

青藏高原对其东北侧初夏干旱天气影响的数值研究^{*}

郑庆林 燕启民

(中国气象科学研究院, 北京100081)

提 要

本文利用改进的 T_{42L9} 模式, 以1979年6月14日12时的 FGGE-Ⅱ_b 资料为初始场, 分别在有地形非绝热, 有地形绝热以及无地形绝热情形下进行了五天数值预报试验, 研究了青藏高原的热力和动力作用对高原东北侧干旱天气的影响, 模拟结果指出, 在初夏夏季风爆发期间, 青藏高原有利于其东侧(包括甘肃南部和陕西南部一带)进入雨季, 但也有利于其北侧的河西走廊地区维持干旱, 高原的动力和热力作用对高原北侧的初夏干旱天气有着重要的影响。

关键词: 青藏高原, 干旱天气, 数值研究。

1 引 言

青藏高原东北侧(包括甘肃、陕西、青海、宁夏四省区的大部分)位于沙漠向多雨带过渡的半干旱地区, 降水年际变化大, 干旱发生频繁, 对农业生产威胁极大。观测统计表明, 高原东北侧有两个主要干旱阶段, 即初夏旱和伏旱, 初夏少雨是高原东北侧天气气候上的一个重要现象, 其突出特征是: 多年平均6月上中旬雨量比5月中下旬反而减少, 雨量减少区从河西走廊向东南经关中平原沿 110°E 左右南下, 直到 25°N 附近^[1], 初夏旱有时和春旱连起来, 所谓春末夏初旱, 以甘肃省为例, 根据兰州中心气象台制定的甘肃干旱标准, 春末夏初旱的平均日期为5月16日到6月22日^[2]。

初夏干旱和该地区夏季大气环流特征密切相关, 在夏季接近高原的平均高度上, 高原北侧沿 40°N 为一明显高温带, 几个高温中心分别位于中亚, 我国南疆和河西走廊一带。与此相对应, 600hPa 比湿图上高原北侧是一条干带。在气压场上, 这里是夏季中亚高压带所在位置, 高压中心与高温中心和干中心的位置基本重合。这种夏季温湿压场的分布特点决定了这里也是夏季高原外围的少雨带, 它在高原北侧大致位于 45°N 附近^[1]。上述的天气气候特征不仅和当地的下垫面特征有关, 更重要的是青藏高原所形成的大气环流影响的结果。叶笃正等人^[3](1979)曾指出, 高原北侧的干旱少雨带的形成和高原夏季平均垂直环流有关, 因为这里正是高原地区上升运动的下沉补偿区。高原东北侧的初夏干旱则和高原北侧初夏行星西风增强的动力效应有关^[1]。徐国昌^[2]则认为高原北侧初夏旱是初夏高原上高压脊线迅速北进, 使高原东侧500hPa 北风加强的结果。

数值模拟表明, 山脉对降水的分布有着显著影响, 从而对干旱带的形成具有重要贡

^{*} 1991年11月28日收到原稿, 1992年8月15日收到最后修改稿。得到国家自然科学基金项目资助。

献。Manabe 和 Terpstra^[4](1974)用 GFDL 模式模拟后发现,无山模式中横贯整个中纬度的多雨带在有山模式中由于青藏高原和落基山的阻挡而被中亚和北美中部的少雨带所分割。Hahn 和 Manabe(1975)模拟的80—90°E 平均降水量纬向分布^[5]表明,在有山模式中,沿30°N 为一次大降水区,而沿40°N 为降水最少区,但在无山模式中,次大降水区北移到40—50°N。燕启民和郑庆林^[6](1991)用 ECMWF 的 T_{42L9} 模式对1979年夏季风爆发的模拟结果表明,在青藏高原不存在时,原来位于高原东南侧的雨带位置将明显偏北,使高原北侧的降水显著增加,但以上这些研究都较少涉及高原北侧干旱成因及高原作用。

本文将使用一个具有较完善物理过程和较高分辨率的大气环流模式来模拟青藏高原东北侧初夏的环流特征,并研究高原的动力和热力作用对初夏旱的可能影响。

2 数值模式和数值试验设计

2.1 数值模式概述

本文使用的模式是改进了的国家气象中心从 ECMWF 引进的中期天气预报准业务模式(以下称 T_{42L9} 模式),该模式在垂直方向上采用 σ 坐标系,共分9层,水平方向上采用三角形截断,波数取为42。采用半隐式时间积分方案,时间步长为30min,积分区域为北半球,基本方程和计算方案请参阅 Baede 等人(1979)技术报告^[7]。

