

近 50 年中国东部夏季降水与贝加尔湖 地表气温年代际变化的关系^{*1}

徐 康¹ 何金海¹ 祝从文²
XU Kang¹ HE Jinhai¹ ZHU Congwen²

1. 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京, 210044

2. 中国气象科学研究院, 北京, 100081

1. *Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, NUIST, Nanjing 210044, China*

2. *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China*

2009-06-03 收稿, 2009-09-22 改回.

Xu Kang, He Jinhai, Zhu Congwen. 2011. The interdecadal linkage of the summer precipitation in eastern China with the surface air temperature over Lake Baikal in the past 50 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 69(4): 570-580

Abstract The recent change of global surface air temperature indicates that the land regions have warmed at a faster rate than the oceans, and the warming rate is bigger in higher latitudes than the lower latitudes. The warming centers are mainly located in North Asia, Europe, and North America regions over the past 50 years. Thus, the warming in higher latitudes over land possibly affects China climate by modulating the East Asian monsoon circulations. Many studies have explored the long-term trend of the summer precipitation in China, but they mainly focused on the decadal variations of East Asian Summer Monsoon (EASM), the surface thermal anomalies over the Tibetan Plateau (TP), Arctic Oscillation (AO) and the ENSO, but less attention has been paid to the possible impact of land surface air temperature (SAT). In present study, on the basis of the monthly land surface air temperature of Goddard Institute for Space Studies (GISS), the NCEP/NCAR monthly mean reanalysis data, as well as the 604 station-observed monthly mean temperature and precipitation datasets in China, we discussed the decadal linkage of summer precipitation anomalies in eastern China with the land surface air temperature changes in the Northern Hemisphere during 1951–2007. The results suggest that the summer precipitation appears a meridional seesaw spatial pattern in eastern China before 1996, and it has shifted from the “flooding in north and drought in south” pattern to the “flooding in south and drought in north” mode since the late 1970s. However, our evidences show that the summer precipitation anomalies both in northern China and in the lower-middle reaches of the Yangtze River have jointly appeared a decreasing trend after 1996, and the recent global warming has destroyed the previous summer precipitation anomalous pattern. It is found that the precipitation in north China bears a significantly negative correlation with the SAT near Lake Baikal on the decadal time scale, where the persistent warming over the past decades can generate an anomalous warmer anticyclone over Mongolian area and weaken the activities of Mongolian cyclone in the troposphere, and then reduce the summer precipitation in north China. Our analysis suggests that the SAT near Lake Baikal has again enhanced after 1996, and it results in a further decrease of the precipitation in north China. Past studies have suggested that Lake Baikal is one of the most obvious regions in the context of global warming, implying that the global warming may affect the regional climate in China via the SAT changes in North Asia. However, the 10-year running correlation coefficients show that the close relationship between the SAT around Lake Baikal and the summer precipitation in China is mostly significant after 1990s, suggesting that the possible mechanism, such as the warming

* 资助课题: 国家自然科学基金重点项目(90711003)、国家自然科学基金创新群体(40921003)和公益性行业(气象)科研专项(GY-HY200706005, GYHY200906017)。

作者简介: 徐康, 从事东亚季风及气候变化研究。E-mail: xukang@cma.gov.cn

通讯作者: 祝从文, 主要从事气候变化与短期气候预测研究。E-mail: tomzhu@cma.gov.cn

sea surface temperature (SST) in tropical Indian ocean and the cooling trend in the northwestern Pacific ocean, may be also one of the important factors to affect the long-term trend of the summer precipitation in China as proposed by the previous studies.

Key words Global warming, Summer precipitation in Eastern China, Interdecadal variation

摘 要 最近 50 年全球变暖,陆地增温幅度大于海洋,主要的增温中心位于亚洲北部、欧洲和北美等地区。因此,全球变暖有可能通过改变大尺度季风环流而影响中国气候变化。利用美国国家航空航天局空间研究中心(GISS)的逐月地表气温资料、NCEP/NCAR 再分析资料及中国 604 个站逐月气温和降水观测资料,重点讨论了 1951—2007 年中国东部夏季降水与同期的北半球大陆地表气温年代际尺度变化关系。结果表明,近 50 年中国东部夏季降水异常主要表现为“南旱北涝”与“南涝北旱”两者年代际异常之间的转换,但在 1996 年之后,伴随北方干旱区向南发展,呈现出华北和长江中下游地区降水同时减少的特征。研究发现中国华北地区夏季降水与同期的环贝加尔湖地表气温在年代际尺度上存在显著的负相关关系;贝加尔湖地区地表气温增暖可能导致蒙古高原对流层出现异常的暖性反气旋,使得位于蒙古高原的气旋频数减少和强度减弱。由于华北降水与蒙古气旋的活动直接相关,从而导致华北地区夏季降水的持续性减少。自 1996 年开始贝加尔湖地区的地表气温进一步升高,导致中国北方干旱化加剧。由于环贝加尔湖地区是过去 50 年全球变暖的最显著地区之一,因此,全球变暖可能是通过关键区域的温度变化对中国的气候变化产生影响。

关键词 全球变暖, 中国东部夏季降水, 年代际变化

中图法分类号 P462.4+1 P467

1 引 言

全球变暖已经成为世界科学界和各国政府重视的重要科学和政治问题。政府间气候变化委员会(IPCC) 2007 年发表的第四次评估报告指出,20 世纪以来(1906—2005 年)全球平均气温上升了近 0.74°C ,且最近 50 年的气温增长率是过去 100 年的 2 倍(IPCC,2007)。观测研究表明,过去 50 年全球气温的升高主要发生在冬、春季节,突出表现为亚洲北部、欧洲、加拿大和北美等地区的大陆中高纬度地区气温升高(Hansen, et al, 1999,2006)。中国地处北半球欧亚大陆,有研究指出,中国气温变化总的趋势与北半球气温变化相似,但两者在年代际时间尺度上的变化存在一定差别(林学椿等,1995;唐国利等,2005)。

大量的研究表明,过去 50 年中国的气候变化主要表现为平均气温升高,这种变暖趋势自 20 世纪 80 年代以来尤为明显。其中,中国北方变暖比较显著,并被认为是北半球大陆增温的一部分(张先恭等,1982;Jones, et al, 1992)。但夏季青藏高原以东到长江流域地面气温出现变冷趋势(Li, et al, 1995;陈隆勋等,1998, 2004),具体表现为自 20 世纪 50 年代以来,中国东部存在一个以四川盆地为中心的变冷区,但此变冷区自 1990 年开始有减弱的趋势(陈隆勋等,2004)。对应气温的升高趋势,中国夏季降水总体变化不明显,但是,在年代际时间尺度变

化上突出表现为华北与长江中下游地区夏季降水之间的空间反向变化特征,即所谓的旱涝分布型(Huang,et al, 2003;Ding,et al, 2004;申乐琳等,2010)。例如,20 世纪 60 年代夏季华北降水偏多而长江中下游降水偏少,处于“南旱北涝”形势,而 20 世纪 80—90 年代则处于相反的“南涝北旱”空间分布特征(王绍武等,2002;黄荣辉等,2008)。除此之外,中国气候变化的另一个突出特征是西部地区的变暖变湿现象(施雅风等,2003)。

