Asia[J]. Advances in Earth Science 2014, 29(2): 207-215. doi: 10.11867/j. issn. 1001-8166. 2014. 02. 0207.]

青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究进展*

马耀明¹ 胡泽勇² 田立德¹ 张凡¹ 段安民³,
阳坤¹ 张镜铨⁴ 杨永平¹

(1. 中国科学院青藏高原研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000;
3. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029; 4. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 青藏高原地区特殊的大气圈、水圈、冰冻圈、生物圈等多圈层相互作用过程及其变化, 不仅对青藏高原及其周边地区的气候格局和变化有重要影响, 而且对东亚、北半球乃至全球的环流形势和异常产生深远影响。为此, 全球变化研究重大科学研究计划于2010年9月启动了“青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究”项目, 旨在开展青藏高原环境、地表过程、生态系统对全球变化的响应及其对周边地区人类生存环境影响的综合交叉研究, 以揭示青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响机制, 提出前瞻性的应对气候变化与异常的策略, 减少其导致的区域自然灾害的损失。项目实施近3年来, 开展了青藏高原首次“星—机—地”综合立体协同观测试验和大规模地气相互作用综合观测试验。在遥感结合地面观测估算青藏高原地表特征参数和能量通量方法, 高原地区上对流层和下平流层结构, 高原季风与东亚季风和南亚季风之间的内在联系, 中国及青藏高原地区太阳辐射和风速的年代际变化趋势, 青藏高原春季感热源减弱及其对亚洲季风和东亚降水的影响, 以及极高海拔地区土地覆被格局等方面取得了一些突出进展。

关键词: 青藏高原; 气候系统变化; 东亚地区; 影响与机制

中图分类号: P467

文献标志码: A

文章编号: 1001-8166(2014)02-0207-09

1 引言

青藏高原素称地球的“第三极”^[1], 平均海拔高度在4 000 m以上, 是世界上平均海拔最高的高原, 也是亚洲地区重要的水源地。围绕青藏高原发育了10条国内外重要的河流, 为东亚、南亚占世界1/3的人口提供了生活与生产用水。青藏高原强大的动力和热力作用, 显著地影响着东亚气候格局、亚洲季风进程和北半球大气环流^[2-5]。研究表明, 青藏高

原的气候近几十年来发生了明显变化, 导致了该地区冰川、湖泊与冻土的改变, 倍受国际社会与科学界的关注。同时, 气候与水文的变化进一步影响青藏高原和周边地区的生态与环境, 从而影响这一地区的社会经济发展以及更深层次的国家利益。

首先是对青藏高原地区社会经济发展的影响。冰川—湖泊—河流的共生关系形成了高原面上独有的水资源转化形式。但全球气候转暖使得青藏高原地区冰川快速融化与退缩, 从而引起青藏高原一些

* 收稿日期: 2013-10-14; 修回日期: 2014-01-24.

* 基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目“青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究”(编号: 2010CB951700) 资助。

作者简介: 马耀明(1964-) 男, 山西夏县人, 研究员, 主要从事大气边界层观测与卫星遥感应用研究. E-mail: ymma@itpcas.ac.cn

湖泊扩张,进而导致包括冰湖溃决、泥石流灾害、草地被淹等事件的发生,冰川的强烈退缩也引起河流洪水事件的频繁发生。这些灾害性事件过程直接影响了人民生产与生活。随着气候变化、水循环与水文条件的改变,青藏高原地区的自然生态系统正在发生明显变化,表现为林线波动,草场退化,荒漠化加剧,湖泊碳储存能力改变,对当地人民的生产和生活产生了直接影响。因此,从地球系统科学的角度出发,开展青藏高原地区“水—冰—气—生”各圈层相互作用与社会经济系统的综合集成研究,系统揭示全球变化与青藏高原—东亚区域气候系统相互影响机制,有利于减少由于气候变化与异常所导致的区域自然灾害的损失,提出相应的应对措施与适应策略,对促进青藏高原社会经济可持续发展具有重要的现实意义。

其次是对周边地区社会经济发展的影响。青藏高原地表关键因子的异常会影响到东亚区域气候环境乃至北半球气候环境。作为中低纬度地区地—气热量调节的关键地区,青藏高原冬春季积雪面积增加,会减弱高原的热力作用,导致次年夏季印度季风减弱,以及中国东部夏季梅雨的时间延长和在区域上停滞,造成长江中下游地区大面积和长时间降水。最新研究表明气候变化导致的高原热力作用减弱,可能与亚洲季风的减弱以及相应的极端气候事件密切相关。青藏高原是中国长江、黄河和印度次大陆及东南亚地区十大著名江河的发源地,是我国生态安全的重要屏障。尽管全球变暖导致的冰川退缩可能会在短时间内增加下游河流的冰川融水补给,但从长时间来看是不可持续的过程,其后果将给以绿洲经济为主的生存环境以及整个区域社会经济的可持续发展带来重大灾难。由气候变化所导致的青藏高原水资源的变化直接影响到青藏高原周边多个国家与地区用水安全,引起了国际广泛关注。此外,高原地区荒漠化的加剧将可能造成大量沙尘直接进入对流层上部,在大气环流的作用下发生长距离扩散,对东亚甚至北半球产生广泛影响。

