

江淮地区夏季降水与西北太平洋海温关系的诊断分析和数值试验

谭桂容¹, 孙照渤¹, 朱艳峰²

(¹南京信息工程大学 江苏省气象灾害重点实验室, 江苏 南京 210044 ²中国气象局 国家气候中心, 北京 100081)

摘要: 运用 NCEP/NCAR 再分析资料、英国气象局的海温资料和国家气候中心整编的 160 站月降水量资料, 对江淮夏季降水及其前期冬季环流和海温场进行分析, 并利用 NCAR CCM3 模式进行海温的敏感性试验。结果表明: 前期环流在亚洲中高纬地区有明显的异常, 这种环流异常与北太平洋西北部的海温异常有关, 西北太平洋海温异常偏高(低)是江淮夏季降水偏多(少)的重要原因之一, 即当前期西北太平洋海温异常偏高时, 后期夏季从乌拉尔山到鄂霍次克海附近为高度正距平, 亚洲中纬度为弱的负距平, 这时亚洲中高纬度多阻塞高压活动, 中纬度多低槽活动, 有利于冷暖空气在江淮地区交汇, 江淮流域降水偏多; 反之, 江淮流域降水偏少。

关键词: 江淮地区夏季降水; 成因分析; 数值试验

中图分类号: P461 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2007)04-0472-07

Diagnosis and Numerical Experiments on Relationship between Summer Rainfall in Changjiang-Huaihe Valley and North Pacific SSTA

TAN Gui-rong¹, SUN Zhao-bo¹, ZHU Yan-feng²

(¹ Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Disaster, NUIST, Nanjing 210044, China

² National Climate Center, Chinese Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

Abstract Relationship between summer rainfall in the Changjiang-Huaihe valley and previous winter (DJF) circulation, SSTA is investigated in terms of the NCEP/NCAR reanalysis data, the SST (sea surface temperature) data reorganized by British Meteorological Department and the 160 station monthly precipitation data from NCC (China National Center of Climate). Then sensitive experiments to SSTA are conducted with the NCAR CCM3 model. Results show that the summer rainfall is closely related to the circulation anomalies at high latitudes over Asia, which are related with the winter SSTA of Northwest Pacific. As the SSTA of Northwest Pacific in winter is higher than normal, the positive height anomaly will occur over the area from Ural Mountains to the Okhotsk Sea, the weakly negative one over Asian mid latitudes in next summer. Therefore, more than normal blocking highs over Asian at high latitudes and troughs at lower mid latitudes will be helpful for cold air and warm air to meet over the Changjiang-Huaihe River valley, producing positive rainfall anomalies, and vice versa.

Key words summer rainfall in the Changjiang-Huaihe valley; diagnosis; numerical experiment

0 引言

相对于长江流域, 江淮地区(长江和黄河之间)洪涝发生的概率较小, 但江淮地区洪涝灾害造成的损失很大, 特别是 2003 年夏季, 江淮地区遭受了持续性暴雨的袭击, 致使淮河全流域出现大洪水, 给我国经济造成了巨大的损失, 引起了政府及广大学者

的高度重视。

近年来, 对于江淮洪涝的研究工作取得了不少成果^[1-8], 加深了人们对江淮洪涝成因的认识, 如副热带高压的位置异常与区域洪涝有直接的关系^[1-2, 6]。2003 年西太平洋副高位置偏西, 且持续时间长是江淮洪涝发生的重要成因。而亚洲中纬度西风急流持续偏南偏强、中高纬地区的冷空气活动及

收稿日期: 2006-09-01; 改回日期: 2006-11-15

基金项目: 国家自然科学基金科学基金重点资助项目(40331010); 国家自然科学基金资助项目(40505014); 江苏省气象灾害重点实验室资助项目(KLME050304)

作者简介: 谭桂容(1970-), 女, 湖南衡阳人, 博士, 副研究员, 研究方向: 短期气候异常成因及其预测, tanguirong@nuist.edu.cn

热带对流系统异常等都会影响到副高位置。另外, 局地地表潜热释放使副高加强和维持也是导致江淮地区洪涝的主要热力因子^[11]。海温作为洪涝灾害的重要外强迫影响因子之一^[9-15], 一直受到广大学者的重视。研究表明, Nino3 区海温对淮河流域降水有重要影响^[9-10], 但由于年代际变化, ENSO 与淮河流域夏季降水的关系变弱^[14]。也有研究表明前期冬季北太平洋中部海温与后期夏季江淮地区的降水有较好的相关关系^[15]。关于中纬度海温对大气环流的影响作用的研究相对还较少。

