

赵俊虎, 封国林, 王启光, 等. 2011. 2010 年我国夏季降水异常气候成因分析及预测 [J]. 大气科学, 35 (6): 1069–1078. Zhao Junhu, Feng Guolin, Wang Qiguang, et al. 2011. Cause and prediction of summer rainfall anomaly distribution in China in 2010 [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (6): 1069–1078.

2010 年我国夏季降水异常气候成因分析及预测

赵俊虎^{1, 2} 封国林² 王启光¹ 杨杰¹ 龚志强²

1 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

2 国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081

摘 要 对 2010 年我国夏季降水实况和预测进行回顾, 笔者认为优化多因子汛期降水客观量化预测方法因子组合中缺少前冬海温和积雪等外强迫因子可能是导致部分地区预测失败的主要原因, 通过 2010 年夏季降水异常的气候成因诊断分析并结合诊断回报的结果论证了这一判断。同时发现前冬海温和积雪异常的气候背景下, 亚洲夏季风系统各成员均发生不同程度的异常, 其中西太平洋副热带高压异常最为显著, 是造成 2010 年夏季降水异常的主要原因。最后, 在这一研究基础上笔者提出了改进优化多因子汛期降水客观量化预测方法的可能途径。

关键词 汛期降水 预测 诊断分析 海温距平 西太平洋副高异常

文章编号 1006–9895 (2011) 06–1069–10

中图分类号 P461

文献标识码 A

Cause and Prediction of Summer Rainfall Anomaly Distribution in China in 2010

ZHAO Junhu^{1, 2}, FENG Guolin², WANG Qiguang¹, YANG Jie¹, and GONG Zhiqiang²

1 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081

Abstract In reviewing both the observed and predicted summer rainfall in China in 2010, the authors have proposed a judgment that the lack of external forcing factors such as pre-winter sea temperature and snow when using the objective and quantitative prediction method of summer precipitation based on changeable configuration of optimal multi-factors may lead to forecast failure in some regions. Through the diagnostic analysis of possible climate causes of abnormal summer precipitation combined with the results of hindcast, the authors have verified this judgment. In addition, abnormality occurs in varying degrees within each member of Asian summer monsoon system in the context of pre-winter sea temperature and snow anomalies, and the western Pacific subtropical high is the most significant, which mainly induces the abnormal summer precipitation. At last, the authors put forth the possible ways to improve this prediction method.

Key words summer rainfall, prediction, diagnostic analysis, sea surface temperature anomaly (SSTA), anomaly of the western Pacific subtropical high

收稿日期 2011–01–01, 2011–04–21 收修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40930952、41105055, 公益性行业科研专项 GYHY200806005、GYHY201006021, 国家科技支撑计划 2007BAC29B01、2009BAC51B04

作者简介 赵俊虎, 男, 1985 年出生, 博士研究生, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: huzi348637577@sina.com

通讯作者 封国林, E-mail: fenggl@cma.gov.cn

1 引言

夏季汛期降水对国民经济特别是对农业生产影响极大,其中大范围的旱涝气候灾害的影响尤为严重(黄荣辉等,2006)。汛期降水是政府极为关注的重要问题,也是气象界长期以来研究的热点和难点。因此,深入地理解我国汛期降水的机理,并尽可能提前、准确地预测其分布对国民经济建设具有重大经济效益和社会效益。我国地处东亚,是典型的季风区,汛期降水一个显著的特点是年际变化大,影响因素多。在全球气候变暖背景下,某些灾害性天气气候事件更加频繁,且随着人们生活水平的提高,气象灾害造成的经济损失越来越大(张庆云等,2008)。2010年夏季中国极端强降水事件频发,但降水时空分布不均匀。6月,全国平均降水量较常年同期略偏少,其中长江以北较同期偏少2到6成,而长江以南大部地区降水较常年同期偏多2到5成,南方9省出现大到暴雨,部分地区大暴雨,部分县市出现洪涝、泥石流滑坡等灾害,经济损失严重。7月,长江流域发生3次明显的集中强降雨阶段,发生了有实测记录以来仅次于1998年的大洪水,大部分地区降水比常年同期偏多5成以上,其中湖北东南部和安徽西南部降水比同期多出一倍。因长江上游连降暴雨,21日16时在三峡坝区洪水出现最高峰值,为44000立方米每秒。7月19日至8月6日,辽宁先后经历了三轮大范围强降雨天气过程,从北向南、自西向东,三次大暴雨的袭击范围,几乎涵盖了辽宁全境,不管是从全省平均降雨强度,还是部分地区的累积降雨强度,都创造了1951年有气象记录以来的极值。吉林省在今年主汛期期间也出现五轮强降雨天气,全省出现48个站次暴雨(http://ncc.cma.gov.cn/Website/index.php?_MULTI_PAGE_START=255&.ChannelID=100 [2010-08-23])。

汛期降水有时可能是部分因素甚至是个别因素起主要作用,有时又可能是多种因素共同综合作用的结果。近年来,气象学者对汛期降水预测也进行了大量研究(魏凤英,1999;陈兴芳和赵振国,2000;封国林等,2001;曾庆存等,2003;李维京等,2005;Fan, et al., 2008;范可等,2008;龚志强等,2009)。归纳可知,汛期降水预测主要有两种方法,即统计方法和数值模式的动力学方法,二

者各有优缺点。因此,普遍的共识是:统计学方法与动力学方法要相互借鉴,融合发展(丑纪范,1986)。围绕二者如何有效结合的问题,丑纪范(1974, 2003)提出基于历史相似信息对动力模式的误差进行预报的思路,据此思路,众多学者进行了汛期降水预测研究(邱崇践和丑纪范,1989;任宏利和丑纪范,2005;郑志海等,2008)。王启光等(2011)利用国家气候中心1983~2010年T63L16模式的夏季降水预测结果、1951~2010年74项环流指数以及美国国家海洋和大气管理局(NOAA)发布的40个气候指数和美国气候预报中心组合降雨分析(CMAP)1983~2009年降水资料,发展了利用相似年的模式误差信息实现对预报年气候模式预测结果订正的优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法,有效地改进了模式的预测结果。