鉴于此,全球变化研究国家重大科学研究计划项目“青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究”于 2010 年 9 月立项并正式启动,旨在开展青藏高原环境、地表过程、生态系统对全球变化的响应及其对周边地区人类生存环境影响的综合交叉研究,以揭示青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响机制,提出前瞻性的应对气候变化与异常的策略,减少其导致的区域自然灾害的损失。

该项目的研究成果不仅是对我国国家需求的贡献,也将是一个地区性的、多国区域可持续发展共享的成果。不仅有利于保障青藏高原地区的社会经济可持续发展,为国家生态安全屏障建设提供决策依据,而且有利于促进周边地区,特别是东亚地区社会经济和谐发展。

2 研究的关键科学问题和主要研究内容

2.1 关键科学问题

该项目以“水—冰—气—生”多圈层相互作用为主线,研究全球变化与青藏高原—东亚区域气候系统相互影响和机制,拟解决的 3 个关键科学问题是:

(1) 全球变化背景下青藏高原水圈、冰冻圈和生态系统对大气环流异常的响应和影响。相关的科学问题有:青藏高原区域各圈层间能量交换过程对大气环流异常的影响与响应;青藏高原水分转换过程与水资源变化对气候变化与气候异常的响应;青藏高原生态系统变化与气候变化的相互作用。

(2) 青藏高原气候系统变化对东亚区域气候的影响机理。相关的科学问题有:过去青藏高原—东亚气候系统的变化过程以及在全球变化的关系;青藏高原地表水热异常、植被变化、大气热源变化和局地环流影响东亚季风的途径和机理;青藏高原快速升温的能量平衡机制及其与亚洲季风的相互影响。

(3) 气候变化对青藏高原影响的区域适应机制。相关的科学问题有:青藏高原—东亚气候系统与区域土地利用/覆被变化的耦合关系;气候变化条件下青藏高原自然与社会经济的脆弱性及其变化阈值;减轻青藏高原气候变化风险和区域脆弱性的方法与途径。

2.2 主要研究内容

为回答上述 3 个关键科学问题,该项目开展了 4 个方面的研究:

(1) 青藏高原地气相互作用与大气环流异常关系研究。充分利用现有青藏高原观测研究平台(TORP)及该项目新增加的观测站点、航空遥感和卫星监测,在青藏高原典型下垫面和关键区域进行地气相互作用综合同步观测。结合气象业务台站公开的历史资料,集成分析高原主体“地表—边界层—自由大气”的水热和动量交换及藏东南季风期水汽输送过程,揭示全球变化背景下青藏高原主要地表过程变化和大气环流异常的事实及特征。

(2) 青藏高原多圈层作用过程对气候变化的响

应研究。以青藏高原观测研究平台与稳定同位素监测网络、冰川与湖泊相互作用等专题监测网络为基础,结合该专项的综合试验,利用观测、分析、遥感、模型等综合手段,研究青藏高原水圈与冰冻圈(冰川、湖泊、河流、地下水等)的动态变化过程,开展气候变化与大气环流异常对青藏高原陆地水循环的影响过程研究,揭示青藏高原水分转换机制,评估全球变化条件下青藏高原水循环的未来变化趋势与水资

源变化态势。

(3) 青藏高原气候系统对东亚区域气候变化的影响与机理研究。基于气候代用指标和观测资料,利用卫星遥感、数据同化技术和气候模型等手段,研究过去青藏高原—东亚气候系统变化与全球变化的关系;分析近几十年青藏高原各圈层关键因子(大气热源、土壤水分、积雪、植被)异常与东亚季风变化的基本特征,利用对东亚地区有一定模拟优势的气候系统模式模拟这些关键因子异常影响东亚季风的过程和机理;开展青藏高原快速升温的能量平衡机制研究,探索青藏高原升温与亚洲季风的相互作用。

(4) 青藏高原生态与社会经济系统对气候变化的响应与适应研究。基于大气、植被和土壤等观测数据与模型计算,在典型区与高原尺度上研究气候变化对高原表生系统的影响规律;结合高原生态系统和社会经济系统特点,通过典型区调查和生态过程机理模拟,分析气候变化可能带来的区域综合风险,研究气候变化对高原经济福利的影响与社会经济适应性;利用GIS技术和高精度遥感监测,结合地面验证、社会经济调查与实验分析,研究国家重大生态建设与环境保护措施对提升高原应对气候变化能力的作用及其制约因素,提出适应气候变化的高原社会经济发展、生态建设与环境保护对策。

