

青藏和伊朗高原热力异常与北疆夏季降水的关系^{* 1}

赵 勇¹ 杨 青¹ 黄安宁² 钱永甫²

ZHAO Yong¹ YANG Qing¹ HUANG Anning² QIAN Yongfu²

1. 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所, 乌鲁木齐, 830002

2. 南京大学大气科学学院, 南京, 210093

1. *Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Ürümqi 830002, China*

2. *School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China*

2012-09-17 收稿, 2013-03-26 改回.

赵勇, 杨青, 黄安宁, 钱永甫. 2013. 青藏和伊朗高原热力异常与北疆夏季降水的关系. 气象学报, 71(4): 660-667

Zhao Yong, Yang Qing, Huang Anning, Qian Yongfu. 2013. Relationships between the anomalies of surface sensible heat in the Tibetan Plateau and Iran Plateau and summertime precipitation in North Xinjiang. *Acta Meteorologica Sinica*, 71(4): 660-667

Abstract The surface thermal anomalies (STA) in the large orography have important influences on the climate. Previous studies were focused on the effects of the STA in the Tibetan Plateau on the weather and climate in China with less attention paid to the connection between the STA in the Iran Plateau and the precipitation in the arid regions, especially in Xinjiang. In this paper, we give preliminary results of the relationship between the STA in the Tibetan Plateau and Iran Plateau and summer rainfall in North Xinjiang.

By use of the NCEP/NCAR reanalysis monthly mean data and the precipitation data at the 43 stations in North Xinjiang, the relationships between the anomalies of surface sensible heat in the Tibetan Plateau and Iran Plateau and the summertime precipitation in North Xinjiang were analyzed. By Singular Value Decomposition (SVD) method, they were found that the sensible heat in the Tibetan Plateau has a negative correlation with summertime precipitation in North Xinjiang, and it in the Iran Plateau has a positive correlation with summertime precipitation. The anomaly contrast of surface sensible heat between the Tibetan Plateau and the Iran Plateau has a closer relation than that in any single region with summertime precipitation in North Xinjiang. Therefore, an index is defined to reflect the intensity of the large-scale thermal contrast between the two plateaus. By correlation analysis, it were found that when the strong sensible heat in the Iran Plateau and weak sensible heat in the Tibetan Plateau in May occurred, there were an anomalous cyclone over Central Asia and an anomalous anticyclone over the Baikal Lake at 500 hPa respectively, which resulted in the anomalous south wind prevailing and was favorable to the warm-wet air moving from the low latitude regions. In addition, the transportation of water vapor by the Somalia jet stream was unusually strong, passing over the Equator, and at the same time the Arabian Sea is controlled by anomalous anticyclone circulation, driving the water vapor to be transferred continuously to the Central Asia and Xinjiang. Above all were contributed to the occurrence of more summer precipitation in North Xinjiang, and vice versa. Further analysis found that the thermal anomalies in the Tibetan Plateau have closer relations with the mid-upper troposphere circulations, but the thermal anomalies in the Iran Plateau have closer relations with the water vapor flux.

Key words Tibetan Plateau, Iran Plateau, Thermal contrast, Sensible heat anomalies, Summer time precipitation in North Xinjiang

* 资助课题: 国家自然科学基金(41005050, 41175086, 41005047)、国家重点基础研究发展计划(2010CB951001)和新疆气象局科技项目(200937)。

作者简介: 赵勇, 主要从事干旱区区域气候变化和机理的研究。E-mail: zhaoyong@idm.cn

摘 要 青藏高原和伊朗高原热力异常对其周边地区天气气候有重要影响,已有研究多关注东部季风区,而对于干旱区关注较少。针对这一不足,利用美国国家环境预测中心/美国国家大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析月平均资料和北疆43站降水资料,分析了1961—2007年5月青藏高原和伊朗高原地表感热异常与北疆夏季降水的关系。奇异值分解(SVD)分析发现,5月青藏高原地表感热与北疆夏季降水呈负相关,伊朗高原为正相关。青藏高原和伊朗高原感热异常的大尺度对比,要比仅考虑单一高原的感热异常与北疆夏季降水有更密切的联系。定义了一个热力差异指数来表征这种地表感热异常的对比程度,相关分析发现,当5月伊朗高原地表感热偏强,青藏高原地表感热偏弱时,500 hPa中亚上空和贝加尔湖上空分别为异常气旋和反气旋环流,在二者共同作用下,新疆上空盛行异常的偏南气流,有利于低纬度的暖湿气流北上,形成有利于降水的环流形势,同时越赤道索马里急流偏强,低纬度水汽被接力输送至中亚和新疆地区,为降水的发生提供了有利的水汽条件。进一步分析发现,青藏高原热力异常主要影响中高层大气环流,伊朗高原则主要影响水汽通量输送。

关键词 青藏高原, 伊朗高原, 热力对比, 感热异常, 北疆夏季降水

中图法分类号 P434

1 引 言

青藏高原和伊朗高原均是世界上重要的大地形,其中,青藏高原总面积达 $2.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,海拔4000—5000 m。伊朗高原面积约 $2.7 \times 10^6 \text{ km}^2$,海拔1000—1500 m。大地形对大气环流的影响,存在动力和热力两方面的作用。自叶笃正等(1955)发现青藏高原冬季是大气冷源、夏季是热源,奠定青藏高原气象学基础后,青藏高原的热源作用备受学者重视。

