欧亚陆面热力异常影响我国夏季降水的物理机制与预报方法

【项 目 编 号】GYHY201206017

【研 究 周 期】2012 年 1 月-2014 年 12 月

【国 拨 经 费】241 万元

【项 目 负 责 人】陈海山

【项目骨干成员】孙照渤、高辉、左志燕、晏红明、贾小龙、丁婷、金燕、梁红丽、孙善磊、彭丽霞

【项目承担单位】南京信息工程大学

【项目协作单位】国家气候中心、中国气象科学研究院、云南省气候中心

【主要研究成果】

1. 近 60 年（1951-2010）欧亚地区高分辨率（1°×1°）的土壤温度、湿度格点数据产品

基于观测数据的评估结果，项目组筛选了在欧亚区域模拟误差较小的 6 个陆面模式结果，通过集合平均，形成了一套欧亚地区高分辨率（1°×1°）的土壤湿度和温度数据集。以上数据集均已提交国家气候中心和云南省气候中心建立相关数据产品的共享网络平台。

2. 欧亚陆面热力状况的时空演变特征

（1）土壤干物质焓、液态水焓异常持续性具有明显的季节差异。浅层土壤干物质焓异常持续性在低纬度夏季好于冬季，在中纬度冬季好于夏季，而土壤液态水焓异常持续性则完全相反。中层土壤的变化状况与浅层土壤相一致，而深层土壤干物质焓异常持续性季节差异的纬向变化相对较弱。

（2）欧亚大陆冬季雪深、冬季雪深增量的 EOF 第一模态均呈大致以 50°N 为界的南北反相的空间分布特征，欧亚大陆北部的积雪深度和冬季雪深增量呈现出一致性的变化趋势；两者对应的时间序列均反映了显著的年代际变化特征，且年代际转变均发生在 20 世纪 70 年代中期前后。EOF 第二模态则呈现出欧亚大陆东、西部反相的偶极型空间分布特征。

3. 欧亚大陆热力异常与我国夏季降水的可能联系及机制

（1）当春季南海海温异常偏高（低），有利于我国南部区域低层西南风减弱（偏强），使得向我国西南及长江中下游地区的水汽输送减少（增加）、相对湿度

减小（增加），进而导致该地区春季的降水异常减少（增加）、土壤偏干（湿）；通过蒸发反馈机制，夏季西南地区东部地表温度偏高（低），引起副高西伸（东退）发展，最终影响我国东部地区夏季降水。春季西南地区东部土壤偏干时，由于蒸发减弱，地表温度异常偏高，夏季副高向西发展，阻碍了夏季风的北上，东南地区受副高控制加强。土壤湿度的异常改变了下垫面对大气加热的状况，引起大气环流异常，这可能是导致夏季降水的异常的一种重要的物理途径。

（2）欧亚大陆春季融雪与中国长江流域夏季降水呈负相关关系，即欧亚大陆中高纬度春季融雪偏少，对应该年份的长江流域夏季降水偏多。当欧亚大陆中高纬度春季融雪量减少，欧亚大陆北部夏季剩余积雪偏多，夏季融雪增多；融雪的局地效应将使得土壤湿度增加，阻碍气温升高，相当于对局地气柱产生冷却效应并加大欧亚大陆南北热力差异，进而加大夏季中纬度的纬向风切变，使对流层上层的副热带西风急流增强，副热带高压增强且西伸，但北抬受到抑制；此时，长江流域位于异常西南暖湿气流与冷空气的辐合带上，上升运动活跃，则导致降水偏多。

（3）欧亚中高纬春季地表感热异常增强可能引起陆气之间能量交换异常，通过大气内部运动使得中纬度中上层大气温度降低，增大东亚地区南北热力差异，从而导致东亚副热带西风急流强度增强，范围向东延伸，增强的急流可阻挡北方冷空气南下，这有利于急流南侧大气温度升高、西太平洋副热带高压强度增强和位置向西偏移，西南气流沿副高脊线向我国长江中下游地区输送水汽，进而使得长江中下游地区夏季降水增多。而春季感热偏弱时，情况大致相反，夏季降水异常偏少。

