

中国东部夏季降水与春季土壤湿度的联系

左志燕 张人禾*

(中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081. *联系人, E-mail: renhe@cma.gov.cn)

摘要 通过对资料的诊断分析, 揭示了中国东部春季土壤湿度与夏季降水的联系, 发现春季从长江中下游到华北的土壤湿度偏湿, 东北土壤湿度偏干时, 对应着中国夏季东北和长江流域降水偏多, 华北和南方降水偏少. 对这种影响的物理过程分析表明, 春季从长江中下游到华北的土壤湿度正异常使得中国大陆东部地表温度降低, 减少了海陆温差, 造成东亚夏季风减弱, 西太平洋副热带高压发展西伸, 从而阻挡了东亚夏季风的北上, 使得中国夏季雨带偏南, 长江流域降水偏多, 华北和南方降水偏少.

关键词 土壤湿度 降水 东亚夏季风

从 1977 年 Walker 等人^[1]发现非洲降水对土壤湿度很敏感以来, 许多科学家开始关注到土壤湿度对气候的记忆及两者之间的重要反馈作用^[2-5]. 然而由于土壤湿度观测资料的时空尺度有限, 从观测事实上来诊断土壤湿度与气候关系的研究很少, 更多的研究致力于数值模拟方面. 这些数值试验大都认为土壤湿度与降水之间主要是通过“土壤-降水”反馈机制来起作用^[6-13]. 由于土壤湿度与气候之间的真实关系是所有模式研究的基础, 而在这些数值模拟的研究中大多人为给定土壤湿度初始场, 模式结果的真实性并未经过观测事实上的验证. 另一方面, 这些研究多集中在非洲和印度季风区, 而东亚季风气候系统的动力和热力过程更为复杂, 土壤湿度与其上的植被状况和大气水分状况有密切联系^[14,15], 其陆面过程对季风气候的形成和发展具有非常重要的作用. 因此, 本文将利用土壤湿度和降水资料来探讨中国春季土壤湿度与夏季降水之间的关系, 这样一方面能从事事实上揭示土壤湿度与气候变异之间的联系, 另一方面也为数值模拟提供依据. 此研究对了解东亚季风区区域能量和水分循环也有重要科学意义.

由于中国土壤湿度观测资料缺测较多, 且观测站点只集中在有限的几个区域, 因此, 利用观测到的土壤湿度资料仅用于研究与局地温度降水的关系^[16,17], 但不足以用来系统研究中国整个东部区域的土壤湿度特征及其与中国大范围气候异常的联系. 考虑到欧洲中期预报中心(ECMWF)提供的ERA40 土壤湿度再分析资料与中国站点观测土壤湿度资料在

年际、季节变化以及记忆时间方面都很相近^[18], 因此本文选用了ECMWF空间分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的ERA40(1957~2002年)土壤湿度再分析资料. 该资料从地表面往下分为7, 21, 72和189 cm 4层. 由于参照观测资料只有1981~2002年的1 m深度的土壤湿度资料, 为了最大程度上保证资料的可信度, 本研究利用了1982~2001年的前3层土壤湿度进行研究. 本文使用的降水资料为中国气象局提供的160标准站观测资料. 地表和风压场资料均来自NCAR/NCEP的再分析资料.

从1982~2001年的中国东部(105°E 以东)春季(3~5月)土壤湿度和夏季(6~8月)降水场的SVD分析结果来看, 1 m以上的前3层土壤湿度结果类似. 图1给出了夏季降水(图1(a))与春季表层7 cm土壤湿度(图1(b))的SVD空间型的第一模态. 这一模态具有较大的方差贡献, 其值高达33.4%, 相关系数为0.87. 可以看到, 中国东部夏季华南、长江中下游流域、华北和东北的降水(图1(a))与春季从长江中下游到华北大片区域的土壤湿度(图1b)具有显著的相关关系. 即当春季长江中下游到华北区域土壤偏湿(干)时, 中国东北和长江中下游流域夏季降水显著偏多(少), 而华北和南方夏季降水偏少(多).

为了分析春季土壤湿度影响中国东部夏季降水的物理过程, 选择了图1(b)中土壤湿度与东部夏季降水相关关系显著的从长江中下游到华北的区域($32^\circ\sim 40^\circ\text{N}$, $105^\circ\sim 120^\circ\text{E}$), 对春季土壤湿度在此区域求平均, 选择 >0.6 个标准差的5个土壤湿度高值年