众多学者利用青藏高原热源及其分量(感热、潜热等)、积雪和地温这些表征高原热力特征的物理量,开展了大量青藏高原热力作用对其周边地区夏季降水影响的研究。赵平等(2001)发现,青藏高原春季热源对随后夏季的江淮、华南和华北地区降水有较好的指示意义。青藏高原春夏之交的热力异常,是引起江淮暴雨的一个重要因子,当夏季高原热源强度增强时,长江上游和淮河流域降水增多,华北、华南地区降水减少,同时预示着淮河流域未来1—2月降水增加(章基嘉等,1995;赵声蓉等,2003;毛文书等,2009)。5月青藏高原的整体感热加热可以作为东亚地区尤其是中国江淮等地7月降水形势的预报因子(段安民等,2003)。冬春季青藏高原不同层次的温度异常是后期长江中下游地区降水异常的一个重要原因(周玉淑等,2002)。当5月高原土壤湿度偏大时,夏季东部雨带偏北,华北降水偏多,江淮流域降水偏少(王瑞等,2009)。当青藏高原冬季多雪时,夏季长江中下游流域降水偏多(陈兴芳等,2000;宋燕等,2011)。由于青藏高原的加热作用,造成这一地区热力对比明显,5月青藏高原与其以北区域地表温度异常存在较大尺度的热力对比,与江淮流域夏季降水联系紧密(赵勇等,2007,

2009)。毕云等(2004)发现,青藏和伊朗高原上空300 hPa春季温度场异常变化与中国东部夏季降水存在较强的相关。

综上所述,以往针对大地形热力效应的研究主要集中在青藏高原,伊朗高原甚少涉及。南亚高压是一种趋暖高压,与大地形热力作用密切相关,存在两类平衡模态——青藏高压和伊朗高压,说明伊朗高原的热力作用也不可忽视(Qian, et al, 2002; 张琼等, 1999)。南亚高压的不同模态对中国气候的影响存在差异,当南亚高压偏东时,江淮流域降水偏多,华南地区降水偏少。当南亚高压持续偏西时,西北地区降水偏少(胡景高等,2010;张琼等,1997)。Wu等(2012a,2012b)数值试验表明,青藏高原的热力强迫加强了东亚夏季风,而伊朗高原的热力强迫则发展了南亚夏季风。杨莲梅等(2009)的研究发现,新疆与印度夏季降水存在较为密切的联系,由此说明伊朗高原的热力变化与新疆夏季降水可能存在某种联系。近年来的研究表明,青藏高原的热源强度呈减弱趋势,尤其地表感热的减弱更加显著,导致中国西北降水增多(Duan, et al, 2011;Liu, et al, 2012)。由此说明青藏高原和伊朗高原的热力作用对中国气候可能产生不同的影响,但将两个高原热力作用一同考虑的研究工作尚少。此外,目前针对大地形热力异常与新疆降水联系的研究工作也甚少,已有的研究也仅是针对同期分析(杨莲梅等,2007a)。已有研究表明,青藏高原的动力、热力作用是造成新疆干湿变化的重要原因之一(叶笃正等,1979;吴统文等,1996)。本研究针对以上不足,分析了前期5月青藏和伊朗高原感热异常对新疆北部夏季降水的不同影响,将两个高原热力作用一并考虑,分析二者热力差异与北疆夏季降水的联系,加深对北疆夏季降水变化机制的了解。

2 资料和方法

本研究应用:1961—2007 年共 47 a 青藏高原 (25° — 40° N, 75° — 105° E) 和伊朗高原 (25° — 40° N, 40° — 75° E) 美国国家环境预测中心/美国国家大气研究中心 5—8 月感热通量的再分析月平均资料。通过对比分析发现,青藏高原地区地面感热通量能较好地反映该地区热源强度的年际变化,是可信的(宋敏红等,2000;崔洋等,2008)。该再分析资料在经向为高斯格点,为计算方便起见,将其双线性插值为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$; 7 和 8 月平均的各等压面风场、高度场资料和相对湿度资料等,分析范围为 (20° S— 90° N, 10° — 150° E)。新疆气象信息中心提供的北疆(天山及以北山区)43 站逐月降水资料,如无特别说明,本文的夏季指 7 和 8 月的平均态。

利用奇异值分解、相关等统计方法讨论不同物理量之间的关系。

3 青藏高原和伊朗高原 5 月感热与北疆夏季降水的奇异值分解分析

已有研究发现,青藏高原 5 月热力异常与中国

夏季降水有密切的联系,这主要是由于 5 月热力异常与夏季热力异常有较好的异常持续性(段安民等,2003;赵勇等,2009)。相关分析表明,青藏高原 5 月感热和夏季感热的相关系数高达 0.70。那么伊朗高原是否有此特征呢,相关分析表明,5 月伊朗高原感热和夏季感热相关系数为 0.54,说明两个高原 5 月感热和夏季感热异常均有较强的持续性。为了揭示两个高原 5 月感热异常与北疆夏季降水的关系,进行二者与北疆夏季降水的奇异值分解分析。取青藏高原 (25° — 40° N, 75° — 105° E) 5 月标准化的地表感热场为左场,北疆夏季降水的标准化场为右场。为了更好地揭示地表感热场对降水场的控制作用,左场采用同性相关系数,右场采用异性相关系数。由于第 1 模态的协方差贡献已达 63%,远高于其他模态,本研究主要讨论第 1 模态的空间分布型,空间分布型在一定程度上反映了两个场的遥相关特征。从图 1a 左场的空间分布型可见,青藏高原为正相关区,相关中心值超过 0.70。右场的空间分布型(图 1b)以负相关为主,高相关区主要位天山地区,高值中心与该地区夏季降水的均方差大值中心基本重合。5 月青藏高原地表感热与北疆夏季降水两个