4. 基于陆面热力因子的中国夏季降水预测模型的建立

（1）综合利用海表温度与土壤温度作为预测因子，使用改进的典型相关分析和集合典型相关分析法，建立了中国东部夏季降水场预测模型。独立样本预测试验表明，长江流域和中国东部地区，综合使用海表温度和土壤温度因子的气候预测评分高于只用海表温度的预测评分，说明陆面热力因子中含有对中国东部夏季降水有用的预测信号，东北地区，海表温度因子各项预测评分比土壤温度因子高，这说明陆面热力因子对中国东部夏季降水的预测信号在东北地区较弱。

（2）选取欧亚大陆 9 个关键区的土壤湿度年际增量作为预测因子，采用变形的典型相关分析（BP-CCA）结合集合典型相关分析（ECC）方法建立了我国东部夏季降水的年际增量集合预测模型。集合预测模型的 PS 预测评分均超过 70 分，距平相关系数 ACC 均为正值，表明这集合预测模型对华北地区、江淮地区以及华南地区的夏季降水具有一定的预测能力。

（3）选择土壤焓（H）对土壤湿度（w）和土壤温度（T）敏感性相似的黄淮流域（HHB）和中国东南部（SEC），比较分析了 H、w 和 T 在降水（P）预测中的潜在能力。尽管 H-P 和 T-P 相关系数的空间分布相似，但前者的值总是高于后者。相较而言，H 为 HHB 和 SEC 的降水预测提供了最有效的信号。以上说明，综合了 T 和 w 作为单一变量作用的 H，对陆面热力的监测和改进季节性降水预测能力有更强的能力。

【成果应用情况】

（1）本项目构建的欧亚地区高分辨率陆面热力状况（如土壤湿度、土壤温度、土壤焓、雪盖等）数据集，已为多项国家自然科学基金（如国家自然科学基金重点项目 41230422-欧亚大陆表层热力异常影响东亚夏季风的物理机制研究、国家自然科学基金面上项目 41475083-土地利用变化对中国区域极端温度的影响及机理研究、国家自然科学基金杰出青年项目 41625019-陆气相互作用、国家自然科学基金国际(地区)合作项目 41861144013-中南半岛地表水文-植被对气候变化的响应及其区域气候反馈研究）以及其他省部级项目（如江苏省杰出青年基金项目 BK20130047-全球变暖背景下陆面热力异常对东亚季风年代际变化的影响）的顺利执行提供了必要的数据支撑。同时，数据已在国家气候中心和云南省气候中心实现了数据的汇交共享。

（2）本项目基于典型相关分析和集合典型相关分析方法，建立了我国东部夏季降水的物理模型，并指出综合海表温度和土壤湿度因子建立的模型比仅用海表温度因子的模型各项预测评分均有明显提高，基于陆面热力因子的预测模型对夏季降水的预报有一定的技巧。基于典型相关分析方法和年际增量概念，选取欧亚大陆关键区的土壤湿度年际增量作为预测因子，建立了我国夏季降水的集合预测模型，并发现土壤湿度因子中包含了对我国夏季降水重要的预测信号，不同预测因子的组合对我国夏季降水均表现出一定的预测能力，特别在华北、江淮和华南区域表现出较高的预报技巧。以上模型已被应用于国家气候中心的汛期降水业务预测，为国家气候中心的短期气候预测业务提供了重要参考。