3 主要科学目标

3.1 总体科学目标

该项目的总体目标是,充分利用青藏高原地区的地面观测平台、各个专题观测网络和项目的补充观测站点,结合航空遥感和卫星遥感技术进行综合立体观测,在此基础上通过数值模拟和数据同化等方法开展综合研究,揭示全球变化背景下大气环流异常的事实及其机理;阐明各圈层对气候变化的响应规律以及青藏高原的能量与水分循环对东亚气候变化的影响和机理;揭示气候变化—地表覆被动态—社会经济系统之间的耦合关系及其作用机制;评估青藏高原气候变化的区域脆弱性及风险程度,

并提出适应气候变化的风险管理、生态建设和环境保护的对策,为青藏高原生态安全屏障的建设提供科学参考。

3.2 预期目标

学术贡献方面,阐明全球变化背景下青藏高原区域各圈层间能量与水分交换过程对东亚气候变化的影响途径和机理;揭示青藏高原水循环的变化过程与水分转化机制,阐明气候变化与气候异常对青藏高原水循环的影响,评估未来可能的气候变化对水资源的影响规律;阐明过去青藏高原气候与全球变化的对应关系,揭示青藏高原地表水热异常、植被变化、局地环流和大气热源变化影响东亚季风的途径和机理以及青藏高原升温的能量平衡机制及升温与季风变化的关系。

国家目标方面,揭示气候变化—地表覆被动态—社会经济系统之间的耦合关系及其作用机制,评估青藏高原气候变化的区域脆弱性及风险程度,并提出适应气候变化的风险管理、生态建设和环境保护的对策,为青藏高原生态安全屏障的建设提供科学参考;强化青藏高原气候环境、生态观测研究系统,促成国家青藏高原观测研究平台及第三极环境观测研究平台(TPEP)的建立,并提供青藏高原生态与环境保护方面的数据支撑,为青藏高原国家生态安全屏障的建立做出贡献;攀登世界科学高峰,在青藏高原气候系统变化规律及其对东亚区域的影响机制研究方面做出国际一流水平成果,进一步强化中国青藏高原研究在国际上的优势地位。

4 主要研究进展

近3年来,项目组人员紧紧抓住“青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究”这一主线,充分利用青藏高原地区的地面观测平台、各个专题观测网络和项目的补充观测站点,结合航空遥感和卫星遥感技术进行综合立体观测,并通过数值模拟和数据同化等方法开展综合研究,取得了以下较为突出的进展。

(1) 青藏高原“星—机—地”综合立体协同观测试验。首次于2011年7~8月在羌塘高原青藏高原腹地主影响区和藏东南生态过程与东亚水汽通道关键区域,以青藏高原地气相互作用和地表过程变化研究为目标,开展了多尺度的、多学科联合的“星—机—地”综合立体观测试验,航空试验航线见图1。完成航空飞行8个架次,获得500多GB高光谱和激光雷达航空遥感数据,800多幅热红外遥感

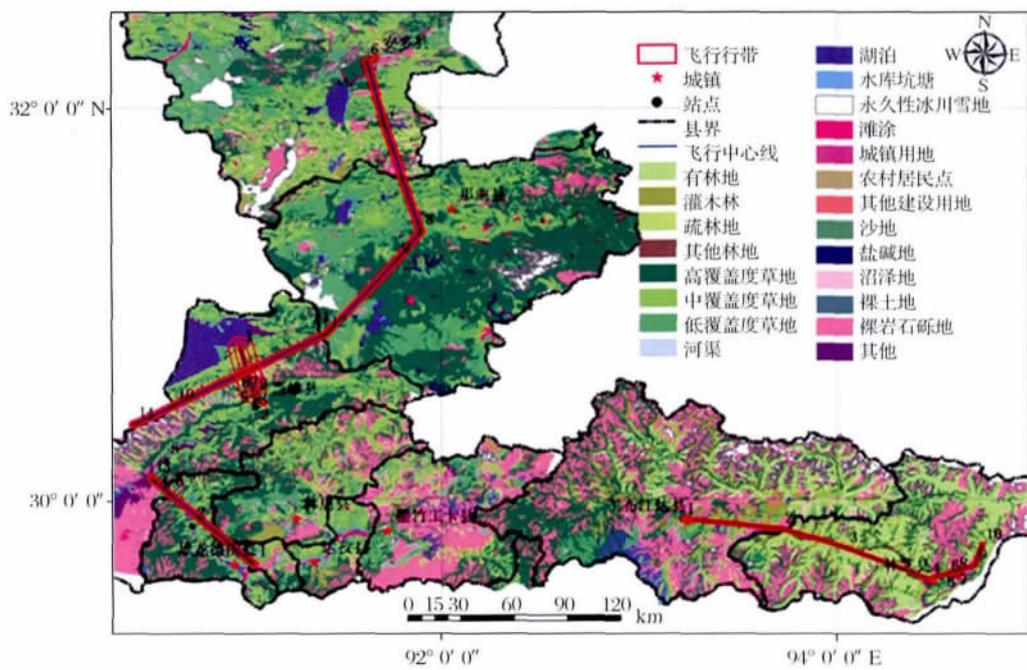


图 1 航空试验航线规划示意图

Fig. 1 Flying routes of air-borne remote sensing experiment

影像 430 个土壤和植被样方, 200 多 GB 地面气象水文和探空观测数据等, 也搜集和获得了大量卫星遥感数据。为精细化描述青藏高原地表过程和开展遥感反演尺度转换研究积累了经验, 是一次有益的尝试。