模式中的物理过程采用 GFDL 模式的参数化方案,包括边界层湍流通量和次网格效应引起的垂直扩散、大尺度凝结和对流调整以及长短波辐射,其中对流调整包括干绝热调整和湿对流调整,大气顶的太阳辐射采用气候平均值,在积分期间保持不变,辐射的吸收物质 CO_2 和 O_3 取气候值。云分为高、中、低三种,云量的计算采用郑庆林^[8](1989)在全球七层大气环流谱模式中的方案通过预报的水汽场诊断得到,地面反照率有陆地和海洋之分、陆上反照率又考虑了雪面和非雪面的不同,雪深和土壤湿度采用月平均气候值,模式中的地表温度采用地表热平衡方程求出平衡温度,海温采用月平均气候值,模式中青藏高原最高为5600m。

我们对 T_{42L9} 模式的一个重要改进是在辐射计算中用预报的湿度场和诊断云量代替原来的气候平均湿度场和气候云量,这对模式的中期预报能力有明显改善,而且随预报时间的增长其改进效果更为显著。

2.2 数值试验设计

本文利用改进的 T_{42L9} 谱模式,以1979年6月14日12时的 FGGE 资料为初始场,进行5天中期数值预报,分别考虑了以下的三种数值试验:(A)模式考虑全部物理过程和实际地形;(B)绝热模式但考虑了实际地形;(C)绝热模式且不考虑地形作用,以研究青藏高原东北侧(如河西走廊一带)的干旱成因以及高原的影响。

通过对比(A)和(B)的结果,可以研究非绝热加热作用的影响。无地形(C)的 σ 面的初值是从有地形的 σ 面初值,通过迭化插值方法^[9]得到。在对比(A)(B)(C)的等压面上要素场差异时,预报结果是从 σ 面插值到 P 面,青藏高原的巨大地形会带来插值误差,由于在垂直插值中也使用了迭代插值方法^[9],使得插值误差很小,(B)和(C)在青藏高原及其周围的要素场在初始时刻差异为零,而之后的差别主要是由于(B)考虑了地形而引起的,所以通过对比(B)和(C),可以得到大地形动力作用的影响。

