

# 2007年我国秋季降水异常的成因分析

贾小龙 张培群 陈丽娟 高 辉 朱艳峰 李 威 韩荣青

(国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081)

**提 要:** 利用 NCEP 再分析资料和观测的我国 160 个台站的降水资料,分析了 2007 年秋季我国北方地区降水异常偏多的时空特征和大尺度环流特征,重点分析了 2007 年夏秋季开始的 La Niña 事件对 2007 年秋季降水和大气环流的影响。结果表明: 2007 年我国秋季降水出现了典型北多南少的分布,尤其是 9 月和 10 月北方地区降水异常偏多。这段时期内,印缅槽偏强,高原东侧的西南季风异常活跃,加强了来自孟加拉湾和南海的水汽向我国北方地区的输送,同时巴尔喀什湖—贝加尔湖高度场偏低,利于不断分裂的冷空气南下,由于西太平洋副热带高压脊线偏北,使冷暖空气主要交汇在我国北方地区。秋季降水 EOF 第二模态表现为南北反相的分布,与赤道中东太平洋海温异常有密切关系,解释了我国秋季降水 10% 以上的方差贡献。2007 年我国秋季降水和大气环流都表现出了典型 La Niña 事件影响的特征。

**关键词:** 秋季降水 印缅槽 西太平洋副热带高压 La Niña

## Causality Analysis of Autumn Rainfall Anomalies in China in 2007

Jia Xiaolong Zhang Peiqun Chen Lijuan Gao Hui Zhu Yanfeng Li Wei Han Rongqing

(Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081)

**Abstract:** The spatio-temporal characteristics of autumn rainfall anomalies in China in 2007 and the related large-scale atmosphere circulation are analyzed, and effects of the La Niña event started in August of 2007 are also studied. The autumn rainfall distribution shows a typical feature of more than normal in North China and less than normal in South China, especially in September and October. In these two months, the deep Indian-Burma trough and active southwest monsoon over the east of the Tibetan Plateau strengthened the northward transportation of wet-warm air from the Bay of Bengal and the South China Sea. Meanwhile, the geo-potential height in wide ranges from Balkhash to Baikal is lower than normal, which leads to the cold air taken by the split short waves transporting southward. In addition, the west Pacific subtropical high is more northward

资助项目:国家科学支撑项目(2006BAC02B04)和中国气象局气象新技术推广项目 CMATG2007M04

收稿日期:2008年2月5日; 修定稿日期:2008年2月28日

than normal, which also supplies the humid southeast air. Under this circulation, the cold airs and warm-wet air were combined constantly over the north China. The second EOF mode of autumn rainfall is similar to the rainfall anomalies in 2007, which explains variance of more 10% and closely related to the SSTA in the central-eastern Equatorial Pacific. Both autumn rainfall and related circulation anomalies in 2007 present the typical characteristics of La Niña event.

**Key Words:** autumn rainfall Indian-Burma trough west Pacific subtropical high La Niña

## 引 言

2007年秋季我国出现了较为异常的气候特征,其中北方地区降水异常偏多,出现了1951年以来最长的秋雨,尤其是9月26日至10月14日,西北地区中东部、华北中南部、黄淮北部及西南东部等地持续多雨(雪)天气,与常年同期相比,部分地区降水量偏多2~5倍;甘肃、宁夏、陕西、山西、河北、山东6省(区)9月26日至10月14日区域平均降水日数为1951年以来历史同期最大值<sup>[1]</sup>。北方异常偏多的秋雨对农业生产造成很大的影响。

赤道中东太平洋的 ENSO 事件作为气候系统最强的年际异常信号之一,对我国的气候异常也有重要的影响<sup>[2-9]</sup>。有研究表明,就四季而言,ENSO 对我国秋季气候异常的影响甚至超过了对夏季的影响<sup>[10-11]</sup>。但关于 ENSO 对我国秋季气候异常影响的研究相对夏季而言还不是很多。龚道溢等<sup>[10]</sup>研究了 ENSO 对我国四季降水影响,表明 El Niño 年秋季江南降水偏多,而北方偏少,La Niña 年相反。湛芸等<sup>[11]</sup>的分析也表明,El Niño 年我国秋季降水出现南多北少型的频率增加近 20%,而 La Niña 年出现南多北少型的频率减少 20%。反之,当我国秋季降水距平出现大尺度南北降水异常时,往往表示当时有 ENSO 现象发生。ENSO 对我国西北地区秋季降水也有显著的影响,El Niño 年我国西北地区秋季降水易偏少,而 La Niña 年易偏