本文拟对江淮地区夏季降水异常的前期环流和中纬度海温进行分析, 并结合动力诊断和数值模式, 探讨江淮地区夏季降水异常的前期征兆及其可能物理影响机制, 为降水预测提供一定的物理依据。

1 资料方法及数值试验方案

1.1 资料

采用国家气候中心整编的 160 站月降水量资料, 取江淮部分, 共 17 站, 分别为烟台、青岛、潍坊、济南、临沂、菏泽、新浦、清江、徐州、蚌埠、阜阳、郑州、南阳、信阳、东台、南京、合肥。NCEP/NCAR 再分析月平均 u, v, T, H 资料, 网格点密度为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$, 范围为 $10^\circ\text{S} \sim 90^\circ\text{N}, 0^\circ \sim 360^\circ$ 。海温资料为英国气象局整理的全球 $2^\circ \times 2^\circ$ 密度重建资料, 以上所用资料时段为 1952—2001 年, 其中夏季取 6—8 月, 冬季取 12 月—次年 2 月。

1.2 方法

为研究引起江淮地区降水异常的涡动源区, 利用 Puhb^[16] 推导的描述三维行星波传播的波作用矢量来诊断分析造成江淮地区夏季降水异常的涡源:

$$F_s = \frac{p \cos \varphi}{1000} \begin{bmatrix} \left[v^2 - \frac{1}{2\Omega_a \sin^2 \varphi} \frac{\partial(v\phi)}{\partial \lambda} \right] \\ \left[-uv + \frac{1}{2\Omega_a \sin^2 \varphi} \frac{\partial(u\phi)}{\partial \lambda} \right] \\ \left[\frac{2\Omega_s \sin \varphi}{S} \left[vT - \frac{1}{2\Omega_a \sin^2 \varphi} \frac{\partial(T\phi)}{\partial \lambda} \right] \right] \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中: p 为气压, T 为区域平均温度; $S = \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{\kappa r}{H}$ 为静力稳定度; $\kappa = R / c_p$, u, v, T, φ 为纬向风、经向风、温度和位势高度, 为月平均资料去掉纬向平均和多年时间平均的涡动部分。在西风条件下, F_s 的辐合表示波作用量的集中, 而 F_s 辐散表示波作用量的输出; 在近乎平面波的情况下, F_s 平行于群速度。

1.3 模式和试验方案

采用 NCAR CCM 3 模式进行数值试验。

控制试验 (CTL) 海温及其他外强迫场采用 NCAR CCM 3 本身自带的资料进行 7 a 积分, 然后进行异常试验, 因为以往的文章对该模式的介绍较多^[17-18], 这里不再给出控制试验的结果。

试验取模式积分第 7 年 11 月的结果作为初始值, 在此基础上, 从当年 12 月 1 日开始在西北太平洋区域分别加入 3 个月正 (1.5°C)、负 (-1.5°C) 海温异常进行积分, 在积分过程中异常强度保持不变。

模式中西北太平洋区域为 $140 \sim 160^\circ\text{W}, 35 \sim 50^\circ\text{N}$ 。取模式积分第 8 年的 6—8 月代表夏季。以正负异常试验的差异, 来分析冬季西北太平洋区域海温异常对后期大气环流及江淮地区夏季降水的影响。

2 江淮地区夏季降水的基本特征

对标准化的 1952—2001 年江淮 17 站夏季降水进行 EOF 分析, 结果见表 1。由于前 3 个特征向量的方差贡献达到 54.1%, 之后的特征向量的方差贡献都在 6% 以下, 所以这里只对前 3 个特征向量进行分析。

图 1 为江淮地区夏季降水 EOF 第 1 模态的时间系数与同期全国 160 站降水的相关分布。由图 1 可见, 在江淮地区为一致的正值, 反映该区域夏季降水一致地偏多 (或偏少) 的分布特征。第 1 模态占总方差的 28.2% (简称为 T1 型)。第 2 模态 (图略) 在江淮地区为北正南负的分布, 反映该区域夏季降水南北相反的变化特征, 占总方差的 15.2%。第 3 模态占总方差的 10.7%, 反映江淮夏季降水东西反相变化的特征 (图略)。根据 3 模态相应时间系数分别选取典型年, 典型年夏季降水异常的合成分布与相应 EOF 模态的空间分布一致。图 2 为 T1 型正、负典型年夏季降水距平百分率的合成差值, 可见其分布与图 1 的形态一致。这里正、负异常年分别为 1954、1956、1991 年和 1966、1978、1985、1988、1999 年。

表 1 江淮夏季降水 EOF 特征值及方差分布

Table 1 Eigenvalues and variances of EOF analysis for summer rainfall in Changjiang-Huaihe valley