3 数值试验结果及其讨论

3.1 温度场

图1a 至图1f 分别给出了预报的1979年6月15日至19日5天平均的500hPa 和700hPa 温度场的模拟结果。

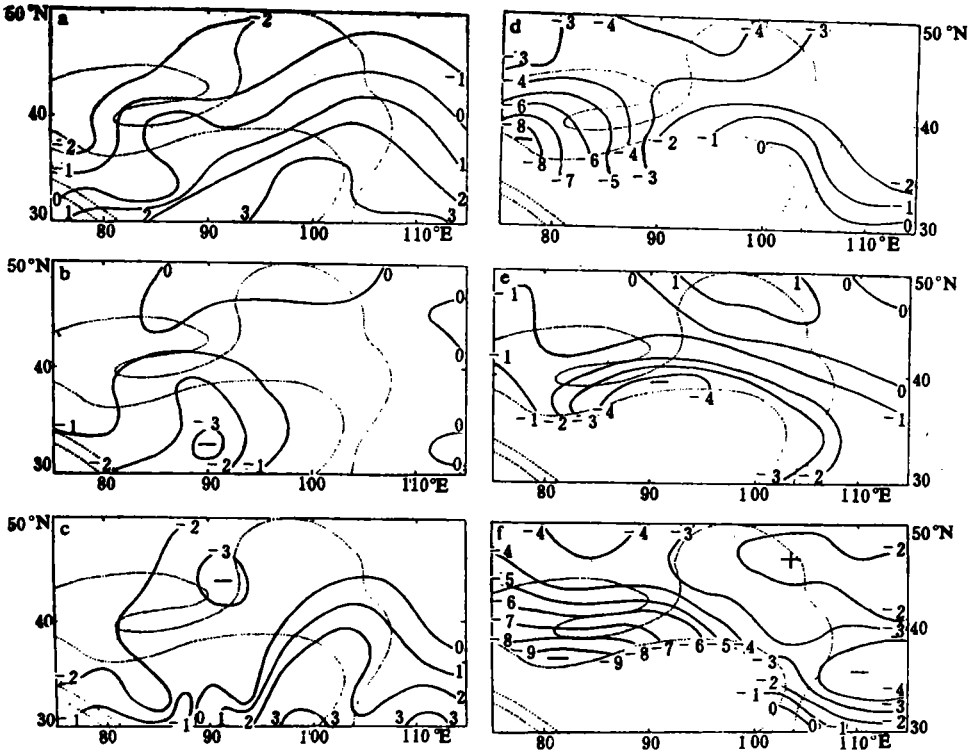


图1 1979年6月15日至19日5天平均(点线分别代表1500m 和3000m 地形等高线,下同);

- (a <A>-的500hPa 温度场(K,下同), d <A>-的700hPa 温度场,
- b -<C>的500hPa 温度场, e -<C>的700hPa 温度场,
- c <A>-<C>的500hPa 温度场, f <A>-<C>的700hPa 温度场)

从图1a 可以看到非绝热加热作用使整个青藏高原上空温度升高,增温区还扩展到高原以东和河西走廊一带,另外在南疆盆地东南也有弱的增温。图1b 显示了高原的动力作用的结果是使整个高原及其邻近地区500hPa 温度下降,其原因在于青藏高原动力作用对于北来的冷空气有利于在高原北侧转向并沿高原东缘南下,而北上的暖空气受到高原阻挡沿高原东南侧北上,使高原及其以北受暖空气影响较小,但动力作用对500hPa 温度场的贡献与热力作用相比是小的,图1c 给出了热力和动力作用的综合结果,可看到在高原东部出现明显的增温,高原以东和河西走廊一带也仍为增温区。

而在700hPa 层,非绝热作用使高原以北和以东的大部分地区温度下降,在新疆南部

有一最大降温区(见图1d)。高原的动力作用对700hPa 温度场的贡献和热力作用有相似之处,等降温线近于沿高原等高线分布,最大降温区位于南疆盆地东南。由于高原北侧的平均地形高度大部分在2000m 以上,所以这种低层降温是相当浅薄的,到了500hPa 以上便不复存在。其原因和高原地形将冷空气阻挡在南疆盆地低层堆积并使其沿高原北缘和东缘运动有关。

3.2 湿度场

图2a 至图2f 分别给出了由于模式考虑与不考虑热力作用(或动力作用及动力、热力作用)而引起的500hPa 和700hPa 湿度场的(5天平均)模拟结果之差异值分布图。