【成果代表图片】

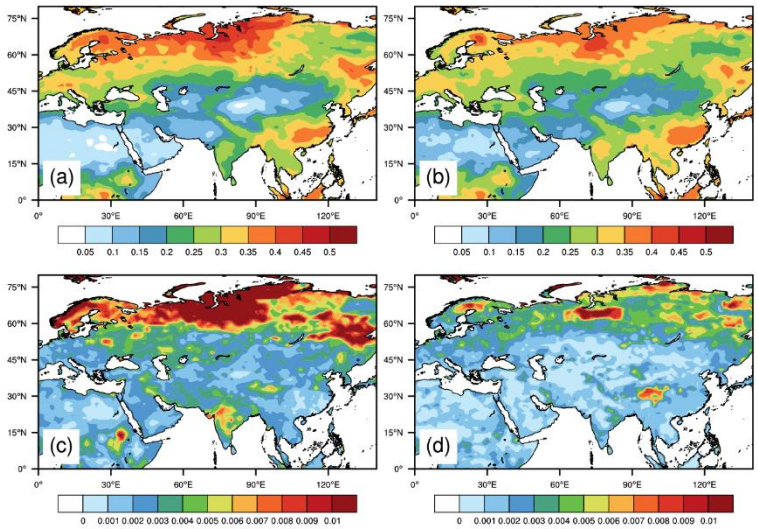

图 1 1951-2010 年欧亚区域浅层（a）和深层（b）土壤湿度的多模式集合平均及其模式间方差（c：浅层；d：深层）空间分布

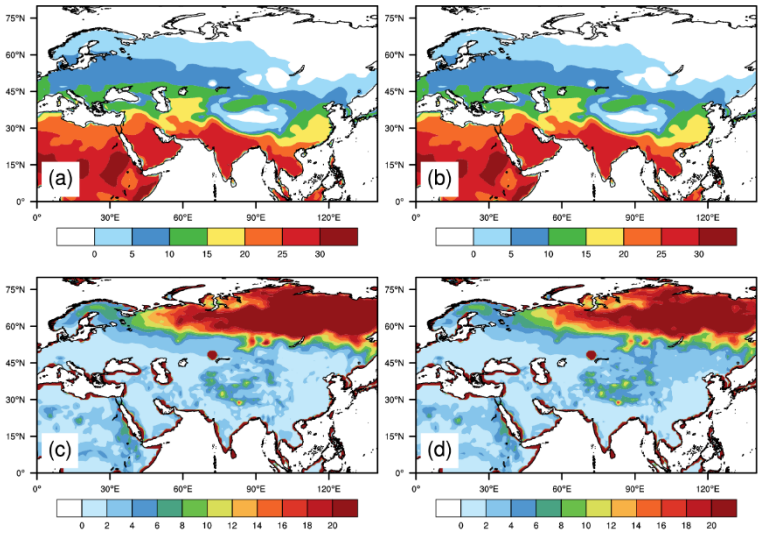

图 2 1951-2010 年欧亚区域浅层（a）和深层（b）土壤湿度的多模式集合平均及其模式间方差（c：浅层；d：深层）空间分布

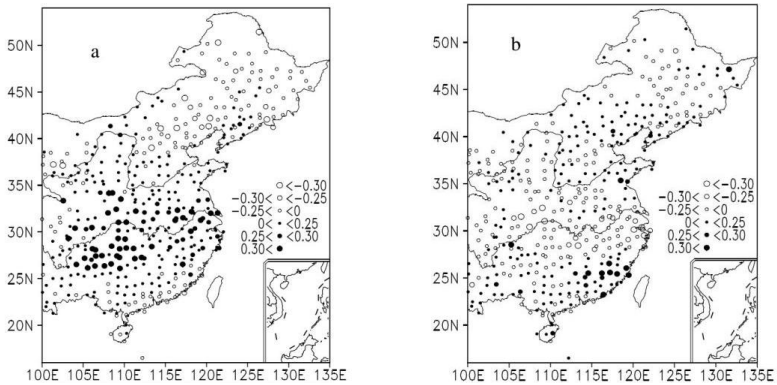

图 3 南海 SSTA 指数与 5 月中国土壤湿度相关分布（a，阴影区通过 95%信度检验），以及 5 月西南土壤湿度异常（SMA）指数与夏季（b，6、7 月平均）降水的相关分布