特征值序号	特征值	占总方差比 /%
1	4.8	28.2
2	2.6	15.2
3	1.8	10.7

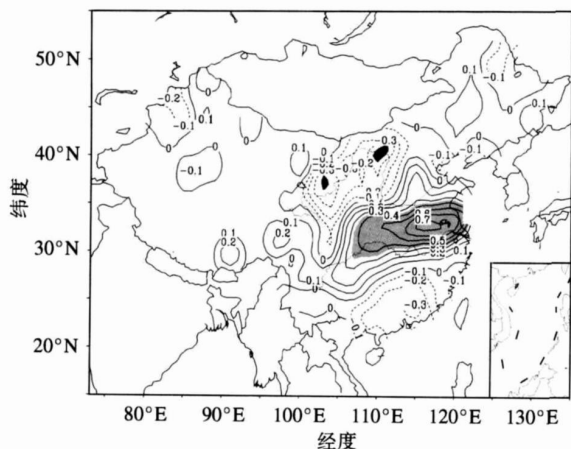


图 1 江淮夏季降水 EOF 第 1 模态的时间系数与同期全国 160 站降水的相关分布 (阴影区数值的绝对值大于等于 0.35)

Fig. 1 Correlation of the time coefficient of the first EOF mode of summer rainfall in Changjiang-Huaihe valley and rainfalls at 160 stations in China (correlation coefficient values over 0.35 or below -0.35 are shaded)

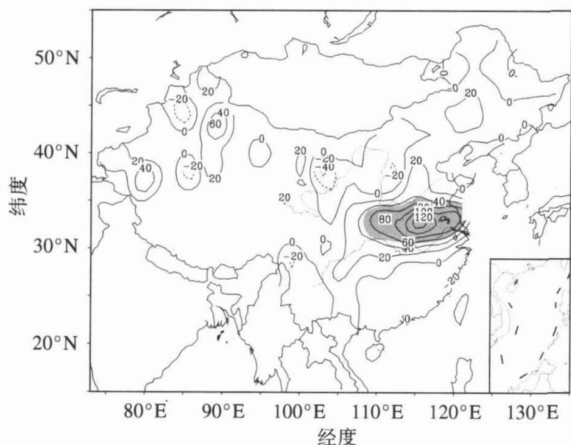


图 2 T1 型正负典型年降水距平百分率合成差值 (阴影区说明通过 0.05 的显著性水平检验)

Fig. 2 Differences in summer rainfall percentage anomalies between typically positive and negative T1 years (shaded areas mean the confidence level exceeding 95%)

3 前期环流特征

以上对江淮地区夏季降水的分析表明, 该区域夏季降水存在 3 种主要分布型, 其中 T1 型所占的方差最大, 它反映江淮夏季降水一致偏多 (少) 的变化特征, 所以该型的变化直接关系到江淮地区旱涝。因此, 下面的分析也侧重于 T1 型的相关场。

由图 3a 可见, 环流主要的异常发生在中东西伯

利亚到北太平洋的中高纬度及其以南地区, 其中在北太平洋上为北正南负的距平分布。另外, 在北大西洋对应加拿大东部槽活动区也有显著的异常。但在 EOF1 时间系数与高度场的相关分布图中 (图 3b), 显著的相关区域只在北太平洋至北美地区, 其形态与合成分析的结果基本一致。

由图 4a 可见, 在鄂霍茨克海及其以东洋面上空存在明显异常波矢量, 区域上空存在异常波矢量水平辐散, 矢量指向东侧, 并在其下游区域为异常波矢量水平辐合; 波矢量垂直分量为显著正异常。结合图 4b 可清楚看到, 在 50°N 的 140°E~180° 处自地面到高层, 存在明显向上的异常波矢量, 在对流层中上层达到最大并形成辐合, 相应在其下游为向下的异常波矢量, 这说明 50°N 的 140°E~180° 区域为异常涡动的源区。涡动通过对热量的经向输送, 涡流相互作用在波矢量辐合区使纬向有效位能转换为涡动有效位能; 同时, 水平方向通过涡动动量的输送, 使波流之间的能量发生转换。即在水平波作用量辐合区扰动获得动能, 在辐散区扰动失去能量, 并使涡动能量向下游传播。上述结果表明鄂霍茨克海及其以东洋面上空为异常涡动的源区, 且存在自下垫面向上的波作用, 可能与大气外强迫有关。