在过去的气候变化研究中,东亚夏季风降水的年代际变化一直是研究的重点之一,其中旱涝分布的形成机理受到广泛关注。众多学者从东亚夏季风、赤道中东太平洋海温、青藏高原热力状况、中纬度海-气相互作用、冬季北极海冰变化、北极涛动、ENSO 的影响、对流层中上层大气环流的变化以及东亚地区对流层上部的温度变冷等不同角度,探讨了外源强迫因子和大气环流的变化对中国东部夏季风降水的影响,强化了对夏季风降水年代际变化的深层理解。但是,近期研究发现,近 50 年长江中下游和华南降水由少变多的突变分别发生在 1979 和 1991 年,而在这期间华北地区的夏季降水反而表现为持续性减少趋势(钱维宏等,2007)。丁一汇等(2008)发现,长江中下游地区自 20 世纪末再一次发生降水突变,之后该地区的夏季降水表现出持续性减少特征;申乐琳等(2010)指出,中国东部夏季降水多雨区由北向南传播。因此,最新的研究结果表明,

以往认识的中国东部夏季降水空间分布发生了调整,尽管普遍认为上述旱涝时空分布与全球变暖存在联系,但全球变暖如何影响中国的夏季降水并没有给予较清晰的阐述。

观测研究表明,近 50 年全球最明显的气候变化是全球平均气温的持续升高(IPCC, 2007)。其中,陆地增温幅度大于海洋,主要的增暖中心位于亚洲北部、欧洲和北美等地区。因此,中高纬度的温度升高势必通过影响大尺度季风环流,进而影响中国区域气候变化。为此,本文试图通过资料分析来研究中国东部夏季风降水的年代际变化及其与全球变暖之间的关系,进而探讨中国东部夏季风降水空间格局年代际调整的可能原因。

所用的主要资料包括:中国国家气象信息中心提供的 1951—2007 年中国 604 个站逐月降水和气温资料;美国国家航空航天局空间研究中心(GISS)提供的 1951—2006 年逐月北半球地表气温资料,分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ (Hansen, et al, 1999, 2006); NCEP/NCAR 1951—2007 年逐月的位势高度场、气温场、风场再分析资料(Kalnay, et al, 1996),分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。主要采用相关分析、线性回归和谐波分析等方法,其中显著性采用 t 检验方法。本文中夏季指 6—8 月 3 个月的平均值。

2 中国夏季气候变化趋势

地表气温和降水是描述气候变化最直接的气象要素。从 1951—2007 年中国夏季平均气温和降水

的线性倾向空间分布(图 1)可见,在最近的 50 年气温变化中,除四川盆地东部和云贵高原北部,华东和华中的长江中下游地区以及淮河流域有线性变冷区外,其他地区夏季线性倾向分布均为变暖,增温趋势显著(信度在 0.05 以上)。其中,西北、东北和内蒙古的部分地区,以及青藏的东北部夏季平均气温的变化速度均超过 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。与此同时,在四川盆地的东部、华东和华中的长江中下游地区存在一个线性变冷区,但并没有通过显著性检验。变冷中心位于华中西部,向北伸到陕南地区,中心变冷速度达到 $-0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。相对于气温的变化,近 50 年来中国夏季降水在东北大部分地区、华北中南部的黄淮海平原和山东半岛、黄土高原东南部和四川盆地中西部等地区,均表现出不同程度的下降趋势,其中山东半岛和华北地区减少趋势最显著。在西部大部分地区、东北局部、西南西部、长江中下游和江南地区,夏季平均降水量均呈现不同程度的增加,其中长江中下游、华南沿海、青藏高原北部和南疆部分地区增加比较显著。因此,近 50 年中国夏季气候变化主要表现为地表气温的升高和降水的“南涝北旱”趋势。

分析发现,中国夏季降水的年代际变化具有较强的区域性差异,主要体现在华北和长江中下游及长江以南 2 个区域。例如,近几十年来黄河中下游流域及华北平原地区(以下称北方地区)夏季降水量显著下降,而长江中下游及长江以南地区(以下称南方地区)的降水则表现出显著增加趋势,即多数学者

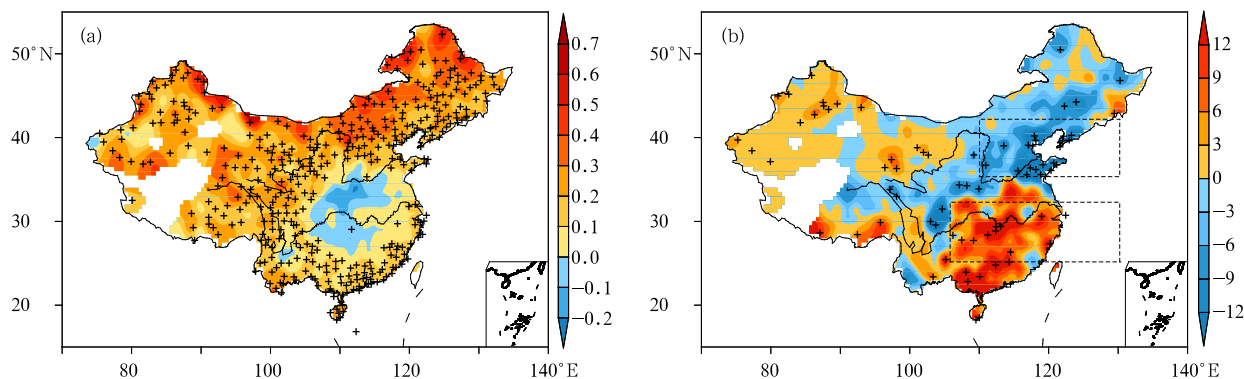


图 1 1951—2007 年中国夏季平均气温(a)和夏季平均降水量(b)线性倾向分布

(“+”表示超过显著性水平为 0.05 的站点,单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 和 $\text{mm}/10\text{ a}$)

Fig. 1 Linear trend distribution of the mean air temperature (a) and the mean precipitation (b) in China for summer during 1951–2007

(Crossed stations are statistically significant at the 5% confidence level, unit: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ or $\text{mm}/10\text{ a}$)

提到的中国东部夏季风降水的“南涝北旱”空间异常分布。然而,夏季降水的变化并非线性,存在年际和年代际尺度波动。为了更清楚地认识降水时空变化特征,分别选定代表江南地区($25^{\circ}\text{--}32^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$)的 120 个站点和华北地区($35^{\circ}\text{--}42^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$)的 86 个站点,通过分别计算 1951—2007 年的上述 2 个区域标准化夏季南方和北方降水距平指数,并将两个标准化距平指数的差值(南方减去北方)定义为中国东部夏季降水旱涝指数。

