

南、北半球环状模对东亚季节降水的影响机理及预测模型研究

【项目编号】GYHY201006066

【研究周期】2013年1月—2015年12月

【国拨经费】94万元

【项目负责人】丁瑞强

【项目骨干成员】顾薇、杨明珠、冯娟、李晓峰、郑菲、谢飞

【项目承担单位】中国科学院大气物理研究所

【项目协作单位】国家气候中心

【主要研究成果】

(1) 系统揭示了南、北半球环状模对南、北半球尤其是对我国气候的影响及其机理

揭示了春季南半球环状模（SAM）对我国夏季东北气温和降水的影响。前人的研究表明春季南半球环状模 SAM 可以通过印度洋的海温调控东亚夏季风在副热带地区的降水。我们进一步的分析表明，春季 SAM 的正（负）位相往往对应夏季中国东北更为暖、湿（冷、干）的异常，这表明春季 SAM 对我国夏季气候的影响不仅可以影响东亚的副热带地区，并且可以影响更北方的中纬度地区。分析以上这种联系的物理机制表明，春季 SAM 的正（负）位相可以通过对北印度洋海温的影响，进而导致我国东北地区的异常反气旋式（气旋式）环流和下沉（上升）运动，从而减少（增加）了云量、增加（减少）了到达地面的短波辐射，进而导致表面气温的增高（降低）。

揭示了秋季南半球环状模对北半球副热带降水的影响。我们考察了年际尺度上南半球热带外环流变率主要模态（南半球环状模，SAM）对我国南方降水大尺度背景（北半球副热带降水）的影响，包括前冬（12-2月）SAM 对春季（3-5月）降水的影响，以及秋季（9-11月）SAM 对冬季降水（12-2月）的影响。结果表明：经圈环流的部分变率可以由 SAM 解释。SAM 和滞后一个季节的北半球副热带降水存在跨季节的显著负相关关系。SAM 正（负）位相时，北半球副热带降水整体偏少（多）。这种跨季节影响的物理机制与海气耦合桥作用有关。以前冬 SAM 对春季降水影响为例，前冬 SAM 正（负）位相，高纬度风速增强（减弱），中纬度风速减弱（增强），导致高纬海温偏冷（暖），中纬海温偏暖（冷）。这种海温异常由于热惯性持续到春节，导致南半球热带外位温梯度发生变化，从

而影响斜压性和波活动，进而导致南半球 50° S 南、北分别形成顺时针和逆时针的经圈环流异常，并通过波流相互作用影响热带和北半球副热带的经圈环流，使得北半球副热带呈现下沉气流异常，导致降水偏少（图 1）。

揭示了冬季北大西洋涛动 (NAO) 对我国冬季降水的不对称影响。冬季 NAO 与西南地区降水存在显著的正相关关系。并且，这种正相关具有不对称性，即当冬季 NAO 处于负位相时，东亚地区环流形势不利于中国西南地区降水的形成，对应着中国西南地区冬季降水的显著减少。而当冬季 NAO 处于正位相时，其与中国西南地区降水的正相关关系并不显著。冬季 NAO 高、低指数年分别合成的波射线和波作用通量的结果表明，当冬季 NAO 为负位相时，冬季地中海地区的扰动源会形成与里海和南欧亚 (SEA) 遥相关路径一致的波射线，同时波作用通量的结果表明，定常波由里海和中东、阿拉伯海一直传播到青藏高原及下游地区，而冬季 NAO 高指数年，地中海地区的扰动源所形成的波射线偏北，波动传播到达印度半岛地区之后不再向下游传播。冬季 NAO 对 SEA 遥相关波列的不对称影响决定了 NAO 与西南冬季降水的不对称关系。

