

王遵娅,任福民,王东阡,等. 2013. 2012 年海洋和大气环流异常及其对中国气候的影响. 气象, 39(4): 508-515.

2012 年海洋和大气环流异常及其 对中国气候的影响^{*}

王遵娅 任福民 王东阡 柳艳菊 王朋岭

国家气候中心, 北京 100081

提 要: 文章主要对 2011/2012 年冬季至 2012 年秋季的海洋和大气环流异常进行分析, 并讨论这些异常特征对中国气温和降水的主要影响。分析表明: 2012 年 3 月拉尼娜事件结束, 赤道中东太平洋在 7—8 月出现明显暖水波动, 之后进入正常状态。暖水波动使 9—10 月西太副高偏强偏西控制长江以南大部, 造成该地温高雨少; 8—9 月, 热带印度洋呈显著的偶极子正位相模态, 在热带东太平洋激发出异常反气旋, 其西北侧西南气流有利于暖湿气流影响中国华西南部出现明显秋雨。2012 年南海夏季风爆发偏早 1 候, 结束偏晚 2 候, 强度偏弱; 东亚夏季风为 1951 年以来第四强, 使得东亚夏季风雨带位置偏北, 中国北方大部夏季降水偏多。受海温和大气环流异常等的共同影响, 我国出现了冬冷、春夏热、秋冷和夏季降水“北多南少”的气候特征。

关键词: 拉尼娜事件, 印度洋偶极子, 大气环流, 夏季风, 气候异常

中图分类号: P461

文献标识码: A

doi: 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 04. 014

Anomalies of Ocean and Atmospheric Circulation in 2012 and Their Impacts on Climate in China

WANG Zunya REN Fumin WANG Dongqian LIU Yanju WANG Pengling

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: Anomalies of ocean and atmospheric circulations were analyzed and their impacts on temperature and precipitation anomalies were discussed. It is found that the warm condition was observed in the tropical central-eastern Pacific Ocean during July to August 2012 and then it changed into normal condition, following the La Nina event which ended in March 2012. As a response of circulations to the warm oceanic condition, the western Pacific subtropical high was stronger and extended further west, controlling most southern part of China and causing temperature higher and precipitation less than normal there during September to October. From August to September, significant Indian Ocean dipole with a positive phase persisted in tropical Indian Ocean. Then, an anomalous anticyclone was excited over eastern tropical Pacific Ocean, with southwest airflows along its northwest edge affecting Southwest China and resulting in obvious autumn rainy season in its southern part. In 2012, onset of South China Sea summer monsoon was 1 pentad earlier than normal and the ending was 2 pentads later than normal, and the intensity was weaker than normal. And East Asian summer monsoon was observed the 4th strongest since 1951. Under the impact of anomalies of ocean and atmospheric circulation, colder than normal winter of 2011/2012 and autumn of 2012, warmer than normal spring and summer of 2012 appeared in China. Summer precipitation distribution shows more than normal precipitation in northern China and less than normal precipitation in

^{*} 国家自然科学基金(40905036)资助

2013 年 1 月 15 日收稿; 2013 年 3 月 7 日收修定稿

第一作者: 王遵娅, 主要从事气候学和短期气候变化研究. Email: wangzy@cma. gov. cn

southern China.

Key words: La Niña event, Indian Ocean dipole, general circulation, summer monsoon, climatic anomaly

引 言

气候异常是大气环流异常的直接表现,而大气环流又在很大程度上受到海洋、雪盖、极冰等外强迫的影响。对大气和海洋异常特征进行分析,并讨论其与气候异常态的关联不仅有利于寻找造成气候异常的可能原因,而且为未来的预测提供了可能的思路 and 因子(高辉等,2008;张培群等,2009;艾婉秀等,2010;贾小龙等,2011;王朋岭等,2012)。为此,本文主要对 2011 年冬季至 2012 年秋季的海洋和大气环流异常进行分析,并介绍受此影响形成的中国气温和降水异常特征。

1 资 料

本文主要使用了 1961—2012 年 NCEP/NCAR 的 $2.5^{\circ}\times 2.5^{\circ}$ 逐日高度场、风场和比湿场等再分析资料。并使用了国家气象信息中心整编的中国地区 723 个台站 1961—2012 年月气温和降水量资料。本文使用的各要素气候平均值为 1981—2010 年平均值。

2 海温异常及影响

2.1 赤道中东太平洋海温

2011 年冬季至 2012 年秋季最主要的海温异常特征表现为:2012 年 3 月拉尼娜事件结束,赤道中东太平洋 7—8 月出现明显暖水波动,之后进入正常状态。

