

2006年川渝伏旱同期环流场和水汽场异常特征分析

刘晓冉^{1,2,4} 杨 茜³ 程炳岩¹

(1. 重庆市气候中心, 401147; 2. 中国科学院大气物理研究所;
3. 重庆市人工影响天气办公室; 4. 中国科学院研究生院)

提 要: 2006年盛夏川渝地区发生了严重的伏旱灾害,通过对同期大气环流异常的诊断分析表明,2006年盛夏期间,我国川渝地区上空存在由东北向西南的异常水汽输送,从中南半岛到西南地区持续存在经向水汽输送的负异常中心,导致川渝地区上空维持着一个水汽输送辐散异常的中心,这种水汽输送形势有利于伏旱灾害的发展。西太平洋副高较常年持续异常偏北、偏西,强度偏强,它与东伸的伊朗高压及异常的青藏高原一起构成一条高压带,这也在很大程度上促进了川渝地区持续伏旱灾害的发展。

关键词: 伏旱 大气环流 水汽场 异常

Study on Anomalies of Atmospheric Circulation and Water Vapor Field of the Heavy Drought in Sichuan-Chongqing Region in Midsummer 2006

Liu Xiaoran^{1,2,4} Yang Qian³ Cheng Bingyan¹

(1. Chongqing Climate Center, 401147; 2. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences;
3. The Weather Modification Office of Chongqing; 4. Graduate University of Chinese Academy of Sciences)

Abstract: In order to study the disaster of the heavy drought occurring in Sichuan-Chongqing Region in midsummer 2006, the atmospheric circulation anomaly over East Asia is analyzed to investigate the causes of the drought. The results show that there is a abnormal water vapor transport from northeast to southwest and a negative abnormal belt of the meridional water vapor transport from Sichuan-Chongqing Region to Indo-China, which lead to a center of the abnormal divergence of the water vapor over Sichuan-Chongqing Region. This kind of situation of the abnormal water vapor field is advantageous to the development of the

资助项目: 中国气象局气候变化专项“川渝地区极端高温干旱发生规律及成因研究”(CCSF2007-24), 中国气象局“三峡库区气候监测、预警、评估业务运行和改进”业务建设项目和重庆市科技攻关项目(CSTC2008AB0015)共同资助

收稿日期: 2008年5月13日; 修定稿日期: 2009年4月21日

drought. At the same time, the subtropical high over the western Pacific that is stronger and extends westward and northward far more contrasting to the case of climate mean, together with the extending eastward Iranian high and the abnormal Tibetan high constitute a belt of high pressure. This abnormal situation of high pressure accelerates the development of the drought to a large degree.

Key Words: drought atmospheric circulation water vapor field anomalies

引 言

2006 年夏天,重庆和四川东部地区遭受大范围的高温和严重干旱侵袭,重庆遭遇了百年一遇、四川遭受 1951 年以来最严重的特大伏旱灾害,持续高温的天气从 7 月中旬开始,一直持续到 9 月上旬初,给当地经济社会和人民生活带了巨大影响。因此,有必要对 2006 年盛夏影响川渝地区的大气环流及各种强信号进行诊断分析,对干旱的成因进行分析。以往的研究表明,干旱过程常常是某种状态的异常环流型持续发展和长期维持的结果^[1-7]。而水汽输送特别是垂直积分的整层水汽输送及其辐合的变化直接影响到旱涝的发生,宋桂英等^[8]分析了内蒙古夏季干旱的水汽输送特征,丁一汇^[9]认为来自孟加拉湾和南海的西南风水汽输送是中国夏季降水发生的重要条件。Ninomiya^[10]也指出南海地区是输入中国大陆的重要水汽通道。徐祥德等^[11]指出高原—季风水汽输送“大三角扇形”区域的水汽场特征是认识中国及东亚旱、涝异常成因的重要科学问题。周长艳等^[12]分析了青藏高原东部及邻近的四川、重庆地区水汽输送的气候特征,并指出南海、西太平洋地区的水汽输送对该地区有重要影响。晏红明等^[13]的研究表明 5 月西南地区的水汽输送主要来自赤道印度洋附近的西南气流。陈艳^[14]研究了水汽输送对云南夏季风爆发及初夏降水异常的影响。以上研究表明,东亚地区的水汽场异常可能对川渝的旱涝产