本文简要回顾了2010年夏季降水分布的观测和利用优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法初步预测的结果,通过对影响我国夏季降水的主要外强迫和亚洲夏季风系统进行诊断分析,特别是对西太平洋副热带高压异常成因及其对我国夏季降水的影响进行了分析,并探讨了El Niño、印度洋海表温度、大陆高压异常、南亚高压以及高空西风急流对副高和降水的可能影响。在此基础上,对优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法因子组合中的因子进行了再选取,对夏季降水进行了二次预测。

2 资料和方法

CMAP 1983~2010年降水资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$;NCEP/NCAR 1948年~2010年再分析 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的月平均风场和位势高度场资料,NOAA的1951~2010年40项月气候指数和1948年~2010年全球 $2^{\circ} \times 2^{\circ}$ 月平均海温重建资料;中国国家气候中心1983~2010年CGCM季节/年际预测业务系统模式预报的历史回报产品中的逐月降水场资料($2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$)、1951~2010年74项月环流特征量资料。主要采用优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法(王启光等,2011)、相关分析等方法。

3 夏季降水实况及预测

3.1 夏季降水分布

2010年夏季主要多雨带在长江中游,且呈从

南疆经青海、川渝至江南这样西北—东南向的多强降水中心分布特点,此外黄淮流域、东北南部等地区降水也偏多,而北疆、甘肃西北部、内蒙古、华北北部、东北中部、西南大部以及华南沿海等地区降水偏少(图1a)。优化多因子组合汛期降水客观定量预测方法初步预测结果与实况的距平相关系数(Anomaly Correlation Coefficient, ACC)为0.10。预测的主要雨带位于长江中游和黄淮流域及其中间地区,内蒙古东部、东北中部、西藏东南部、青海大部、甘肃西北部和西南地区降水也偏多。其中主雨带和西藏东南部、青海大部的多雨区和北疆、四川南部以及华南等少雨区与实况相符,而内蒙古大部、东北、甘肃西北部、西北东部和西南地区的预测结果与实况差异较大(图1b)。

3.2 预测方法

优化多因子组合汛期降水客观定量预测方法针对不同区域,首先进行单因子相似误差订正交叉检验的平均ACC从大到小排序,通过逐步增加因子个数(因子数为10个左右时ACC较高且稳定,这里选取因子个数分别为9、10、11)得到不同因子个数下预报年前期历史交叉检验ACC评分最高的因子组合,对因子组采用EOF分解提取占80%的主分量,通过计算欧氏距离得到每种因子组合选取的4个相似年,结合历年模式误差分别选取相似误差场,将各相似年误差场根据重复出现的次数加权集合平均,结合2010年模式预测结果,得到基于优化多因子组合汛期降水客观定量预测的2010年汛期降水分布(图1b)。

从ACC排序选取的各区因子组合表(略)发现,出现频率较高的因子是北半球和东半球副高系统,其次,亚洲经向环流、极涡以及台风等也是重要组成因子,但因子组中缺少直接体现2010年前冬海温和积雪异常的指数。事实上2009年秋~2010年春是典型的中部型El Niño年,同时欧亚、高原积雪也出现异常,而大气环流因子(即大气内部动力过程)变化快、变率大,对后期气候影响的时间尺度比海洋和积雪等外强迫小,因此,因子组合中缺少前冬海温和积雪等外强迫因子可能是导致部分地区预测失败的主要原因,下文将通过对2010年夏季降水异常的气候成因进行诊断分析并结合降水回报检验这一认识。

4 夏季降水异常气候成因分析

我国夏季旱涝受亚洲季风、中纬度阻塞高压、西太平洋副热带高压(简称副高)以及太平洋、印度洋及其邻近海域的海温状况和积雪等因子的影响(陈烈庭,1977),其中太平洋、印度洋等我国邻近海域都位于中、低纬地区,它们是全球接受太阳辐射最多的地区,其所引发的海气相互作用,对我国天气、气候的变化起着十分重要的作用。在夏季,印度洋、太平洋通过季风向我国输送的水汽及各种能量占有举足轻重的地位,各支季风气流在到达我国的过程中受到阿拉伯海、孟加拉湾、南海等不同下垫面热力状况的影响,这将会导致季风发生改变,直接影响到我国雨带的分布(肖子牛等,2000)。本节将通过2009~2010年太平洋、印度洋海温和积雪等异常外强迫,并联系环流异常来综合分析2010年中国夏季降水异常的可能原因。

4.1 海温异常对夏季副高的影响

El Niño与我国夏季降水关系的研究过去已有大量工作,尤其是El Niño盛期次年夏季的降水。金祖辉和陶诗言(1999)的研究结果指出:El Niño次年夏季长江流域和江南北部地区降水偏多,其南北两边降水偏少。2009~2010年中东太平洋海表温度明显异常,即El Niño事件,其通过海气相互作用导致夏季副高异常,进而影响我国夏季降水。

4.1.1 海表温度异常特征

2009年4月中东太平洋La Niño事件结束后,6月中东太平洋海温开始增高,到12月日界线以东至100°W地区大部海温较常年同期偏高1℃以上,正距平中心位于赤道中太平洋附近,即Niño3.4区,中心值大于2℃(图2),因此这是一次较强的中部型El Niño事件。2009年12月Niño3.4区指数为1.94℃,达到峰值,此后El Niño事件呈不断减弱趋势。2010年5月,El Niño事件明显减弱,5月Niño3.4指数为0.36℃,赤道中东太平洋SSTA已逐渐恢复到正常状态,El Niño事件结束。此外,从2009年夏季到2010年夏季,北印度洋海表温度也有一个从冷—暖—正常的变化过程,暖中心位于西北印度洋。