多<sup>[12]</sup>。国家气候中心的监测显示,2007年8月赤道中、东太平洋海温开始进入 La Niña 状态,并在随后的秋冬季不断加强发展。因此,本文将针对从大尺度环流异常及 ENSO 对我国秋季气候异常的影响,来分析 2007 年秋季我国北方地区降水异常的成因,为秋季气候预测提供一定依据。

## 1 资 料

本文所用资料有 NCEP/NCAR 的  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  的月平均再分析资料,包括 1951—2007 年 500hPa 高度场、850hPa 风场和 850hPa 比湿场,以及 2007 年 9—11 月日平均的 850hPa 风场和 850hPa 比湿场。此外,还有国家气候中心整编的中国地区 160 站 1951—2007 年月降水量资料和 1951—2007 年 74 项环流特征量指数和 Niño3 区海温指数。

## 2 2007 年秋季降水异常的时空特征

图 1 给出了 2007 年秋季及各月降水距平百分率分布。从整个秋季来看,降水距平主要表现为北多南少的分布。北方的多雨带主要位于华北北部—河套—西北中西部。其中华北北部大部较常年同期偏多 20% 以上,局部偏多 50% 以上;河套和西北中部大部偏多在 50% 以上,部分地区偏多 1 倍以上;而西北西部大部偏多 2 倍以上,部分地区偏多达到 3 倍以上。另外,东部沿海和云南西部

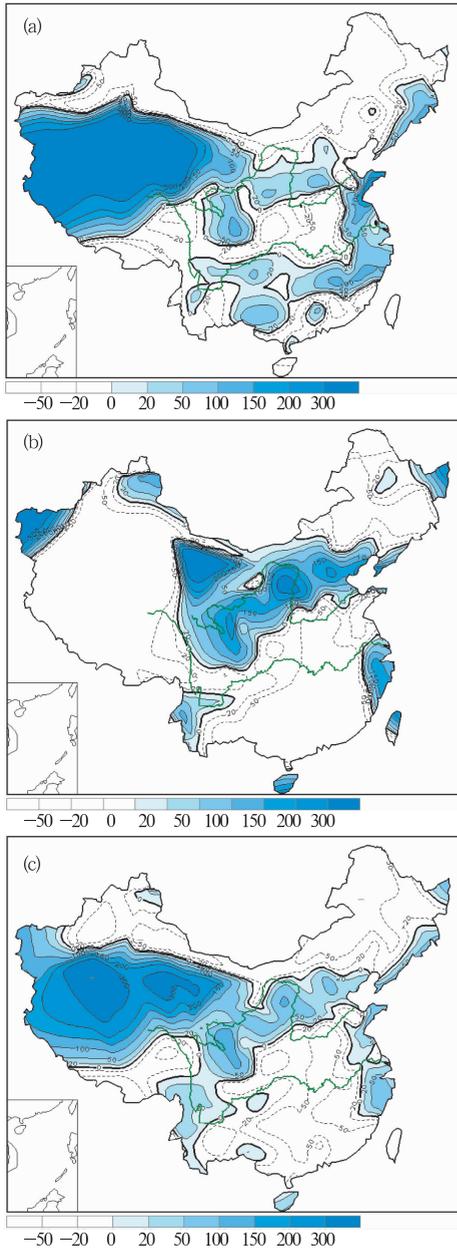


图 1 2007 年 9 月(a)、10 月(b)及秋季(c)降水距平百分率分布  
单位:%, 阴影区为大于 0

偏多 20%~50%。全国其余大部地区降水偏少 20%~50%。从各月的情况来看,9 月北方的多雨带就已经很明显,其中西北地区大部降水偏多 3 倍以上;另外江南地区也有一条多雨带。10 月份多雨带仍然位于北方

地区,并且较 9 月略微北抬东移,多雨区主要分布在华北、内蒙古中部,河套、西北东部等地区,其中大部地区降水较常年同期偏多 1~2 倍,部分地区偏多 3 倍以上。全国其余大部地区降水偏少 50%以上。11 月除东北南部和西南的局部地区外,全国大部地区降水都偏少 50%以上(图略)。从以上各月的降水分布可以看到,2007 年秋季我国北方降水异常偏多主要是 9 月和 10 月北方降水异常偏多造成,从降水过程来看,其中在 9 月 26 日至 10 月 14 日北方地区的持续连阴雨为历史同期罕见,西北地区中东部、华北中南部、黄淮北部和西南东部降水都较常年同期偏多 2~5 倍,降水偏多 3~10 天,造成了严重的秋汛。