(2) 青藏高原地气相互作用综合观测试验。这次地气相互作用观测试验无论从试验范围之广(覆盖大部分青藏高原)和持续时间之长(2011 年 5~10 月的加强观测期共 6 个月, 连续观测至今仍在继续), 还是从投入设备(100 多台套)、观测站点(34 个长期定位观测站点)、参与人员(超过 120 人)和资料获取(近 800 GB, 还在增加)的数量等之多, 都超越了之前在青藏高原开展的几次类似的观测试验, 部分站点分布见图 2。还系统收集了研究区域气象水文、土壤植被、冰冻积雪和社会经济等基础资料和再分析资料。为定量和深入开展青藏高原地气相互作用和能量水分循环及其对东亚区域天气气候、生态环境和社会经济的影响与机制研究奠定了坚实的数据基础。

(3) 卫星遥感反演区域地表特征参数和能量通量研究。提出了一个 MODIS 遥感资料结合地面观

测资料确定青藏高原地表特征参数、能量通量、地面加热场及蒸发(散)量区域分布的方法, 并利用此方法推算得到了整个高原区域的地表反射率、地表温度、净辐射通量、土壤热通量、感热通量、潜热通量和地面加热场。结果显示: 推算得到的地表反射率、地表温度、净辐射通量、土壤热通量、感热通量、潜热通量和地面加热场(图 3)与高原的地表分布状况十分吻合, 有明显的月季变化, 且各个参数的分布范围都很宽。推算得到的地表反射率、地表温度、净辐射通量、土壤热通量、感热通量、潜热通量和地面加热场与地面观测值很接近, 绝对百分比误差都小于 10%^[6,7]。这为研究高海拔复杂地表地气相互作用规律提供了一条有效途径。

(4) 高原地区多对流层顶高度的确定研究。利用高分辨率的无线电探空数据观测资料分析了高原地区上对流层和下平流层的结构(图 4), 发现以往得到的高原地区多对流层顶的发生频率被低估, 且与对流层顶折叠紧密联系的平流层大气的下侵过程对高原地区不同季节臭氧的变化也有显著影响。而且高原多对流层顶高度有明显的季节差异。同时结合观测资料和再分析资料给出了高原地区上下层大气交换的证据^[8]。

