

文章编号:1006-7639(2004)-03-0090-05

海洋与干旱

Martin Hoerling¹, Arun Kumar²

(1. Climate Diagnostics Center, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Boulder, CO 80305, USA;
2. Climate Prediction Center, NOAA, Camp Springs, MD 20746, USA)

摘要:在1998~2002年期间,发生在美国、欧洲南部以及亚洲西南部的干旱事件,都与海洋的影响有关。在此期间,热带东太平洋海表温度(SSTs)明显持续偏冷,而热带西太平洋及印度洋SSTs明显持续偏暖。气候模式表明由这些不同海域海温强迫的气候响应是相互作用的,对于中纬度地区广泛分布的、同步持续干旱,每一个海域都有所贡献。印度洋和西太平洋的增温是少见的,且这种增温与温室气体的强迫一致。本文也对未来的干旱趋势提出了一些看法。

中图分类号:P461

文献标识码:A

1998~2002年期间,降水持续偏少,温度持续偏高,造成了北半球中纬度包括美国、地中海、欧洲南部、中亚和西南亚广大地区的大范围干旱现象^[1~3]。4a期间,这些区域的年平均降水相当于气候平均值的50%(图1,右),其中大部分的降水不足是由于以往冬、春季丰沛的降水缺乏所致。由于

最近几年大陆地表温度偏高,达到了历史最高温度记录值^[3](图1,左),水分蒸发增加,从而使水分缺乏现象进一步恶化。

这些区域性的干旱是否有共同的强迫因子?横跨中纬度广大区域的同步持续干旱环境是不是由于缓慢的外部强迫造成?科学证据表明20世纪末期

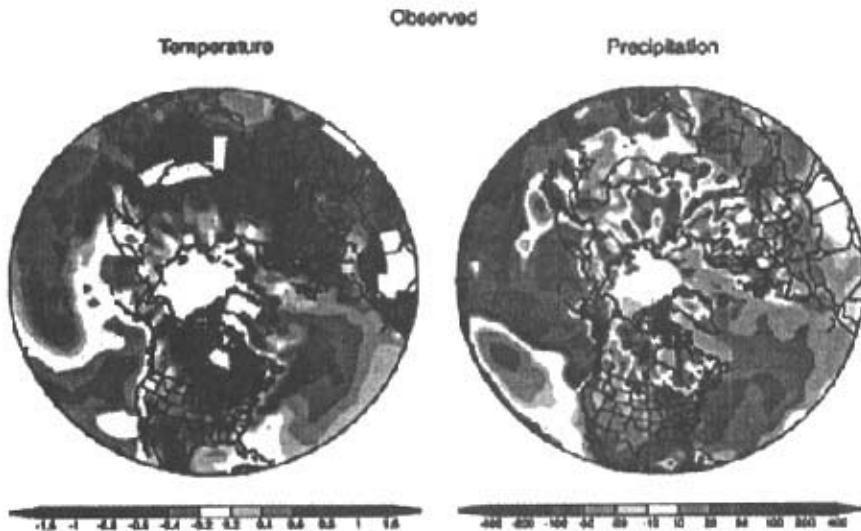


图1 1998年6月~2002年5月4a期间实测的年平均地表温度距平(左)和降水距平(右)。

温度距平单位:℃,用1971~2000年的气候平均值计算;降水距平单位:mm/a,用1979~1995年的气候平均值计算。

温度的最大正异常和降水的最大负异常在图中用红色标出*。

收稿日期:2004-07-20;改回日期:2004-08-10

译者简介:王涓力(1967-),女,四川省射洪县人,高级工程师,现从事编辑工作。

*译者注:(文中原图均为彩图)

的全球变暖与增加的温室气体引起的增温预估一致^[4],就图1中对于干旱有贡献的、非同寻常的陆面温度正异常而言,人类活动似乎起了一定作用。但是,近期的干旱却是以降水大量缺乏为显著特征,这与气候变化研究中关于降水的响应有很大的矛盾。在20世纪后半期,人们认为很可能温室气体的增加加快了全球的水分循环,致使一些地区更湿润,其它一些地区更干旱,同时也增加了极端降水事件发生的可能性^[4-5]。但是,降水的区域性响应还不很清楚,这也使得将目前的干旱归结于全球变暖的想法受到了一定限制。