生重要影响。因此,本文重点从分析东亚地区大气环流尤其是水汽场输送异常特征入手,以期能找出造成 2006 年盛夏川渝持续伏旱灾害发生的影响因素。

1 资料和方法

本文采用了 1951—2006 年 NCEP/NCAR 再分析资料的全球 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 逐月的风场和比湿场(垂直方向 1000~300hPa 共 8 层)、500hPa 高度场、地面气压场,以及国家气候中心提供的中国 160 个台站中川渝地区(达县、酉阳、重庆、南充、内江、绵阳、成都、宜宾共 8 个站)1951—2006 年的历年 7 月和 8 月的月降水资料。

单位边长整层大气的水汽通量 Q 的计算方式:纬向水汽输送通量 $Q_u = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^p q u dp$, 经向水汽输送通量 $Q_v = -\frac{1}{g} \int_{p_s}^p q v dp$, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, p_s 为地表气压, p 为上界气压(本文取为 300hPa), q 为比湿, g 为重力加速度, u 为纬向风, v 为经向风。水汽通量散度 $D_Q = \frac{\partial Q_v}{a \cos \varphi \partial \lambda} + \frac{\partial Q_u}{a \partial \varphi}$, 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, a 为地球半径, φ 和 λ 分别为纬度和经度。

2 川渝地区盛夏旱涝特征分析

图 1 显示了 1951—2006 年川渝地区盛夏(7—8 月)降水的年际变化特征,从降水距平百分率(图 1a)可以看出,川渝地区盛夏降

水有很大的年际变率,1954 年、1965 年、1984 年、1998 年的降水距平百分率均高于 30%,是 4 个比较偏涝的年份。1967 年、1972 年、1992、1994 年、1997、2006 年是 6 个比较偏旱的年份,降水距平都低于 -30%,并且 2006 年盛夏降水距平百分率达到了 56 年来的最大负值,接近 -50%,说明 2006 年盛夏是 50 多年来川渝地区伏旱程度最为严重的一年。此外,川渝盛夏降水还具有年代际变化的特征,由累积距平曲线(图 1b)可以看出,川渝盛夏降水经历了两次明显的年代际波动变化,川渝地区盛夏降水 20 世纪 50 年代到 60 年代中期降水呈增加趋势,为偏涝期,60 年代后期降水开始呈减少趋势,70 年代降水偏少,为偏旱期。20 世纪 70 年代末开始降水又呈增长趋势,80 年代降水偏多,又经历了一次偏涝期,90 年代一直持续到现在降水偏少,为偏旱期,2006 年达到最严重的伏旱。

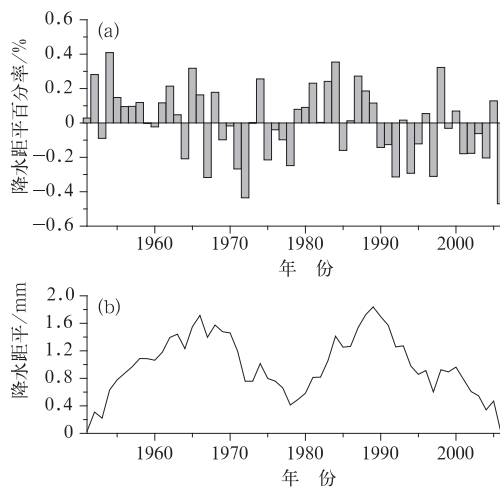


图 1 1951—2006 年盛夏川渝地区平均降水距平百分率(a)及其累积距平曲线(b)