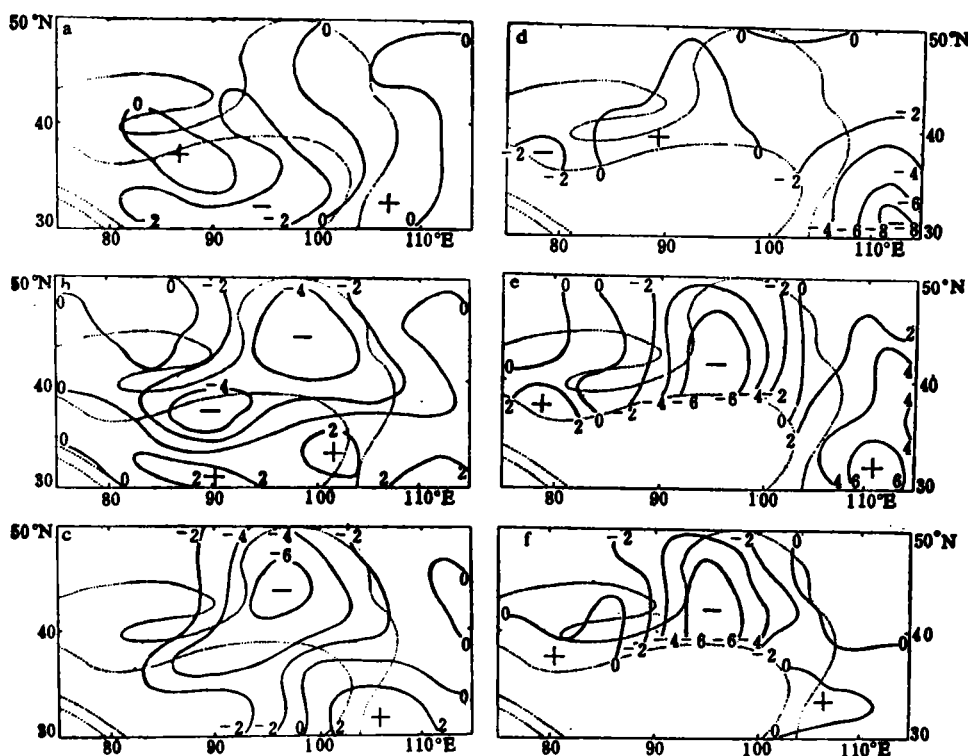


图2 1979年6月15日至19日5天平均

- (a) $\langle A \rangle - \langle B \rangle$ 的500hPa 湿度场(g/kg,下同), d $\langle A \rangle - \langle B \rangle$ 的700hPa 湿度场,
 b $\langle B \rangle - \langle C \rangle$ 的500hPa 湿度场, e $\langle B \rangle - \langle C \rangle$ 的700hPa 湿度场,
 c $\langle A \rangle - \langle C \rangle$ 的500hPa 湿度场, f $\langle A \rangle - \langle C \rangle$ 的700hPa 湿度场)

从图2a,青藏高原的热力作用使高原南部的500hPa 层的湿度有显著下降,降湿区沿高原东部经河西走廊向北伸向内蒙古,在高原东麓有一增湿带。高原动力作用的结果表明(见图2b),以高原分水岭为界,整个高原南部为增湿区,而以北的高原北部以及新疆东部和南部,甘肃,宁夏,陕西一带均为降湿区。高原对500hPa 湿度场的影响似乎以动力作用更为重要。动力和热力作用的综合作用结果(见图2c)显示最大增湿区在高原东南、甘南、陕南和河南一带。高原西部、北部以及新疆、河西走廊、宁夏、陕北、内蒙古一带均为降湿

区,最大降湿中心位于新疆和甘肃交界处一带。

在700hPa 层上,非绝热加热作用引起的湿度下降区在高原以东并向西北伸向河西走廊(图2d)。动力作用的结果使增湿带位于高原以东并向北扩展,新疆东部和河西走廊均为降湿区,其中心位于甘肃西部(图2e)。热力作用和动力作用使高原以东湿度场的变化减少,但却都使得河西走廊的湿度下降(图2f),可见青藏高原对河西走廊地区初夏的干旱有着重要作用。

3.3 500hPa 涡度场和经向风场

图3a 和图3b 分别为500hPa 的(A)–(C)的5天预报平均的涡度场和经向风场。

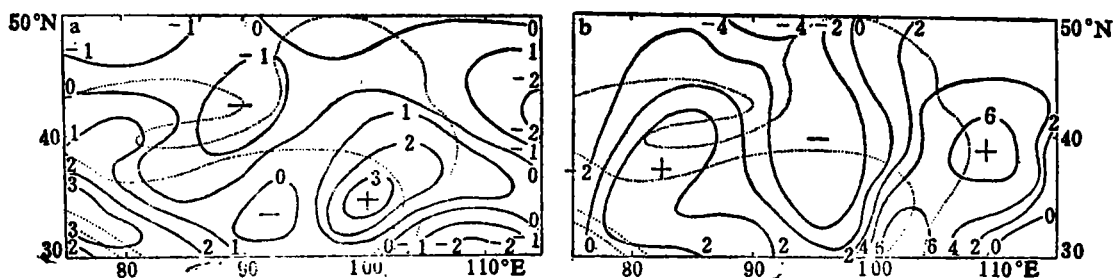


图3 1979年6月15日至19日5天平均

(a (A)–(C)的500hPa 涡度场(10^{-5}s^{-1}),

b (A)–(C)的500hPa 经向风场(m/s))

Zheng 和 Liou^[9]发现,青藏高原的存在有利于正负涡度分别沿高原南北两侧输送。图3a 为动力和热力作用的综合结果,但和动力作用的(B)–(C)的结果(图略)相似,表明对500hPa 涡度场的影响中,高原的动力作用占主导地位,其结果使高原北缘涡度减少,有利于反气旋式涡度沿高原北侧输送,这是造成高原北侧干旱的又一重要原因。