热带海表温度(SSTs)的异常状况会引起行星尺度的气候扰动^[6]。发生在热带太平洋地区的ENSO现象对热带地区以及中纬度部分地区的季节性降水有很大影响^[7-9]。下面将要提到,发生在1998~2002年期间的干旱对应于持续的拉尼娜现象。拉尼娜的影响研究表明,其使美国南部经历冬、春季的干旱,使欧洲西部和地中海地区全年出现干旱^[8-10]。同时也有研究表明东太平洋SSTs异常偏冷,而印度洋和西太平洋的异常偏暖可能会引起亚洲干旱^[11]。这些研究支持了一个假说:1998~2002年期间发生的区域性干旱可能是由于源自于海洋的拉尼娜现象。

当然,独立于海洋或其它外部强迫的大气,能够

引起气候的全球性同步相关变化^[12-13]。这些区域性的、均匀的、环状的干旱带,与西风急流的经向位移以及其风暴路径有关,西风急流的经向位移及其经向的风暴路径会造成中低纬度地区干旱的环流形势。动力诊断^[13]表明在东南亚、北太平洋、美国东部及欧洲上空分别存在这样的区域性活动中心。实际上在1998~2002年期间也确实观测到了这样的环流形势。一种大气环流形势持续数年的原因尚不清楚,而如果这不是造成干旱的直接原因,那么它也与干旱紧密相关。

对1998~2002年期间的海洋特征分析表明,热带SST有显著的持续异常,这可能给大气提供了一种必要的稳定强迫。图2给出SST异常的时间序列,分别对热带印度洋、西太平洋(90°~150°E, 15°N~15°S)地区和热带东太平洋(150°~90°W, 5°N~5°S)地区进行了空间平均。印度洋和西太平洋在此期间SST持续正异常,而从1998年6月开始的拉尼娜现象一直持续到2002年的冬季。赤道东太平洋的SST负异常有明显的季节性变化,在初冬时达到负的峰值,在春末时异常减小。图2(上)也同时给出1998年6月~2002年5月期间标准化的4a平均SST距平,在东太平洋,4a平均距平低于3个标准偏差,而在暖池区大于4个标准偏差,这进一步证实了海洋强迫的强烈、持续。

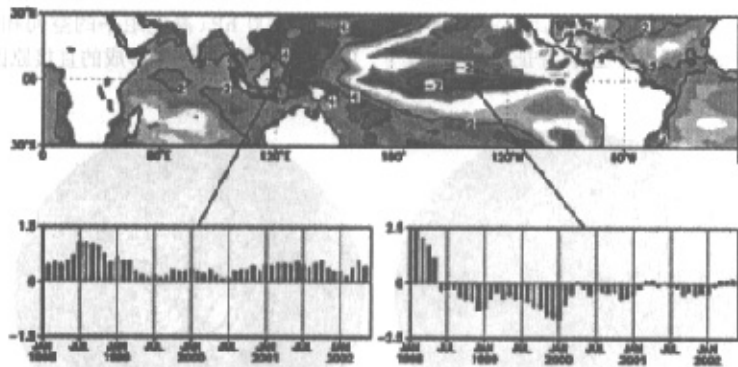


图2 (上)1998年6月~2002年5月期间实测的4a平均SST距平(已标准化),用1948~1998年4a平均SST变率的标准偏差标准化^[14]。两条斜线分别指向1998年1月~2002年5月SST异常的月时间序列,(左)对应于热带印度洋和西太平洋暖池区(90°~150°E, 15°N~15°S);(右)对应于赤道东太平洋冷舌区(150°~90°W, 5°N~5°S)。距平单位:℃,用1971~2000年气候平均SST计算。

用1998~2002年期间逐月变化的全球SST距平强迫大气环流模式(GCMs),输出结果清楚地表明在北半球观测到的降水不足和陆面温度正异常现

象与海洋强迫的响应一致。模拟结果(图3)是3个不同的GCM模拟的平均值,每个模式都以集合方式进行模拟,共有50个集合样本^[16]。模拟值再现

了美国、欧洲南部、东南亚及中亚地区的干旱状况。尽管模式输出结果是 50 个样本的集合平均值,但是,观测到的降水负异常的幅度再一次被模拟值再现。这说明观测到的干旱与海洋的 SST 异常有密切的联系,在集合样本个体的模拟结果和 3 个模式

的模拟结果中,再现的这种干旱现象也同时支持了这样的结论^[17]。而干旱的程度,每一个模拟值都有不同,一些模拟结果超过实测的降水负异常,而其它一些则小于实测到的降水负异常^[17]。