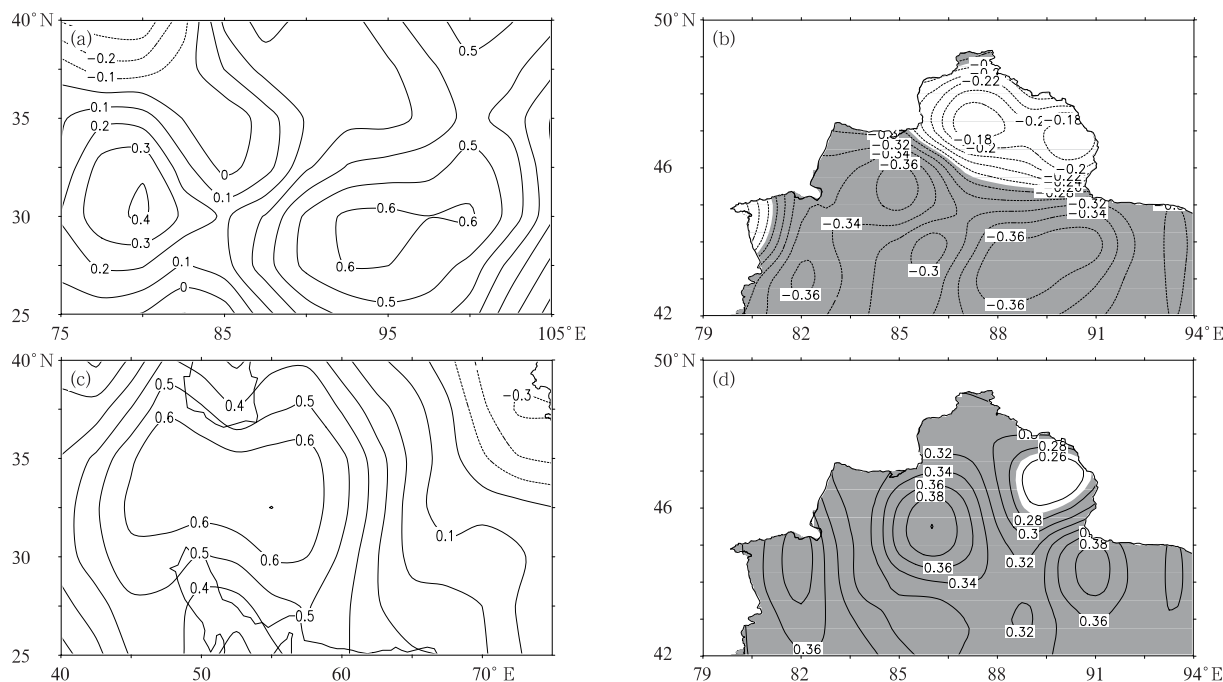


图 1 青藏高原(a)和伊朗高原(c)5 月感热分别与北疆夏季降水的奇异值分解分析的第 1 模态(b,d)分布(阴影部分通过 95% 的信度检验)

Fig. 1 The first mode in the SVD expansion for the correlations between the sensible heat in the Tibetan Plateau and Iran Plateau in May and the summertime precipitation in North Xinjiang. (a) the left field relevant to the sensible heat in the Tibetan Plateau in May is expanded for homogeneous correlation patterns, (b) the right field relevant to the summertime precipitation in North Xinjiang is expanded for heterogeneous correlation patterns, (c) as in (a), but in the Iran Plateau, (d) as in (b) (Shaded areas represent that it is significant at the 95% confidence level)

场时间系数的相关系数为 0.55,说明两个场的关系较为密切。由两个场的空间分布型和时间系数关系可以判定,5月当青藏高原感热偏强时,北疆夏季降水将偏少。伊朗高原5月感热与北疆夏季降水的关系则有所不同,由于第1模态的协方差贡献已达68%,远高于其他模态,因此,主要讨论第1模态的空间分布型。从图1c左场的空间分布型看出,伊朗高原为正相关区,相关中心值超过0.60。右场的空间分布型(图1d)以正相关为主,相关中心大值区主要在准噶尔盆地。5月伊朗高原地表感热与北疆夏季降水两个场时间系数的相关系数为0.58,说明两个场的关系较为密切。由两个场的空间分布型和时间系数关系可以判定,5月当伊朗高原感热偏强时,北疆夏季降水将偏多。

以上考虑了两个高原5月感热单独与北疆夏季降水的联系,那么将两个高原整体考虑,这种大尺度的热力异常对比与北疆夏季降水的关系又如何呢?图2给出了两个高原5月感热和北疆夏季降水的奇异值分解分析,由于第1模态的协方差贡献已达48%,因此,只考虑第1模态。从图2a左场的空间