4.1.2 海温对副高的影响

副高是东亚夏季风系统主要成员之一。赵振国(1996)指出,副高对赤道东太平洋海温的响应落

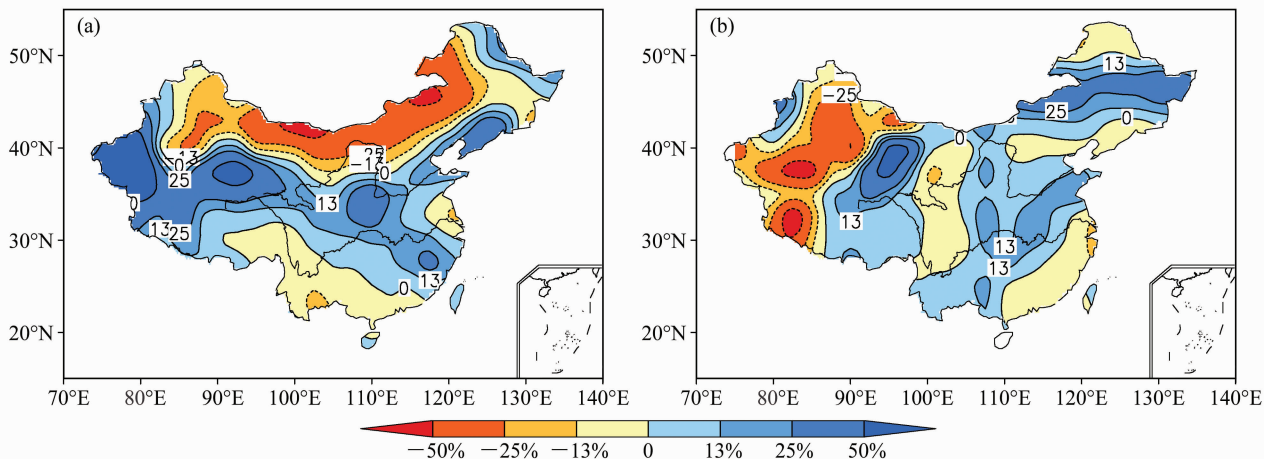


图1 2010年夏季(6~8月)降水距平百分率分布:(a)观测;(b)预测

Fig. 1 Distributions of (a) observed and (b) predicted summer rainfall anomaly percentages in 2010

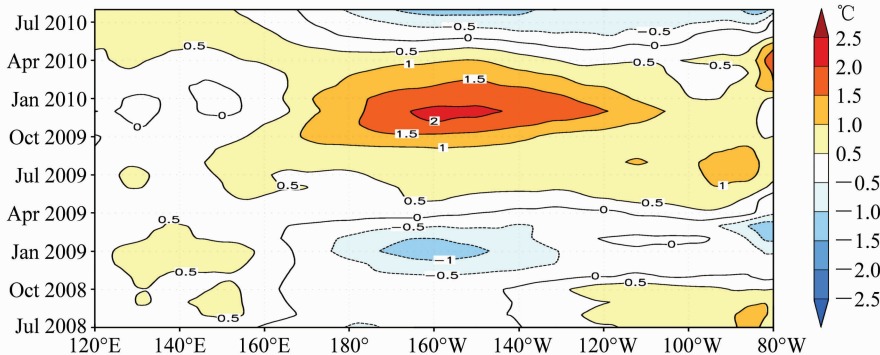


图2 赤道太平洋海表温度距平(单位:℃)时间—经度剖面

Fig. 2 Time-longitude section of mean equatorial Pacific SST anomaly (SSTA)

后4~6个月,副高的变化进而影响我国气温、降水的变化。应明和孙淑清(2000)研究发现,赤道中东太平洋的SSTA与副高密切相关,即在El Niño事件发生后当年冬季和次年夏季副高明显偏强。蒋国荣等(1991)研究了印度洋海温对副高的作用,结果表明冬春北印度洋海区海温偏暖,有利于夏季副高偏强与西伸。

图3给出了2010年6、7、8月沿5°N~20°N的垂直距平环流图,可以看到,热带中东太平洋和西北印度洋地区均为正距平的上升气流,中东太平洋地区的上升气流通过逆时针旋转的Walker环流在西太平洋地区形成下沉距平气流,而西北印度洋上空的上升气流通过顺时针旋转的纬向季风环流也在西太平洋地区形成下沉距平气流。西太平洋地区受暖池的影响,整个夏季的多年平均为上升气流区。2010年夏季该地区的下沉距平气流显然是受

到中东太平洋与西北印度洋正的海温距平的影响,说明中东太平洋和印度洋前期异常海温通过海气相互作用导致夏季副高偏强、西伸。

4.2 冬季积雪异常情况下高空急流和南亚高压的异常及其对副高和降水的影响

副高作为大气环流系统中重要的一员,其变化不是孤立的,东亚西风带大气环流系统和南亚高压的异常和调整对副高的强度和位置变化影响很大。穆松宁和周广庆(2010)研究指出,前冬欧亚积雪偏多年的夏季,东亚副热带西风急流增强,有利于副高加强、西伸和北扩。2009/2010年冬季,欧亚积雪面积异常偏大,而青藏高原积雪面积偏小。本节将从2010年夏季副热带西风急流的变化和南亚高压的异常来分析其对副高和降水的影响。