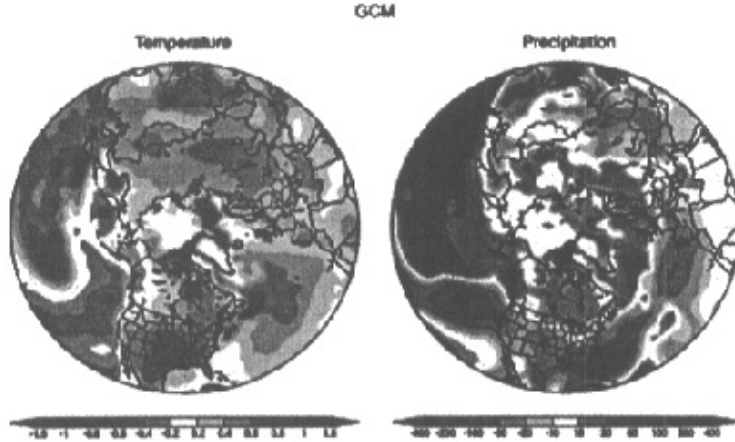


图3 1998年6月~2002年5月4a期间年平均温度(左)和降水(右)距平模拟值。是用4a期间实测的逐月变化的SST和海冰距平强迫GCMs输出的结果。3种不同模式,分别进行集合模拟,输出有50个样本的集合平均值。温度距平单位:℃,用各模式1971~2000年气候平均温度值计算。降水距平单位:mm/a,用各模式1971~2000年气候平均降水值计算。温度的最大正异常和降水的最大负异常在图中用红色标出。

干旱持续的直接原因是一个同样持续的对流层环流形势,图4(左)给出4a平均的200hPa高度距平。中纬度地区,可以看到一个由高压控制的几乎连续的区域。GCMs模拟出了这个特征(图4,右)

并进一步再现了北太平洋、美国中部和亚洲上空的高压最大值。20°N以北向极地的观测值和GCMs模拟的200hPa高度距平的空间相关系数是0.7。中纬度较低地区干旱形成的直接原因就是气压形势

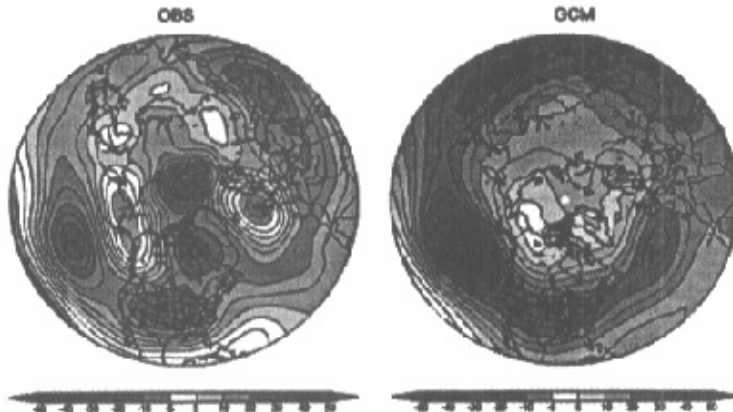


图4 1998年6月~2002年5月4a期间200hPa年平均高度距平:(左)观测值;(右)模拟值。是用逐月变化的SST距平和海冰距平强迫GCMs得出的结果。3种不同模式,分别进行集合模拟,输出50个样本的集合平均值。高度距平单位:m,分别以1971~2000年实测的气候平均值和模式模拟的气候平均值计算。中纬度地区最大正高度异常中心区用H标出。

的这种异常,而多种大气环流模式也证实这种气压形式受海洋强迫。与实测值相比,在极地高纬度地区各种 GCM 模拟的结果对高度距平值相差甚远,尽管模式本身存在误差,但是对于高纬度地区观测到的大气环流形势,其它强迫因子的作用可能远大于海洋。

实测和数值模拟的环流异常相对于赤道有强对称性,即南半球环流异常与北半球呈镜像对称,这说明源于热带的中纬度环流形势的相似特征^[17]。为了区分热带 SSTs 的作用,我们又做了 3 个强迫试验。其一,在 30°N~30°S 之间,将 4 a(1998 年 6 月~2002 年 5 月)平均 SST 异常的空间分布和大小作为一个无季节性变化的固定值去强迫 GCM(图 5,上);其二,只用这个场的正异常 SSTs 强迫 GCM;其三,只用这个场的负异常 SSTs 强迫 GCM^[18]。在这些区域之外,用气候平均 SSTs 强迫模式。对于每个强迫试验,均采用集合方式模拟,各集合样本为