2011 年 9 月至 2012 年 2 月赤道中东太平洋发生了一次拉尼娜事件。大气环流对此次拉尼娜事件的响应主要表现在后期,尤其是夏季,西太平洋副热带高压(以下简称西太副高)脊线位置偏北,这造成了我国 2012 年夏季雨带明显偏北(张礼平等,2012;陈兴芳等,2000;王艳姣等,2013)。

继 2012 年 3 月拉尼娜事件结束后,赤道中东太平洋于 7—8 月出现厄尔尼诺状态。进入 9 月以后,日界线以东赤道中东太平洋区域的海表温度正异常明显减弱,9 和 10 月 Nino 3 区海温指数分别为

0.4°C 和 0.2°C ,连续两个月低于 0.5°C 的阈值标准,表明暖水波动已经结束,海温进入正常状态。并且,这种正常状态在 11 月仍继续维持。大气环流对 7、8 月赤道中东太平洋的暖水波动出现了比较明显的响应,主要表现在 9、10 月西太副高明显偏强且面积偏大(Sun et al. 1999; 李崇银等,1987; 应明等,2000)。偏大且偏强的西太副高在 10 月分裂为东西两个部分,东部偏东,不利于水汽向中国地区输送,使中国大部地区降水偏少;西部控制长江以南大部地区,造成中国南方地区降水异常偏少,气温偏高。

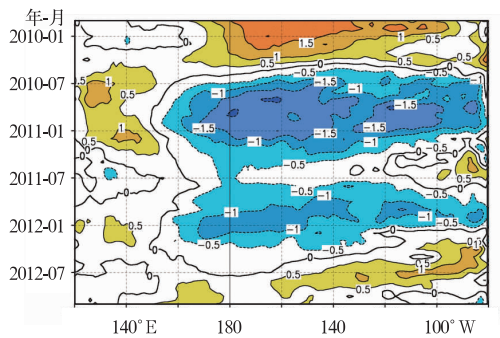


图 1 赤道太平洋海表温度距平的时间-经度剖面(单位: $^{\circ}\text{C}$)

Fig. 1 Time-longitude section of monthly mean equatorial SSTA of Pacific Ocean (unit: $^{\circ}\text{C}$)

对历史上于 1—4 月结束的拉尼娜事件(共 9 个个例)分析表明,拉尼娜事件结束后热带太平洋变化趋势主要分为两类:第一类是暖海温事件发展,其中 4 个个例于当年夏秋季形成一次厄尔尼诺事件,分别为 1957、1965、1972 和 1986 年,1 个个例(1976 年)暖水波动维持 5 个月;第二类是弱的海温负距平维持(2 个个例,分别为 2001 和 2008 年)或发展成一次新的拉尼娜事件(2 个个例,分别为 1962 和 2011 年)。2012 年,赤道中东太平洋海温经过短暂暖水波动后进入正常状态,类似海温演变特征在历史上较为少见。

2.2 印度洋海温

2012 年 8—9 月,热带印度洋呈东冷西暖的“偶极子”模态正位相。定义热带印度洋海温偶极子指数为热带西印度洋($10^{\circ}\text{S}\sim 10^{\circ}\text{N}$ 、 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{E}$)的海表

温度距平与热带东南印度洋(10°S~0°、90°~110°E)的海表温度距平差(Saji et al, 1999; Webster et al, 1999)。可以发现,8 月的偶极子指数已超过 1,而 9 月的偶极子指数也在 0.8 以上(图 2a)。大气对这种显著的印度洋偶极子模态产生响应,而在热带东印度洋上空激发出一范围较大的异常反气旋环流(图 2b)。该反气旋环流的存在有利于西太副高加强西伸,其西北侧的强西南气流携带丰沛的水汽经孟加拉湾深入我国华西南部和华南一带,对我国华西南部出现明显的秋雨起到了重要作用。

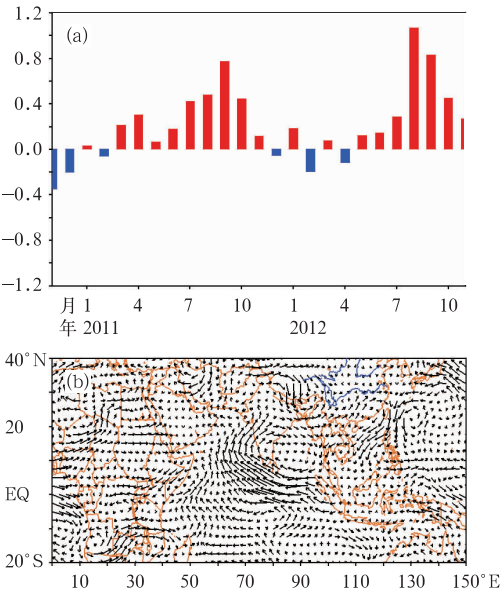


图 2 热带印度洋偶极子指数逐月变化(a)和 2012 年 9—10 月平均 850 hPa 风场距平分布(b,单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