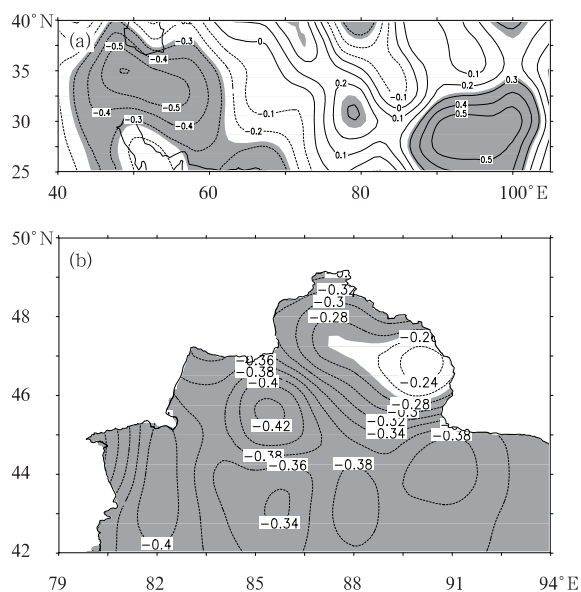


图2 5月青藏和伊朗高原感热(a)与北疆夏季降水(b)的SVD分析的第1模态分布(阴影部分通过95%的信度检验)

Fig. 2 The first mode in the SVD expansion for the correlation between the sensible heat in the Tibetan Plateau plus Iran Plateau in May and the summer time precipitation in North Xinjiang (a) the left field relevant to the sensible heat in the Tibetan Plateau and Iran Plateau in May is expanded for homogeneous correlation patterns, and (b) the right field relevant to the summertime precipitation in North Xinjiang is expanded for heterogeneous correlation patterns (Shaded areas represent that it is significant at the 95% confidence level)

分布型可见,青藏高原东部为正相关区,相关系数中心值超过0.50,伊朗高原西部为负相关中心。右场的空间分布型(图2b)以负相关为主,高相关区主要位于天山山区,高值中心与该地区夏季降水的均方差大值中心基本重合。5月青藏高原和伊朗高原地表感热与北疆夏季降水两个场时间系数的相关系数为0.64,说明两个场的关系密切。由两个场的空间分布型和时间系数关系可以判定,5月当伊朗高原地表感热偏强,青藏高原地表感热偏弱时,夏季新疆北部的降水将偏多,反之,北疆地区的降水将偏少。

4 青藏高原和伊朗高原热力对比与北疆夏季降水的联系

4.1 热力对比和降水指数的定义

由上述分析可见,将两个高原一并考虑,要比仅考虑一个高原与北疆夏季降水的相关更加密切,青藏和伊朗高原5月热力异常存在大尺度的热力对比,因此,可定义一个指数来反映这种热力对比,进而分析其与北疆夏季降水的联系。根据图2a,取(30°—37.5°N, 42.5°—60°E)区域作为伊朗高原关键区,(25°—32.5°N, 87.5°—102.5°E)区域作为青藏高原关键区,热力对比指数(Thermal Contrast Index, TCI)为

$$I_{TC} = (H_{S_{IP}} - H_{S_{TP}})_{NOR} \quad (1)$$

式中, $H_{S_{IP}}$ 和 $H_{S_{TP}}$ 分别为1961—2007年47a的5月伊朗和青藏高原关键区平均的地表感热距平,其差的标准化值为热力对比指数。计算了5月热力对比指数与夏季地表感热通量的相关,相关分布(图略)类似于图2a,即当5月两个高原存在明显的热力对比空间型时,在夏季也易出现类似的空间分布型,进而影响大气环流和新疆夏季降水。

定义47a的5月(30°—37.5°N, 42.5°—60°E)区域平均感热的标准化序列为伊朗高原热力指数(Iran Plateau Thermal Index, IPTI)。

定义47a的5月(25°—32.5°N, 87.5°—102.5°E)区域平均感热的标准化序列为青藏高原热力指数(Tibetan Plateau Thermal Index, TPTI)。