3 2006 年川渝地区伏旱期间东亚大气环流持续异常分析

2006 年 7—8 月,在川渝地区出现严重伏旱的灾害性天气可能与同期的大气环流异常有关,下面从几个方面对此严重伏旱期间

东亚大气环流的异常特征进行讨论。

3.1 水汽场持续异常特征分析

3.1.1 2006 年对流层整层大气水汽输送通量的分析

图 2 是东亚地区多年平均的 7、8 月份整层水汽输送通量矢量及其 2006 年 7、8 月份的距平图。图 2a 表明,7 月来自南半球的强水汽输送在 45°E 附近越过赤道形成一条强的西南风水汽输送带,经阿拉伯海东移到孟加拉湾,一部分从孟加拉湾直接北上经青藏高原东南麓到达川渝地区,另一部分从孟加拉湾继续东移经中南半岛到达南海地区,在南海西南季风影响下北上影响到川渝地区,可以看出影响我国川渝地区 7 月降水的水汽通道主要是来自孟加拉湾和南海的西南水汽输送。而 2006 年 7 月(图略)来自南海的水汽有所减弱,在台湾海峡中断,而来自西太平洋南侧的东南水汽通道增强。在 7 月的水汽输送通量距平图(图 2b)上就表现为在我国南海附近地区形成了一个异常气旋式水汽通道,而川渝地区正好在东北异常水汽控制之下,减弱了来自孟加拉湾和南海的水汽输送,这可能是影响川渝地区干旱少雨的一个因素。

8 月我国川渝地区的水汽输送仍然主要来自孟加拉湾和南海的西南季风的水汽输送带(图 2c),2006 年 8 月水汽输送距平图(图 2d)上,南海地区的异常气旋式水汽通道继续存在,与 7 月相比,在西太平洋地区又出现一个异常气旋式水汽通道,受这两个异常气旋水汽影响,从我国川渝地区到中南半岛继续被东北水汽异常控制,来自孟加拉湾和南海的水汽进一步持续减少。

3.1.2 2006 年对流层整层大气经向水汽输送通量的分析

黄荣辉等^[15]研究了夏季东亚季风区和南亚季风区水汽输送的差别,指出印度季风

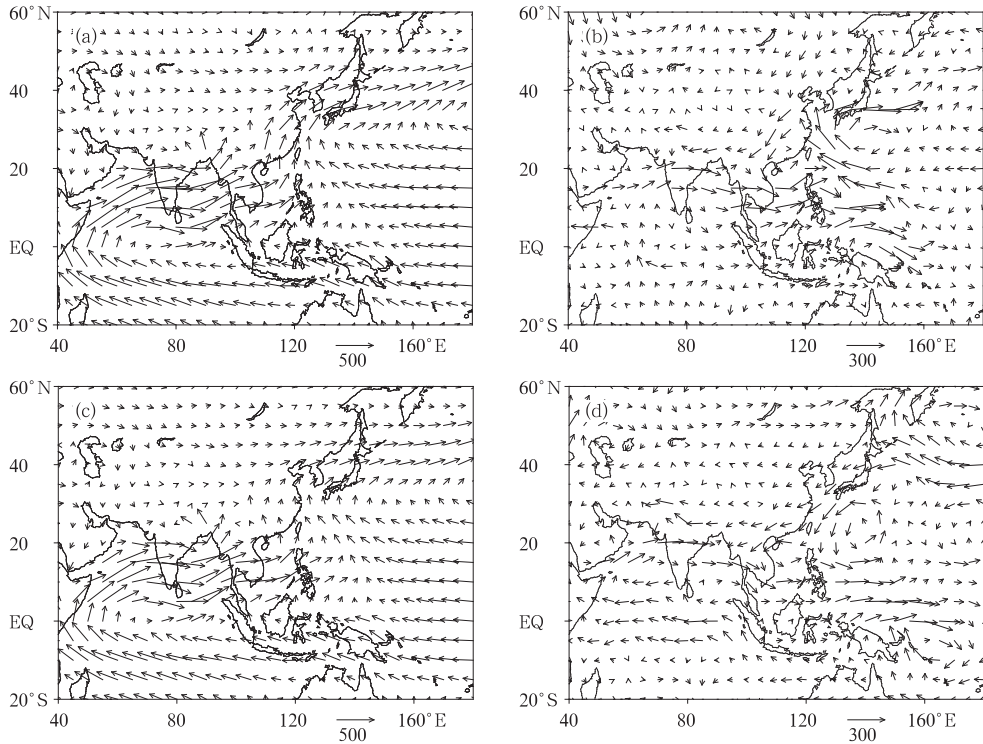


图 2 多年平均 7 月(a)和 8 月(c)的整层水汽输送通量矢量及 2006 年 7 月(b)和 8 月(d)的水汽输送通量矢量的距平图(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