有分析显示华西秋雨有明显的年代际变化的特征,进入 21 世纪我国又出现了较明显的华西秋雨现象<sup>[13]</sup>。图 2 给出了我国主要秋雨区秋季降水距平 EOF 第一模态的时间系数,反映了秋雨的整体变化特征。可以看到,1960 年代到 1970 年代中期、1980 年初为相对多秋雨期,1950 年代、1980 年代中后期到 20 世纪末我国秋雨相对偏少。21 世纪开始华西秋雨又有明显增加的趋势。

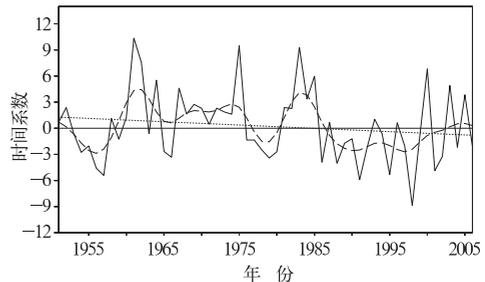


图 2 我国秋雨区秋季降水距平 EOF 第一模态的时间系数  
(虚线为 11 年滑动平均)

### 3 大尺度环流特征

图 3 给出了 9—10 月 500hPa 高度距平场。由图 3a 可见,9 月乌拉尔山和贝加尔湖

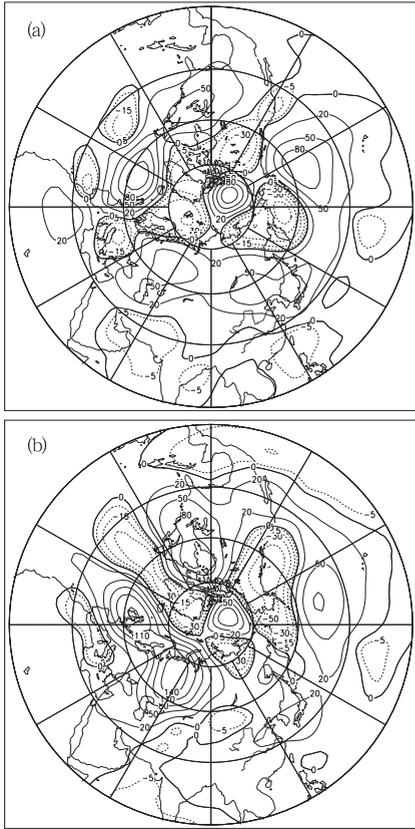


图 3 2007 年 9 月(a)、10 月(b)  
500hPa 高度场距平  
实线为正距平,虚线为负距平,单位:gpm

以东到日本地区分别为两个正距平中心,巴尔喀什湖以东以南地区为弱的正距平,印缅地区以及阿拉伯海和孟加拉湾北部为负距平区,南海和西太平洋地区为负距平区。这种形势表明印缅槽偏深,副高偏北,中高纬以纬向环流为主,有利于来自孟加拉湾和南海的水汽和冷空气交汇于北方地区。由于贝加尔湖以南为强正距平,所以 9 月的降水正异常主要分布在西北地区的中西部。10 月的高度场异常(见图 3b)与 9 月有所差异,乌拉尔山的正距平进一步加强,而贝加尔湖以南的正距平中心东进南压到我国大陆东部—日本地区,在巴尔喀什湖到贝加尔湖以南的广大区域为负距平区,更加有利于贝加尔湖低槽

后不断分裂冷空气并东移南下。同时,孟加拉湾和阿拉伯海为大范围的负距平,印缅槽活跃,有利于西南季风对水汽的输送,而西太平洋副高偏北使冷暖空气主要交汇在我国北方地区。

图 4 给出了 9 月和 10 月的 850hPa 风场距平。9 月的异常风场(见图 4a)上,台湾岛以东的洋面上为一异常的反气旋,其西侧的东北风加强了气候平均场的东北风,而孟加拉湾为异常的西南气流,向北一直延伸至我国的华西地区,增强了华西地区水汽的输送,同时与北方的异常东风在我国北方地区形成辐合。另外,阿拉伯海到印度西部的异常西南气流以及印度西北部来自西部的气流与巴尔喀什湖附近的异常北风气流在我国西部地区也形成一个异常的辐合区。10 月份我国北方地区异常的风场(见图 4b)辐合更为明显,北方贝加尔湖以南异常的北风距平到达黄河流域,表明北路冷空气较为活跃;南面高原东侧为异常的西南风气流,该异常的西南气流主要来自于台湾岛以东洋面异常的气旋