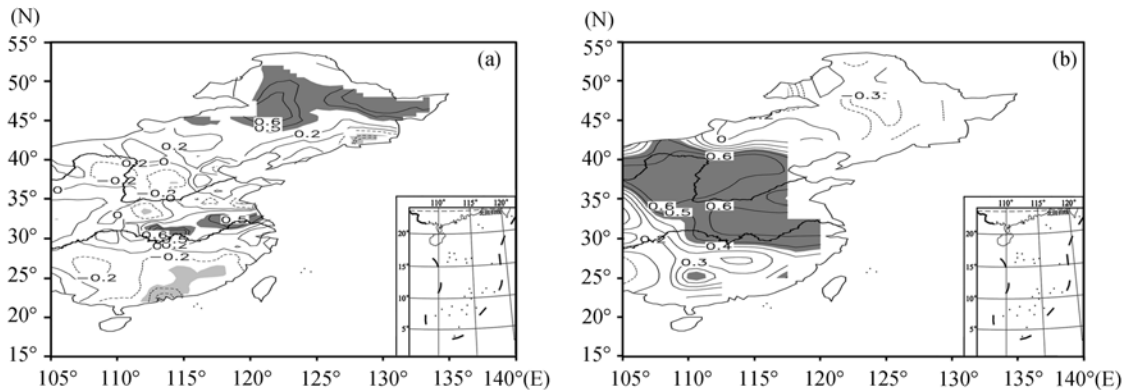


图 1 春季土壤湿度与夏季降水 SVD 空间第一模态 (a)夏季降水异性相关图, (b)春季土壤湿度异性相关图
图中阴影部分表示相关显著性达到 95% 以上

(1985, 1990, 1991, 1997 和 1998 年)和 <0.6 个标准差的 5 个低值年(1984, 1986, 1995, 2000 和 2001 年), 对地面温度进行了合成. 图 2 给出了土壤湿度高值年合成减低值年合成的 5 月地表温度差值图. 从图 2 可看到, 当长江中下游到华北春季土壤偏湿时, 中国东部除东北和华南的小部分区域外, 地表温度的差值均为负值, 此即说明了土壤湿度增加使得地表温度降低. 从物理上来看, 增加的土壤湿度可以导致地表蒸发加大, 使得地表温度降低, 由此可以造成海陆温差的减少, 使得东亚夏季风减弱. 图 3 给出了土壤湿度高值年合成减低值年合成的夏季(6~8 月)500 hPa 位势高度差值图. 可看到, 在 40°N 以南西太平洋和亚洲大陆都有正的偏差位势高度, 有利于副高脊线偏南西伸. 异常发展西伸的副高阻碍了夏季风的北上, 使得中国雨带偏南, 出现在长江中下游, 华北降水减少, 而华南地区副高的加强使得中国南方降雨减少. 从图 3 还能看到, 在蒙古到中国东北有较大的负偏差位势高度, 其中心位于贝加尔湖到中国嫩江流域(110°~120°E)之间, 而乌拉尔山和鄂霍兹克海附近出现位势高度正偏差中心, 这种 500 hPa 高度场异常的分布形式正好对应着弱东亚夏季风^[19]. 游性恬等人^[7]的数值模拟结果指出春季亚洲土壤湿度正异常有利于副高发展向西增强, Yang 等人^[20]利用数值模式也指出亚洲前冬春土壤湿度正异常通过影响季风的前期过程从而减弱了东亚夏季风的强度. 我们的资料诊断结果与这些模式结果相一致.

从前面的资料诊断分析中看到, 春季中国东部土壤湿度异常对夏季降水有显著影响. 夏季长江中下游流域和东北的多雨以及华北和南方的少雨与前春从华北到长江中下游区域土壤湿度偏湿有显著的

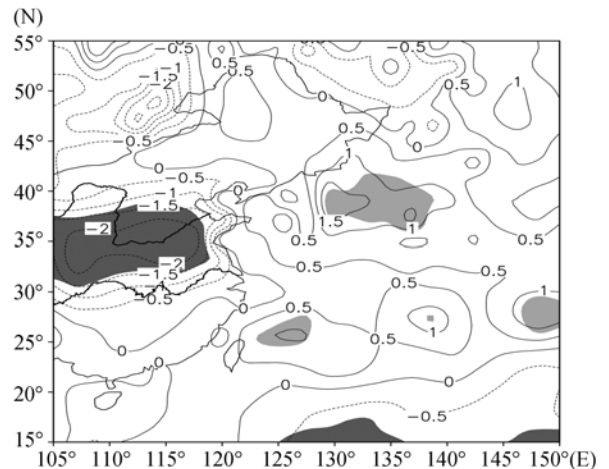


图 2 土壤湿度高值年合成减低值年合成的 5 月地表温度差值图(单位: K)
阴影部分通过 95% 以上的置信度

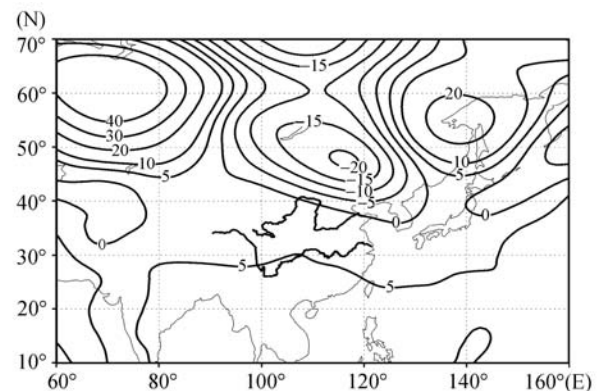


图 3 土壤湿度高值年合成减低值年合成的夏季(6~8 月)500 hPa 位势高度差值图(单位: gpm)