图3b 的北风增强区位于新疆经甘肃伸向高原东部一带,这种北风增强的重要原因是由于青藏高原动力和热力作用的结果,这也是发生高原东北侧的初夏干旱的重要原因。

3.4 垂直环流

叶笃正^[3]指出,沿整个青藏高原北坡有一支下滑风,与我国干旱地带相合,这支下沉气流在方案(A)中的模拟是成功的(见文献[10]的图8a)。图4a 和图4b 分别给出了穿过河西走廊的100°E 上垂直速度剖面的(A)–(B)和(B)–(C)的第72小时预报结果之差。图4c 和图4d 分别为沿40°N 的(A)–(B)和(B)–(C)的第3天垂直速度预报结果的剖面图。

从图4a 中可看到,在高原南麓的25°N 附近有明显的上升运动增强区,同时在赤道附近10°N 上空和高原北坡有下沉运动的增强。这表明,高原南麓的非绝热加热作用对季风环流的加强具有重要贡献,至于高原北坡的下沉气流的加强,一是高原上升运动加强的补偿结果,另一是非绝热方案中西风加强的动力效应,此外这一地区涡度减少也有利于出现下沉气流。观测结果表明,7月份高原北部上空存在一较小经向环流圈^[1],它的下沉支对应着高原北侧的下滑风,其原因正是高原的加热作用。图4c 中,由于高原非绝热加热引起西风急流增强后,90–100°E 间的下沉运动增强。

东亚大地形的动力作用则有不同特点。从图4b 可以看到,引入地形后,除了45–55°N

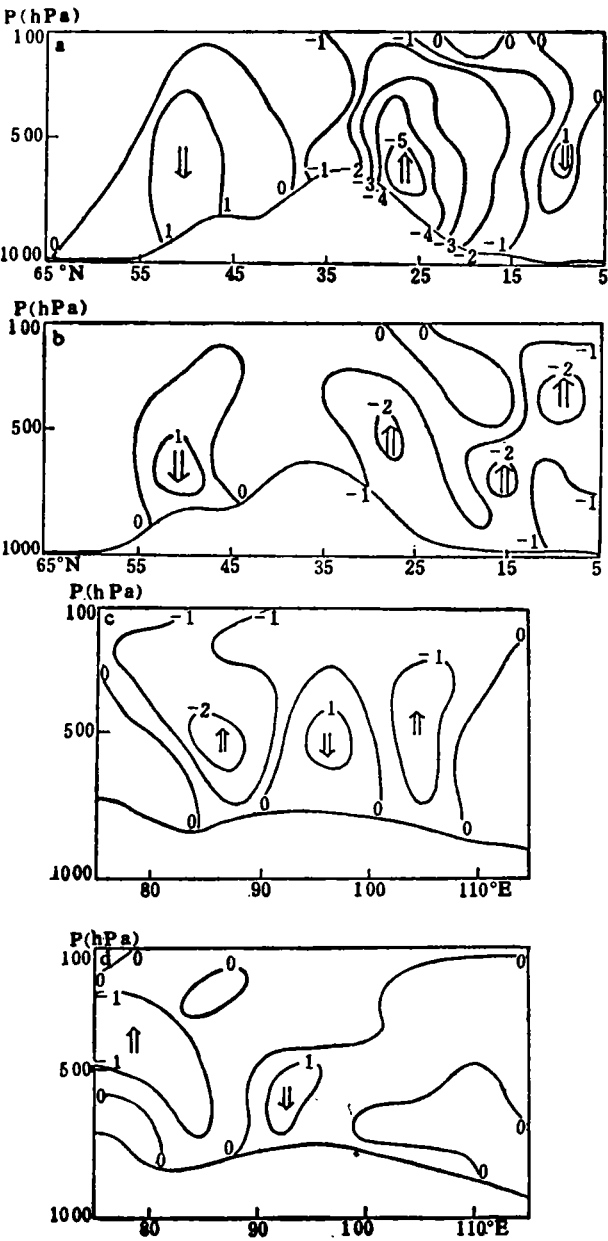


图4 第72小时预报的垂直速度剖面图
(单位 10^{-4} hPa/s)