图4a、c、e是2010年夏季6、7、8月200 hPa急流、南亚高压与500 hPa高度场的配置,图4b、

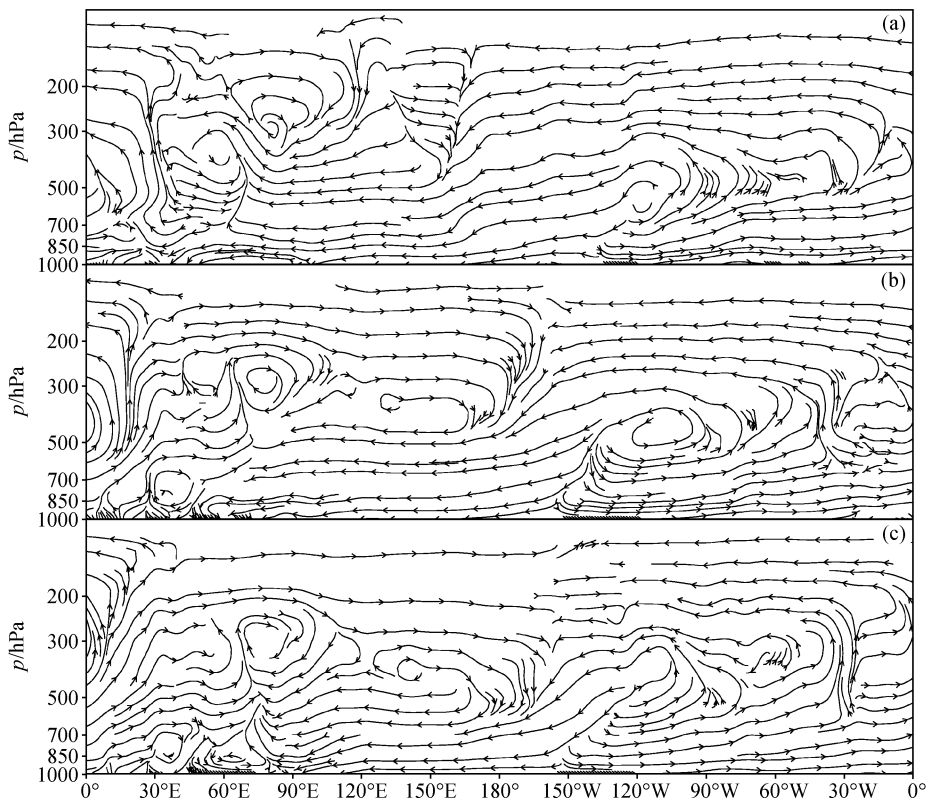


图 3 2010 年沿 $5^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ 的垂直距平环流图: (a) 6 月; (b) 7 月; (c) 8 月

Fig. 3 Longitude-height sections of vertical circulation anomalies averaged over $5^{\circ}\text{N}\sim 20^{\circ}\text{N}$ in (a) Jun, (b) Jul, and (c) Aug of 2010

d、f 是对应的多年平均情况。夏季 200 hPa 急流基本位于 40°N 纬度带上, 2010 年与多年平均均如此, 但强度和位置却有明显差异。2010 年 6 月, 东亚上空的高空急流在 40°N 以南, 中心位置在 125°E 左右, 我国东南部地区正好位于急流入口区南端, 次级环流在该地区形成上升运动, 不利于副高的继续北抬, 造成这一阶段我国长江以南地区的强降水。7 月, 急流北移至 40°N , 中心位置在 85°E 左右。8 月, 急流北移至 40°N 以北, 强度和范围明显强于多年平均, 并出现两个强急流中心, 分别位于 90°E 和 140°E 左右, 辽宁、吉林两省位于东部急流入口区南端, 造成这一阶段两省持续的强降水。同时, 我国北方上空的西风槽减弱, 利于副热带高压的西伸北抬。此外, 由于 2010 年前冬青藏高原积雪偏少, 高原夏季的感热加强, 一方面利于高原东北侧多雨, 西北北部少雨 (李栋梁等, 1997); 另一方面高原对大气的加热作用显著, 使得南亚高压较常年异常偏高、偏大和东扩, 有利于下层副高加强、西伸。由图 4a、c、e 可见, 副高西伸, 与南亚高压呈上下叠加的高压分布, 其中 8 月最为显著,

二者之间形成的次级环流是典型的暴雨触发机制。综上, 由于前冬欧亚积雪异常偏多和高原积雪偏少, 2010 年夏季高空西风急流的异常以及南亚高压偏强东扩对副高的加强、西伸有一定的促进作用, 且强急流也是 2010 年夏季多暴雨的重要成因。

4.3 副高与雨带的关系

副高与我国夏季降水有着密切的关系 (张庆云和陶诗言, 2003), 其强度和位置变化对夏季降水都有着一定的制约作用, 副高强度和西伸脊点与我国夏季大范围降水的多寡趋势有关, 而脊线位置则与夏季雨带位置有关, 雨带的位置大约在副高脊线以北 $5\sim 10$ 个纬度。

2010 年夏季副高变化有如下特点:

(1) 在前冬海温、积雪等影响下, 2010 年夏季平均的副高面积与 1998 年并列为 1951 年以来第 1 位, 强度超过 1998 年为历史最强, 西伸脊点偏西的程度为历史第 1。由 25°N 的 500 hPa 高度场的经度-时间剖面图 (略) 可见, 2010 年的副高西伸脊点多次伸展到 100°E 以西地区, 而在 30 年平均图上, 副高最西影响到 100°E 以东地区。7 月上旬

