

张夏琨,郭品文,张书余,等. 甘肃南部主汛期强降水日数变化特征及其可能原因[J]. 气象,2012,38(4):490-494.

甘肃南部主汛期强降水日数变化特征 及其可能原因^{*}

张夏琨¹ 郭品文¹ 张书余² 王宝鉴³

1 南京信息工程大学大气科学学院,南京 210044

2 甘肃省气象局,兰州 730020

3 兰州中心气象台,兰州 730020

提 要: 根据甘肃省南部24个地面气象站1971—2010年逐日降水、武都高空探测和NCEP再分析资料,分析了甘肃南部主汛期强降水日数变化特征,探索了其形成的可能原因。结果表明,甘肃省南部地区主汛期强降水日数存在年际差异和年代际差异。其可能原因包括大气温湿场差异引起的大气潜在不稳定性差异、水汽条件的差异和大气动力作用的差异等。甘肃南部地区主汛期强降水日数偏多的年份,该地区大气中下部温度和相对湿度偏高,中上部温度和相对湿度偏低,不稳定指数 K 指数较大,这意味着大气中潜在的不稳定性较强,同时低层辐合高层辐散较强,有利于上升运动,导致强降水天气出现的几率偏大。

关键词: 强降水, 大气条件, 成因

Variations of Extreme Precipitation Days During the Main Flood Season in Southern Gansu Province and Its Possible Causes

ZHANG Xiakun¹ GUO Pinwen¹ ZHANG Shuyu² WANG Baojian³

1 College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Gansu Provincial Meteorological Service, Lanzhou 730020

3 Lanzhou Central Meteorological Observatory, Lanzhou 730020

Abstract: By using the daily precipitation data at 24 surface synoptic stations in southern Gansu Province during 1971—2010, the upper-air sounding data in Wudu and NCEP reanalysis data, the changes in the extreme precipitation during the main flood season in southern Gansu Province and their causes are diagnostically analyzed. The results showed that extreme precipitation days in southern Gansu Province during the main flood season have interannual and interdecadal differences. Its possible causes include differences in atmospheric potential instability, caused by differences in atmospheric temperature and humidity fields, differences in moisture conditions, and differences in atmospheric dynamics. In years of more heavy precipitation days in main flood season in southern Gansu, temperature and relative humidity are higher in the lower atmosphere in this area, and lower in the upper atmosphere, the instability index K is greater, meaning that the potential instability of the atmosphere is stronger. And the lower level convergence and upper level divergence are stronger, which is conducive to upward motion, leading to a stronger probability of extreme precipitation occurrence.

Key words: extreme precipitation, atmospheric conditions, causes

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006017)资助

2011年5月25日收稿; 2012年1月31日收修定稿

第一作者: 张夏琨,主要从事中尺度气象学研究, Email: zxx668@126.com

通信作者: 郭品文,主要从事中尺度气象学研究, Email: guo@nuist.edu.cn

引言

随着全球气候变暖,我国的极端气候事件(如高温、暴雨、低温冰雪天气等)发生越来越频繁,尤其是极端降水事件趋多、趋强,导致极端事件的频率和强度变化对自然和社会的冲击远大于气候平均变化带来的影响^[1]。极端天气事件对人民的经济财产和生命安全造成损失。许多学者研究了强降水天气发生频率的年际和年代际变化特征,近40年来,盛夏长江流域极端降水频率以及暴雨降水强度均呈增大趋势^[2-4],在华北地区则呈减小趋势^[5],青藏高原东北侧强降水等极端天气事件发生的频率大幅增加^[6-8],在东北地区强降雨事件有明显的“减少—增多—减少”的变化过程^[9],在华南地区呈微弱上升趋势^[10]。还有一些学者初步探索了强降水天气变化特征的形成原因,如陈晓光等^[11]和刘丽等^[12]的工作。