Fig. 2 Monthly variation of tropical Indian Ocean dipole index (a) and 850 hPa anomaly wind distribution from September to October 2012 (b, unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

3 北半球大气环流异常及影响

3.1 2011/2012 年冬季

2011/2012 年冬季,东亚大槽偏强,阻塞活跃,冬季风偏强,气温显著偏低。

季内,北极涛动(AO)位相转换明显,其在 1 月中旬前维持显著的正位相,至 2 月中旬左右迅速转入负位相,短暂维持之后再次进入正位相。欧亚中

高纬 500 hPa 距平场自西向东维持“+ - + -”波列分布,东亚大槽明显偏强,大西洋和乌拉尔山地区阻塞偏强,尤其是 2 月中旬该地区阻塞活跃。整个冬季西伯利亚高压几乎都维持强度偏强的特征。根据国家气候中心东亚冬季风强度指数(朱艳峰, 2008)的监测结果,2011/2012 年冬季,东亚冬季风指数为 2.51(标准化值),与 1967 年并列为 1948 年以来第一高值,表明 2011 年为强冬季风年(图 3)。这样的环流异常型有利于来自中高纬地区的冷空气南下影响东亚东部地区,是造成 2011/2012 年冬季中国气温显著偏低的一个重要原因(孙丞虎等,2012)。

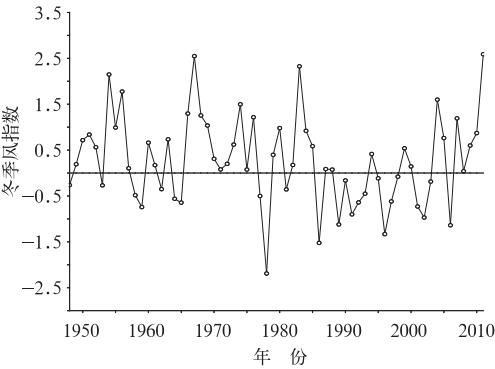


图 3 1948—2011 年东亚冬季风指数序列

Fig. 3 Time series of East Asian winter monsoon index during 1948—2011

3.2 春季

2012 年前春乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压发展,中期西太副高偏北,后期东北冷涡活跃且季风环流增强,华南前汛期降水经历“活跃—中断—活跃”。

4 月初至 5 月中期,欧亚中高纬环流呈“两脊一槽”型分布,乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压和贝加尔湖低压发展加强,使冷空气不断南下影响我国南方地区(图 4a)。同时,孟加拉湾和西太副高不断向该地区输送水汽。冷暖气流交汇形成锋面降水导致华南前汛期开始,华南进入第一个降水集中期。5 月下旬,南海夏季风爆发但阶段性偏弱,阻碍了夏季风环流的向北推进。而 ITCZ 北抬和西北太平洋台风活动使西太副高持续偏北,华南地区在副高主体控制下对流活动受到抑制进而雨季中断(图 4b)。6 月 3 候起,南海夏季风突然加强北推,其与台风活动相叠加使华南地区在异常气旋性环流控制之下。同

时,南海北上台风和东北冷涡的频繁活动使西太副高南落,且孟加拉湾季风槽出现再次加强,两者均促进南海及西北太平洋水汽向华南输送,华南前汛期雨季再次活跃,华南地区进入第二个降水集中期(图 4c)(袁媛等,2012)。