揭示了夏季北大西洋涛动 (NAO) 对我国秋季降水的影响。夏季 NAO 与我国初秋 (9 月份) 华中地区降水存在显著的正相关关系，当前期夏季 NAO 为正异常时，初秋我国南方大部分地区处于副高西侧的偏南气流的控制之下，有利于水汽向我国中、东部地区的输送，同时，来自北方的冷空气与暖湿气流在长江流域交汇，有利于准静止锋的形成和维持，对应降水偏多的情况；当夏季 NAO 为负异常时，环流结构大致相反，对应降水偏少。夏季 NAO 对初秋华中地区降水的影响机理可以通过“海气耦合桥”理论来进行解释。由于大气自身的记忆性较差，因此，海温可以通过对大气信号存储并再释放而影响下一个季节的大气。夏季 NAO 可以激发北大西洋地区的三极子海温异常结构，当夏季 NAO 为正位相时，北大西洋地区副热带和副极地为海温的负异常，而中纬度地区为海温的正异常，由于海温具有持续性，三极子海温异常结构可以持续到初秋并影响大气，在北大西洋和欧亚大陆的副极地形成 AEA 遥相关结构，从而影响华中地区初秋的降水（图 2）。数值试验的结果进一步证明，9 月份北大西洋地区的海温三极子结构可以激发同期的 AEA 遥相关型结构，为秋季的长江中游降水提供有利的环流背景。

发现了北太平洋维多利亚 (VM) 模态、南太平洋海温四极子 (SPQ) 模态是 ENSO 可预报性的重要来源，建立了基于 VM/SPQ 信号的 ENSO 预测模型。过去的研究主要关注大气桥过程，强调 ENSO 可以通过大气遥相关影响南、北太平洋。我们发现南、北太平洋海温变率的第二主导模态 (北太平洋称为 VM 模态，南太平洋称为 SPQ 模态) 可以反作用于 ENSO。VM/SPQ 模态都是在冬末、春

初（2-4月）最强，它们的副热带部分通过海气过程触发赤道西太平洋的西风异常，在赤道西太平洋次表层产生温度异常并向东太平洋传播，通过热带太平洋海气耦合过程加以放大，最终导致 ENSO 的发生（图 3）。VM/SPQ 模态强迫的 ENSO 事件可以提前一年预报，因此 VM/SPQ 模态可以为 ENSO 预报跨越春季障碍提供关键的前兆信号。

此外，将 VM/SPQ 与热带次表层温度前兆信号作为影响因子，建立了一个 ENSO 的统计预测模型（TEEM: Tropical-Extratropical-combined ENSO prediction model），与其他 ENSO 统计预测模型相比较，该模型因为包含了热带外前兆信号的独特作用可以减轻“春季可预报性障碍”现象导致的预报技巧的下降，对 ENSO 有较好的预测效果。此研究确定了 VM/SPQ 模态分别是 El Niño 的重要前兆预测信号，对于提高 ENSO 的预测水平有重要意义。

（2）建立以环状模为基础的、东亚降水季节滚动的统计预测模型

基于前期南、北半球环状模的信号，结合热带海洋信号建立了具有物理基础的、季节滚动的（冬季 SAM 预测华南前汛期降水，春季 NAO 预测长江中下游降水，春季 NAM 预测华北夏季降水）的东亚季节降水预测模型，将后报预测试验结果与当代国际水平的模式集合预测结果进行对比，对预测模型效果进行评估。在以上研究的基础上，结合气候模式预测系统，进行东亚季节降水的实时预测试验，并在业务服务中进行检验和改进。

【成果应用情况】

基于前期南、北半球环状模的信号，结合热带海洋信号建立了具有物理基础的、季节滚动的（冬季 SAM 预测华南前汛期降水，春季 NAO 预测长江中下游降水，春季 NAM 预测华北夏季降水）的东亚季节降水预测模型，已在国家气候中心建立业务系统并投入准业务应用，对我国季节降水预测提供参考依据，对气象业务化建设发挥重要作用，具有显著的经济效益。

基于 ENSO 的热带外和热带前兆信号发展了的 ENSO 统计预测模型，与其他 ENSO 动力学和统计模型相比，该模型因为包含了热带和热带外前兆信号的联合作用而对 ENSO 有较好的预测结果。基于该统计模型的预测结果，近年来丁瑞强研究员参加了国家海洋局海洋预报中心的 ENSO 预测会商，为中心 ENSO 的预测提供了重要的参考。