20 个。各试验的北半球年平均降水响应在图 5(左、中、右)中给出。在实测中以及用实际逐月变化的 SSTs 强迫 GCM 的集合模拟值中出现的干旱分布,在简单的热带 SSTs 强迫试验中再现(图 5,左),200 hPa 高度距平分布也同样再现^[18-19]。从热带 SSTs 正异常和负异常的响应(图 5 中、右)看出,它们影响美国、地中海部分地区、亚洲部分地区,导致干旱。但是对于再现所有的干旱分布,可能需要两者的共同作用。热带 SSTs 正异常和负异常的共同影响给我们提供了另外一个线索,即为什么热带海洋会对导致 1998~2002 年干旱的大气环流形势施加如此强的控制。伴随着热带 SST 本身异常分布的不寻常持续,模拟结果显示热带海洋强迫的迹象,即广泛分布的中纬度干旱与热带海洋的关系密切。尽管还不明确,但是从图像上可以说明只要出现严重、持续的降水缺乏和增温现象,海洋对于干旱的作用就不可忽视。

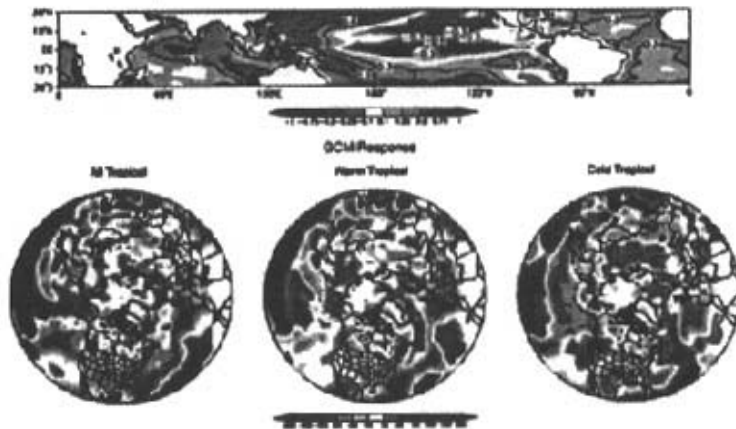


图 5 (上)用 1998 年 6 月~2002 年 5 月实测的 4 a 平均海表温度距平作为季节性固定值强迫 GCM;(左)用热带 SST 强迫 GCM 的年平均降水响应;(中)正异常 SST 强迫的年平均降水响应;(右)负异常 SST 强迫的年平均降水响应。降水距平单位: mm/a。用气候平均 SSTs 强迫 GCM 的模拟值计算,降水最大负异常用红色标出。(上)中的 SST 距平单位:℃

那么,1998~2002 年热带 SST 异常的原因是什么? ENSO 现象是自然发生的热带大气—海洋耦合系统的缓慢振荡^[20],相关气候记录(如冰核、树轮、及珊瑚)表明它已发生了数千年^[21]。尽管这 4a 期间 SST 的持续冷异常少见,但是并非没有前例^[10,22]。这和其它迹象表明近期统计的 ENSO 变化并没有超出自然变率^[23-24]。另一方面,热带印度洋和西太平洋的异常增暖在 20 世纪没有终止,几十年的持续增暖趋势令人记忆深刻。气候研究发现这种增温(从 1950 年以来,大约增加了 1℃)超出了

预估的自然变率,并且部分是由于海洋对温室气体增加响应的^[25-26]。1998~2002 年期间的热带海洋,东太平洋是自然发生的年际降温,而印度洋和西太平洋是缓慢地、可能持续地增温。这种 SST 的对照在更早的 20 世纪拉尼娜持续时期并未出现,这提供了一个独一无二的海洋环境。在 21 世纪,热带海洋的这种强迫是否会更普遍,仍是未知的问题。由于大气—海洋耦合模式的不足,对将来 ENSO 的统计预测(其周期和幅度)以及对于热带平均 SST 变

化的区域分布还没有把握。而对1998~2002年期间的大气模式输出结果分析表明,如果热带平均SSTs或者它们的年际变率增大了赤道太平洋东西海域的温度差异,则中纬度地区就会面临发生同步严重干旱事件的风险。