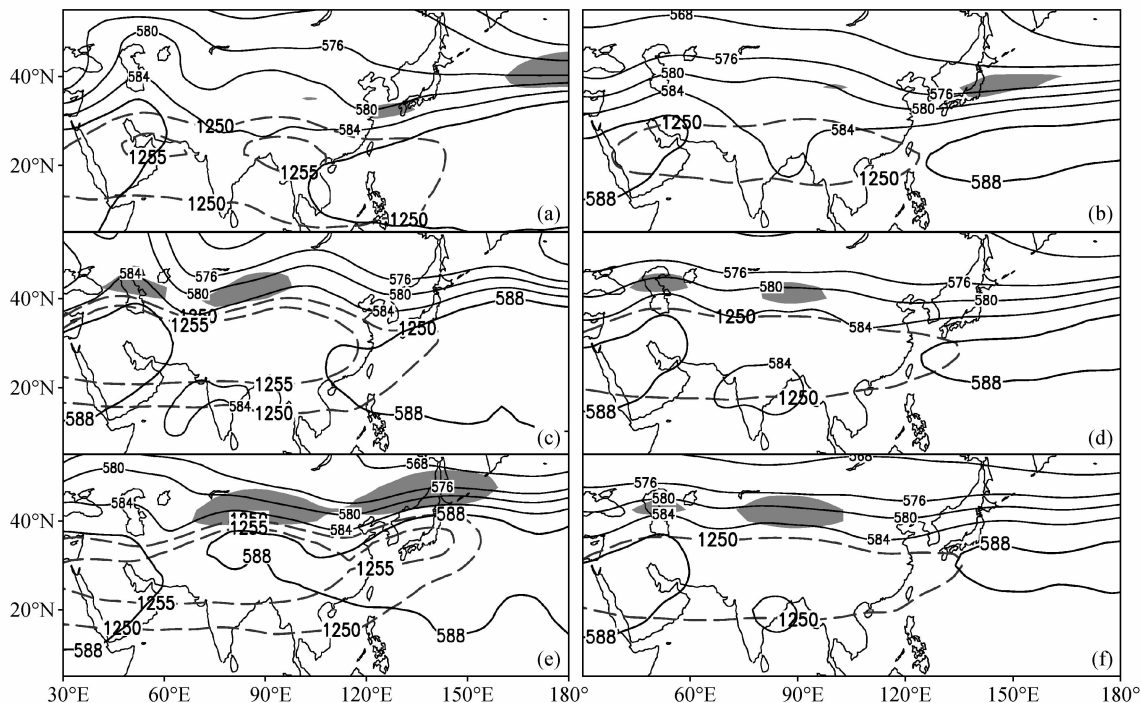


图4 2010年(a、c、e)和1981~2010年多年平均(b、d、f)的夏季200 hPa高度场(虚线,单位: dagpm)、急流和500 hPa高度场(实线;单位: dagpm)分布:(a、b)6月;(c、d)7月;(e、f)8月。阴影: 纬向风速 $U \geq 30$ m/s

Fig. 4 200-hPa geopotential height (broken line; units: dagpm), upper westerly jet (shading), and 500-hPa geopotential height (solid line; units: dagpm) (a, c, e) in 2010 and (b, d, f) averaged from 1981 to 2010: (a, b) Jun; (c, d) Jul; (e, f) Aug. Shaded areas denote zonal wind speed greater than 30 m/s

和8月中下旬西伸最明显,最西伸展到 90°E 以西,每次西伸都对应着长江中上游以及西北中东部地区的强降水。

(2) 副高的南北进退出现异常: 副高脊线6月偏南,7月接近正常,8月偏北。从图5可见,6月副高中心在 $15^{\circ}\text{N} \sim 25^{\circ}\text{N}$ 之间南北移动,雨带在华南和江南,导致长江流域入梅偏晚。7月中旬,副高北跳至 30°N 左右,强度加强,长江流域进入梅雨期。8月上旬副高再次北跳,中心在 35°N 附近,面积较大强度较强且稳定,副高北界最高达到 43°N ,华北进入主汛期。8月下旬,副高加强西伸,四川到东北南部一带地区正好处于副高西北侧或北侧,出现了大范围持续性强降水。同时江南、华南处于稳定副高控制下,出现了高温天气。

4.4 环流状况及其对降水的影响

从环流来讲,我国东部及西南地区夏季降水既与东南面的副高、夏季风有关(张庆云和陶诗言,1998),又与中高纬的阻塞高压(杨义文,2000)和大陆高压(谭桂容等,2008)相关,还受北极涛动

(杨辉和李崇银,2008)以及南半球的越赤道气流(范可和王会军,2006a)和南极涛动(高辉等,2003)的影响,是南北半球高低纬环流相互作用的结果;而西北地区夏季降水与500 hPa环流配置密切相关,降水的多少主要由偏西风 and 偏南风输送水汽的强弱决定(何金海等,2005)。

2010年夏季南半球越赤道气流偏弱,导致南海季风异常偏弱,同时东亚夏季风也偏弱,但阶段性变化显著;乌拉尔山阻高从6月上旬建立,并异常维持到8月上旬,形成冷空气南下,利于西北地区和长江流域降水;北极涛动异常弱,利于副高偏强,东亚高空西风急流偏强(杨辉和李崇银,2008);南极涛动弱,利于夏季副高北抬(范可和王会军,2006b);贝加尔湖南侧大陆高压正异常(图6),通过高低纬环流相互作用削弱了东亚夏季风的影响,使与其相联系的季风水汽输送减弱,从而造成我国夏季降水异常,不利于北方降水,我国 40°N 以北大部地区夏季降水较往年同期异常偏少,主要多雨带南压,西北中部地区降水也偏多。另一方面,

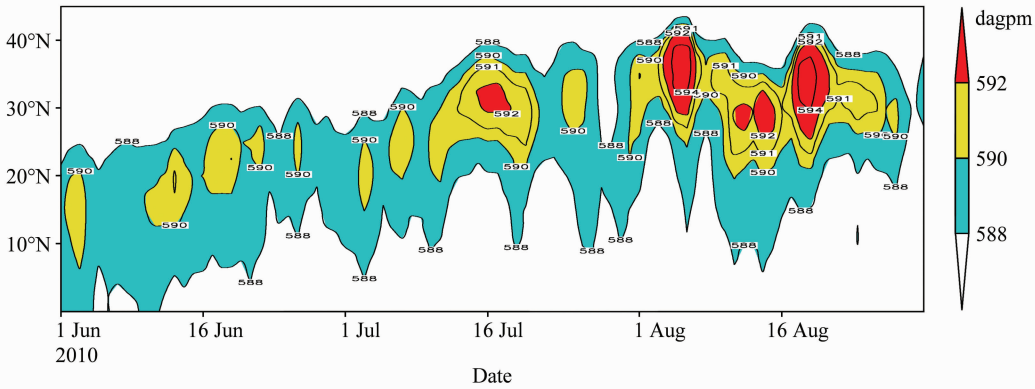


图 5 2010 年 6~8 月沿 110°E~160°E 纬向平均的 500 hPa 高度场的纬度—时间剖面 (单位: dagpm)

Fig. 5 Time-latitude cross section of geopotential height at 500 hPa averaged between 110°E and 160°E from Jun to Aug in 2010