区的水汽输送以纬向输送为主,而东亚季风区的水汽输送以经向输送为主。因此有必要进一步分析 2006 年盛夏东亚地区水汽输送的经向输送异常特征。图 3 给出多年平均的 7、8 月的整层经向水汽输送以及 2006 年 7、8 月的整层经向水汽输送距平场。由图 3a 可知,多年平均的 7 月经向水汽输送通量场上,我国西南地区上空为从南向北的水汽输送,在孟加拉湾和我国广东沿海存在着两个正的 $200\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽输送中心,来自热带孟加拉湾和南海的水汽向北输送对我国西南地区降水有重要作用^[6-9]。而 2006 年 7 月的整层经向水汽输送通量距平图(图 3b)上,从我国东北地区沿华北经西南地区到中南半岛出现一条超过 $-30\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的负经向水汽输送异常带,川渝地区上空位于这个负异常的中心,经向水汽输送减少更是达 $-90\text{kg} \cdot$

$\text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$,我国西南大部分地区在负异常的控制之下,由南向北的水汽输送大大减弱。

8 月经向水汽输送通量场的气候平均图(图 3c)上,我国西南地区上空仍是盛行由南向北的水汽输送,而 2006 年 8 月的距平图(图 3d)上,我国川渝地区到中南半岛上空继续被负经向水汽异常带控制,在中南半岛出现 $-30\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 经向水汽输送负异常中心,进入川渝地区的由南向北的经向水汽输送继续减弱,这进一步促进了该地区伏旱的发展。

3.1.3 2006 年对流层整层大气水汽通量散度的分析

多年平均的 7 月和 8 月整层水汽通量散度场上,我国西南地区到长江中下游地区为水汽输送的汇合区(图略),水汽的汇聚有利于该地区降水的产生。而 2006 年 7 月水汽

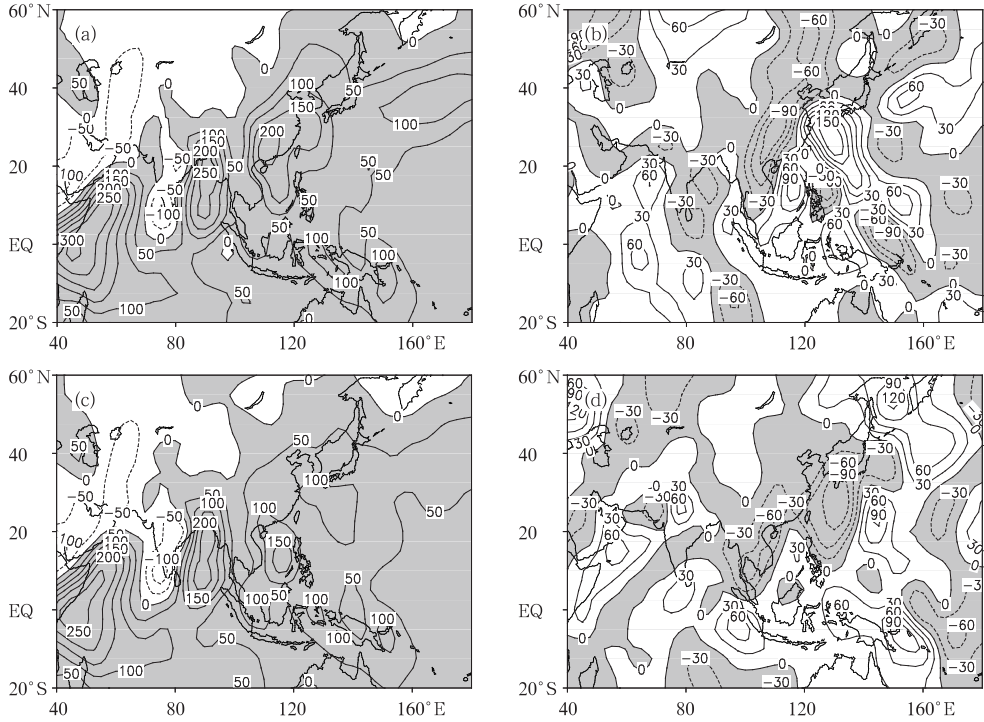


图 3 多年平均 7 月(a)和 8 月(c)的整层经向水汽输送通量(阴影为正值区)及 2006 年 7 月(b)和 8 月(d)的整层经向水汽输送通量距平图(阴影为负距平区)(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