王涓力译自于《科学》2003年1月,299卷:691-694

附:References and Notes

- [1] G. Bell, et al., Bull. Am. Meteorol. Soc. 81, 1328 (2000) [CrossRef].
- [2] J. Lawrimore, et al., Bull. Am. Meteorol. Soc. 82, 1304 (2001) [CrossRef].
- [3] A. M. Waple, et al., Bull. Am. Meteorol. Soc. 83, 938 (2002) [CrossRef].
- [4] IPCC, Climate Change 2001: The Scientific Basis: Summary for Policy Makers and Technical Summary of the Working Group I Report (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).
- [5] IPCC, Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contributions of Working Group II to the Third Assessment of the IPCC (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2001).
- [6] K. E. Trenberth, et al., J. Geophys. Res. 103, 14291 (1998) [ISI].
- [7] C. F. Ropelewski and M. S. Halpert, Mon. Weather Rev. 115, 1606 (1987) [CrossRef][ISI].
- [8] ---, J. Clim. 2, 268 (1989) [CrossRef].
- [9] G. N. Kiladis and H. F. Diaz, J. Clim. 2, 1069 (1989) [CrossRef].
- [10] J. E. Cole, J. T. Overpeck, E. R. Cook, Geophys. Res. Lett., in press.
- [11] M. Barlow, H. Cullen, B. Lyon, J. Clim. 15, 697 (2002) [CrossRef][ISI].
- [12] D. W. J. Thompson and J. M. Wallace, Geophys. Res. Lett. 25, 1297 (1998) [ISI].
- [13] G. Branstator, J. Clim. 15, 1893 (2002) [CrossRef][ISI].
- [14] The variability of 4-year-averaged, consecutive June-May periods was calculated based on monthly SSTs from 1948 to 1998. Fifty-one overlapping 4-year periods were used to calculate the standard deviation of 4-year averages, and this result was used to standardize the June 1998-May 2002 SST anomaly.
- [15] The model data are from a 24-member ensemble of the European Centre-Hamburg model (ECHAM4.5) run at the International Research Institute for Climate Prediction (IRI), an 18-member ensemble of the National Center for Environmental Predictions (NCEP) climate model, and a 9-member ensemble of the NASA Seasonal to Interannual Prediction Program (NSIPP) model. The configuration of the NCEP and ECHAM models uses triangular wavenumber 42 (T42) horizontal spectral resolution with 18 unequally spaced vertical (sigma) levels. The NSIPP model is a grid-point model with 2° horizontal resolution and 34 vertical levels. Observed, monthly SSTs are assigned to the mid-month date and are updated with linear interpolation for every time step at each ocean grid point. As of 2002, each of these model versions was being used by the three centers to make dynamical seasonal climate predictions.
- [16] Ensemble experiments are performed to detect the climate signal related to the imposed lower boundary forcing. In this approach, individual model realizations are begun from different atmospheric initial conditions, but each realization is subjected to identically evolving sea surface boundary conditions. The process of averaging the separate realizations extracts the recurrent atmospheric signal related to the boundary forcing and suppresses the random atmospheric fluctuations that are unrelated to that forcing.
- [17] M. Hoerling, A. Kumar, data not shown.
- [18] The experiments using an idealization of the 1998-2002 tropical SST forcing were performed with a recent version of the NCAR Community Climate Model known as CCM3. The standard model configuration is T42 horizontal spectral resolution with 18 unequally spaced vertical (hybrid) levels.
- [19] The spatial correlation of 200-mbar height anomalies poleward of 20°N between the GCM results forced by global SSTs and those calculated with the idealized 4-year-averaged tropical SSTs is 0.9.
- [20] S. G. Philander, El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation (Academic Press, New York, 1990).
- [21] V. Markgraf, H. F. Diaz, in El Niño and the Southern Oscillation: Multiscale Variability and Global and Regional Impacts, H. F. Diaz, V. Markgraf, Eds. (Cambridge Univ. Press, Cambridge, 2000), pp. 465-488.
- [22] At least three prior instances during the 20th century can be found in which La Niña conditions spanned three consecutive years, most notably 1908-1910, 1954-1957, and 1973-1975. Over the United States, the period 1954-1957 was a particularly severe drought period, whereas the other two protracted La Niña periods were not widespread droughts.
- [23] B. Rajagopalan, U. Lall, M. Cane, J. Clim. 10, 2351 (1997) [CrossRef][ISI].
- [24] A. Timmermann, J. Atmos. Sci. 56, 2313 (1999) [CrossRef][ISI].
- [25] T. R. Knutson, T. L. Delworth, K. W. Dixon, R. J. Stouffer, J. Geophys. Res. 104, 30981 (1999) [ISI].
- [26] T. R. Knutson and S. Manabe, J. Clim. 11, 2273 (1998) [CrossRef][ISI].