联系. 春季从华北到长江中下游区域偏湿的地表增加了地表蒸发, 使得地表温度降低, 减少了海陆温差, 导致夏季风偏弱. 偏弱的夏季风有利于西太平洋副

热带高压的发展西伸,使得中国雨带偏南,华北少雨,长江流域夏季降水偏多,而受副高控制的南方降水偏少。

本文根据资料诊断得到了中国春季土壤湿度异常对夏季降水的影响,并通过分析产生这种影响的物理机制,说明了这种影响可以从物理上给出解释。然而,现有的研究表明许多因子,如青藏高原热状况、海温等都可以对中国降水产生影响^[21]。虽然本文的研究表明春季土壤湿度异常也可以是影响中国夏季降水的重要因子之一,但本文的结果是通过资料诊断得到的,还需要进一步证实ERA40土壤湿度资料的代表性以及用数值模拟和更多变量的观测分析等做进一步深入研究。

参 考 文 献

- 1 Walker J, Rowntree P R. The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model. *Quart J Roy Meteorol Soc*, 1977, 103: 29—46
- 2 Yeh T C, Wetherald R T, Manabe S. The effect of soil moisture on the short-term climate and hydrology change—A numerical experiment. *Mon Weather Rev*, 1984, 112: 474—490[DOI]
- 3 Delworth T L, Manabe S. The influence of potential evaporation on the variabilities of simulated soil wetness and climate. *J Clim*, 1988, 1: 523—547[DOI]
- 4 Entin J, Robock A, Vinnikov K Y, et al. Temporal and spatial scales of observed soil moisture variations in the extratropics. *J Geophys Res*, 2000, 105: 11865—11877[DOI]
- 5 Robock A, Vinnikov K Y, Srinivasan J K, et al. The global soil moisture data bank. *Bull Amer Meteor Soc*, 2000, 81: 1281—1299[DOI]
- 6 Shukla J, Mintz Y. The influence of land-surface evaporation precipitation on earth's climate. *Science*, 1982, 215: 1498—1501[DOI]
- 7 游性恬, 熊廷南, Yasunari T, 等. 春季亚洲地面湿度异常对月、季气候影响的模拟研究. *大气科学*, 2000, 24(5): 660—668
- 8 王万秋. 土壤温湿异常对短期气候影响的数值模拟试验. *大气科学*, 1991, 15(5): 115—123
- 9 Meehl G D. Influence of the land surface in the Asian summer monsoon: External conditions versus internal feedback. *J Clim*, 1994, 7: 1033—1049[DOI]
- 10 Douville H, Chauvin F, Broqua H. Influence of soil moisture on the Asian and African monsoons. Part I: Mean monsoon and daily precipitation. *J Clim*, 2001, 14: 2381—2403[DOI]
- 11 Douville H. Influence of soil moisture on the Asian and African monsoons. Part : Interannual variability. *J Clim*, 2002, 15: 701—720[DOI]
- 12 Serafini Y V. The time scale of land surface hydrology in response to initial soil moisture anomalies: A case study. *Tellus*, 1990, 42A: 390—400[DOI]
- 13 Thiaw W M, Mo K C. Impact of sea surface temperature and soil moisture on seasonal rainfall prediction over the Sahel. *J Clim*, 2005, 18: 5330—5343[DOI]
- 14 张井勇, 董文杰, 叶笃正, 等. 中国植被覆盖对夏季气候影响的新证据. *科学通报*, 2003, 48(1): 91—95
- 15 Zhai P, Eskridge R E. Atmospheric water vapor over China. *J Clim*, 1997, 10: 2643—2652[DOI]
- 16 张秀芝, 吴迅英, 何金海. 中国土壤湿度的垂直变化特征. *气象学报*, 2004, 62(1): 51—61
- 17 孙丞虎, 李维京, 张祖强, 等. 淮河流域土壤湿度异常的时空分布特征及其与气候异常关系的初步研究. *应用气象学报*. 2005, 16(2): 129—138
- 18 Li H, Robock A, Liu S, et al. Evaluation of Reanalysis soil moisture simulations using updated Chinese soil moisture observations. *J Hydrometeorol*, 2005, 6: 180—193[DOI]
- 19 Ding Y H. *Monsoons over China*. London: Kluwer Academic Publishers, 1994. 419
- 20 Yang S, Lau K M. Influence of sea surface temperature and ground wetness on Asian summer monsoon. *J Clim*, 1998, 11: 3230—3246[DOI]
- 21 张人禾, 刘晶森. 海洋和陆面过程在中国气候变化中的作用. 见: 秦大河, 陈宜瑜, 李学勇, 编. *中国气候与环境演变(上卷)*. 北京: 科学出版社, 2005. 319—357