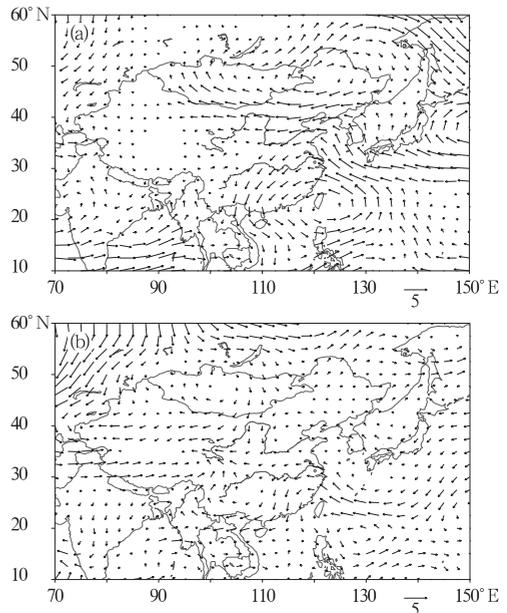


图 4 2007 年 9 月(a)、10 月(b)  
850hPa 风场距平 单位: $m \cdot s^{-1}$

性环流北面所产生的偏东气流经南海转向进入高原东侧的异常西南风气流中,增强了高原东侧的西南气流,加强了来自东海和南海的水汽经高原东侧向我国北方地区的输送;东面江淮地区异常的偏东偏南气流也带来东面海洋的水汽;西面高原南侧为异常强的西风气流,东西南北异常的冷暖气流在黄河流域尤其是黄河中上游形成异常的辐合,造成了北方地区降水异常偏多的环流形势。而长江以南地区由于受东面海洋异常气旋环流的影响,为异常的偏北偏东气流控制,降水偏少。

图 5 进一步给出了 9 月和 10 月的 850hPa 水汽通量和水汽通量散度距平。可以看到,9 月异常偏强的孟加拉湾水汽输送一直到达黄河上游地区,在高原东部地区形成异常的水汽辐合。另外在新疆西部来自西部和南部印度半岛的异常水汽输送在新疆西

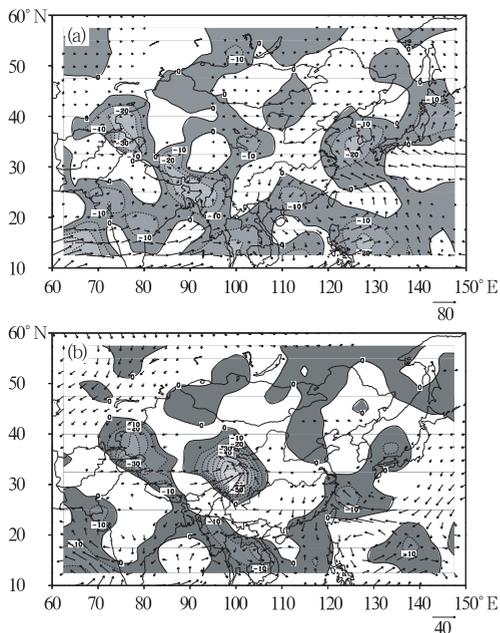


图 5 2007 年 9 月(a)、10 月(b)850hPa 水汽通量(矢量,  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}$ )和水汽通量散度距平(等值线,  $10^{-6} \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ , 阴影区为水汽辐合区)

部地区也形成异常偏强的水汽辐合。10 月份水汽输送与 9 月有所不同,除了孟加拉湾北部向北的水汽输送增强外,来自东海经南海、中南半岛转向进入高原东部向北的水汽输送也异常增强,而且明显大于来自孟加拉湾的异常水汽输送。另外,来自印度北部偏西偏南的水汽输送也异常偏强,三支异常偏强的水汽输送与来在贝加尔湖的异常偏北气流在我国西部形成强烈的水汽通量辐合,中心水汽通量散度距平超过  $70 \times 10^{-6} \cdot \text{g} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1}$ ,远大于 9 月份。从水汽输送的逐日演变(图 6a)来看,沿  $30^\circ \text{N}$  的水汽通量从 9 月初到中旬  $100^\circ \text{E}$  以西地区就开始维持很强的西南气流的水汽输送,同时  $100^\circ \text{E}$  以东地区不断有偏东水汽汇入;之后西南水汽输送进入一个减弱期,9 月第 6 候开始西南气流又开始异常活跃,并一直维持到 10 月中旬,这段时间也对应了 9 月 26 日至 10 月 14 日北方地区持续的连阴雨,之后西南气流明显减弱。为了考察到达  $30^\circ \text{N}$  的西南水汽的来源,图 6b 进一步给出了沿  $20^\circ \text{N}$  水汽通量的时间-经度剖面,可以看到 9 月上旬  $100^\circ \text{E}$  以西就维持较强的西南气流的水汽输送,  $100^\circ \text{E}$  以东为弱的偏东气流,而到 10 月份  $100^\circ \text{E}$  以西的西南气流变得很弱,而  $100^\circ \text{E}$  以东的偏东南气流明显加强,并在  $95 \sim 100^\circ \text{E}$  附近地区转为西南气流。这一结果表明 9 月份到达我国北方的西南水汽主要来自于低纬度孟加拉湾,而 10 月份主要来自  $100^\circ \text{E}$  以东的南海和东海。