定义新疆北部43站47a的7、8月总降水量的标准化距平值为该地区夏季降水指数(Summer Precipitation Index, SPI)。

4.2 热力对比与北疆夏季降水的关系

热力对比指数和北疆夏季降水指数年际变化(图3)总的趋势基本相似,具有明显相似的年代际

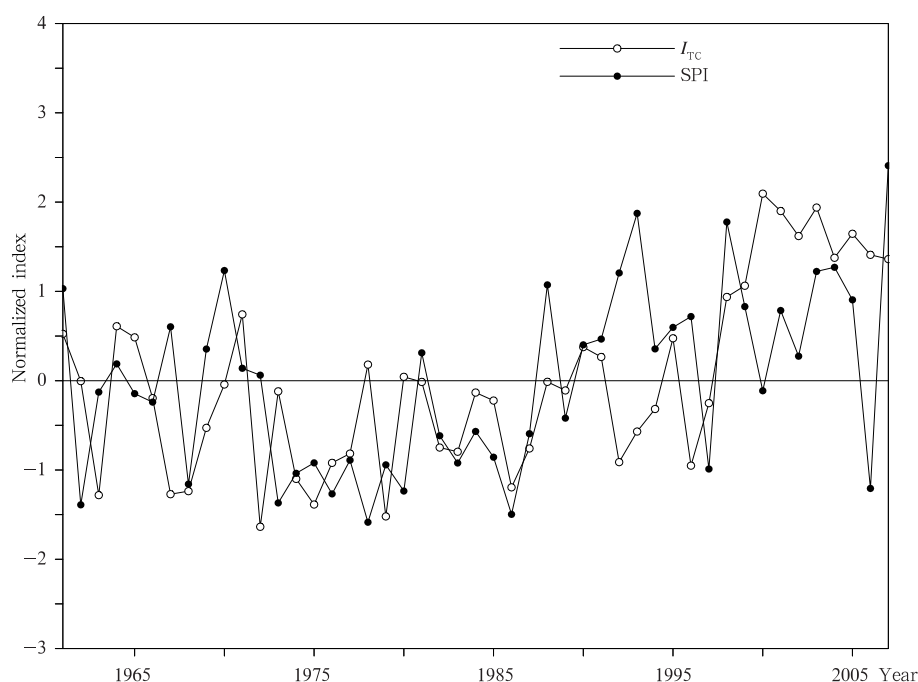


图3 1961—2007年伊朗高原和青藏高原5月热力对比指数和北疆夏季降水指数的年际变化

Fig. 3 Annual variations of I_{TC} in May and SPI during 1961 to 2007

变化特征, 相关系数达 0.42, 已通过 95% 的信度检验, 同号率为 76%。1988 年以前, 热力对比指数大多为负, 即伊朗高原感热异常小于青藏高原感热异常, 北疆大多数年份降水偏少; 而 1988 年以后, 热力对比指数则大多为正, 即伊朗高原感热异常大于青藏高原感热异常, 北疆大多数年份降水偏多。进一步的研究发现, 热力对比指数与北疆夏季的大雨降水也有较强的相关, 与区域平均的大雨降水相关系数超过 0.46, 与大雨(日降水大于 12 mm)降水空间相关高值区(中心值大于 0.35)的位置(图略)和大雨降水均方差大值区基本一致, 而大雨降水是该区域夏季降水增多的主导因素(赵勇等, 2012)。

降水是环流和水汽条件配合的产物, 首先讨论热力对比指数对 500 hPa 环流的影响(图 4), 夏季从黑海至东亚, 中高纬度依次为反气旋、气旋、反气旋和气旋性异常环流, 中亚上空和贝加尔湖上空分别为异常气旋和反气旋环流, 在二者共同作用下, 新疆上空盛行异常的偏南气流, 有利于低纬度的暖湿气流北上, 由于新疆纬度较高, 因此, 夏季冷空气是不缺的, 如有低纬度的暖湿气流北上, 则有利于降水的形成, 这与江淮流域夏季降水恰好相反, 在江淮流域, 夏季由于东亚夏季风的背景, 盛行偏南风, 降水的形成与北方冷空气的频率和强度联系更紧密一些

(段安民等, 2003)。通过合成分析发现(图略), 热力对比指数偏强年 500 hPa 风场的异常分布特征与相关系数的矢量分布特征相似, 热力对比指数偏弱年的分布特征则与强年相反, 基本特征表现为在欧亚大陆中高纬度异常波列的存在。

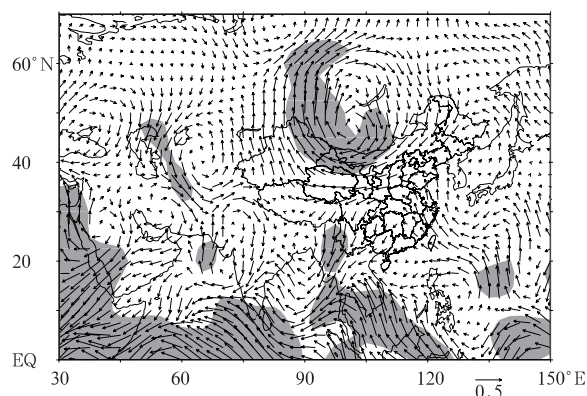


图4 1961—2007年5月热力对比指数与500 hPa风场的相关系数分布(阴影部分表示通过95%信度检验)

Fig. 4 Correlation distributions between the TCI in May during 1961 to 2007 and the wind fields at 500 hPa (shaded areas represent that it is significant at the 95% confidence level)

新疆作为干旱区,除了环流动力条件,水汽输送也是一个重要因素。图5给出了热力对比指数与水汽通量的相关系数分布。可见当伊朗高原感热偏强、青藏高原感热偏弱时,越赤道索马里急流增强,阿拉伯海上空为异常反气旋性环流,利于热带海洋水汽向北输送,蒙古高原上空为异常反气旋性环流,盛行偏南风,水汽输送条件利于降水的发生。虽然就气候平均来讲,新疆夏季降水的水汽输送途径为西方路径,但在夏季,热带印度洋是北疆夏季降水的一个主要水汽源地,尤其是大降水的发生,南方路径的水汽输送显得更为重要(张家宝等,1987;杨莲