方地区交汇形成丰沛降水,东亚夏季风雨带整体偏北。进入 8 月份,环流调整,欧亚中高纬度以纬向环流为主,冷空气不活跃,我国大部地区降水偏少(图 5b)。

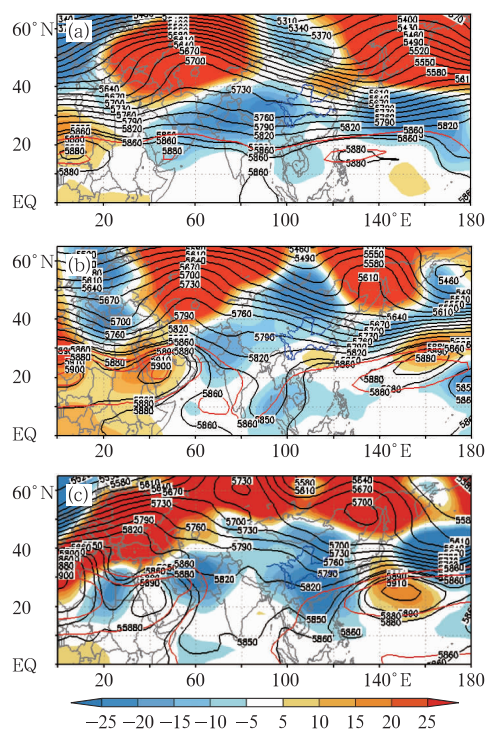


图 4 2012 年 4 月 2 候至 5 月 3 候(a), 5 月 4 候至 6 月 2 候(b)和 6 月 3—5 候(c) 各时段 500 hPa 平均位势高度(等值线) 和距平场(阴影)分布(单位: gpm)

Fig. 4 500 hPa mean geopotential height (contour) and anomalies (shaded areas) during three periods from April 6 to May 15 (a), from May 16 to June 10 (b) and from June 11 to 25 (c) 2012 (unit: gpm)

3.3 夏季

2012 年夏季,欧亚中高纬多短波槽活动,西太副高异常偏北,东亚夏季风明显偏强,使东亚夏季风雨带明显偏北。

6—7 月,500 hPa 高度场在欧洲东部至西西伯利亚以及东西伯利亚等地上空为异常正高度距平区,而贝加尔湖附近和巴尔喀什湖地区为低槽区,短波槽较为活跃并不断南下影响我国(图 5a)。同时,受强东亚夏季风的影响及对前期拉尼娜事件的大气环流响应,西太副高位置偏北。冷暖气流在我国北

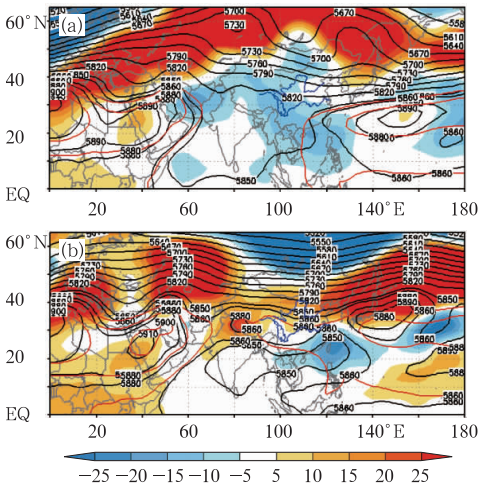


图 5 2012 年 6—7 月(a)和 8 月(b) 500 hPa 平均位势高度(等值线) 和距平场(阴影)分布(单位: gpm)

Fig. 5 500 hPa mean geopotential height (contour) and anomalies (shaded areas) in June—July (a) and August (b) (units: gpm)

3.4 秋季

2012 年秋季,欧亚中高纬持续“+ - +”形势,我国北方大部气温偏低,东北、华北地区降水持续偏多;环绕西太副高的反气旋环流范围较大,位置明显偏西,影响我国东南地区多雨。

秋季各月,欧亚中高纬的环流型变化不大,欧洲至乌拉尔山一带维持正高度距平,巴尔喀什湖—贝加尔湖至东亚大部一带为低槽控制,同时鄂霍茨克海阻塞高压发展并长期维持(图 6a)。这种异常型有利于冷空气不断向我国北方地区爆发南下,造成我国北方大部秋季气温较常年偏低。同时,在鄂霍茨克海阻高西南侧强东南气流的影响下,日本海和我国东海一带的异常东南水汽输送源源不断地进入我国东北、华北一带,在此与频繁活动的冷空气交汇形成范围较大的水汽辐合区,造成东北、华北地区的降水持续偏多(图 6b)。还可以注意到,虽然西太副高的主体较气候态偏弱、偏东,但由于环绕西太副高的反气旋环流范围较大,其西边界一直西伸到孟加拉湾地区,从而有利于来自低纬度的西南暖湿水汽

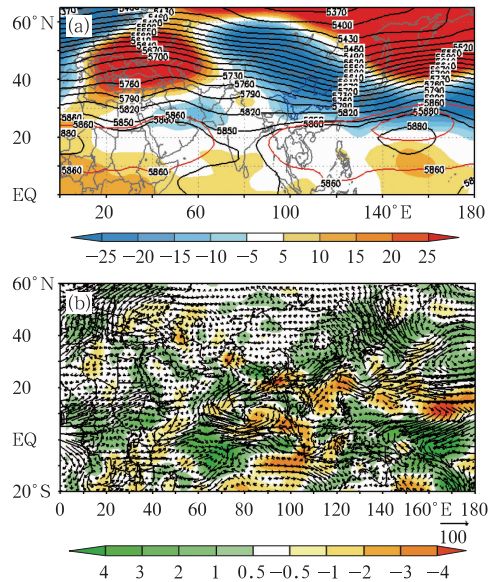


图 6 2012 年 9—11 月平均 500 hPa 位势高度 (a,等值线,单位: gpm)和距平场(a,阴影区,单位: gpm),整层积分的水汽输送通量距平 (b,箭头,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)和散度距平场 (b,阴影区,单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)