4 前期海温特征

由前文诊断结果可知, 引起江淮地区夏季降水异常的环流与下垫面异常强迫有关。为进一步证实上述结果, 下面对作为全球主要下垫面的海温进行分析。图 5 为 T1 型正负典型年前期冬季 (12 月一次年 2 月) 北太平洋海温合成差值及 t 检验。由图 5 可见, 在西北太平洋洋面上为显著的正距平, 说明江淮地区旱涝年前期西北太平洋海温存在明显的异常, 下垫面持续异常强迫可以引起其上空的大气环流异常, 并通过波流相互作用引起其他区域环流异常。其影响的物理机制可能为: 暖洋面由于热力作用产生扰动有效位能, 区域上空大气不稳定增加产生异常扰动, 扰动通过对热量的南 (北) 输送在区域南 (北) 侧存在扰动有效位能向平均有效位能的转换; 另一方面, 扰动区域的垂直热输送导致扰动有效位能向扰动动能转换, 因扰动非对称性在高层通过波流相互作用致使扰动动能水平波作用辐散区向平均动能转换, 而在波作用辐合区扰动从平均流中获得能量。西北太平洋海温偏高将引起准定常扰动相对常年在西侧水平波作用辐散区偏弱, 东侧辐合区偏强, 即东亚大槽相对于常年偏弱或偏东, 从而有

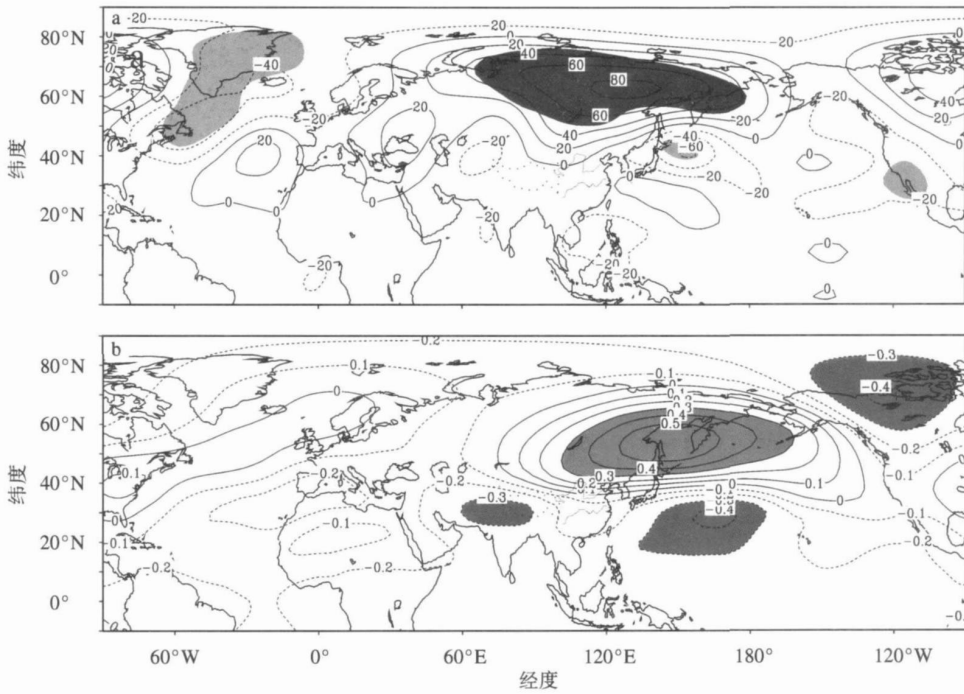


图 3 T1型前期冬季 500 hPa高度场特征

- a 正负典型年合成差值 (阴影区为置信水平达到 95% 的区域; 单位: gpm);
- b EOF1 时间系数与高度场的相关分布 (阴影区为相关绝对值达到 0.3 的区域)

Fig. 3 Previous winter (DJF) 500 hPa height fields of typically T1 years

- a composite height anomaly differences between typically positive and negative T1 years (shaded areas mean confidence level exceeding 95%; units gpm);
- b correlation distribution of EOF1 coefficients and preceded winter 500 hPa heights (correlation coefficient values over 0.35 or below -0.35 are shaded)

利于异常高压脊在西北太平洋西部到东亚上空的发展和维持。

其实, 前期冬季西北太平洋海温与后期夏季江淮地区 17 站总降水存在较好的相关关系。由图 6 可见, 江淮地区夏季降水与 T1 型时间系数、冬季北太平洋 (120~ 160°W, 37~ 51°N) 海温存在较一致的年际变化。其与 T1 型时间系数和冬季上述区域海温的相关系数分别为 0.95、0.54。这进一步证实: T1 型可反映江淮地区夏季降水的异常变化; 前期西北太平洋海温异常及其引起的环流异常是江淮地区夏季降水异常的主要成因之一。