梅等,2007b)。从以上分析可见,南支气流对北疆夏季降水具有重要的作用。由于青藏和伊朗高原5月感热均和夏季感热有良好的持续性,而感热加热和夏季热源存在显著的正相关(段安民等,2003),所以,当5月感热异常偏强时,夏季热源也异常偏强,反之偏弱。根据热力适应理论(吴国雄等,2000),伊朗高原感热偏强时,其上空低层对应异常气旋性环流,新疆位于伊朗高原的东侧,因而盛行异常偏南风;同时青藏高原感热偏弱,其上空低层对应异常反气旋性环流,新疆在其西侧,从而也盛行偏南风。因此,在两个高原的共同作用下,中亚和新疆的中低空盛行异常偏南风,从而利于热带海洋的暖湿气流北上,造成北疆夏季降水偏多。

4.3 伊朗和青藏高原5月感热异常与环流和水汽输送的关系

3.2节讨论了青藏和伊朗高原5月大尺度热力对比与新疆降水的关系和对环流的影响,那么单独考虑青藏高原或伊朗高原,其对环流的影响又如何?图6给出了伊朗高原(30° — 37.5° N, 42.5° — 60° E)平均的5月感热与500 hPa环流和水汽通量的相关分布,可见5月伊朗高原对中高纬度500 hPa风场(图6a)影响有限,中国北方上空为异常反气旋环流控制,但是,与水汽通量关系紧密(图6b)。当伊朗高原5月感热异常偏强时,越赤道索马里急流偏强,在阿拉伯海上空异常反气旋和阿拉伯半岛上空异常气旋环流的配合下,印度洋水汽被接力输送至北方中高纬度地区,有利于中亚和新疆降水的增多。

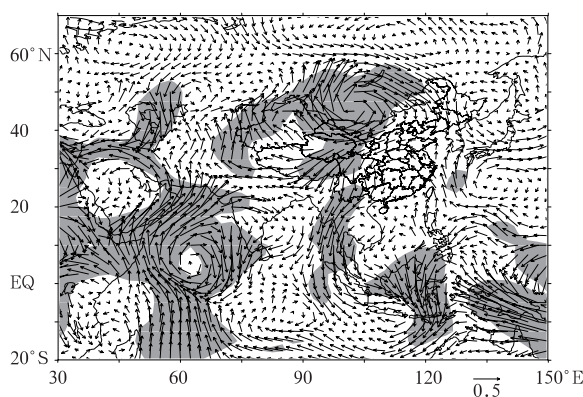


图5 1961—2007年5月热力对比指数与夏季水汽通量(从地表积分至300 hPa)的相关系数分布(阴影部分表示通过95%信度检验)

Fig. 5 Correlation distributions between the TCI in May during 1961 to 2007 and the water vapor flux from the surface to 300 hPa (Shaded areas represent that it is significant at the 95% confidence level)

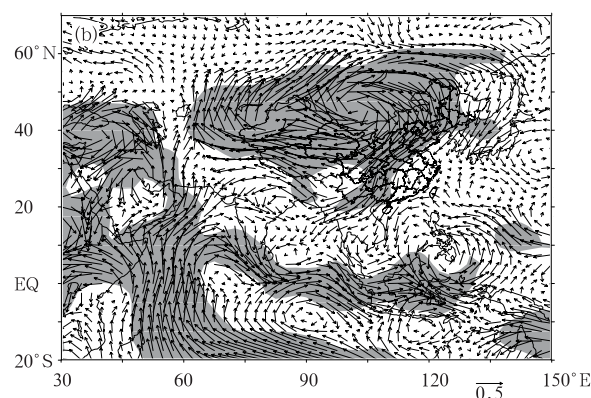
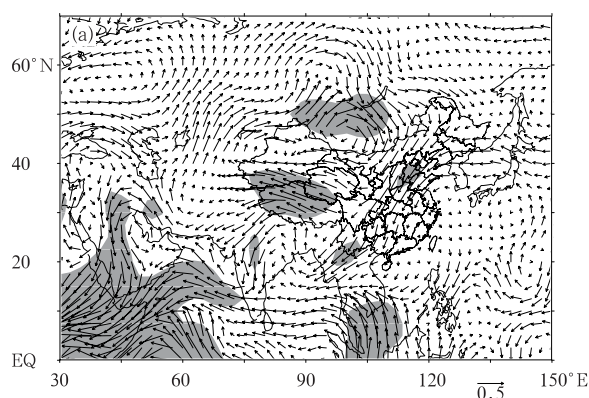


图6 1961—2007年5月伊朗高原热力指数与夏季 (a) 500 hPa风场和 (b) 水汽通量(从地表积分至300 hPa)的相关系数分布(阴影部分表示通过95%信度检验)

Fig. 6 (a) Correlation distributions between IPTI in May during 1961 to 2007 and the wind fields at 500 hPa, (b) as in (a) but for water vapor flux from the surface to 300 hPa (Shaded areas represent that it is significant at the 95% confidence level)