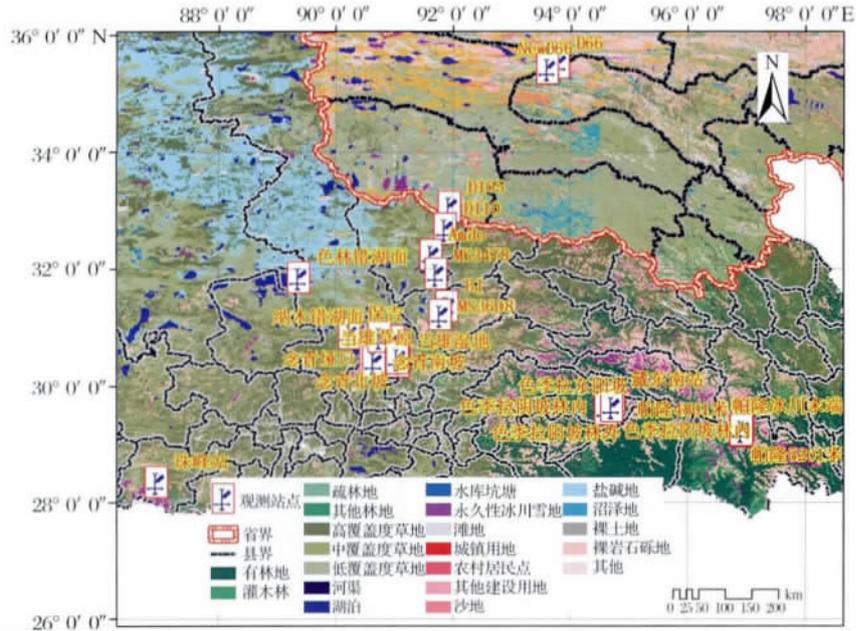


图 2 高原尺度地气相互作用观测站点分布图

Fig. 2 Site distribution of air-land interaction observation at plateau scale

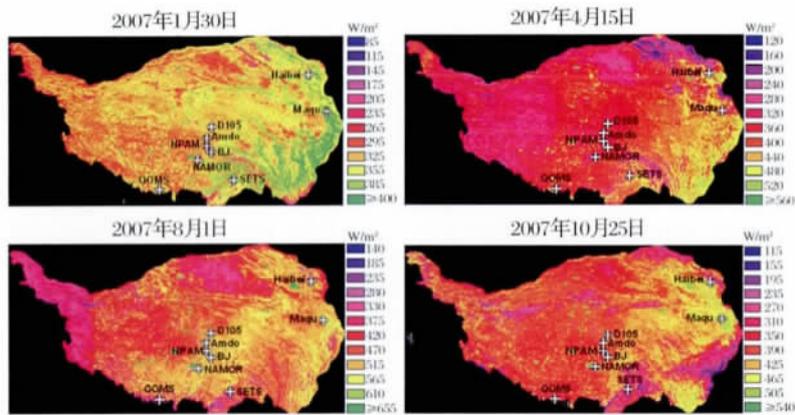


图 3 卫星反演的青藏高原地面加热场分布的季节变化

Fig. 3 Seasonal variations of ground heating field by remote sensing in the Tibetan Plateau

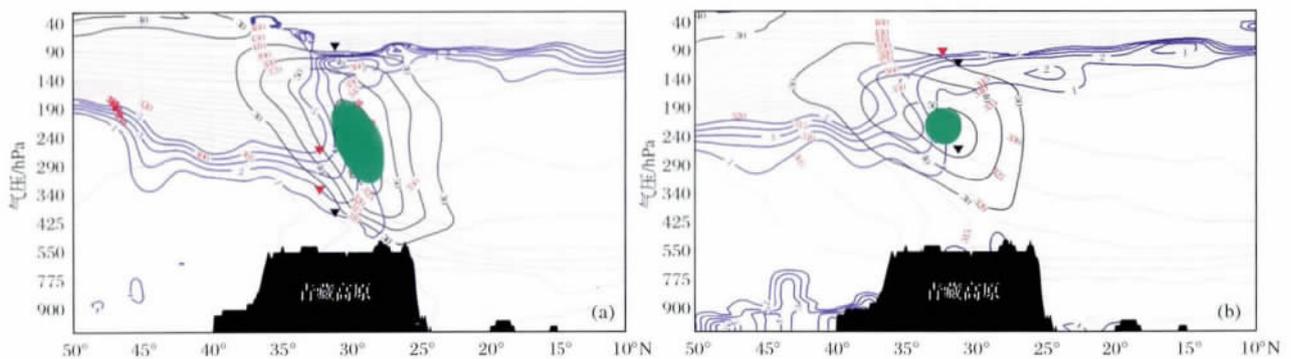


图 4 (a) 2008 年 2 月 25 日和 (b) 2008 年 2 月 29 日高原地区对流层风温场结构在 84.25°E 的纬向—高度剖面图

Fig. 4 Pressure-latitude cross of troposphere structures over plateau at 84.25°E on (a) 25 and (b) 29 February 2008

蓝色线为动力对流层顶 红色虚线为等位温线 黑色实线为纬向风 绿色区域为西风急流位置

Blue line: Potential vorticity, Red: Potential temperature, Black: Zonal winds, Green area: Westerly jet

(5) 高原季风指数及其与大气环流异常的关联。基于 ECMWF 再分析资料(ERA-Interim) ,分析了青藏高原近地层低压系统的特征及其移动路径和规律。在此基础上,将高原近地层低压系统中心位置参数引入传统高原季风指数中,定义了动态高原季风指数,探讨了动态高原季风指数对大气环流异常的表征能力及两者之间的关联。结果表明,相对传统高原季风指数而言,动态指数能够更好地反映大气环流异常和气候变化特征(图 5);高原季风与南亚高压的强度和位置变化密切相关,与东亚季风和南亚季风之间也存在着某种内在联系^[9]。

(6) 中国及青藏高原地区近几十年太阳辐射的变化趋势研究。研究发现,中国太阳辐射自 20 世纪 60 年代以来持续减弱,但变化趋势远小于以往的估计;在 90 年代初辐射强度进入稳定期,“由暗变亮”的转变并不明显。青藏高原地区太阳辐射的变化与

全国平均截然不同,20 世纪 60 年代逐步增强,70 年代末开始持续减弱至今,且辐射减弱趋势远大于全国平均,更不存在所谓的“由暗变亮”的转变(图 6)。由于高原地区的气溶胶浓度极低,且其变化远小于全国的平均状况,这表明青藏高原地区太阳辐射变化的成因不能简单归结于气溶胶浓度的变化,在青藏高原地区其甚至不是主要因素^[10]。在青藏高原地区引起太阳辐射减弱的主要原因是水汽和深对流云的增加^[11]。