#### 4 La Niña 对 2007 年秋季降水和大尺度环流异常的影响

2007 年 2 月赤道中东太平洋的 El Niño 事件结束后,从 8 月份开始赤道中东太平洋海温进入 La Niña 状态,并在秋季不断加强发展。图 7 给出了 1951—2006 年秋季 NiNo3 区

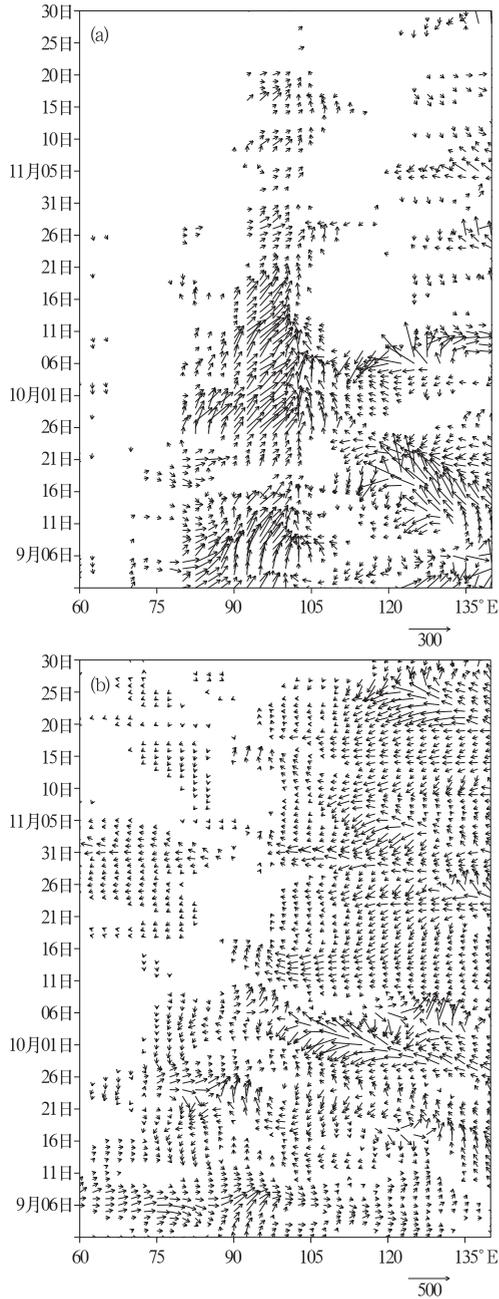


图6 2007年9—11月沿30°N(a)和20°N(b)水汽通量的时间-经度剖面( $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}$ )

海温和我国160站秋季降水的相关(图7a)、历史上夏秋季节发生La Niña事件的年份(1962、1967、1974、1984、1995、1998年)合成的秋季降水距平百分率(图7b)以及NiNo3