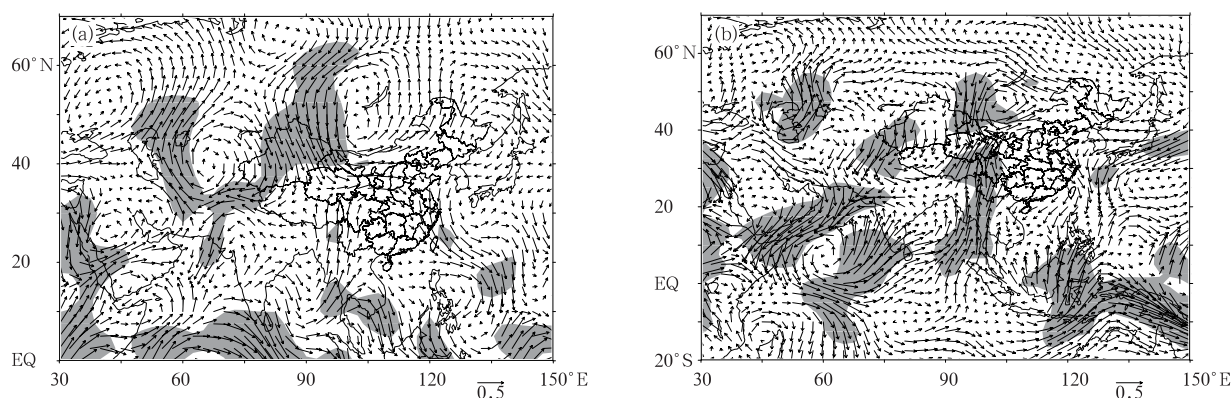


图7 1961—2007年5月青藏高原热力指数与夏季(a)500 hPa风场和(b)水汽通量
(从地表积分至300 hPa)的相关系数分布(阴影部分表示通过95%信度检验)

Fig. 7 As in Fig. 6 but for TPTI

青藏高原和伊朗高原相比,其对环流影响差异较大(图7)。当5月青藏高原感热偏强时,在中高纬度存在明显的异常波列,中亚上空和贝加尔湖上空分别为异常反气旋和气旋环流控制,在二者共同作用下,新疆北部盛行异常偏北风,不利于南方暖湿气流北上,如此环流条件不利于降水的发生。反之,当5月青藏高原感热异常偏弱时,中亚上空和贝加尔湖上空分别为异常气旋和反气旋环流控制,北疆上空盛行异常偏南风,形成有利于北疆降水的环流条件。同时,当青藏高原5月感热偏强时,索马里越赤道气流偏弱,减弱了热带水汽的向北输送,阿拉伯海上空为异常气旋环流,不利于接力输送暖湿气流北上至中亚和新疆上空。反之,越赤道索马里急流增强,阿拉伯海上空为异常反气旋环流,阿拉伯半岛上空为异常气旋环流,在二者共同作用下,低纬度水汽向北输送至中亚和新疆地区,为降水的发生提供了有利的水汽条件。有研究表明,青藏高原感热1996年后明显减弱,说明青藏高原感热的减弱很可能是造成北疆大雨降水偏多的一个重要原因(Duan, et al, 2011;赵勇等,2010)。

由图6、7可见,5月伊朗高原和青藏高原感热异常对北疆夏季降水的影响途径有所不同,5月伊朗高原感热异常对中层环流的影响相对较弱,影响显著区位于低纬度地区,但与水汽通量的相关更为紧密。青藏高原则对中层环流有更为重要的影响,其热力异常在中高纬度激发出异常波列,进而影响新疆上空的环流背景,当青藏高原感热偏强时,环流不利于降水的发生,反之,有利于降水偏多,与水

汽通量的联系相对要弱一些,这可能与水汽主要集中在中低层有关。

5 结论和讨论

分析伊朗高原和青藏高原5月下垫面感热异常与北疆夏季降水的关系时发现,伊朗高原感热和北疆夏季降水呈正相关,青藏高原感热和北疆夏季降水呈负相关,将两个高原一并考虑,和北疆夏季降水的关系更为紧密。二者间的热力对比指数与北疆夏季降水指数的相关系数为0.42,高于仅考虑一个高原的情况。

当5月伊朗高原感热偏强、青藏高原感热偏弱时,夏季从黑海至东亚,中高纬度依次为反气旋、气旋、反气旋和气旋性异常环流,中亚上空和贝加尔湖上空分别为异常气旋和反气旋环流,在二者共同作用下,新疆上空盛行异常的偏南气流,有利于低纬度的暖湿气流北上,形成有利于降水的环流形势。同时越赤道索马里急流偏强,在阿拉伯海上空异常反气旋和阿拉伯半岛上空异常气旋性环流的共同作用下,低纬度水汽被接力输送至中亚和新疆地区,为降水的发生提供了有利的水汽条件。进一步的研究发现,伊朗高原和青藏高原5月感热异常对北疆夏季降水的影响途径是不同的,伊朗高原主要影响水汽通量的输送,而青藏高原主要影响中层环流。

两个高原5月感热异常对北疆夏季降水的影响,在一定程度上可以用热力适应定理解释,伊朗高原感热偏强时,夏季其上空低层对应异常气旋性环流,新疆盛行异常偏南风;同时青藏高原感热偏弱,

其上空低层对应异常反气旋性环流,新疆也盛行异常偏南风。因此在两个高原的共同作用下,中亚和新疆的中低空盛行异常偏南风,从而利于热带海洋的暖湿气流北上,造成北疆夏季降水偏多。