(a) 沿 100°E 的(A)–(B)经向剖面
(b) 沿 100°E 的(B)–(C)经向剖面
(c) 沿 40°N 的(A)–(B)的纬向剖面
(d) 沿 40°N 的(B)–(C)的纬向剖面

之间有弱的下沉运动增强外,整个 100°E 剖面上几乎均为弱的上升运动增强。图4d中由于地形引入后,气流越过帕米尔高原的动力效应仍足以在青藏高原北坡产生下沉运动的加强区。

比较图4a和图4b中的垂直速度量级可见,高原南麓上升运动的原因主要是非绝热加热,而高原北侧的下沉运动的加强则动力和热力的贡献大致相当。在初夏季节转换过程中,高原上的非绝热加热有明显的加强,导致高原北部正的经圈环流的加强和高原北侧的副热带西风急流的增强,在地形动力因素的参与下,使河西走廊一带的下沉气流增强,这是这一地区初夏干旱的重要原因之一。

3.5 经向水汽输送

燕启民和郑庆林^[6]发现,青藏高原东侧 105°E 附近的水汽通道对夏季风爆发期间高原东侧的降水具有重要贡献,而高原对这一水汽通道具有维持作用,为了进一步研究高原对水汽输送的影响,图5给出了 32.5°N 纬向水汽输送($\frac{1}{g}vq$)剖面的72小时结果。

在图5a中,非绝热加热不利于高原以东地区水汽的向北输送,而在高原上500hPa层 100°E 附近却有水汽向北输送弱的增强,前者和高原上非绝热加热有利于其东部风场偏北分量增大有关,后者则是非绝热加热使季风环流增强,其低层支向高原输送水汽的结果。高原的动力作用近于与热力作用相反,在引入地形后,青藏高原以东向北的水汽输送显著增强,其中心位于 110°E 附近700hPa上空(图5b),这和高原对来自孟加拉湾和阿

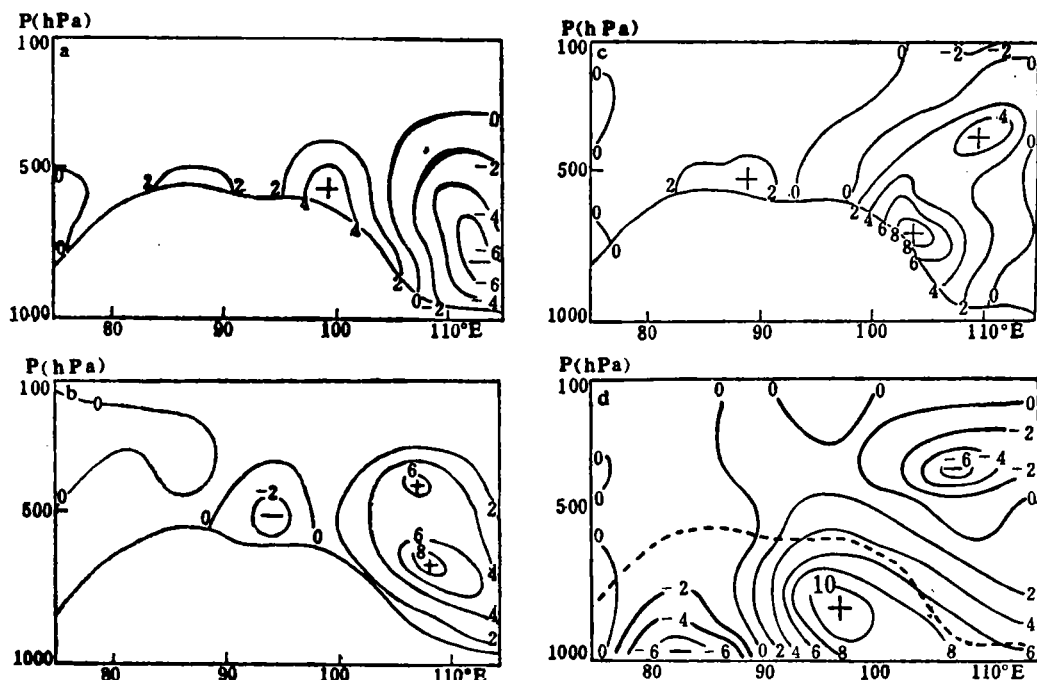


图5 第72小时预报的32.5°N 纬向水汽剖面(kg/(m·hPa·s))