5 数值试验结果

诊断结果表明前期西北太平洋海温异常可能导致后期夏季江淮地区降水异常。海温对后期夏季环流有怎样的影响以及它能否导致江淮地区夏季降水的异常变化可以用数值模式进一步验证。

由海温正负异常试验的夏季 500 hPa 高度场差

值 (图 7a) 可见, 其分布形态与 T1 型正负典型年 500 hPa 高度场差值的分布相似 (图 7b)。主要的异常变化在中高纬度, 其中在东亚地区, 从乌拉尔山到鄂霍次克海及其以东的北太平洋上空基本为正距平, 而在该地区以北和以南地区为负值。从乌拉尔山到鄂霍次克海附近的正距平反映中高纬多阻塞高压活动, 巴尔喀什湖到贝加尔湖南侧的负异常反映该地区可能多低槽活动。我国以东、日本列岛以南洋面存在相对的高值区, 可能对应西太平洋副高活动。这种环流分布与江淮地区洪涝的天气分析结果一致, 即当 500 hPa 上欧亚中高纬度地区多阻塞高压活动时, 中纬度我国西部高原为一宽广低压区, 带动冷空气南下与西太平洋副高西北侧的暖湿气流交绥于江淮地区, 从而引起江淮地区的降水偏多。

从正负异常试验的夏季降水差值分布 (图 8) 可见, 在我国的江淮地区到河套地区, 降水分布为正值, 中心位置在河套南部到汉中地区, 中心最大值达到 1 mm/d。

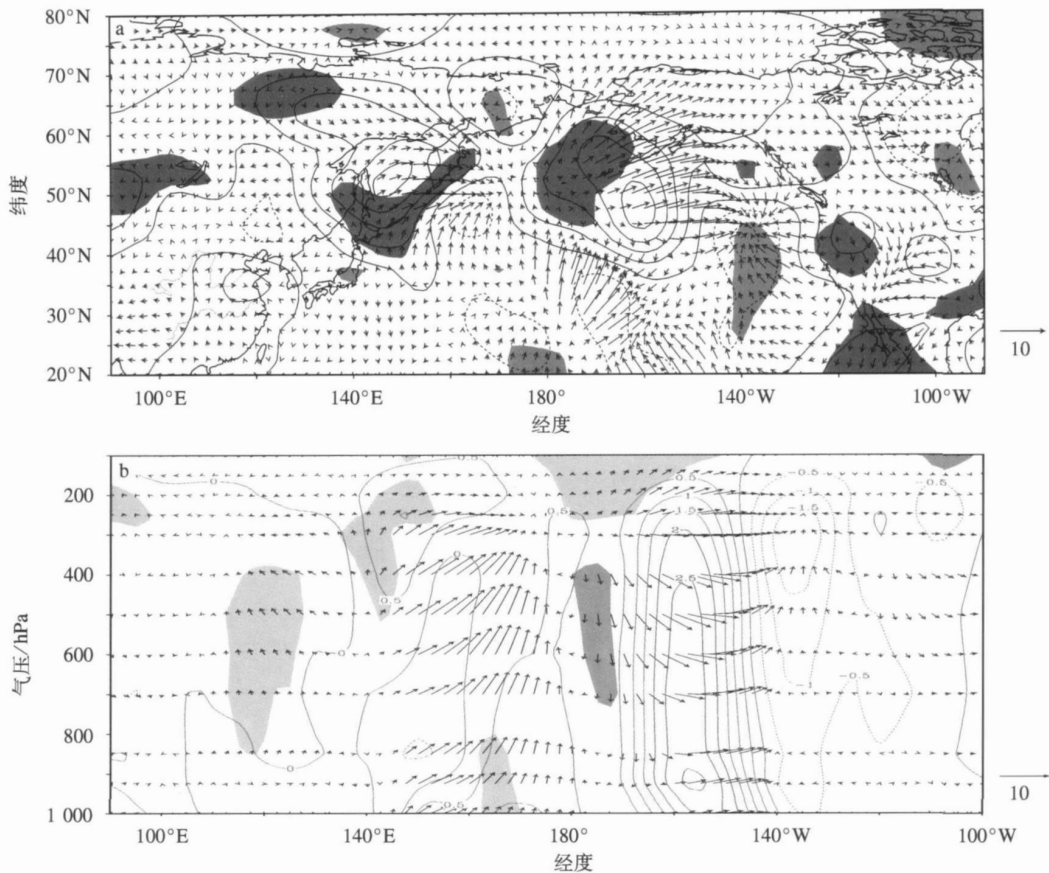


图 4 T1 型年前期冬季 (12—2 月) 波作用量 F_s 合成差值 (阴影区为置信水平达 95% 的区域; 单位: m^2/s^2)

a 250 hPa 水平分布 (箭头表示水平分量, 等值线表示垂直分量, 等值线间隔为 0.01);

b 55°N 处的经度—高度剖面 (箭头表示纬向和垂直分量, 其中垂直分量扩大了 100 倍, 等值线表示经向分量)