(7) 中国与青藏高原地区风速变化趋势研究。研究发现,中国及青藏高原地区风速变化有 3 个阶段(图 7):20 世纪 60 年代末至 70 年代初突然增强,到 21 世纪初持续减弱,直到最近几年恢复,显示出明显的年代际变化。这与区域升温的梯度密切相关。当风速加剧时,高原升温比中国以北区域强烈;当风速减弱时,中国以北区域升温比高原强烈^[12]。

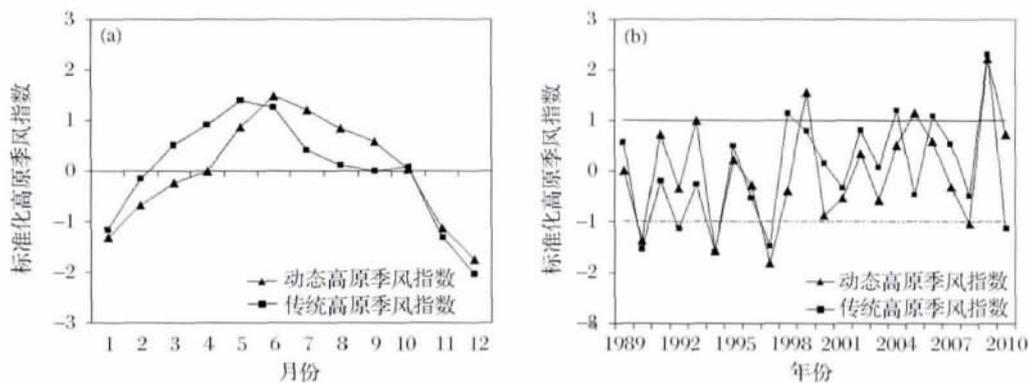


图 5 动态 (DPMI) 和传统 (TPMI) 高原季风指数的 (a) 季节和 (b) 年际变化

Fig. 5 (a) Seasonal and (b) interannual variation of dynamic (DPMI) and traditional (TPMI) plateau monsoon indices

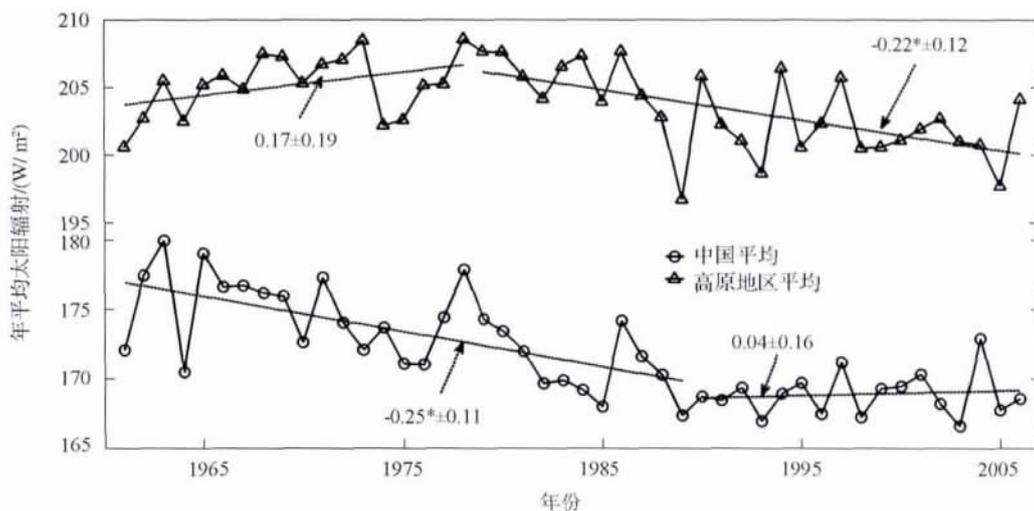


图 6 中国和青藏高原地区平均的辐射变化

Fig. 6 Regional mean variation of solar radiation in China and in the Tibetan Plateau

(8) 青藏高原春季感热源的减弱及其对亚洲夏季季风和中国东部降水的影响研究。研究表明,高原春季感热减弱仍在持续,但最近 5 年高原地气温差迅速增加,与之前的变化趋势正好相反(图 8)。高原春季感热减弱是对气候变暖随纬度不均匀分布的局地响应。这种变化反过来又影响了周边地区的气候变化,特别是对地形陡峭的高原南坡和东侧降水减少起主导作用。但对东亚季风和南亚季风总体变

化趋势而言,高原的感热变化尚未对其产生直接影响^[13]。更进一步的研究发现,东部降水减少与高原春季感热减弱更可能相关,而与春季高原积雪的关系不稳定^[14]。

珠峰极高海拔地区土地覆被格局模拟研究。以 2006 年珠峰保护区解译的土地覆被信息为基础,将光谱数据(遥感影像)引入到一般 Logistic 模型和空间自相关的 Logistic 模型中,以此来预测具体土地