通量散度距平图(图 4a)表明川渝地区上空为一个 $2 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 水汽输送异常辐散的中心,表明该地区 2006 年 7 月水汽汇聚减少,不利于降水的形成。8 月水汽输送通量

散度距平图(图 4b)上,川东及重庆地区继续被 $2 \times 10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的水汽输送异常辐散区控制,使得 2006 年 8 月川渝地区水汽辐散进一步加强,从而加剧了该地区的伏旱。

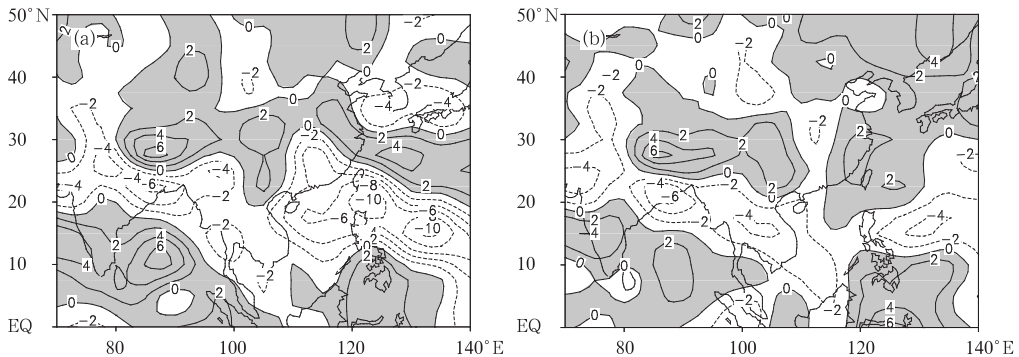


图 4 2006 年 7 月(a)和 8 月(b)的整层水汽输送通量散度距平图(阴影为正值区)(单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

总体说来,2006 年盛夏期间,我国川渝地区上空存在东北向西南的异常水汽,从川

渝地区到中南半岛持续存在着经向水汽输送的负异常带,进入川渝地区的由南向北的水

汽输送减弱,导致川渝地区上空一直维持着水汽输送辐散异常的中心,这种水汽输送形势有利于伏旱的发生、发展。

3.2 850hPa 流场持续异常特征分析

图 5 是多年平均的 7、8 月 850hPa 流场图及其距平图,多年平均 7 月和 8 月 850hPa 流场(图 5a 和图 5c)上,我国西南地区在东亚季风控制下盛行西南风。2006 年 7 月 850hPa 流场(图 5b)上,我国东南沿海地区

上空存在一个气旋性异常环流,受这一异常环流影响,我国从东北地区到西南地区为东北风的异常环流,阻止来自南海的西南季风。2006 年 8 月 850hPa 流场(图 5d),我国东南沿海上空异常气旋环流范围进一步扩大并向东南方向移动,从南海到西太平洋都为这一气旋性异常环流控制,我国西南地区仍然盛行东北异常气流,继续抑制了来自南海的西南气流的北上,这可能也是造成我国西南地区水汽输送减少的主要原因。