区指数回归的我国秋季降水的方差占整个降水方差的百分比(图7c)。可以看到,秋季的NiNo3区海温和我国秋季降水的相关呈北负南正的分布,负相关显著的区域主要分布在黄河中上游、河套、陕南等地区,正相关显著的区域主要在江南地区。6次夏秋季节发生的La Niña事件合成的降水距平百分率分布与相关反映的特征相似,我国秋季降水主要呈北多南少的分布,偏多的区域主要分布在黄河和长江之间的黄淮和华西地区以及西北地区,偏少的区域主要分布在长江以南、东北南部、华北北部区域。两个结果的特征是一致的,La Niña年我国秋季降水易出现北方偏多而南方偏少的分布。那么赤道中东太平洋的ENSO对我国秋季降水的这种影响究竟有多大呢?图7c给出了用NiNo3海温指数回归的1951—2006年我国秋季降水的方差占整个降水方差的百分比,可以看到,降水方差百分比有两个大值区,分别对应了图7a的南北两个显著相关区,方差比在10%左右,最大超过20%,表明ENSO的影响所产生这种南北反相变化的降水异常可以解释整个降水10%以上的方差贡献。如果对秋季降水距平做EOF分析,可以发现第二模态就反映了南北反相变化的特征(图8),而这一模态所解释的方差占总方差的贡献为13%,图9给出了这一模态的时间系数和NiNo3区海温距平,两者的相关系数高达0.5,显著性水平为0.01。这一结果表明秋季降水异常的第二模态(南北反相)很大程度上是来自于ENSO的影响。图10进一步给出了用2007年秋季NiNo3指数回归重建的2007年秋季的降水距平百分率,可以看到降水呈北多南少的分布,与实况秋季降水异常的分布型是比较一致的,而且在河套及甘肃西部地区回归得到的距平百分率超过了30%,在江南地区大部超过20%,部分地区超过了30%,与实况相比(图1)几乎占到了实况降水距平的50%以上。这些结果都表明2007年的La Niña事件对秋

季降水的影响比较重大。

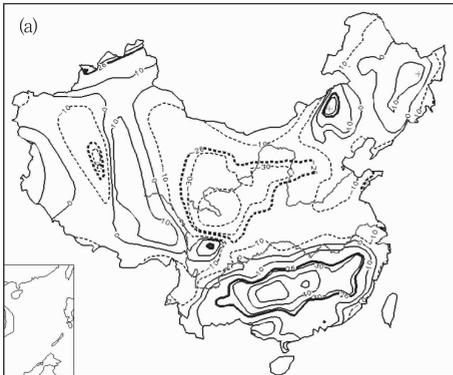


图 7a 秋季 NiNo3 指数与秋季降水的相关 (值大于粗线的区域为通过 95% 信度检验)

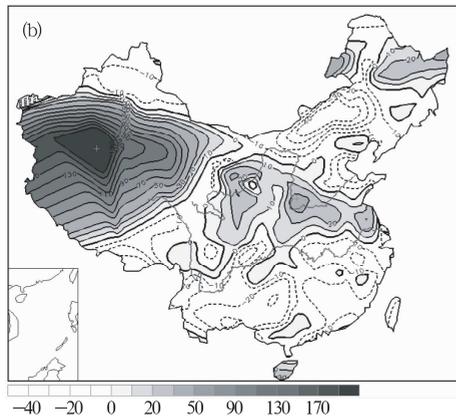


图 7b 夏秋发生 La Niña 的年份合成的秋季降水距平百分率

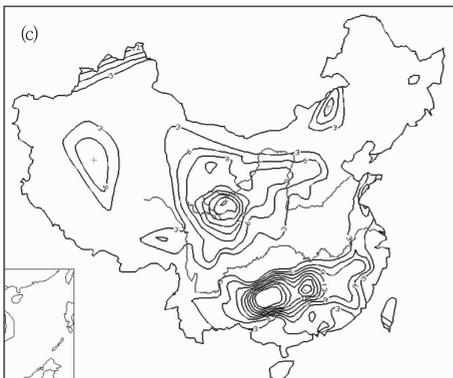


图 7c NiNo3 海温指数回归的我国秋季降水的方差占整个降水方差的百分比(%)

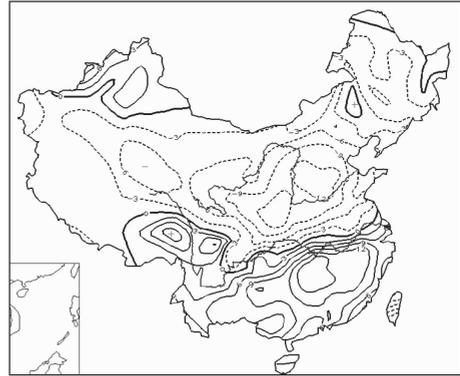


图 8 秋季降水距平 EOF 分析的第二模态空间载荷向量

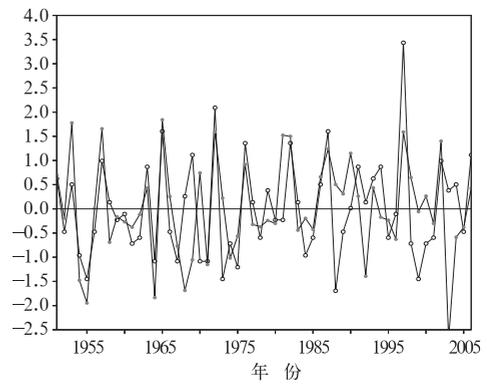


图 9 1951—2006 年标准化的秋季 NiNo3 海温距平(空心圆)和秋季降水距平 EOF 分析第二模态的时间系数(实心圆)