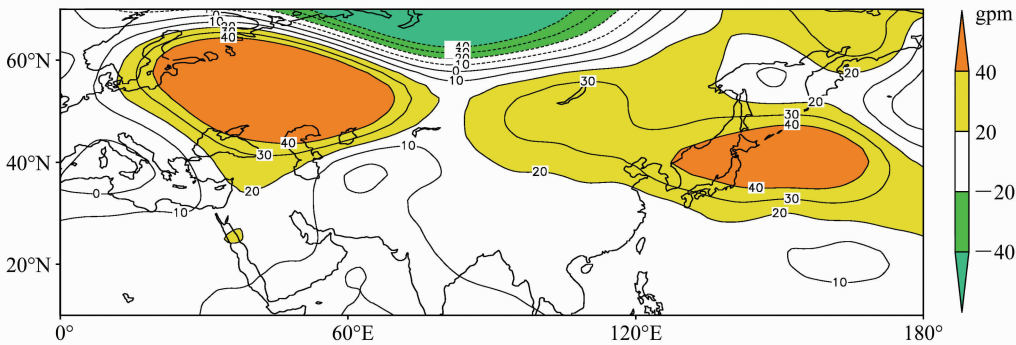


图 6 2010 年 6~8 月 500 hPa 位势高度距平场 (单位: gpm)。彩色阴影: 位势高度距平绝对值达 20 gpm

Fig. 6 Summer 500-hPa height anomaly (gpm) field in 2010 (shaded areas denote the height anomaly over 20 gpm or below -20 gpm)

西北太平洋台风偏少, 导致华南、华东降水偏少。

5 2010 年夏季降水诊断回报

优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法针对各个区域的汛期降水进行预测, 而有些气候系统的异常并不会影响到每个地区, 因此在针对各区域汛期降水的前期因子进行甄别时, 需要考虑这些因子异常是否会影响该区域的汛期降水。初次预测的因子组合仅由 ACC 排序进行选取, 事实上的因子与夏季降水相关较差, 且影响机理不明确, 因此需要对各区的因子组合中的因子进一步诊断和选取。

首先通过对各区因子与其夏季降水进行相关性检验, 剔除相关性较差的因子 (未通过 95% 信度检验), 并考虑因子潜在的物理意义和合理性, 剔除伪相关的因子。通过第 4 节的分析可知, 前冬海温和积雪的异常是导致 2010 年夏季降水异常分布的关键气候成因, 因此添加单因子交叉检验 ACC 较高且与夏季降水相关性较好的部分海洋和积雪因

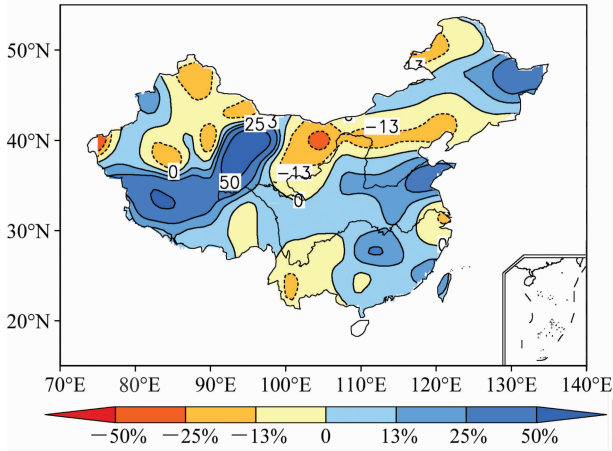


图 7 因子再选取后预测的 2010 夏季 (6~8 月) 降水距平百分率分布

Fig. 7 Distribution of summer rainfall anomaly percentages in 2010 predicted by factors reselection

子, 最后得到新的因子组合。利用优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法对模式误差进行二次预报, 得到 2010 年降水诊断回报结果 (图 7)。

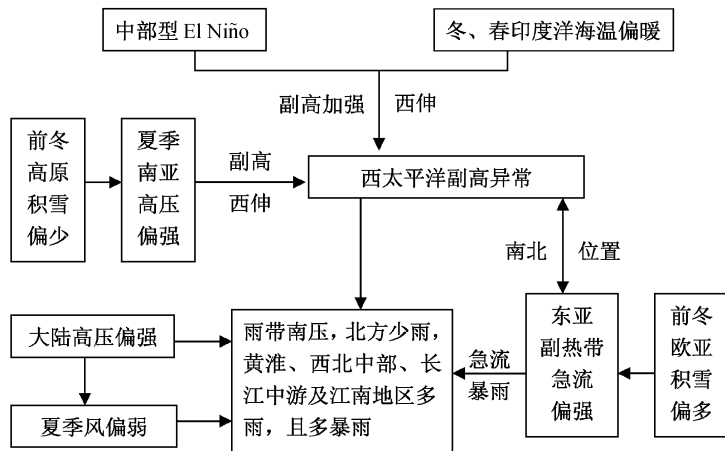


图 8 2010 年中国汛期降水异常机理分析

Fig. 8 The possible mechanism of anomaly distributions of summer rainfall in 2010

诊断回报的 ACC 由初次预测的 0.10 提高到 0.26, 对初次预测中与实况差异较大的内蒙古大部、东北、华东、西藏等区域的预测结果改进明显, 仅西北中东部、西南南部和新疆等部分地区与实况不符。

6 结论和讨论

对我国 2010 年夏季降水实况及预测进行回顾, 分析了 2010 年夏季降水异常的可能气候成因。在此基础上, 通过对优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法中的因子组合进行再选取和降水回报, 验证了 2010 年前冬海温和积雪的异常是导致夏季副高偏强、西伸和降水异常的主要原因, 具体结论如下:

(1) 2010 年夏季我国主雨带在长江中游, 且呈从南疆、青海经川渝至江南这样西北—东南向的多强降水中心分布特点, 此外黄淮流域、东北南部等区域降水也偏多。优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法初步预测结果 ACC 为 0.10, 预测的主要雨带位于长江中游和黄淮流域及其中间地区。

(2) 前冬海温和积雪的异常是导致 2010 年夏季副高偏强、西伸的主要原因, 而副高的异常主导着降水分布。同时中高纬大陆高压正异常、夏季风偏弱等综合作用, 造成雨带南压, 长江流域及其以南地区多雨, 而我国北方少雨。图 8 给出了海温、积雪以及亚洲夏季风系统的配置及其对降水的影响。