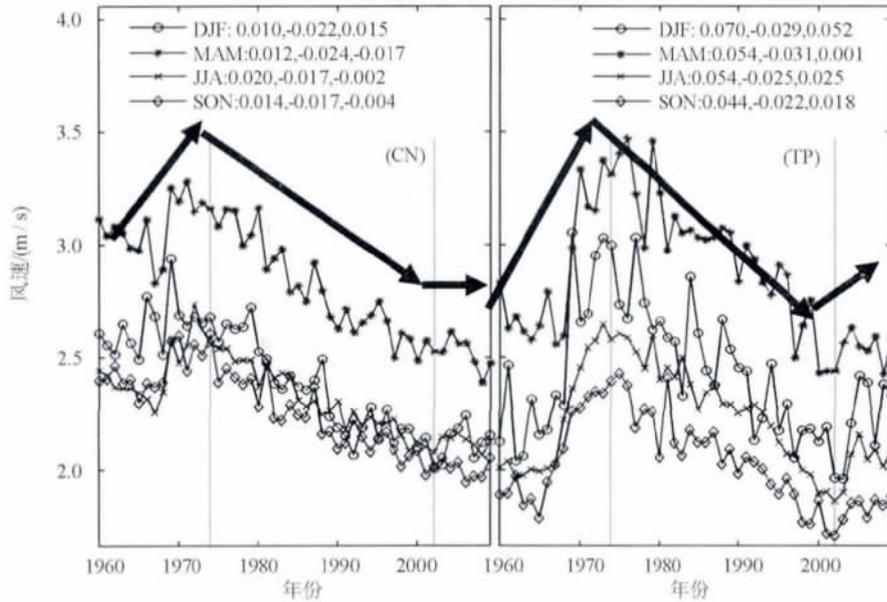


图 7 中国(CN)和青藏高原地区(TP)地表风速变化的 3 个阶段

Fig. 7 Three stages of surface wind speed in China (CN) and in the Tibetan Plateau (TP)

1974 年前的加强期,1974—2002 年的持续减弱期,2002 年开始的稳定或恢复期

Strengthening before 1974, continuous weakening during 1974 to 2002, stable or recovering after 2002

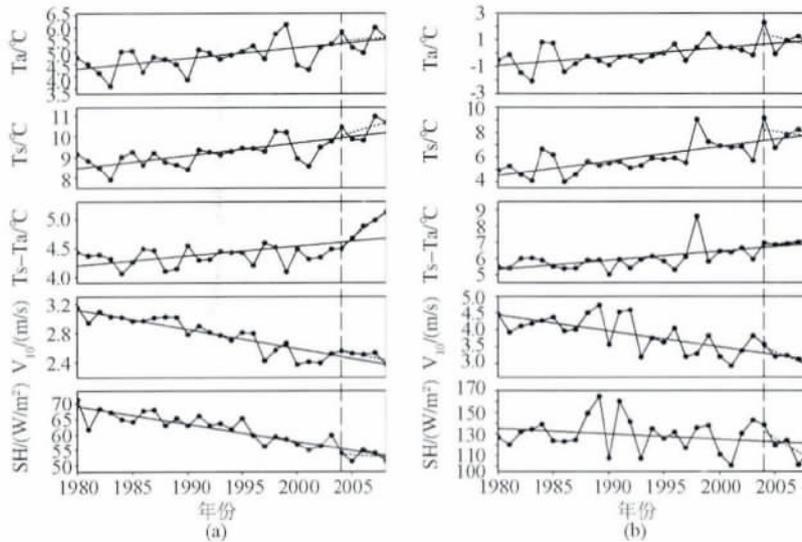


图 8 青藏高原 (a) 中东部和 (b) 西部春季感热通量及与其相关的地面气温、地表温度和地表风速的变化趋势

Fig. 8 Time series of sensible heat (SH), ground air and skin temperature (Ta and Ts), wind speed (V₁₀) over the (a) central-eastern and (b) western Tibetan Plateau in spring

覆被类型的空间分布。20 个相关变量中包括 7 个光谱变量,作为本模型的自变量。抽取了 10 000 个随机取样点用来量化分析保护区相关变量和土地覆被类型的相互关系。分别根据光谱数据的加入与否构建了相关模型,同时也根据空间自相关的加入与否构建了对比模型。提高了极高海拔山地土地覆被格局空间模拟的精度^[15]。

致 谢: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目“青藏高原气候系统变化及其对东亚区域的影响与机制研究”全体研究人员和技术支撑人员及青藏高原野外台站的工作人员在过去的 3 年内,为项目的顺利实施做出了巨大贡献,在此一并感谢。

参考文献(References):