Fig. 6 500 hPa mean geopotential height (a, contour, unit: gpm) and anomalies (a, shaded areas, unit:gpm) and moisture transport anomalies vertically integrated from 1000 to 300 hPa (b, vector, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) and anomalies of divergence and convergence of moisture transport (b, shaded areas, unit: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) during September to November

向我国东南沿海输送,并与北方南下的冷空气交汇,在这些地区形成明显的水汽通量辐合,使该区域降水偏多。

4 亚洲夏季风特征及影响

2012 年南海夏季风爆发偏早 1 候,结束偏晚 2 候,强度偏弱;东亚夏季风为 1951 年以来第四强,有利于雨带偏北。

4.1 南海夏季风

2012 年南海夏季风于 5 月 4 候爆发,较常年偏早 1 候。9 月 2 候南海夏季风进入临近结束状态。10 月 2 候,随着北方干冷空气向南侵袭到华南沿海和南海北部地区,南海地区的热力性质发生明显改变,监测区上空的平均假相当位温已稳定降到临界

值(340 K)之下;同时,监测区上空的平均纬向风已稳定转为东风;对流层低层(850 hPa),索马里及 105°E 附近的越赤道气流显著减弱,赤道印度洋的西风也随之减弱,标志南海夏季风结束,结束日期较常年同期(9 月 6 候)偏晚 2 候,也是连续第 7 年结束偏晚(图 7)。2012 年南海夏季风强度指数为-0.47,较常年偏弱,主要在 6 月、7 月 5 候至 8 月 3 候,9 月 6 候至 10 月 1 候偏强,而其余时段以偏弱为主。

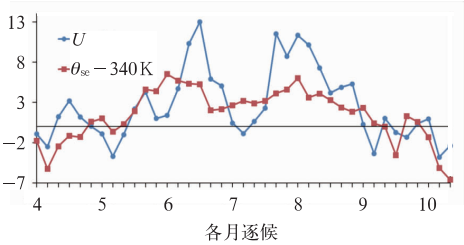


图 7 南海地区(10°~20°N,110°~120°E) 纬向风(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)和假相当位温与 340 K 差值(单位: K)的逐候演变
Fig. 7 Pentad evolution of zonal winds (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and pseudo-equivalent potential temperature (unit: K) over South China Sea (10°~20°N,110°~120°E)

4.2 东亚夏季风

东亚副热带夏季风指数(张庆云等,2003)显示,2012 年东亚副热带夏季风(6—8 月)明显偏强,强度指数 2.58,为近 62 年来第四高值,仅次于 1985 年(3.24)、1972 年(2.89)和 2004 年(2.72),并与 1978 年持平(图 8)。强东亚夏季风有利于夏季主雨带北推并维持在偏北的位置。事实也证明,2012 年夏季降水主要表现出了北方偏多的特征,新疆南部、甘肃西北部、青海、内蒙古大部、华北东部及辽宁等

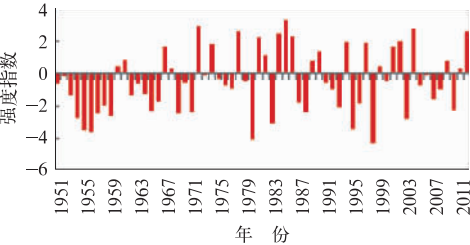


图 8 1951—2012 年东亚副热带 夏季风强度指数的逐年变化
Fig. 8 Annual variation of East Asian subtropical summer monsoon intensity index during 1951—2012

地降水较常年同期偏多 50% 以上。

4.3 夏季风雨带进退特征

2012 年 6 月 3 候以前,东亚副热带夏季风主要维持在我国华南至江南一带。江南地区于 6 月 7 日入梅,之后雨带逐渐北推,长江沿江和江淮地区于 6 月 6 候进入梅雨期。此后,随东亚夏季风的向北推进,雨带进一步向北扩张,于 7 月第 2 候抵达华东南部,此时华北雨季开始。8 月 5 候,随着副高的南落以及季风的南撤,季风雨带也开始南移。9 月 3 候,我国华西地区降水明显增多,华西进入秋雨期。9 月 5 候,季风雨带南移至长江以南,我国华南及其附近地区出现明显降水(图 9)。10 月 2 候,随着北方冷空气南下影响我国华南沿海和南海地区,南海地区的热力性质出现明显改变,夏季风开始撤离南海地区,南海夏季风结束。