(3) 在分析 2010 年夏季降水异常的气候成因的基础上, 通过对优化多因子组合汛期降水客观定

量化预测方法中的因子组合进行新的筛选, 并进行降水诊断回报, 回报结果较初次预测有明显的改进, 从而验证了前冬海温和积雪的异常是导致 2010 年夏季降水异常分布的主要气候成因。

大气环流因子变化快、变率大, 对后期气候影响的时间尺度比海洋和积雪等外强迫小, 因此因子组合中考虑前冬海温和积雪等外强迫因子是提高优化多因子组合汛期降水客观定量化预测方法预报技巧的有效途径之一。此外, 影响短期气候的因子众多, 而目前对这些因子影响的相对强弱和综合影响效果的认识还不十分清楚, 影响了对汛期降水的准确把握。因此, 加深对因子间的相互作用与配置的认识对短期气候预测有重要的意义。

参考文献 (References)

陈烈庭. 1977. 东太平洋赤道地区海水温度异常对热带大气环流及我国汛期降水的影响 [J]. 大气科学, 1 (1): 1-12. Chen Lieting. 1977. The effects of the anomalous sea-surface temperature of the equatorial eastern Pacific Ocean on the tropical circulation and rainfall during the rainy period in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 1 (1): 1-12.

陈兴芳, 赵振国. 2000. 中国汛期降水预测研究及应用 [M]. 北京: 气象出版社, 65-99. Chen Xingfang, Zhao Zhenguo. 2000. A Study on Forecasting Summer Time Precipitation in China and Its Application (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 65-99.

丑纪范. 1974. 天气数值预报中使用过去资料的问题 [J]. 中国科学, (6): 635-644. Chou Jifan. 1974. A problem of using past data in numerical weather prediction [J]. Scientia Sinica (in Chi-

- nese), (6): 635–644.
- 丑纪范. 1986. 为什么要动力—统计相结合? ——兼论如何结合 [J]. 高原气象, 5 (4): 367–372. Chou Jifan. 1986. Why to combine both statistical and dynamical methods together? —Also discuss how to combine [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 5 (4): 367–372.
- 丑纪范. 2003. 短期气候预测的现状、问题与出路 (一) [J]. 新疆气象, 26 (1): 1–4. Chou Jifan. 2003. Short term climatic forecast: Present condition, problems and way out [J]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology (in Chinese), 26 (1): 1–4.
- 范可, 王会军. 2006a. 有关南半球大气环流与东亚气候的关系研究的若干新进展 [J]. 大气科学, 30 (3): 402–412. Fan Ke, Wang Huijun. 2006a. Studies of the relationship between southern hemispheric atmospheric circulation and climate over East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (3): 402–412.
- 范可, 王会军. 2006b. 南极涛动异常与 2006 年我国东部夏季降水形势预测 [J]. 应用气象学报, 17 (3): 383–384. Fan Ke, Wang Huijun. 2006b. The AAO anomaly and prediction of summer rainfall in East China in 2006 [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 17 (3): 383–384.
- 范可, 林美静, 高煜中. 2008. 用年际增量方法预测华北汛期降水 [J]. 中国科学 (D 辑), 38 (11): 1452–1459. Fan Ke, Lin Meijing, Gao Yuzhong. 2008. Forecasting the summer rainfall in North China using the year-to-year increment approach [J]. Sci. China (Ser. D) (in Chinese), 38 (11): 1452–1459.
- Fan Ke, Wang Huijun, Choi Young-Jean. 2008. A physically-based statistical forecast model for the middle-lower reaches of the Yangtze River valley summer rainfall [J]. Chinese Science Bulletin, 53 (4): 602–609.
- 封国林, 曹鸿兴, 魏风英, 等. 2001. 长江三角洲汛期预报模式的研究及其初步应用 [J]. 气象学报, 59 (2): 206–212. Feng Guolin, Cao Hongxing, Wei Fengying, et al. 2001. On area rainfall ensemble prediction and its application [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 59 (2): 206–212.
- 高辉, 薛峰, 王会军. 2003. 南极涛动年际变化对江淮梅雨的影响及预报意义 [J]. 科学通报, 48: 87–92. Gao Hui, Xue Feng, Wang Huijun. 2003. Influence of interannual variability of Antarctic Oscillation on Mei-yu along the Yangtze and Huaihe River valley and its importance to prediction [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 48: 61–67.
- 龚志强, 支蓉, 封国林, 等. 2009. 中国近 530 年干湿变化及其持续性特征研究 [J]. 气象学报, 67 (2): 307–320. Gong Zhiqiang, Zhi Rong, Feng Guolin, et al. 2009. Dry/wet changes and its durative characteristics during the past 530 years [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 67 (2): 307–320.
- 何金海, 刘芸芸, 常越. 2005. 西北地区夏季降水异常及其水汽输送和环流特征分析 [J]. 干旱气象, 23 (1): 10–16. He Jinhai, Liu Yunyun, Chang Yue. 2005. Analysis of summer precipitation anomaly and the feature of water vapor transport and circulation in Northwest China [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 23 (1): 10–16.
- 黄荣辉, 蔡榕硕, 陈际龙, 等. 2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系 [J]. 大气科学, 30 (5): 730–742. Huang Ronghui, Cai Rongshuo, Chen Jilong, et al. 2006. Interdecadal variations of drought and flooding disasters in China and their association with the East Asian climate system [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 30 (5): 730–743.
- 蒋国荣, 沙文钰, 蔡剑平. 1991. 印度洋和北太平洋海温与夏季西太平洋副热带高压长期变动的关系 [J]. 海洋预报, 8 (1): 16–24. Jiang Guorong, Sha Wenyu, Cai Jianping. 1991. Long-range variation relations between sea surface temperature over the North Pacific and Indian Oceans and the West Pacific subtropical high in summer [J]. Marine Forecasts (in Chinese), 8 (1): 16–24.
- 金祖辉, 陶诗言. 1999. ENSO 循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究 [J]. 大气科学, 23 (6): 663–672. Jin Zuhui, Tao Shiyun. 1999. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in eastern China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 23 (6): 663–672.
- 李栋梁, 谢金南, 王文. 1997. 中国西北夏季降水特征及其异常研究 [J]. 大气科学, 21 (3): 331–340. Li Dongliang, Xie Jinnan, Wang Wen. 1997. A study of summer precipitation features and anomaly in northwest China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 21 (3): 331–340.
- 李维京, 张培群, 李清泉, 等. 2005. 动力气候模式预测系统业务化及其应用 [J]. 应用气象学报, 16 (增刊): 1–11. Li Weijing, Zhang Peiqun, Li Qingquan, et al. 2005. Research and operational application of dynamical climate model prediction system [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 16 (Suppl.): 1–11.
- 穆松宁, 周广庆. 2010. 冬季欧亚大陆北部新增雪盖面积变化与中国夏季气候异常的关系 [J]. 大气科学, 34 (1): 213–226. Mu Songning, Zhou Guangqing. 2010. Relationship between winter northern Eurasian fresh snow extent and summer climate anomalies in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (1): 213–226.
- 邱崇践, 丑纪范. 1989. 天气预报的相似—动力方法 [J]. 大气科学, 13 (1): 22–28. Qiu Chongjian, Chou Jifan. 1989. The analogic-dynamical method of forecasting weather [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 13 (1): 20–28.
- 任宏利, 丑纪范. 2005. 统计—动力相结合的相似误差订正法 [J]. 气象学报, 63 (6): 988–993. Ren Hongli, Chou Jifan. 2005. Analogue correction method of errors by combining both statistical and dynamical methods together [J]. Acta Meteor. Sinica (in Chinese), 63 (6): 988–993.
- 谭桂容, 孙照渤, 林朝晖, 等. 2008. 贝加尔湖南侧大陆高压与东亚