由中国东部夏季南北方降水指数的时间变化(图 2)可见,华北地区的夏季降水在 20 世纪 50 年代偏多,但 1965 年以后降水明显减少。尽管华北的这种干旱趋势在 70 年代有所缓和,而从 20 世纪 70 年代末开始该区域干旱则进一步加剧,并一直延续到 80 年代末和 90 年代初。90 年代初华北地区的降水虽有所增加,但 1996 年后华北地区的降水再一次明显减少,干旱趋于严重。相对华北降水变化,南方地区在 20 世纪 50—60 年代降水明显偏少,60 年代到 70 年代末,降水一直在小幅波动,但比正常偏少;70 年代末到 90 年代初降水表现出增多,但自 1996 年南方的降水再一次表现出明显的减少,与北方降水的减少出现了同步现象,这与近期一些学者

得到的结果一致(钱维宏等,2007;丁一汇等,2008)。魏凤英等(2009)研究发现,20 世纪 90 年代末以来,淮河流域夏季降水处于年代际偏多期,准 2 a 振荡特征突出,且其年代际变化进程落后于长江中下游地区。从图 1b 也可以发现淮河流域夏季降水有增加的趋势,但并不显著。虽然在过去的 57 年中,南方和北方降水指数之间的相关系数可以达到 -0.32 ,并超过 0.05 的显著信度,但从南北方指数的时间变化可以发现,在不同的时期,北方和南方降水的反相关关系并不成立,特别是在最近的 10 a (1996—2007 年),2 个指数均表现出减少的趋势,表明这个时段中国东部夏季降水的空间格局发生了显著变化。中国东部夏季降水旱涝指数(图 3a)显示:在 50—60 年代该指数持续偏弱,60 年代末到 70 年代末有所加强。在 20 世纪 70 年代末(1979 年左右)发生由弱变强的突变,主要表现为长江中下游地区降水的增加。此后,该指数的变化一直处于偏强状态。为进一步揭示南北方降水的年代际尺度上的变化关系,计算了南北方夏季降水指数的 11 a 滑动相关系数随年代的变化(图 3b)。如图 3b 所示,自 20 世纪 50 年代到 80 年代末,中国的南北方夏季降水表现出反相关特征,表现为“南旱北涝”或“南涝

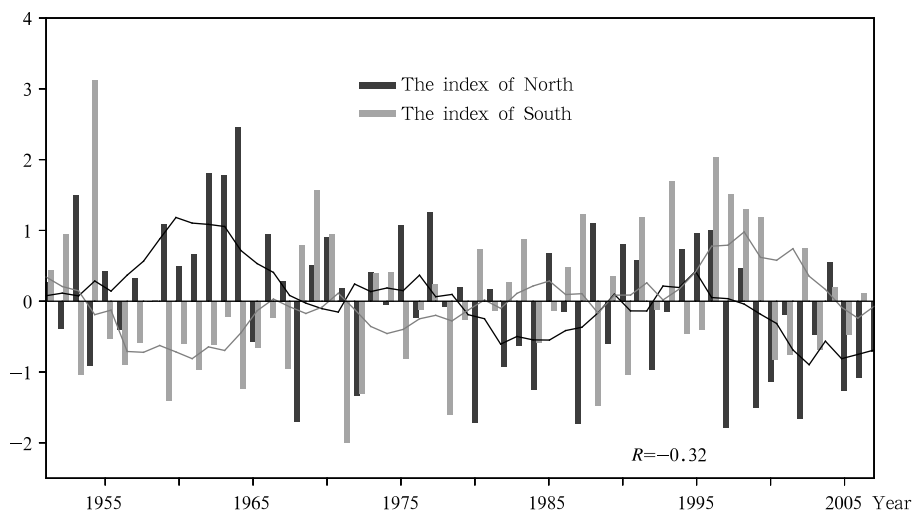


图 2 1951—2007 年夏季华北地区($35^{\circ}\text{--}42^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$)(深色直方)和江南地区($25^{\circ}\text{--}32^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$)(浅色直方)区域平均降水指数随时间的变化及两者的 7 a 滑动平均序列分布(实线)

Fig. 2 Mean area precipitation changes in the two regions of eastern China in summer from 1951 to 2007. The dark bar represents north China ($35^{\circ}\text{--}42^{\circ}\text{N}$, $110^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$), and the light bar represents south of the lower reaches of the Yangtze River ($25^{\circ}\text{--}32^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{--}130^{\circ}\text{E}$). The solid lines are their 7-year running mean lines

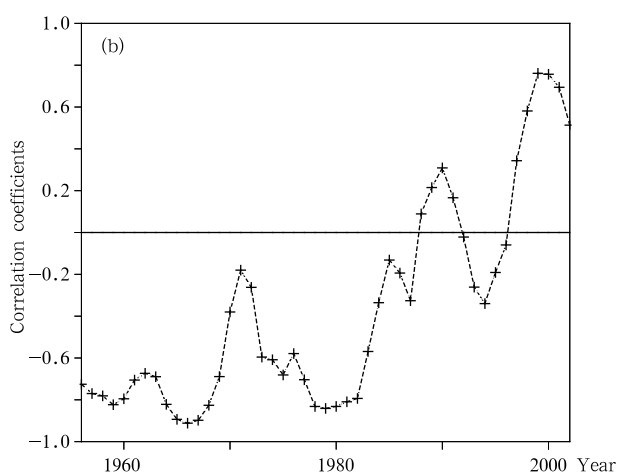
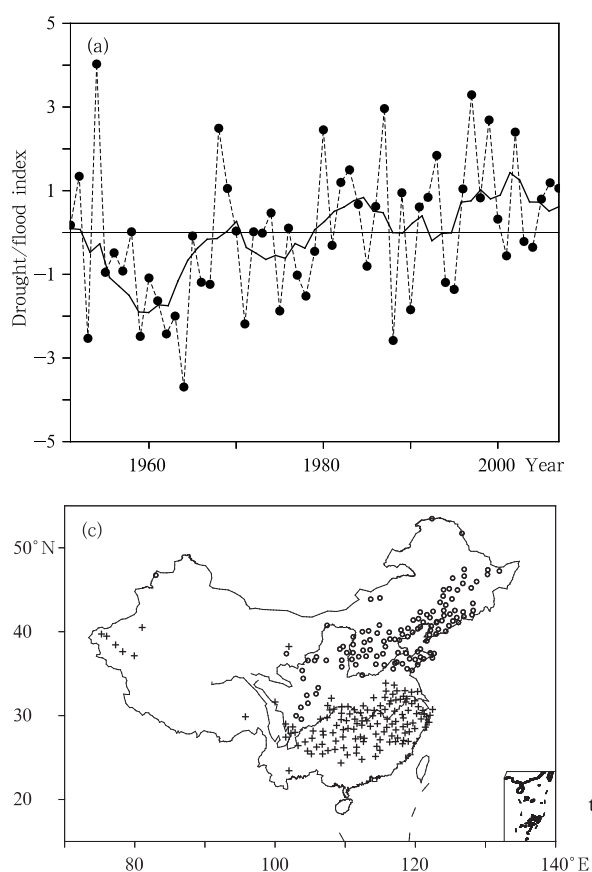