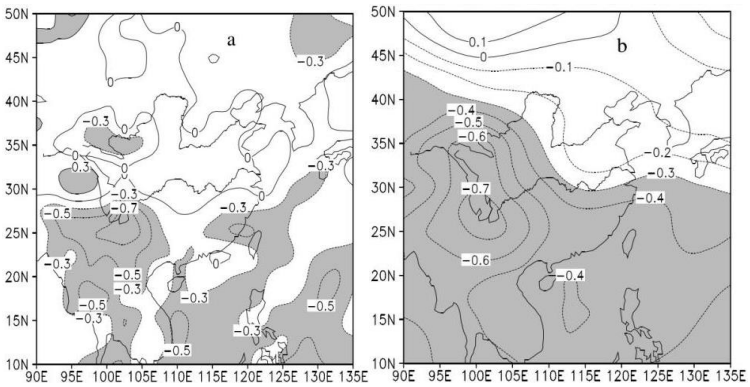

图 4 西南 SMA 指数与夏季（6、7 月平均）地表温度（a）、500hPa 位势高度（b）的相关分布；阴影区为通过 95%信度检验。

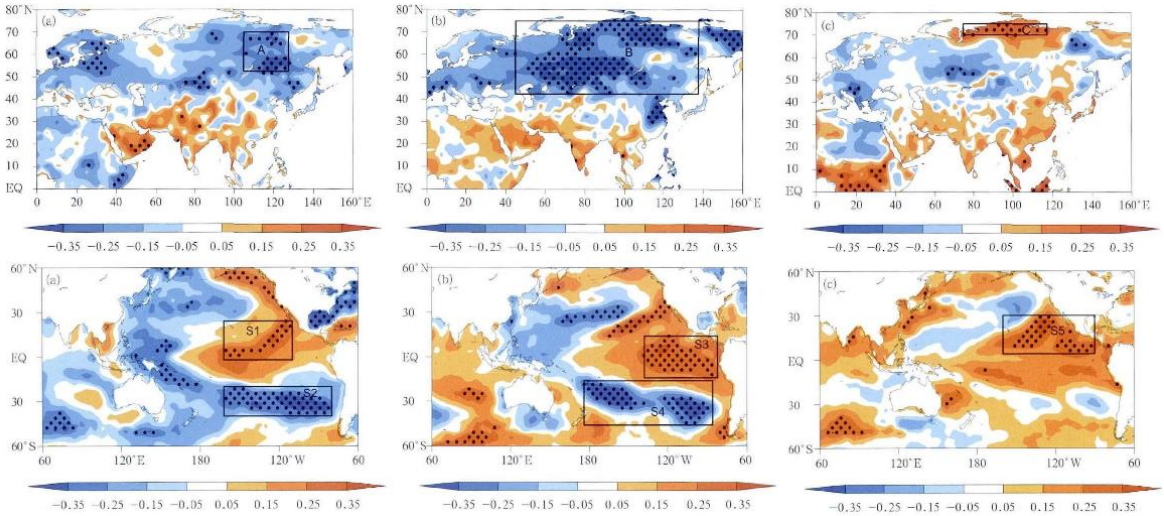

图 5 1961-2010 年中国东部夏季降水经验正交函数分解前三组时间序列与欧亚大陆土壤温度（左）、海表温度（右）的相关关系（r=0.28 通过 0.05 的信度 t 检验）