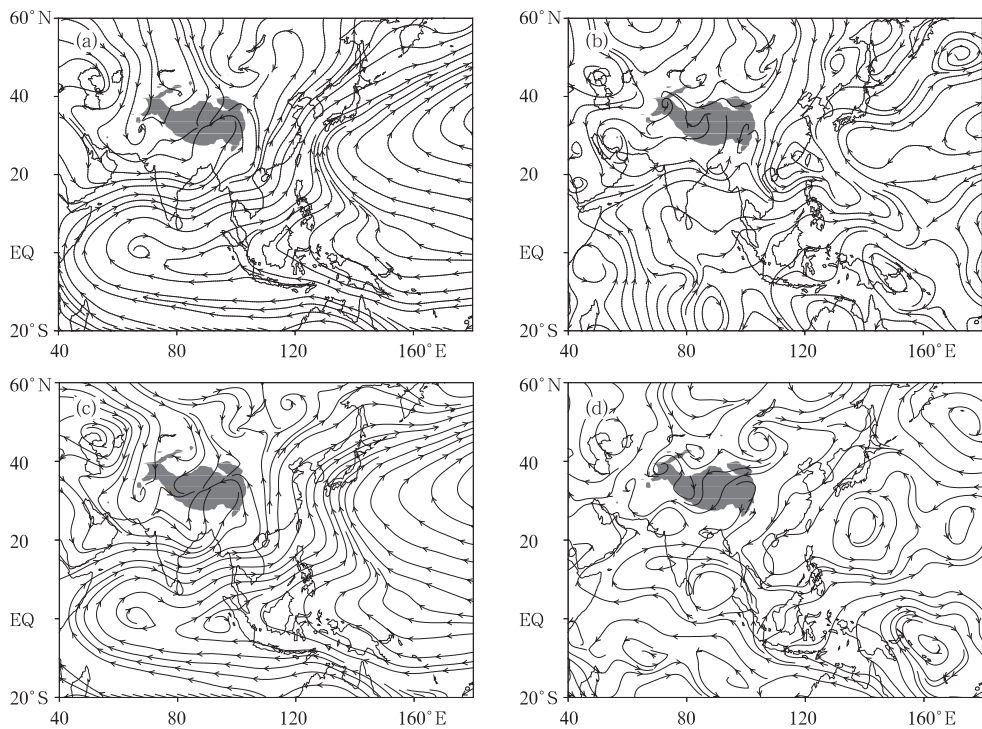


图 5 多年平均 7 月(a)和 8 月(c)的 850hPa 流场及 2006 年流场距平图(b,d)
(阴影为青藏高原海拔大于 3000m 的范围)

3.3 500hPa 高度场持续异常特征分析

2006 年 7 月 500hPa 高度场(图 6a)上,中纬度地区气流平直,西太平洋副热带高压 588 线分别比往年偏西达 10 个经度,偏北达 5 个纬度,尤其是 586 线由往年 120°E 向西扩展控制了青藏高原,同时西太平洋副热带

高压控制范围内高度场增加了 1dagpm 以上。可见 2006 年 7 月,西太平洋副热带高压与往年相比异常偏西、偏北、偏强。同时阿拉伯半岛上的伊朗高压 588 线及 586 线又异常偏东约 10 个经度,东亚副热带地区高度场普遍增加 1dagpm,我国西南地区上空被高度场正距平控制。

2006 年 8 月 500hPa 高度场(图 6b)上,鄂霍次克海附近有异常高压脊发展,西太平洋副热带高压继续维持异常偏西、偏强的状态,值得注意的是,西太平洋副高西侧 588 线闭合中心由往年 150°E 向西移到我国东部沿海 120°E 附近,而青藏高原由气候平均态的热低压转为受 586 线大陆性副热带高压控制,它们与东伸的伊朗高压一起构成了东亚

大陆副热带地区的高压带,这个高压带既抑制了来自青藏高原低层的低压扰动,同时下层的辐散气流也抑制了来自热带的水汽输送。川渝地区受副热带高压的高度正距平控制,这里对流层中下层盛行下沉气流,引起对流层中部绝热增温,使得气温持续异常偏高,这也在很大程度上促进了 2006 年夏季中国川渝地区持续高温伏旱的发展。