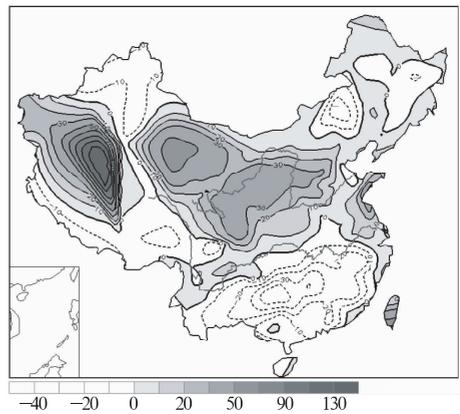


图 10 用 2007 年秋季 NiNo3 海温指数回归重建的 2007 年秋季降水距平百分率

从上面的分析表明,2007 年秋季的降水特征与 2007 年夏秋季开始的 La Niña 事件密切相关,那么大气环流的特征又如何呢?而 La Niña 事件又是如何影响我国秋季的降水分布呢?图 11 进一步给出了 6 次夏秋季发生的 La Niña 事件合成的 850hPa 水汽通量距平和水汽通量散度距平,以及 850hPa 高度场距平。由水汽通量距平和水汽通量散度距平可以看到,La Niña 年秋季来自在孟加拉湾和中南半岛经青藏高原东侧向我国北方地区的水汽输送加强,造成强的水汽辐合区主要位于我国华西和北方地区。从 500hPa 高度场距平看,从乌拉尔山到我国大陆东部为+ + 的距平分布,表明贝加尔湖阻高和巴尔喀什湖—贝加尔湖低槽的发展以及副高偏北,有利于高纬的冷空气活跃于我国的北方地区。同时,印缅地区高度场偏低,印缅槽偏深,加强了南海、孟加拉湾水汽沿高原东侧的西南季风向我国北方地区的输送。这些环流特征表明,La Niña 状态下,高原东侧的西南季风异常偏强,由于印缅槽偏强,异常偏多的水汽容易到达我国的北方地区,同时西太平洋副热带高压偏北,东亚大陆高度场易呈西低东高的分布,北方冷空气不断分离南下,冷暖气流交汇于我国北方地区,造成雨带异常偏北。表 1 进一步给出了 Nino3 区海温指数与西太平洋副高及印缅槽特征量的相关以及 2007 年秋季各特征量的距平,可以看到,除与副高强度相关较低外,Nino3 区海温指数与其他特征量的相关显著性水平都超过 0.05,其中与副高脊线和印缅槽的相关最大。相关关系表明,La Niña 状态下,西太平洋副高面积易偏小,位置偏北偏东,印缅槽偏深。从 2007 年各特征量的反映来看,除了副高面积和强度由于受到前期副高持续偏强的影响,仍偏大偏强外,其他特征量都反映出了 La Niña 的响应特征,表明 La Niña 对 2007 年秋季大气环流的影响还是很明显的。

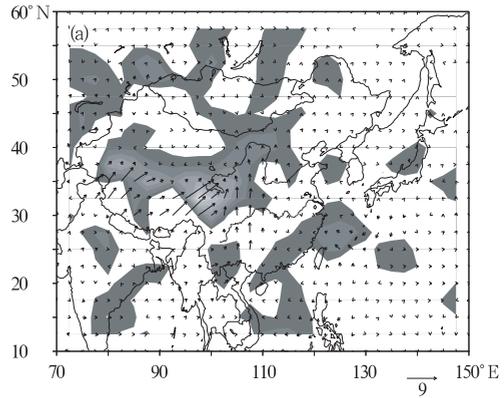


图 11a 夏秋季发生的 La Niña 事件合成的秋季 850hPa 水汽通量距平(矢量)和水汽通量散度距平(阴影区代表辐合)