(a) (A) - (B), c (A) - (C)
b (B) - (C), d 方案(C)

拉伯海的气流进行阻挡,迫使气流沿高原东侧绕流有关。图5c 表明,动力作用和热力作用的共同结果使水汽最大向北输送中心位于105°E 附近的700hPa 上空。而在没有地形的情况下,最大向北输送位于95°E 近地层(见图5d),可见,如果没有高原的阻挡,将难以形成高原北侧的干旱带。在季风爆发期,青藏高原的作用将有利于其东侧(包括甘肃南部和陕西南部一带)进入雨季,而其北侧的河西走廊地区由于高原的屏障作用仍维持干旱。

4 结 论

由以上结果及讨论,可以得到以下结论:

1. 在初夏夏季风爆发期间,青藏高原有利于其东侧(包括甘肃南部和陕西南部一带)进入雨季,但其北侧的河西走廊地区仍维持干旱;
2. 青藏高原北侧的初夏旱与初夏季节高原上非绝热加热增强引起行星西风增强,高原北侧500hPa 温度升高,北风增强以及下沉运动增强有关;
3. 青藏高原的动力作用有利于500hPa 上负涡度沿高原北侧输送并有效地阻挡了来自高原以南的海洋上的水汽输送,从而致使高原北侧的干旱;
4. 帕米尔高原对行星西风的动力作用也是高原北侧初夏干旱的原因之一。

致谢:兰州干旱气象研究所孙国武研究员对本文提出宝贵意见,特此致谢。

参考文献

- [1] 叶笃正, 高由禧等. 青藏高原气象学. 科学出版社, 1979.
- [2] 徐国昌. 青藏高原东北侧干旱的天气气候特征. 甘肃省气象科技文集, 1981, 1—11.
- [3] 叶笃正等. 东亚和太平洋上空的平均垂直环流(一)夏季. 大气科学, 1979, 3(1): 1—11.
- [4] Manabe S, Terpstra T B. The effects of mountains on the general circulation of the atmosphere as identified by numerical experiments. *J Atmos Sci.* 1974, 31: 3—42.
- [5] Hahn D G, Manabe S. The role of mountains in the South Asian monsoon circulation. *J Atmos Sci.* 1975, 32: 1515—1541.
- [6] Yan Q (燕启民), Zheng Q (郑庆林). A numerical study on the effects of the Qinghai-Xizang Plateau on the medium-range weather processes of the summer monsoon in East Asia. *Acta Meteor Sinica.* 1991, 5: 171—183.
- [7] Baede A P M, Jarrand M, Cubasch U. Adiabatic formulation and organization of ECMWF spectral model. ECMWF Tech Rep. 1979, no. 15, 40pp.
- [8] 郑庆林. 一个全球七层大气环流谱模式及其30天长期数值天气预报试验. 气象科学研究院院刊. 1989, 4: 234—246.
- [9] Zheng Q, Liou K N. Dynamic and thermodynamic influence of the Tibetan plateau on the atmosphere in a general circulation model. *J Atmos Sci.* 1986, 43: 1340—1355.
- [10] Yan Q (燕启民), Zheng Q (郑庆林). A numerical study on the medium-range responses of the atmosphere to the abnormal soil moisture. *Acta Meteor Sinica.* 1992, 6(3): 299—310.

A NUMERICAL STUDY TO EFFECTS OF QINGHAI-XIZANG PLATEAU ON THE DROUGHT-WEATHER IN ITS NORTHEASTERN SIDE

Zheng Qinglin Yan Qimin

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract

Using the FGGE-IIIb data covering period from 14 June to 19 June 1979, the dynamic and thermodynamic influences of the Qinghai-Xizang Plateau on the drought weather in its northeastern side are physically investigated employing a general circulation model (T42L9) with a improved cloud-radiation scheme. By virtue of the five-day prediction experiments, with and without the inclusion of mountain and / or diabatic heating effects, it is found that the influences of Qinghai-Xizang Plateau are very significant for its northeastern drought-weather, and also for its eastern monsoon rainfall in the early Summer.

Key words: Qinghai-Xizang plateau, Drought weather, Numerical study.