图3 (a) 1951—2007年中国东部夏季降水旱涝指数(点线)分布,实线为7 a滑动平均;(b) 1951—2007年夏季南北降水指数11 a滑动相关系数分布;(c) 中国东部夏季降水旱涝指数与中国604个站显著相关(超过0.05信度检验)的站点(“+”表示正相关,“○”表示负相关)

Fig. 3 (a) Normalized time series of the drought/flood index for the summer rainfall in eastern China (dashed line with closed solid circle) and its 7-year running mean (solid line). (b) Time series of the 11-year running correlation coefficients of the northern index and the southern index from 1951 to 2007. (c) Stations of significant correlation (statistically significant at the 5% confidence level) between the drought/flood index for the summer rainfall in eastern China and 604 stations of China; crosses represent positive correlations and open circles represent negative correlations

北旱”。但是,自20世纪90年代开始,上述2地区降水反相关特征逐渐减弱,并从1996年到目前为止,上述2个地区降水出现了显著的正相关关系。即这一时期的中国南北方夏季降水表现出一致的减少趋势。

为了检验中国东部夏季降水旱涝指数的可信度,通过计算该指数与中国604个站中显著相关(超过0.05信度检验)的站点(图3c)发现,中国东部夏季降水旱涝指数与黄土高原东南部、华北平原和东北平原南部及四川盆地地区的大部分站点成负相关,而与淮河流域、长江中下游及其以南地区的站点成正相关。可见上述指数与中国东部(100°E以东)大部分站点相关显著,且主要集中分布于南北2个关键区内,可以代表中国东部夏季降水的情况。由于中国东部夏季降水受到季风环流的影响。因此,降水的空间结构变化预示着大尺度季风环流的调整,这种现象应该引起高度重视。

3 夏季风降水与大尺度环流变化关系

为探讨中国东部夏季降水空间格局变化的成

因,首先讨论夏季风降水空间分布与大尺度环流的关系。采用上述定义的中国东部夏季降水旱涝指数来代表中国东部夏季降水的时空变化。其中,将经过7 a滑动平均的指数代表降水空间格局在年代际时间尺度上的变化,目的是通过研究其与环流场变化的同期关系,进而从年际和年代际两个不同时间尺度上确定与夏季降水空间分布相关的关键环流系统。

由1951—2007年中国东部夏季降水旱涝指数与同期500 hPa温度场、位势高度场、风场以及垂直速度的相关系数的空间分布(图4)可见,温度场在东亚东北部地区表现出显著的负相关,中心位于华北东部,最大相关系数为-0.5,超过0.01信度检验,在风场上该地区表现为气旋性环流分布,表明南涝北旱的环流异常多伴随着对流层冷性气旋性异常环流。而在蒙古高原和环贝加尔湖地区附近,风场的相关系数矢量场则表现为反气旋异常环流,即意味着蒙古气旋活动的减弱。因而在中国东部地区(110°—120°E)主要受到异常偏北气流的影响,说明

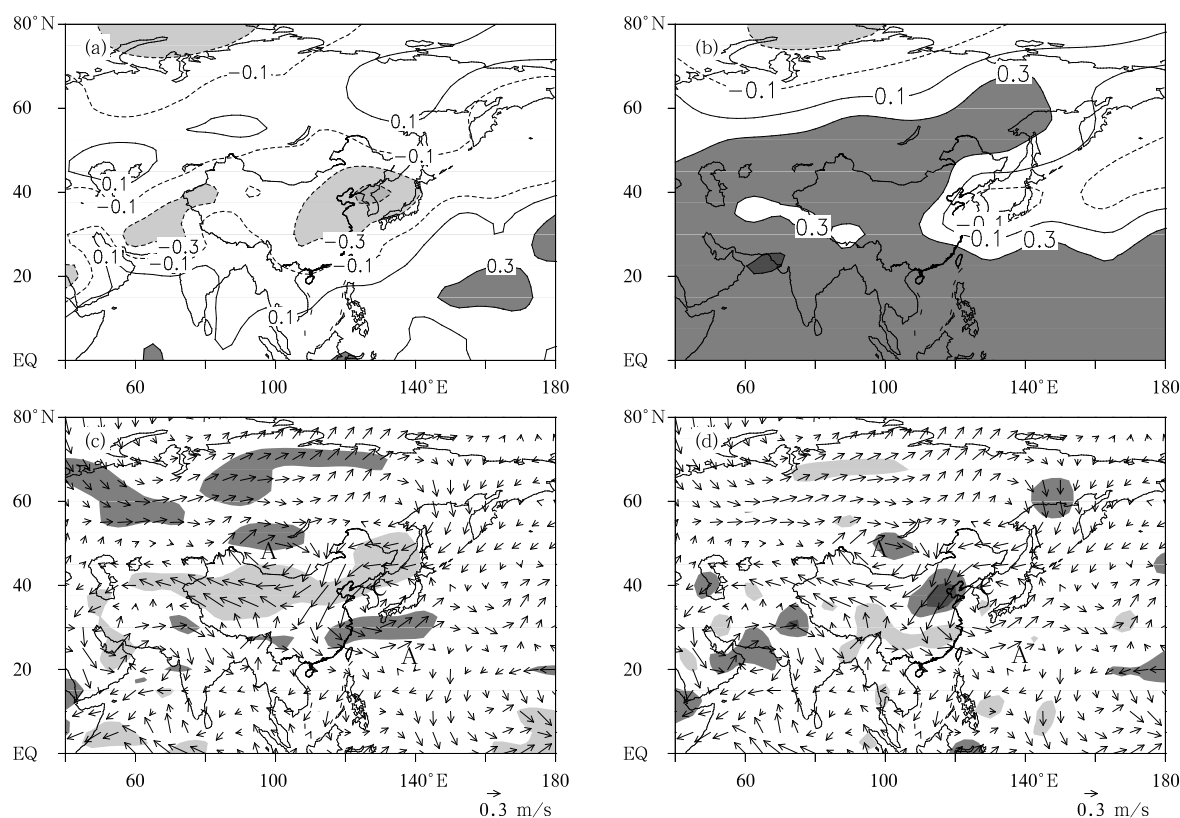


图 4 1951—2007 年中国东部夏季降水旱涝指数与 500 hPa 各要素场相关系数分布

(a. 温度场, b. 位势高度场, c. 风场和风速, d. 风场和垂直速度, 阴影部分表示相关显著性水平超过 0.05 的区域, 其中深色阴影表示正相关, 浅色阴影表示负相关)

Fig. 4 Distributions of the correlation coefficients at 500 hPa between the drought/flood index for the summer rainfall in eastern China and (a) the air temperature, (b) the geopotential height (GPH), (c) the wind field with wind speeds, (d) the wind field with the omega in summer during 1951–2007

The correlations that are significant at 95% confidence level are shaded, dark shaded regions represent positive correlations and light shaded regions represent negative correlations