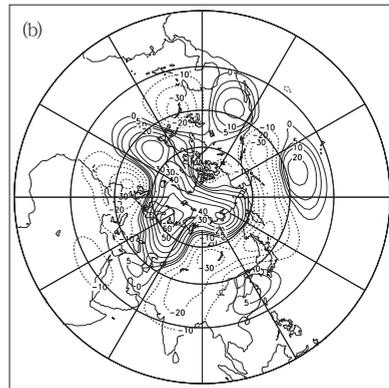


图 11b 夏秋季发生的 La Niña 事件合成的秋季 500hPa 高度场距平

表 1 环流特征量与 NiNo3 指数的相关及 2007 年秋季环流特征量距平

	与 NiNo3 指数 相关系数	2007 年 秋季距平
副高面积距平	0.36	4
副高强度距平	0.26	8
副高脊线距平	-0.49	3
副高北界距平	-0.32	3
副高西伸脊点距平	-0.31	8
印缅槽距平	0.43	-1

### 5 结语

分析 2007 年秋季我国北方地区降水异

常偏多的时空特征和大尺度环流特征,以及 La Niña 对秋季降水和大气环流的影响,结论如下。

(1) 2007 年秋季我国降水出现了典型的北多南少的分布,尤其 9 月和 10 月北方降水异常偏多,而江南、华南遭受了严重的秋旱。

(2) 秋季,尤其是 9 月和 10 月,南海和印缅地区高度场偏低,印缅槽偏强,高原东侧的西南季风异常活跃,加强了自孟加拉湾和南海的水汽向我国北方地区的输送,同时巴尔喀什湖—贝加尔湖为宽广的低槽区,不断分裂的短波槽携带冷空气南下,由于西太平洋副热带高压偏北,将冷空气主要阻挡在我国北方地区,冷暖气流交汇于我国北方地区,造成异常偏多的降水。

(3) 赤道中东太平洋海温对秋季降水有重要影响,表现为南北反相的变化(El Niño 事件对应北少南多,La Niña 事件对应北多南少),这种影响与秋季降水的 EOF 第二模态有密切联系,其可以解释我国秋季降水 10%左右的方差贡献。2007 年秋季降水异常型表现出了典型的 La Niña 的影响,2007 年的 La Niña 事件对秋季降水的影响比重较大。

(4) 赤道中东太平洋海温处于 La Niña 状态,来自孟加拉湾和中南半岛经青藏高原东侧向我国北方地区的水汽输送加强,造成强的水汽辐合区主要位于我国华西和北方地区。同时冷水状态造成西太平洋副热带高压偏北,东亚大陆高度场易呈西低东高的分布,北方冷空气不断分离南下,与西南暖湿气流交汇在我国北方地区,造成雨带异常偏北。

2007 年秋季大气环流的异常也表现出了典型的 La Niña 事件的影响。

**致谢:**本文在完成过程中,得到国家气候中心丁一汇院士、董文杰研究员、李维京研究员、罗勇研究员以及气候预测室、气候系统监测室、气候应用服务室很多同事的建议和帮助,在此一并致谢。

### 参考文献

- [1] 2007 年秋季气候特征及极端天气气候事件[R]. 气候影响评价. 国家气候中心, 2007.
- [2] 赵振国, 廖荃荪. 南方涛动与我国夏季降水[J]. 气象, 1991, 17(6): 33-37.
- [3] 倪允琪, 邹力, 张向东, 等. ENSO 及其对亚洲季风和我国气候变化影响的研究[J]. 气象科学, 1995, 15(4): 30-45.
- [4] 龚道溢, 王绍武. 近百年 ENSO 对全球陆地及中国降水的影响[J]. 科学通报, 1999, 44(3): 315-320.
- [5] 倪东鸿, 孙照渤, 赵玉春. ENSO 循环在夏季的不同位相对东亚夏季风的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(1): 48-54.
- [6] 陆丹. 1998 年秋到 1999 年春华南特大干旱气候成因[J]. 气象, 2001, 27(1): 48-52.
- [7] 黄荣辉, 陈文, 丁一汇, 等. 关于季风动力学以及季风与 ENSO 循环相互作用的研究[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 484-502.
- [8] 吴慧. 影响海南的热带气旋气候特征及其与 ENSO 的关系[J]. 气象, 2005, 31(12): 61-64.
- [9] 黄静. 影响广东的热带气旋与 ENSO 的关系[J]. 气象, 2006, 32(9): 55-59.
- [10] 龚道溢, 王绍武. ENSO 对中国四季降水的影响[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(4): 44-52.
- [11] 湛芸, 施能. El Niño/南方涛动与我国秋季气候异常[J]. 热带气象学报, 2003, 19(2): 137-146.
- [12] 李耀辉, 李栋梁, 赵庆云, 等. ENSO 对中国西北地区秋季异常降水的影响[J]. 气候与环境研究, 2000, 5(2): 205-213.
- [13] 白虎志, 董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象, 2004, 23(6): 884-889.