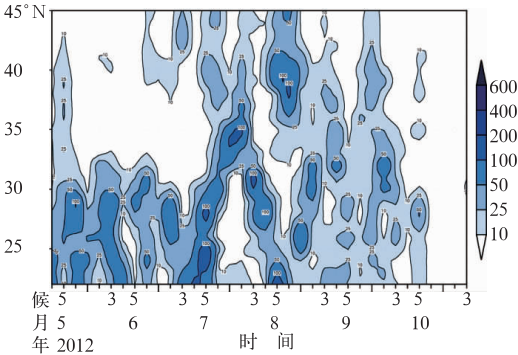


图 9 沿 110°~120°E 平均候降水量
纬度-时间剖面(单位: mm)
Fig. 9 Time-latitude section of 5-day-mean
precipitation along 110°–120°E (unit: mm)

5 中国气候异常

受前述海温、大气环流异常的影响,我国自 2011/2012 年冬季至 2012 年秋季出现了冬冷秋冷、春夏热和夏季降水“北多南少”的气候特征。

2011/2012 年冬季,全国平均气温 -4.8°C ,较常年同期(-3.8°C)偏低 1.0°C ,为 1986 年以来最低值。除青藏高原大部 and 云南气温偏高外,全国其余大部气温偏低,尤其是北方地区气温偏低尤为明显(图 10a)。冬季全国平均降水量 38.8 mm,接近常年同期(40.5 mm)。同样呈现出全国大部地区降水偏少的分布特征,仅新疆南部、青海、四川东部、东南沿海等地降水偏多 5 成至 2 倍(图 10b)。

2012 年春季(3—5 月),全国平均气温 10.5°C ,较常年同期(9.9°C)偏高 0.6°C 。除局部地区气温

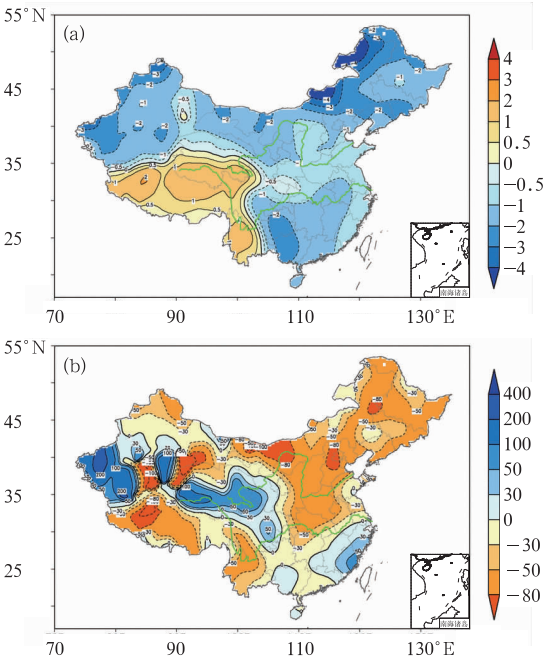


图 10 2011/2012 年冬季中国气温距平(a,单位: $^{\circ}\text{C}$)
和降水距平百分率(b,单位: $\%$)分布
Fig. 10 Temperature anomalies (a, unit: $^{\circ}\text{C}$)
and precipitation anomaly percentage
(b, unit: $\%$) for 2011/2012 winter in China