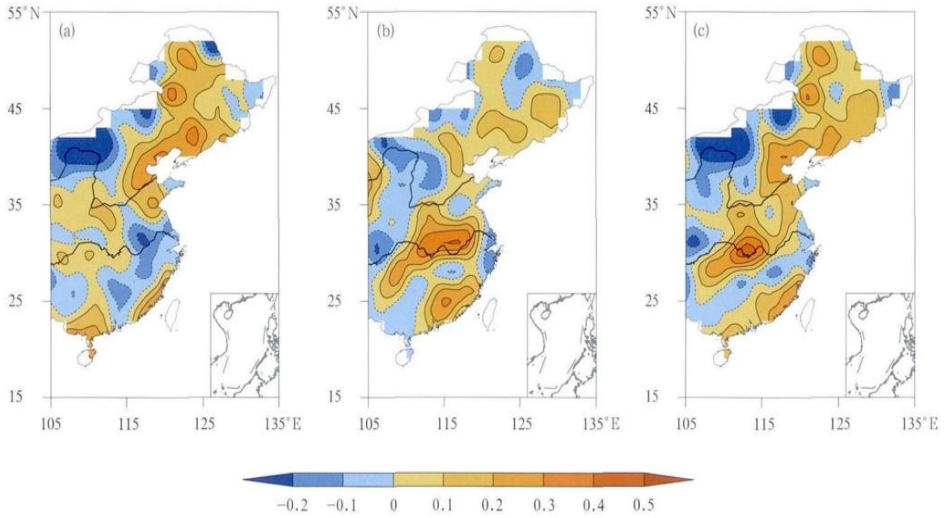

图 6 1991-2010 年利用海温因子（a）、土壤温度因子（b）、组合海温和土壤温度因子（c）预测模型得到的每个测站预测和实测降水场相关系数分布值

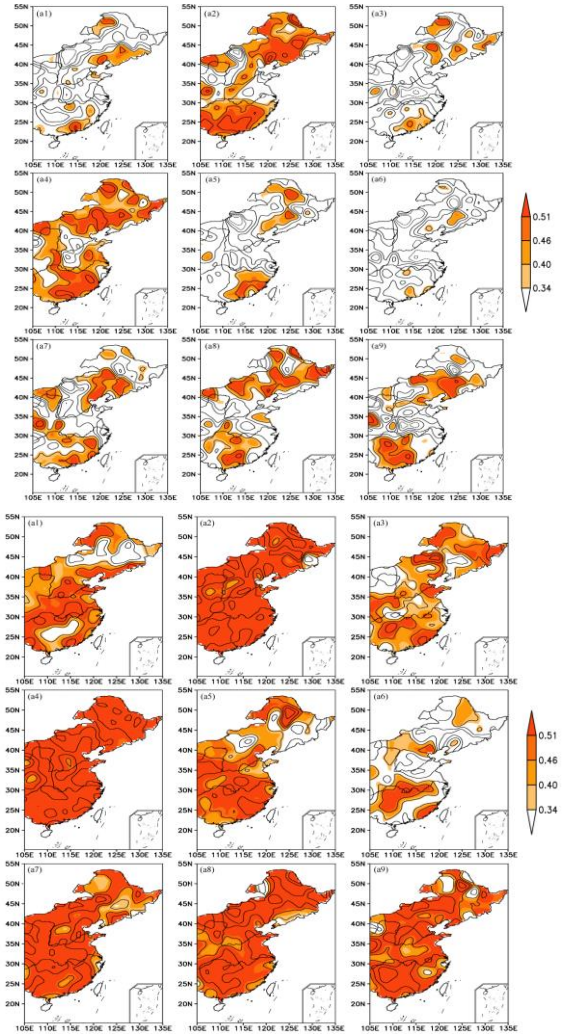

图 7 1980-2004 年我国东部夏季降水（左）和降水年际增量（右）的单因子（S1–S9）预测模型得到的预测和实测降水场的相关系数分布（a1–a9）。阴影区域表示通过 90%信度检验。

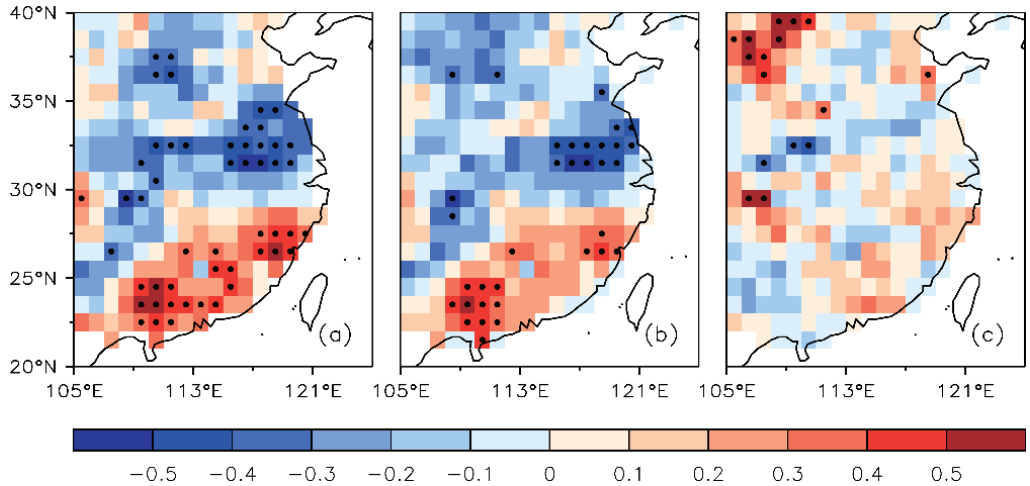

图 8 6 月降水和前期 5 月（a）土壤焓、（b）土壤温度和（c）土壤湿度的时间相关系数空间分布。黑点为通过 95%信度检验区域。