东亚夏季风偏弱,同时主要的下沉运动出现在华北地区,而上升运动出现在 30°N 长江以南地区。从中国东部夏季降水旱涝指数与同期环流场的相关系数空间分布可以判定,在年际变化时间尺度上影响中国东部旱涝分布的对流层环流系统主要有夏季的对流层蒙古气旋活动、东北阻塞高压和西太平洋副热带高压异常。上述特征在 850 hPa 等压面上有类似的反映,但在对流层高层的 200 hPa 高度上并不明显(图略)。图 5 是经过 7 a 滑动平均的中国东部夏季降水旱涝指数与 500 hPa 气温场、位势高度场、风场及风速和风场及垂直速度相关系数分布。可以看出,其各层次与未经平滑的相关要素场相似,并且更加显著。在中纬度地区气温场从上而下表现为显著变冷中心,850 及 500 hPa 的位势高度场和风场

均在亚洲中纬度的蒙古高原表现为显著的反气旋异常结构,200 hPa 只在辽东半岛存在一个不太显著的异常气旋中心,而华北地区从上而下始终被下沉气流控制,同时中国东部地区主要表现为更强的偏北风异常,这个下沉气流的加强和偏北风异常均不利于华北地区夏季降水。可见在年代际时间尺度上,中国东部夏季降水旱涝分布的时间变化主要与蒙古气旋的异常活动密切相关。

为进一步分析异常环流的空间结构,计算了中国东部夏季降水旱涝指数与纬向 105°—130°E 平均的气温、位势高度、纬向风、风速的相关系数(图 6)。从相关系数的纬度-高度分布特征可以发现,对应中国东部夏季降水旱涝分布,气温场在对流层中上层表现为由北向南、自上而下倾斜的负相关系数分布,

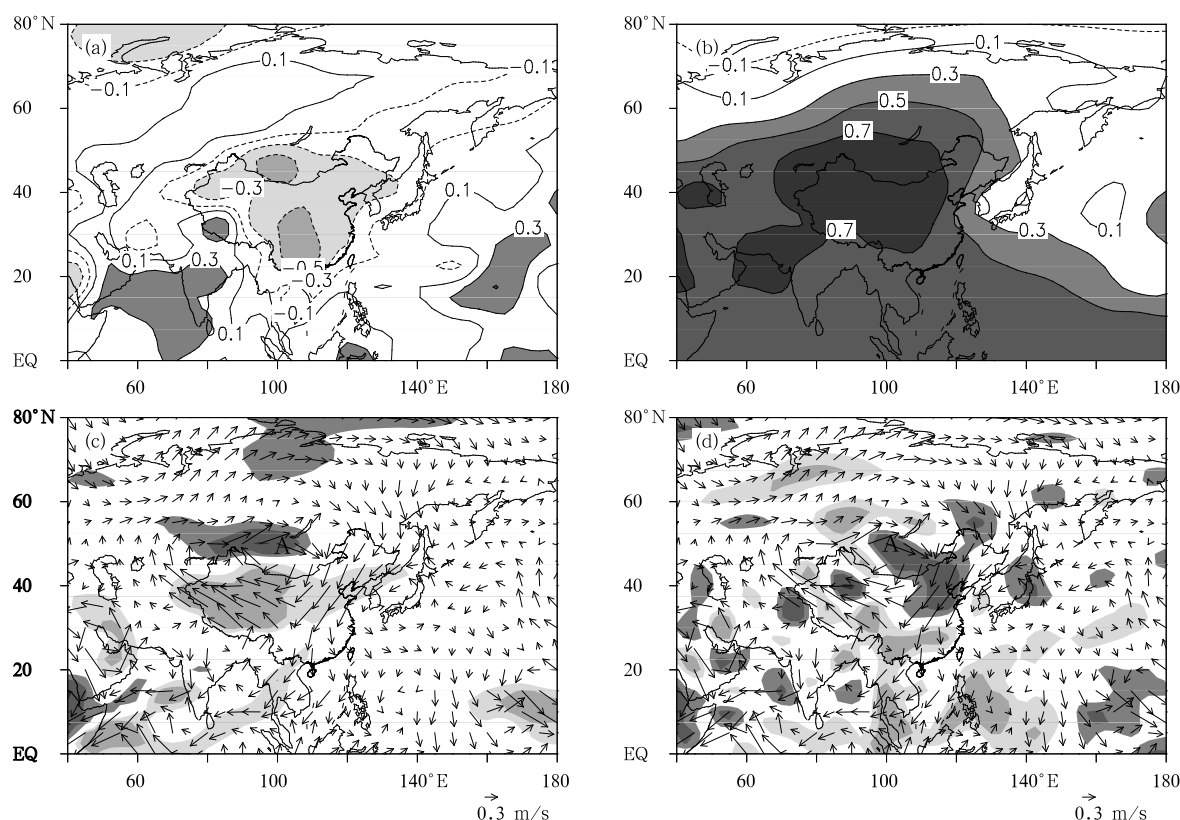


图5 同图4,但指数为经过7 a滑动平均的中国东部夏季降水旱涝指数
Fig. 5 As in Fig. 4 but for the 7-year running mean drought/flood index for the summer rainfall in eastern China

表明对流层变冷,此结果与 Yu 等(2004, 2008)分析的结果一致。上述对流层变冷对应 200 hPa 层的位势高度场负异常,中心位于 35°N 左右。在位于变冷中心的南北两侧,可明显发现在高度场表现为 2 个南北最大相关系数中心,即在对流层经向表现为中间低、两侧高特征。在纬向风场上表现出显著的正、负相关。因此,对应南涝北旱的降水异常分布,以 30°N 为中心,基本表现为由南向北的正、负、正高度场分布,即所谓的“三明治结构”(Zhu, et al, 2005; Ding, et al, 2007; 钱维宏等, 2007)。在长江以南的对流层中高层对应异常的西风,而在长江以北则表现为异常的东风。经过 7 a 滑动平均的相关场(图 7)在 30°N 左右的对流层 300 hPa 表现出更为显著的变冷中心,其周围的位势高度也降低,而在 300 hPa 以下表现为显著的高压异常,最大相关中心位于 45°N 。而在年代际尺度风场上出现的南北异常东西风相关系数并不明显。可以推断,决定夏季旱涝分布长期变化的主要环流系统为蒙古高原的

异常反气旋。

4 环贝加尔湖地区变暖对夏季降水年代际变化影响

近 50 年全球最明显的气候变化是变暖(IPCC, 2007),但是温度升高具有明显的区域性。由 1951—2006 年北半球欧亚大陆夏季平均地表气温线性倾向分布(图 8a)可见,北半球欧亚大陆夏季有 3 个变暖中心:中亚大部分地区、贝加尔湖附近的西伯利亚地区及鄂霍次克海地区,其变暖中心的速度均达到 $0.5^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 。其中,中国长江中下游地区所表现出的变冷趋势与用台站观测资料分析的结果比较一致。研究表明,最近 50 年亚洲北部环贝加尔湖地区是北半球显著的主要变暖地区(Hansen, et al, 1999, 2006)。该地区地表气温的持续升高可以导致蒙古气旋活动频率的减少,进而导致中国春季沙尘暴发生频率的降低(Zhu, et al, 2008)。同理,该地区夏季温度升高,同样会影响蒙古气旋活动频率的