Fig. 4 Differences in composite preceded winter (DJF) wave activity flux F_s between typically positive and negative T1 years

(shaded areas mean the confidence level exceeding 95% for vertical components; units m^2/s^2)

a 250 hPa (arrows horizontal components of F_s ; contours vertical components in a contour interval of 0.01);

b longitude-height cross section along 55°N

(arrows zonal and vertical ($\times 100$) components of F_s ; contours longitudinal components)

从数值试验的结果可见, 冬季西北太平洋海温异常偏高, 可以引起后期夏季的环流异常, 导致江淮地区夏季降水偏多。

6 结论

(1) 江淮地区夏季降水变化以区域一致偏多(少)的分布型为主。

(2) 通过对江淮地区夏季降水异常的前期冬季环流和海温进行诊断分析发现, 江淮地区洪涝年前期的环流异常与西北太平洋海温异常偏高有关, 该区域海温异常可以引起其上空的大气环流异常, 并通过波流相互作用引起其它区域环流异常, 进而影响到后期夏季江淮地区的降水。其影响的物理机制可能为: 暖洋面由于热力作用产生扰动有效位能, 区

域上空大气不稳定增加产生扰动, 扰动一方面通过对热量的南(北)输送在区域南(北)侧存在扰动有效位能向平均有效位能的转换; 另一方面, 扰动区域的垂直热输送导致扰动有效位能向扰动动能转换, 因扰动非对称性在高层通过波流相互作用致使扰动动能的水平波作用辐散区向平均动能转换, 而在波作用辐合区扰动从平均流中获得能量。西北太平洋海温偏高将引起准定常扰动相对常年在西侧水平波作用辐散区偏弱, 东侧辐合区偏强, 即东亚大槽相对于常年偏弱或偏东, 从而有利于异常高压脊在西北太平洋西部到东亚上空的发展和维持。

(3) 模式试验结果进一步证实了诊断分析的结果, 即当前期冬季西北太平洋海温异常偏高时, 夏季从乌拉尔山到鄂霍次克海附近为高度正距平, 亚洲

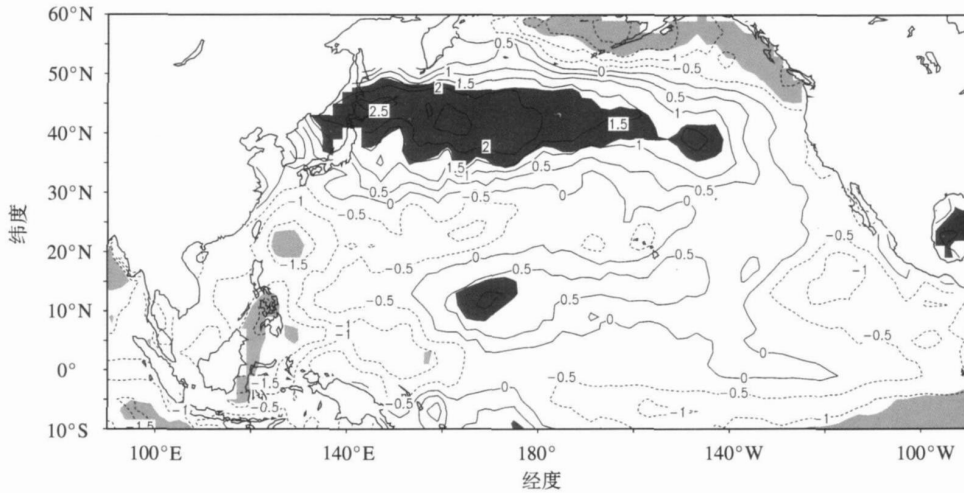


图 5 T1 型正负典型年前期冬季 (12 月一次年 2 月) 北太平洋海温合成差值 (阴影区为置信水平达 95% 的区域; 单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig 5 Differences in composite preceded winter (DJF) SSTa between typically positive and negative T1 years (shaded areas denote the confidence level exceeding 95%; units $^{\circ}\text{C}$)