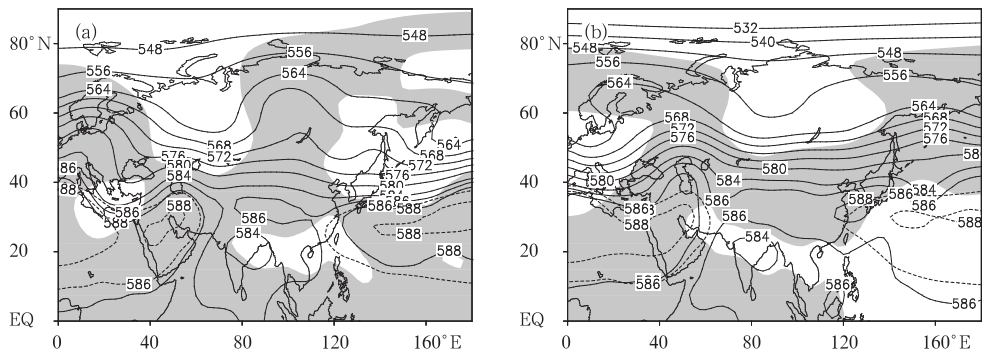


图 6 2006 年 7 月(a)和 8 月(b)500hPa 月平均位势高度场(单位: dagpm, 短虚线为气候平均的 586 和 588 线)及其大于 1dagpm 的正距平(阴影区)

4 小 结

2006 年盛夏川渝地区发生严重伏旱与同期东亚大气环流持续异常有很大的关系,通过诊断分析表明:

(1) 2006 年盛夏期间,我国川渝地区上空存在东北向西南的异常水汽输送,从川渝地区到中南半岛持续存在着经向水汽输送的负异常带,进入川渝地区的由南向北的水汽输送减弱,导致川渝地区上空维持着一个水汽辐散异常的中心,这种水汽输送形势有利于伏旱的发展。

(2) 2006 年盛夏期间的 850hPa 流场可以发现,南海附近上方出现的气旋性异常环流的维持和发展,我国西南地区持续盛行东北异常气流,抑制了来自南海的西南气流的北上,这可能也是造成我国西南地区水汽输

送减少的主要原因。

(3) 2006 年盛夏期间 500hPa 高度场表明,西太平洋副高较常年持续异常偏北、偏西,强度偏强,它与东伸的伊朗高压及异常的青藏高原一起构成一条高压带,川渝地区在副热带高压控制下,造成了高温少雨的天气,这也在很大程度上促进了川渝地区持续伏旱灾害的发展。

参 考 文 献

- [1] 卫捷,张庆云,陶诗言. 近 20 年华北地区干旱区大气环流异常特征[J]. 应用气象学报,2003,14(2):140-151.
- [2] 卫捷,张庆云,陶诗言. 1999 年及 2000 年夏季华北严重干旱的物理成因分析[J]. 大气科学,2004,28(1):125-137.
- [3] 顾润源,汤子东. 2002 年夏季山东干旱成因分析[J]. 气象,2004,30(8):22-26.
- [4] 解明恩,程建刚,范波,等. 2003 年云南夏季罕见高

- 温干旱的诊断研究[J]. 气象, 2005, 31(7): 32-37.
- [5] 袁晓玉, 马德贞. 2003 年江南干旱的成因分析[J]. 气象, 2005, 31(7): 37-41.
- [6] 牛宁, 李建平. 2004 年中国长江以南地区严重秋旱特征及其同期大气环流异常[J]. 大气科学, 2007, 31(2): 254-265.
- [7] 陶诗言, 卫捷, 孙建华, 等. 2008/2009 年秋冬季我国东部严重干旱分析[J]. 气象, 2009, 35(4): 3-10.
- [8] 宋桂英, 潘进军, 王德民, 等. 内蒙古夏季干旱的水汽输送特征分析[J]. 气象, 2007, 33(6): 75-81.
- [9] 丁一汇. 季风区的水汽收支[M]//丁一汇等主编. 亚洲季风. 北京: 气象出版社, 1994: 105-113.
- [10] Ninomiya K. Moisture balance over China and the South China Sea during the summer monsoon in 1991 in relation to the intense rainfall over China[J]. J Meteor Soc Japan, 1999, 77: 737-751.
- [11] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原一季风水汽输送“大三角扇”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系[J]. 气象学报, 2002, 60(3): 259-265.
- [12] 周长艳, 李跃清, 李薇, 等. 青藏高原东部及邻近地区水汽输送的气候特征[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 880-888.
- [13] 晏红明, 肖子牛, 王灵. 孟加拉湾季风活动与云南 5 月降水量[J]. 高原气象, 2003, 22(6): 624-630.
- [14] 陈艳, 丁一汇, 肖子牛, 等. 水汽输送对云南夏季风爆发及初夏降水异常的影响[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 25-37.
- [15] 黄荣辉, 张振洲, 黄刚, 等. 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 460-469.