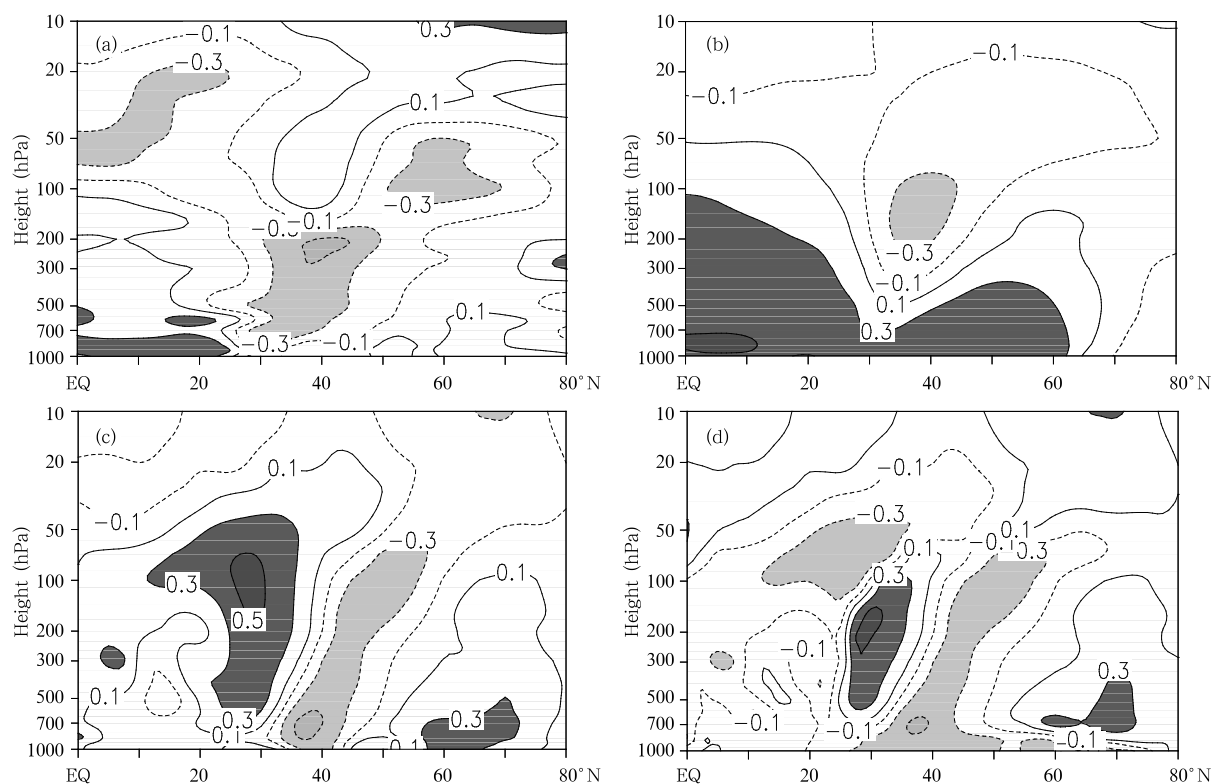


图 6 1951—2007 年中国东部夏季降水旱涝指数与同期沿经向 105° — 130° E 平均的气温(a)、位势高度(b)、纬向风(c)、风速(d)的相关系数(阴影部分表示显著性水平超过 0.05 的区域)

Fig. 6 Height-latitude sections of the correlation coefficients between the drought/flood index for the summer rainfall in eastern China and (a) the air temperature, (b) the geopotential height (GPH), (c) the zonal wind, and (d) the wind speeds along 105° — 130° E in summer during 1951—2007

The correlations that are significant at 95% confidence level are shaded, dark shaded regions represent positive correlations and light shaded regions represent negative correlations

减少和强度的减弱(图略),进而影响中国东部夏季降水的空间分布。为此,选取贝加尔湖变暖中心(40° — 60° N, 95° — 130° E)的平均气温,分析其气温指数(SATI)的时间变化与中国东部夏季降水空间格局变化之间的关系(图 8b)。贝加尔湖附近的地表气温存在明显的年代际变化特征。其中,20 世纪 90 年代初该地区的地表气温逐渐升高,并在 1996 年后地表气温急剧上升。这种温度变化趋势与中国北方夏季降水的持续减少形成鲜明的对比,与中国东部夏季降水旱涝指数的相关系数亦达到 0.63,超过 0.01 显著信度。由此推测贝加尔湖附近的气温变化是引起中国夏季降水变化的可能原因。

分别对气温指数和中国东部 57 a(1951—2007 年)夏季降水无缺测的站点进行谐波分析——滤去高频变化,得到只反映年代际尺度变化的气温指数

和东部夏季降水资料。图 8c 是年代际尺度上气温指数与中国东部夏季降水相关分布,中国东部的南方为显著(相关系数 0.3 以上)正相关区,北方为负相关区,其中华北平原、东北地区、黄土高原东南部及四川盆地中西部均显著(超过了 0.05 信度检验)相关。上述相关系数的“南正北负”现象表明贝加尔湖附近地表气温升高,中国北方降水减少,且主要发生在华北和东北地区,中国南方降水增多,尤其长江中下游以南和华南地区。

为进一步证实贝加尔湖地区地表气温年代际变化与中国夏季降水空间格局变化的联系,计算了贝加尔湖附近的气温指数与 500 hPa 上各要素场相关系数分布(图 9),500 hPa 气温场在贝加尔湖附近有显著暖中心,高度场和风场分别表现出显著的反气旋异常环流中心,上述中心对应夏季蒙古气旋的活