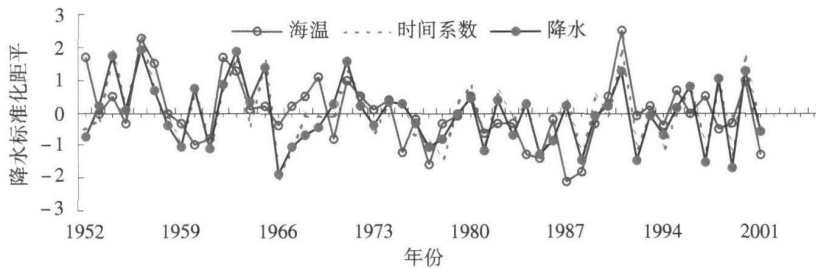


图 6 冬季 (120~160°W, 37~51°N) 区域海温、T1 型时间系数和江淮夏季降水的逐年变化曲线

Fig 6 Interannual variations of preceded winter regional SSTa (solid line with open circles) in (120~160°W, 37~51°N), and EOF1 time coefficient (dash line) and summer rainfall anomalies (solid line with solid circles) in the Changjiang-Huaihe valley

中纬度为弱的负距平, 这时亚洲中高纬度多阻塞高压活动, 中纬度多低槽活动, 有利于冷暖空气在江淮地区交汇, 江淮流域降水偏多, 易涝; 反之, 易旱。

致谢: 谨向国家自然科学基金委员会地球科学部南京信息工程大学大气资料服务中心及本研究使用资料的原提供单位 NOAA-CIRES Climate Diagnostics Center 致以深切的谢意。

参考文献:

[1] 毕宝贵, 章国材, 李泽椿. 2003 年淮河洪涝与西太平洋副高异常及成因的关系 [J]. 热带气象学报, 2004, 20(5): 505-514

[2] 金荣花, 矫梅艳, 李维京. 2003 年淮河洪涝西太平洋副热带高压活动的异常特征及成因分析 [J]. 热带气象学报, 2006, 22(1): 60-66

[3] 田红, 李春, 张士洋. 近 50 年我国江淮流域气候变化 [J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2006, 35(4): 539-544.

[4] 徐群. 近 46 年江淮下游梅雨期的划分和演变特征 [J]. 气象科学, 1998, 18(4): 316-329

[5] 张欣, 杨秋明, 赵永玲, 等. 1997 年江淮梅雨的分析 [J]. 气象科学, 2000, 20(1): 79-89.

[6] 张庆云, 陶诗言. 夏季西太平洋副热带高压北跳及异常的研究 [J]. 气象学报, 1999, 57(5): 539-547.

[7] 黄燕燕, 钱永甫, 万齐林. 热带与副热带地区高度异常对长江流域和华北旱涝影响的数值模拟分析 [J]. 气象学报, 2006(2): 194-204

[8] 卓东奇, 郑益群, 李炜, 等. 江淮流域夏季典型旱涝年大气中的水汽输送和收支 [J]. 气象科学, 2006, 26(3): 244-251.

[9] Wu Renguang, Hu Zeng-zhen, Ben P. K., et al. Evolution of ENSO-related rainfall anomalies in East Asia [J]. J. Climate, 2003, 16(22): 3742-3758

[10] Latif M, Domm enget D, Dina M, et al. The role of Indian Ocean sea surface temperature in forcing East African rainfall anomalies during December-January 1997/98 [J]. J. Climate, 1999, 12(12): 3497-3506.

[11] 朱伟军, 孙照渤, 倪东鸿, 等. 1998 年夏季 500 hPa 行星尺度环流系统对长江流域“二度梅”的影响 [J]. 南京气象学院学报, 2001, 24(1): 1-7