- 夏季风和中国夏季气候的关系 [J]. 气候与环境研究, 13 (6): 791–799. Tan Guirong, Sun Zhaobo, Lin Zhaohui, et al. 2008. Land high over area south to lake Baikal and its relation with East Asian summer monsoon and climate anomalies of China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (6): 791–799.
- 王启光, 封国林, 郑志海, 等. 2011. 长江中下游汛期降水优化多因子组合客观定量化预测研究 [J]. 大气科学, 35 (2): 287–297. Wang Qiguang, Feng Guolin, Zheng Zhihai, et al. 2011. A study of the objective and quantifiable forecasting based on optimal factors combinations in precipitation in the middle and lower reaches of the Yangtze River in summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (2): 287–297.
- 魏凤英. 1999. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 260–277. Wei Fengying. 1999. Modern Climatic Statistical Diagnosis and Prediction (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 260–277.
- 肖子牛, 孙绩华, 李崇银. 2000. El Niño 期间印度洋海温异常对亚洲气候的影响 [J]. 大气科学, 24 (4): 461–469. Xiao Ziniu, Sun Jihua, Li Chongyin. 2000. Influence of the Indian Ocean SSTa on Asian climate during an ENSO period [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 24 (4): 461–469.
- 杨辉, 李崇银. 2008. 冬季北极涛动的影响分析 [J]. 气候与环境研究, 13 (4): 395–404. Yang Hui, Li Chongyin. 2008. Influence of Arctic oscillation on temperature and precipitation in winter [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 13 (4): 395–404.
- 杨义文. 2000. 7 月份两种东亚阻塞形势对中国主要雨带位置的不同影响 [M]//汛期旱涝预测方法研究. 北京: 气象出版社, 90–99. Yang Yiwen. 2000. The different effects of two East-Asia blocking situations on the main China rain band positions [M]. // Method Research of Forecasting the Rainy Season Drought/Flood (in Chinese). Beijing: China Meteorology Press, 90–99.
- 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 [J]. 大气科学, 24 (2): 193–206. Ying Ming, Sun Shuqing. 2000. A study on the response of subtropical high over the western Pacific on the SST anomaly [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 24 (2): 193–206.
- 曾庆存, 林朝晖, 周广庆. 2003. 跨季度动力气候预测系统 IAP DCP-II [J]. 大气科学, 27 (3): 289–303. Zeng Qingcun, Lin Zhaohui, Zhou Guangqing. 2003. Dynamical extraseasonal climate prediction system IAP DCP-II [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (3): 289–303.
- 张庆云, 陶诗言. 1998. 夏季东亚热带和副热带季风与中国东部汛期降水 [J]. 应用气象学报, 9 (增刊): 17–23. Zhang Qingyun, Tao Shiyun. 1998. Tropical and subtropical monsoon over East Asia and its influence on the rainfall over eastern China in summer [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 9: 17–23.
- 张庆云, 陶诗言. 2003. 夏季西太平洋副热带高压异常时的东亚大气环流特征 [J]. 大气科学, 27 (3): 369–380. Zhang Qingyun, Tao Shiyun. 2003. The anomalous subtropical anticyclone in western Pacific and their association with circulation over East Asia during summer [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 27 (3): 369–380.
- 张庆云, 陶诗言, 彭京备. 2008. 我国灾害性天气气候事件成因机理的研究进展 [J]. 大气科学, 32 (4): 815–825. Zhang Qingyun, Tao Shiyun, Peng Jingbei. 2008. The studies of meteorological disasters over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 815–825.
- 赵振国. 1996. 厄尔尼诺现象对北半球大气环流和中国降水的影响 [J]. 大气科学, 20 (4): 422–428. Zhao Zhenguo. 1996. Impact of El Niño events on atmospheric circulations in the Northern Hemisphere and precipitation in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (Scientia Atmospherica Sinica) (in Chinese), 20 (4): 422–428.
- 郑志海, 任宏利, 黄建平. 2009. 基于季节气候可预报分量的相似误差订正方法和数值实验 [J]. 物理学报, 58 (10): 7359–7367. Zheng Zhihai, Ren Hongli, Huang Jianping. 2009. Analogue correction of errors based on seasonal climatic predictable components and numerical experiments [J]. Acta Physica Sinica (in Chinese), 58 (10): 7359–7367.