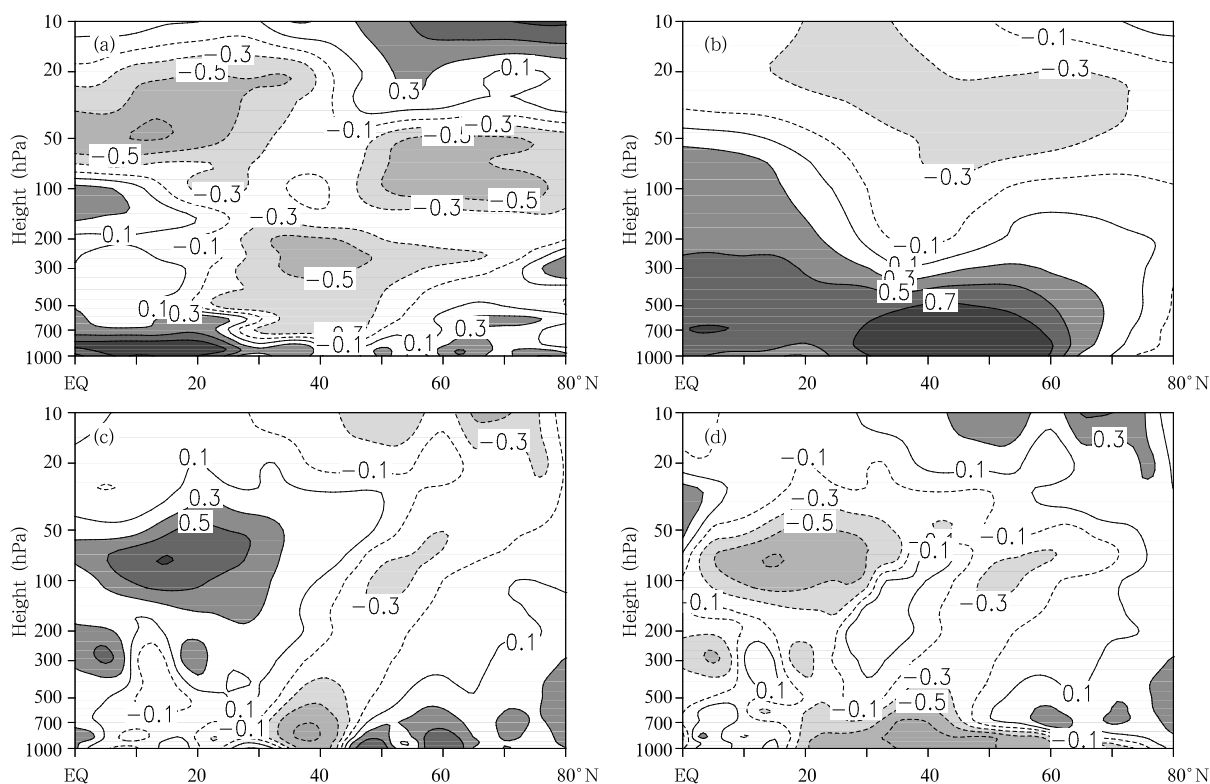


图 7 同图 6, 但指数为经过 7 a 滑动平均的夏季降水旱涝指数
Fig. 7 As in Fig. 6 but for the 7-year running mean drought/flood index for the summer rainfall in eastern China

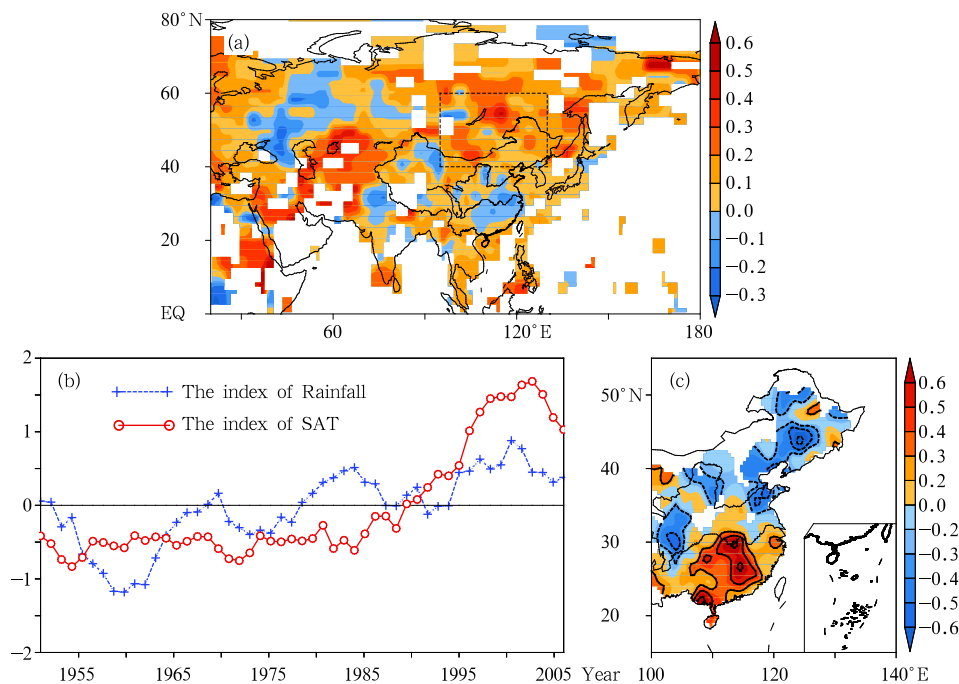


图 8 (a) 1951—2006 年北半球欧亚大陆夏季平均地表气温线性倾向分布, 单位: $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$; (b) 1951—2006 年贝加尔湖附近 ($40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}-130^{\circ}\text{E}$) 地表气温区域平均变化 (SATI) 及中国东部夏季降水旱涝指数;

(c) 年代际尺度上 SATI 与中国东部夏季降水相关分布
Fig. 8 (a) Linear trend distributions of the summer land surface air temperature (SAT) in the Northern Hemisphere during 1951–2006 (unit: $^{\circ}\text{C}/(10\text{ year})$). (b) Mean land surface air temperature index (SATI) in Baikal regions ($40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}$, $95^{\circ}-130^{\circ}\text{E}$) in summer and the drought/flood index for the summer rainfall in eastern China from 1951 to 2006. (c) Correlation coefficients on the interdecadal scale between the mean land surface air temperature (SAT) and the summer rainfall in eastern China