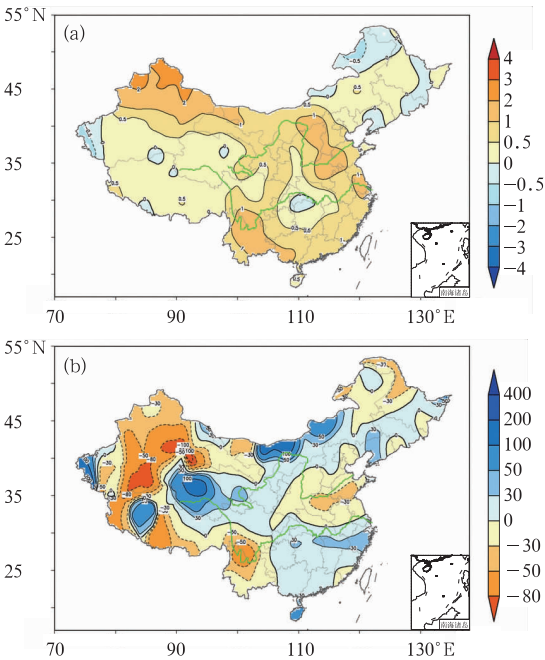


图 11 同图 10,但为 2012 年春季
Fig. 11 Same as Fig. 10, but for
the spring of 2012

偏低外,全国大部地区偏暖(图 11a)。季内,全国平均降水量为 144.3 mm,较常年同期(138.1 mm)偏多 5%。青海省西南部、内蒙古中西部、江南东北部等地降水偏多明显,而新疆、西藏南部、云南西北部等地降水偏少明显(图 11b)。

2012 年夏季,全国平均气温为 21.4℃,较常年同期(20.9℃)偏高 0.5℃。除东北中部和南部、华北大部、内蒙古东南部、西南东南部和广西东部等地气温偏低外,全国大部地区偏暖(图 12a)。夏季,全国平均降水量 332.9 mm,较常年同期(324.9 mm)偏多 2.5%。降水距平百分率呈“北多南少”分布,这主要是受东亚夏季风偏强影响所致(图 12b)。

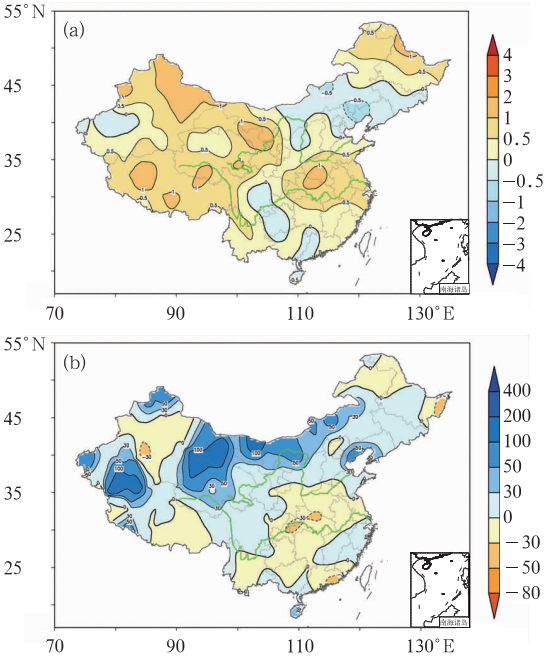


图 12 同图 10,但为 2012 年夏季
Fig. 12 Same as Fig. 10, but for the summer of 2012

2012 年秋季,全国平均气温 9.6℃,较常年同期(9.9℃)偏低 0.3℃。除新疆西南部、西藏西北部、青海西部、云南大部、河南大部和黑龙江中西部气温偏高 0.5~1℃;新疆中部、内蒙古中部和华北北部等地部分地区气温偏低 1~2℃外,全国其余大部气温接近常年同期(图 13a)。季内,全国平均降水量 135.1 mm,较常年同期(119.7 mm)偏多 12.7%。降水在空间分布上主要呈“东多西少”态势,而东部降水又自南向北呈“+ - +”的异常型,东北和内蒙古东部,江南东部降水明显偏多(图 13b)。

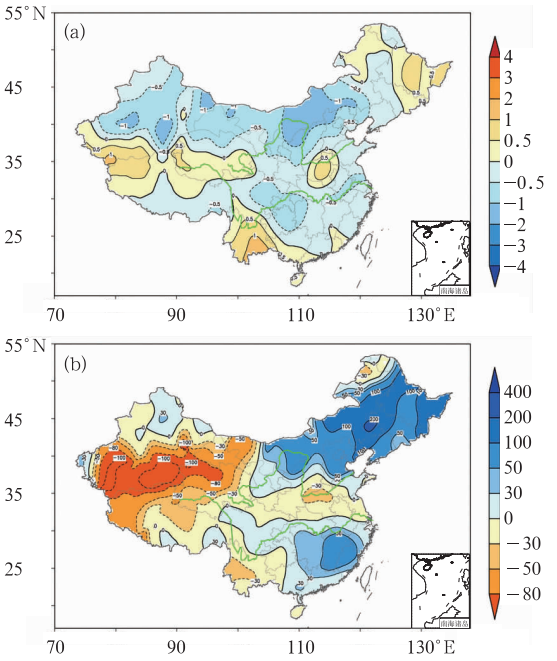


图 13 同图 10,但为 2012 年秋季
Fig. 13 Same as Fig. 10, but for the autumn of 2012

6 主要结论

对 2011/2012 年冬季至 2012 年秋季的主要海洋和大气环流异常及其对中国气温和降水的影响分析发现:

2011 年 9 月至 2012 年 2 月赤道中东太平洋发生了一次拉尼娜事件,受此影响,夏季副高脊线位置偏北,影响了我国 2012 年夏季雨带明显偏北。拉尼娜事件结束后,赤道中东太平洋于 7—8 月出现厄尔尼诺状态,大气环流在 9 和 10 月出现明显响应,西太副高偏强且面积偏大。8—9 月,热带印度洋呈“偶极子”模态正位相,在热带东印度洋上空激发出一范围较大的异常反气旋环流,有利于暖湿气流向我国华西南部和华南一带输送,对我国华西南部出现明显秋雨起到了重要作用。

2012 年南海夏季风爆发偏早 1 候,结束偏晚 2 候,强度偏弱;东亚副热带夏季风为 1951 年以来第四强,有利于雨带偏北,新疆南部、甘肃西北部、青海、内蒙古大部、华北东部及辽宁等地降水较常年同期偏多 50% 以上。

受东亚副热带夏季风活动影响,我国江南地区于 6 月 7 日入梅,长江沿江和江淮地区于 6 月 6 候

进入梅雨期;7 月 2 候华北雨季开始;8 月 5 候季风雨带开始南落;9 月 3 候华西秋雨开始;10 月 2 候南海季风结束。

2011/2012 年冬季,东亚大槽偏强,乌拉尔山和鄂霍茨克海阻塞高压发展,冬季风偏强,全国大部气温显著偏低。2012 年前春阻高活跃,仲春西太副高偏北,后期东北冷涡活跃且季风环流增强,华南前汛期降水经历“活跃—中断—活跃”。夏季,欧亚中高纬多短波槽活动,西太副高异常偏北,东亚夏季风明显偏强,使东亚夏季风雨带明显偏北。秋季,欧亚中高纬持续“+ - +”形势,我国北方大部气温偏低,东北、华北地区降水持续偏多;西太副高偏西,影响我国东南地区多雨。总体而言,2011/2012 年度冬季至 2012 年秋季,我国气候的主要特征为:冬冷、秋冷、春夏热,夏季降水“北多南少”。

参考文献

艾婉秀,孙林海,宋文玲. 2010. 2009 年海温和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象,36(4):101-105.

陈兴芳,赵振国. 2000. 中国汛期降水预测研究及应用. 北京:气象出版社,54-60.

高辉,王永光. 2008. 2007 年海温和大气环流异常对我国气候的影响. 气象,34(4):107-112.

贾小龙,陈丽娟,龚振淞,等. 2011. 2010 年海温和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象,37(4):446-453.

李崇银,胡季. 1987. 东亚大气环流与厄尔尼诺响应影响的一个分析研究. 大气科学,11(4):359-363.

孙丞虎,任福民,周兵,等. 2012. 2011/2012 年冬季我国异常低温特征及可能成因分析. 气象,38(7):884-889.

王朋岭,周兵,韩荣青,等. 2012. 2011 年海洋和大气环流异常及对中国气候的影响. 气象,38(4):472-479.

王艳姣,周兵,司东,等. 2012 年夏季我国降水异常及成因分析. 气象,39(1):118-122.

应明,孙淑清. 2000. 西太平洋副热带高压对热带海温异常响应的研究. 大气科学,24(2):193-206.

袁媛,任福民,王艳姣,等. 2012. 2012 年华南前汛期降水特征及环流异常分析. 气象,38(10):1247-1251.

张培群,贾小龙,王永光. 2009. 2008 年海洋和大气环流异常对中国气候的影响. 气象,35(4):112-117.

张庆云,陶诗言,陈烈庭. 2003. 东亚夏季风指数的年际变化与东亚大气环流. 气象学报,61(4):559-568.

张永平,张乐飞,曾平凡. 2012. ENSO 与中国东部夏季降水的关联. 热带气象学报,28(2):177-186.

朱艳峰. 2008. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚季风指数. 气象学报,66(5):781-788.

Saji, N H, Goswami B N, Vinayahandran P N, et al. 1999. A dipole mode in the tropical Indian Ocean. Nature, 401: 360-363.

Sun S Q, Ying M. 1999. Subtropical high anomalies over the western Pacific and its relations to the Asian monsoon and SST anomaly. Adv Atmos Sci, 16(4): 559-568.

Webster P J, Moore A M, Loschnigg J P, et al. 1999. Coupled ocean-atmosphere dynamics in the Indian Ocean during 1997-98. Nature, 401: 356-360.