- [1] Qiu Jane. The third pole[J]. *Nature*, 2008, 454(24): 393-396.
- [2] Ye Duzheng, Gao Youxi. Meteorology of Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1979. [叶笃正, 高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京: 科学出版社, 1979.]
- [3] Zhou Mingyu, Xu Xiangde, Bian Lin'gen, et al. Observation Analysis and Dynamic Study on the Atmospheric Boundary Layer in the Qinghai-Xizang Plateau [M]. Beijing: Meteorology Press, 2000: 197. [周明煜, 徐祥德, 卞林根, 等. 青藏高原大气边界层观测分析与动力学研究[M]. 北京: 气象出版社, 2000: 197.]
- [4] Wu Guoxiong, Zhang Yongsheng. Tibetan Plateau forcing and timing of the monsoon-onset over south Asia and the south China Sea [J]. *Month Weather Review*, 1998, 126(4): 913-927.
- [5] Ma Yaoming, Zhong Lei, Su Zhongbo, et al. Determination of regional distributions and seasonal variations of land surface heat fluxes from Landsat-7 enhanced thematic mapper data over the central Tibetan Plateau area [J]. *Journal of Geophysics Research-Atmospheres*, 2006, 111: D10305, doi: 10.1029/2005JD006742.
- [6] Ma Yaoming, Zhong Lei, Wang Binbin, et al. Determination of land surface heat fluxes over heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau by using the MODIS and in-situ data [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, 11: 10 461-10 469.
- [7] Ma Yaoming, Wang Binbin, Zhong Lei, et al. The regional surface heating field over the heterogeneous landscape of the Tibetan Plateau using MODIS and in-situ data [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(1): 47-53.
- [8] Chen Xuelong, Ma Yaoming, Kelder H, et al. On the behaviour of the tropopause folding events over the Tibetan Plateau [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, 11: 5 113-5 122, doi: 10.5194/acp-11-5113-2011.
- [9] Xun Xueyi, Hu Zeyong, Ma Yaoming. The dynamic Plateau Monsoon Index and its association with general circulation anomalies [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2012, 29(6): 1 249-1 263, doi: 10.1007/s00376-012-1125-9.
- [10] Tang Wenjun, Yang Kun, Qin Jun, et al. Solar radiation trend across China in recent decades: A revisit with quality-controlled data [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011, 11: 393-406.
- [11] Yang Kun, Ding Bohong, Qin Jun, et al. Can aerosol loading explain the solar dimming over the Tibetan Plateau? [J]. *Geophysics Research Letters*, 2012, 39: L20710, doi: 10.1029/2012GL053733.
- [12] Lin Changgui, Yang Kun, Qin Jun, et al. Observed coherent trends of surface and upper-air wind speed over China since 1960 [J]. *Journal of Climate*, 2013, 26: 2 891-2 903, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00093.1.
- [13] Duan Anmin, Li Fei, Wang Meirong, et al. Persistent weakening trend in the spring sensible heat source over the Tibetan Plateau and its impact on the Asian summer monsoon [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24: 5 671-5 682.
- [14] Duan Anmin, Wang Meirong, Lei Yonghui, et al. Trends in summer rainfall over China associated with the Tibetan Plateau sensible heat source during 1980-2008 [J]. *Journal of Climate*, 2013, 26: 261-275.
- [15] Gao Jungang, Zhang Yili. Incorporating spectral data into logistic regression model to classify land cover: A case study in Mt. Qomolangma (Everest) national nature preserve [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2012, 26(10): 1 845-1 826.

Study Progresses of the Tibet Plateau Climate System Change and Mechanism of Its Impact on East Asia

Ma Yaoming¹, Hu Zeyong², Tian Lide¹, Zhang Fan¹, Duan Anmin³,
Yang Kun¹, Zhang Yili⁴, Yang Yongping¹

- (1. *Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*
2. *Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;* 3. *Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*
4. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China*)

Abstract: The interaction between atmosphere, hydrosphere, cryosphere and biosphere of the Tibetan Plateau (TP) significantly affects not only climate pattern and climate change in local and surrounding area, but also the Asian monsoon process and the global atmospheric circulation. The study of the “Tibet Plateau climate system change and mechanism of its impact on East Asia”, a project of the National Key Scientific Research Program of China for Global Change Study, was initiated in September of 2010. It aimed at performing integrated research on the Tibetan Plateau climate system responding to global change and its impact on surrounding areas, collaborating on major scientific issues to achieve breakthrough in scientific research on the Tibet Plateau climate system change and mechanism of its impact on East Asia, proposing prospective strategy coping with abnormal climate change to reduce regional natural disaster losses. A simultaneous and coordinated experiment of air-borne remote sensing and ground-based observation was carried out in TP for the first time. And a series of research results have been achieved in the past three years of project implementation. The results include determination of regional distributions and seasonal variations of land surface heat fluxes in whole TP region, behavior of the tropopause folding events over the west TP, definition of plateau monsoon and its association with general circulation anomalies, decrements of solar radiation and wind speed across China and TP area in recent decades and their possible causes, weaken trend of sensible heat source in the spring over TP and its impact on the Asian summer monsoon, and classification of land cover in high altitude region of Mount Qomolangma, etc.

Key words: The Tibetan Plateau; Climate system change; East Asian area; Impact and mechanism.