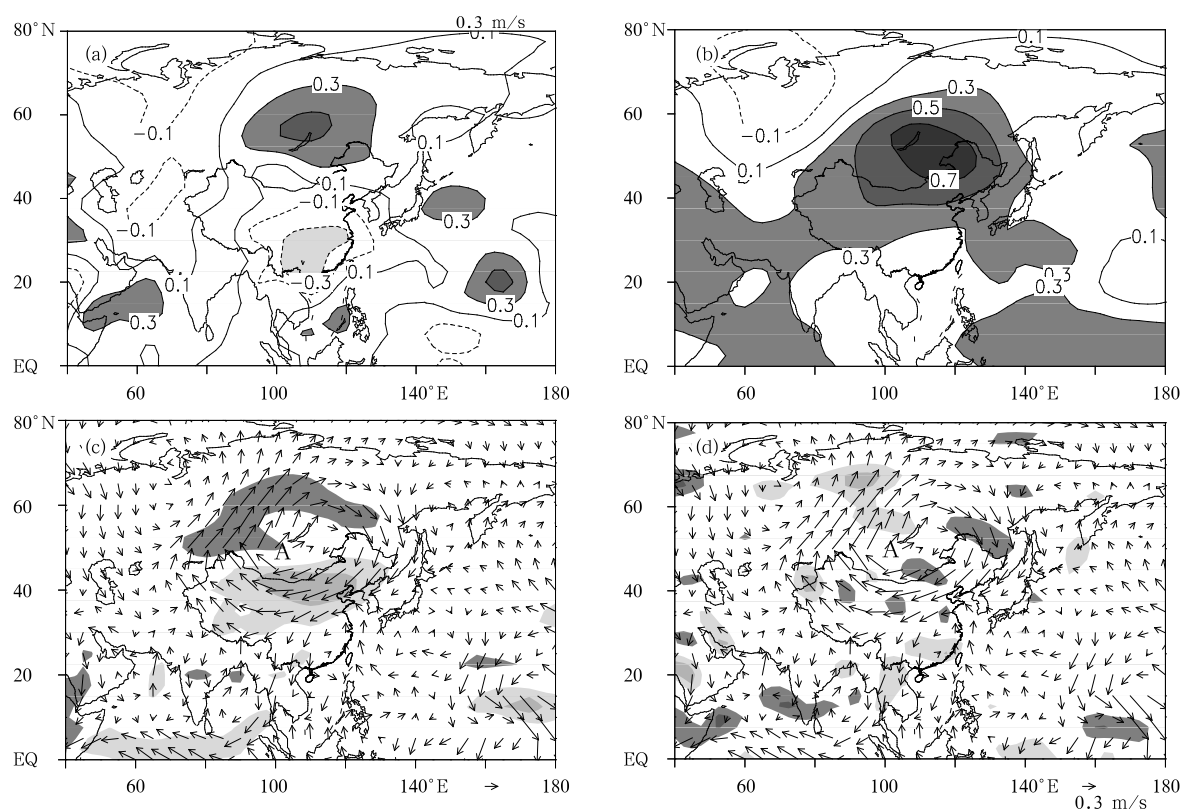


图 9 同图 4,但指数为贝加尔湖地区地表气温指数

Fig. 9 As in Fig. 4 but for the summer land surface air temperature index (SATI)

动区域,则说明夏季蒙古气旋活动削弱。因此,该地区地表气温的升高将会导致对流层暖性反气旋环流的加强,从而抑制北方降水减少。而该地区升温幅度的增加将导致对流层异常反气旋的扩大和增强,进而影响中国东部降水空间分布,导致降水减少区向南扩张。因此,全球变暖,特别是贝加尔湖地区的持续变暖有可能破坏中国降水旱涝的空间格局,导致北方干旱趋于严重化。

5 结论与讨论

本文讨论了最近 50 年中国东部降水的旱涝时空变化特征及其与全球变暖的联系,得出如下结论:

(1) 近 50 年中国夏季降水空间格局主要表现为由“南旱北涝”型转换为“南涝北旱”型。但 1996 年之后降水空间分布发生了显著的变化,表现为北方干旱区向南发展,呈现出华北和长江以南地区降水同时减少特征。

(2) 年代际时间尺度的中国东部夏季降水主要受到蒙古气旋活动的影响。由于贝加尔湖地区气温持续升高,导致蒙古地区对流层出现异常的暖性反

气旋,而该反气旋的维持和发展削弱了蒙古气旋的活动,致使华北地区降水减少,干旱区向南扩张,导致中国东部夏季降水空间格局在 1996 年之后发生显著的变化。

尽管发现近 50 年贝加尔湖地区地表气温变化与东部夏季风降水存在密切关系,两者之间的关系在 20 世纪 90 年代后期最为显著,但正如李建平等(2003, 2005)所指出的,过去 50 年东亚夏季风的年代际减弱也与印太暖池海温的增暖和 30°—50°N 西北太平洋海温的变冷有关。因此,中国东部夏季降水年代际变化并不能完全归咎于北半球地表气温的变化,其他外部因素(例如海温、北极冰盖等)对中国夏季降水长期趋势变化同样存在显著的影响。

参考文献

- 陈隆勋,朱文琴. 1998. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报, 56(3):257-271
- 陈隆勋,周秀骥,李维亮. 2004. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制. 气象学报, 62(5):634-645
- 丁一汇,张莉. 2008. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比

- 较. 大气科学, 32(4): 794-805
- 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙等. 2008. 东亚季风系统的时空变化及其对中国气候异常影响的最近研究进展. 大气科学, 32(4): 691-719
- 林学椿, 于淑秋, 唐国利. 1995. 中国近百年温度序列. 大气科学, 19(5): 525-534
- 李建平, 曾庆存. 2005. 一个新的季风指数及其年际变化和雨量的关系. 气候与环境研究, 10(3): 351-365
- 钱维宏, 符娇兰, 张玮玮等. 2007. 近40年中国平均气候与极值气候变化的概述. 地球科学进展, 22(7): 673-684
- 申乐琳, 何金海, 周秀骥等. 2010. 近50年来中国夏季降水及水汽输送特征研究. 气象学报, 68(6): 918-931
- 施雅风, 沈永平, 李栋梁等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨. 第四纪研究, 23(2): 152-164
- 唐国利, 任国玉. 2005. 近百年中国地表气温变化趋势的再分析. 气候与环境研究, 10(4): 791-798
- 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红等. 2002. 19世纪80年代到20世纪90年代中国年降水量的年代际变化. 气象学报, 60(5): 637-639
- 魏凤英, 张婷. 2009. 淮河流域夏季降水的振荡特征及其与气候背景的联系. 中国科学(D辑), 39(10): 1360-1374
- 宇如聪, 周天军, 李建等. 2008. 中国东部气候年代际变化三维特征的研究进展. 大气科学, 32(4): 893-905
- 张先恭, 李小泉. 1982. 本世纪中国气温变化的某些特征. 气象学报, 40(2): 198-208
- Ding Yihui, Sun Ying. 2004. Changes in Asian summer monsoon and possible mechanisms. News Letter on Climate Change 2003/2004, 47-49
- Ding Yihui, Wang Zunya, Sun Ying. 2008. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon. Part I: observed evidences. International J Climatology, 28(9): 1139-1161
- Hansen J, Ruedy R, Glascoe J, et al. 1999. GISS analysis of surface temperature change. J Geophys Res, 104(D24): 30997-31022
- Hansen J, Sato M, Ruedy R, et al. 2006. Global temperature change. Proc Natl Acad Sci, 103: 14288-14293
- Huang Ronghui, Zhou Liantong, Chen Wen. 2003. The progresses of recent studies on the variabilities of the East Asia monsoon and their causes. Adv Atmos Sci, 20: 55-69
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis // Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA
- Jones P D, Briffa K R. 1992. Global surface air temperature variations during the twentieth century: Part 1, Spatial, temporal and seasonal details. Holocene, 2(2): 165-179
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. Bull Amer Meteor Soc, 77: 437-472
- Li Jianping, Zeng Qingcun. 2003. A new monsoon index and the geographical distribution of the global monsoons. Adv Atmos Sci, 20(2): 299-302
- Li Xiaowen, Zhou Xiuji, Li Weiliang. 1995. The cooling of Sichuan Province in recent 40 years and its probable mechanisms. Acta Meteor Sinica, 9: 57-68
- Yu Rucong, Wang Bin, Zhou Tianjun. 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia. Geophys Res Lett, 31: L22212, doi: 10.1029/2004GL021270
- Zhu Congwen, Lee W S, Kang H, et al. 2005. A proper monsoon index for seasonal and interannual variations of the East Asian monsoon. Geophys Res Lett, 32: L02811, doi: 10.1029/2004GL021295
- Zhu Congwen, Wang B, Qian Weihong. 2008. Why do dust storms decrease in northern China concurrently with the recent global warming? Geophys Res Lett, 35: L18702, doi: 10.1029/2008GL034886