【成果代表图片】

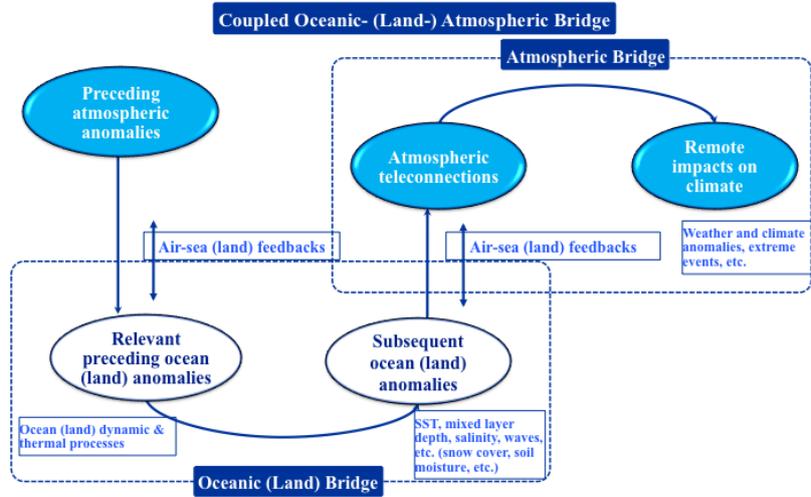


图 1. SAM 影响北半球副热带降水的海气耦合桥机制

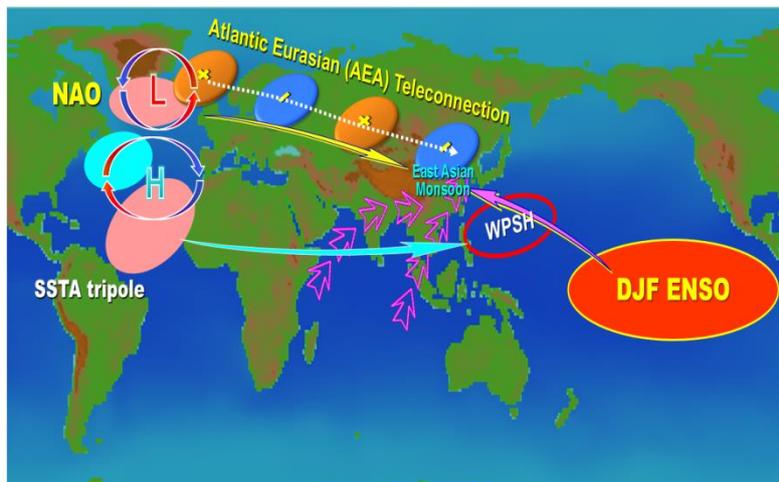


图 2. 夏季北大西洋涛动 (NAO) 对我国秋季降水影响的概念示意图

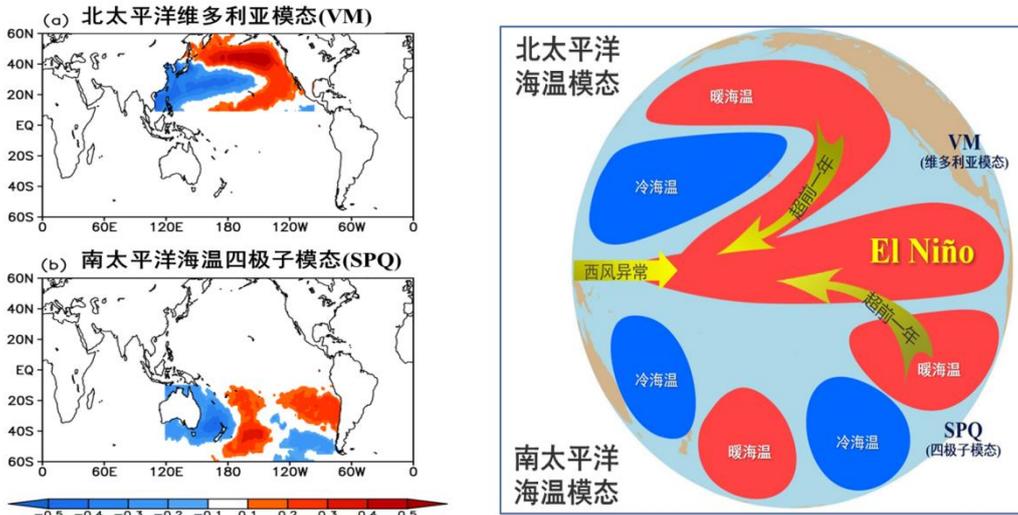


图 3. ENSO 的南、北太平洋海温前兆信号（左图）与南、北太平洋海温模态影响 ENSO 示意图（右图）