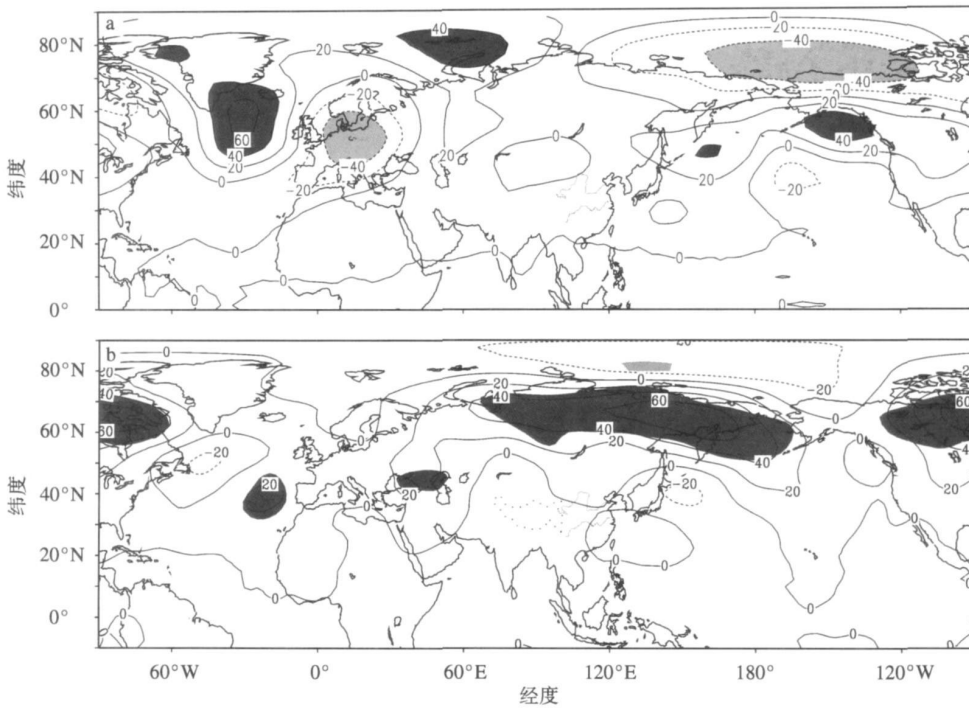


图 7 夏季 500 hPa 高度距平 (单位: gpm)

- a 正负异常数值试验结果差值 (阴影区为距平绝对值超过 40 的区域);
- b T1 型正负异常年合成差值 (阴影区为置信水平达 95% 的区域)

Fig 7 Summer height anomalies at 500 hPa (units gpm)

- a differences of 500 hPa height between positive and negative winter SSTA experiments (shaded area means absolute value over 40);
- b composite differences between positive and negative T1 years (shaded area mean the confidence level exceeding 95%)

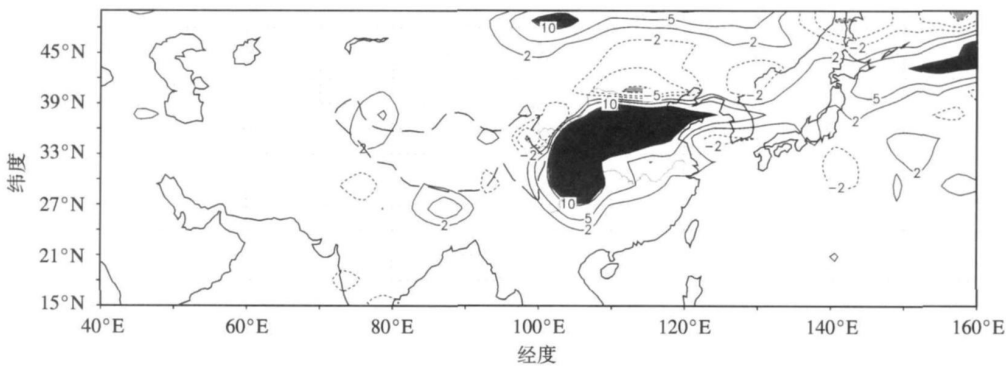


图 8 正负异常试验的夏季降水差值 (阴影区说明距平绝对值超过 10, 单位: 10^{-1}mm/d)

Fig 8 Summer rainfall differences between positive and negative winter experiments (shaded area mean values over 10, units 10^{-1}mm/d)

- [12] Tan Guirong, Sun Zhaobq, Chen Haishan Diagnosis of summertime floods/drought and their atmospheric circulation anomalies over North China[J]. Acta Meteor Sinica, 2003, 17(3): 257-273
- [13] 孙照渤, 谭桂容, 赵振国. 人工神经网络方法在夏季降水预报中的应用 [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21(1): 47-52.
- [14] 高辉. 淮河夏季降水与赤道东太平洋海温对应关系的年代际变化 [J]. 应用气象学报, 2006, 17(1): 1-9
- [15] 王慧, 王谦谦. 淮河流域夏季降水异常与北太平洋海温异常

- 的关系 [J]. 南京气象学院学报, 2002, 25 (1): 45-54
- [16] Plumb R A. On the three dimensional propagation of stationary waves[J]. J Atmos Sci, 1985, 42(3): 217-229.
- [17] Kiehl J T, Hack J J, Bonan G B, et al The national center for atmospheric research community climate model CCM 3[J]. J Climate, 1998, 11(6): 1131-1149.
- [18] 李忠贤, 孙照渤. 冬季黑潮区域海温异常影响东亚夏季风的数值试验 [J]. 南京气象学院学报, 2004, 27(3): 374-380