参考文献

- 毕云,许立,钱永甫. 2004. 青藏、伊朗高原地区 300 hPa 温度场异常与我国降水的关系. 高原气象, 23(4): 465-471
- 陈兴芳,宋文玲. 2000. 欧亚和青藏高原冬春季积雪与我国夏季降水关系的分析和预测应用. 高原气象, 19(2): 214-223
- 崔洋,王澄海. 2008. 季节转换期青藏高原西部地区感潜热再分析资料存在的问题及原因. 自然科学进展, 18(11): 1279-1287
- 段安民,刘屹岷,吴国雄. 2003. 4-6 月青藏高原热状况与盛夏东亚降水和大气环流的异常. 中国科学(D), 33(10): 997-1004
- 胡景高,陶丽,周兵. 2010. 南亚高压活动特征及其与我国东部夏季降水的关系. 高原气象, 29(1): 128-136
- 毛文书,巩远发,周强. 2009. 青藏高原大气热源与江淮梅雨异常的关系. 高原气象, 28(4): 1291-1298
- 宋敏红,吴统文,钱正安. 2000. 高原地区 NCEP 热通量再分析资料的检验及在夏季降水预测中的应用. 高原气象, 19(4): 467-475
- 宋燕,张菁,李智才等. 2011. 青藏高原冬季积雪年代际变化及对中国夏季降水的影响. 高原气象, 30(4): 843-851
- 王瑞,李伟平,刘新等. 2009. 青藏高原春季土壤湿度异常对我国夏季降水影响的模拟研究. 高原气象, 28(6): 1233-1241
- 吴国雄,刘屹岷. 2000. 热力适应、过流、频散和副高. I: 热力适应和过流. 大气科学, 24(4): 433-446
- 吴统文,钱正安. 1996. 青藏高原北侧地区干湿年夏季垂直环流差异的对比分析及青藏高原的热力影响. 气象学报, 54(6): 558-568
- 杨莲梅,张庆云. 2007a. 南疆夏季降水异常的环流和青藏高原地表潜热通量特征分析. 高原气象, 26(3): 435-441
- 杨莲梅,张庆云. 2007b. 新疆北部汛期降水年际和年代际异常的环流特征. 地球物理学报, 50(2): 412-419
- 杨莲梅,肖开提,张庆云. 2009. 夏季新疆降水异常与印度降水的关系. 高原气象, 28(3): 565-572
- 叶笃正,罗四维,朱抱真. 1955. 关于青藏高原及其附近地区热量平衡和对流层环流结构. 气象学报, 28: 108-121
- 叶笃正,高由禧. 1979. 青藏高原气象学. 北京: 科学出版社, 202-212
- 章基嘉,徐祥德,苗峻锋. 1995. 青藏高原地面热力异常对夏季江淮流域持续暴雨形成作用的数值试验. 大气科学, 19(3): 8-16
- 张家宝,邓子凤. 1987. 新疆降水概论. 北京: 气象出版社, 255-263
- 张琼,钱正安,陈敏连. 1997. 关于夏季南亚高压的进一步研究. I: 与我国西北地区降水关系的统计分析. 高原气象, 16(1): 52-62
- 张琼,钱永甫. 1999. 南亚高压的演变规律、机制及其对区域气候的影响[学位论文]. 南京: 南京大学, 1-148
- 赵平,陈隆勋. 2001. 35 年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系. 中国科学(D), 31(4): 327-332
- 赵声蓉,宋正山,纪立人. 2003. 青藏高原热力异常与华北汛期降水关系的研究. 大气科学, 27(5): 881-893
- 赵勇,钱永甫. 2007. 青藏高原地表热力异常与我国江淮地区夏季降水的关系. 大气科学, 31(1): 145-154
- 赵勇,钱永甫. 2009. 青藏高原地区地表热力异常与夏季东亚环流和江淮降水的关系. 气象学报, 67(3): 397-406
- 赵勇,黄丹青,古丽格娜等. 2010. 新疆北部夏季强降水分析. 干旱区研究, 27(5): 773-779
- 赵勇,黄丹青,杨青. 2012. 新疆北部汛期降水的变化特征. 干旱区研究, 29(1): 35-40
- 周玉淑,高守亭,邓国等. 2002. 青藏高原冬春季地温异常对长江中下游夏季旱涝影响的研究. 南京气象学院学报, 25(5): 611-619
- Duan A M, Li F, Wang M R, et al. 2011. Persistent weakening trend in the spring sensible heat source over the Tibetan Plateau and its impact on the Asian Summer Monsoon. J Climate, 24(21): 5671-5682
- Liu Y M, Wu G X, Hong J L, et al. 2012. Revisiting asian monsoon formation and change associated with Tibetan Plateau Forcing. II: Change. Climate Dyn, 39(5): 1183-1195
- Qian Y F, Zhang Q, Yao Y H, et al. 2002. Seasonal variation and heat preference of the South Asia High. Adv Atmos Sci, 19(5): 821-836
- Wu G X, Liu Y M, Dong B W, et al. 2012a. Revisiting Asian monsoon formation and change associated with Tibetan Plateau Forcing. I: Formation. Climate Dyn, 39(5): 1169-1181
- Wu G X, Liu Y M, He B, et al. 2012b. Thermal controls on the Asian summer monsoon. Nature Sci Rep 2, 404, doi:10.1038/srep00404