2010年甘肃强降雨天气过程,具有强降雨次数明显偏多,强度大,损失重等特点。其中2010年8月7日深夜至8日凌晨,甘肃甘南藏族自治州舟曲县发生突发性强降雨,东山站降雨量为96.3 mm,其中7日晚22:00—23:00时1小时降雨量达到77.3 mm。引发特大山洪泥石流,造成1400多人死亡^[13]。因此,开展对该地区强降水的变化特征分析,并探讨其形成的可能原因,是一项十分有意义的工作。不仅可以有助于我们进一步了解甘肃南部的气候特点,也对认识该地区强降水的形成的机理有积极的意义。

1 资料与方法

1.1 主要资料

本文使用的资料主要包括:(1)甘肃省气象信息中心提供的甘肃省南部成县、宕昌、东乡、广河、合作、和政、徽县、康县、礼县、两当、临潭、玛曲、岷县、秦安、清水、天水、文县、武都、武山、西和、夏河、永靖、张家川及岷县等24个地面气象站1971—2010年7—8月的逐日降水和陇南市武都高空探测资料;(2)1971—2010年7—8月的NCEP/NCAR月平均和每日4次的再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,文献^[14]已经证实使用NCEP资料用于此类研究,计算得出的结果是可信的。若无特别说明均

使用1971—2010年的要素平均值作为各气象要素场的气候平均态。

1.2 强降水日的定义和主要分析方法

1.2.1 强降水日的定义

文中将日降水量达到或超过50 mm定义为强降水日,日界时间以北京时间20时为界。年主汛期强降水日数定义为区域内各站当年主汛期(7—8月)大于50 mm降水日数之和。

1.2.2 主要分析方法

K 指数^[15]计算:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700}$$

式中, $(T_{850} - T_{500})$ 为温度递减率, T_{d850} 为低层水汽条件, $(T - T_d)_{700}$ 为中层饱和程度。 K 指数反映出大气的层结稳定情况,其值愈大,大气愈不稳定。 K 指数是一种强对流天气常用的指标,对于强对流天气有指示意义。

气柱水汽总含量^[16]计算:用单站探空得到的各标准层和所有特性层的温度 T 、露点温度 T_d 、气压 p 计算各层的饱和水汽压 e ,已知饱和水汽压计算水汽混合比

$$r = 0.622e/(p - e)$$

式中的 r 为水汽混合比,单位为 $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,由此计算气柱水汽总含量:

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_2}^{p_1} r dp$$

式中的计算结果 W 表示对流层垂直气柱($p_1 - p_2$)中的水汽总量或累积水汽量,代表气柱中的水汽凝结后积聚在气柱底面上液态水的深度(单位:mm)。

由于甘肃南部地区的强降水以主汛期(7—8月)最多^[6],造成的灾害亦主要出现在7—8月,因此本文的研究时段为7—8月。

2 结果分析

2.1 强降水日数的变化特征

1971—2010年,甘肃省南部地区主汛期24站合计出现 ≥ 50 mm的强降水日数达262 d(平均每年出现6.6 d)。图1为甘肃省南部地区1971—2010年逐年主汛期强降水日数变化曲线图。图中可以得出,甘肃省南部地区主汛期强降水日数存在年际差异,1971—2010年间主汛期强降水日数偏多

的年份有 1978、1981、1998、2005、2007、2009 和 2010 年,偏少的年份有 1972、1977、1988、1996 和 2002 年。

图中还可发现,主汛期强降水日数还存在年代际差异,与 1971—1990 年相比,1991—2010 年的平均主汛期强降水日数是偏多的。黄涛等^[6] 研究指出,甘肃省南部的临夏地区自 1990 年以来强降水气候倾向率为 6.8,近 20 年与之前相比为增加趋势^[7-8,17]。这与我们所研究的甘肃省南部主汛期强降水日数的年代际变化相似。另外,统计了甘肃省南部地区 24 站的雨日和雷暴日数(图略),1990 年至今呈减少趋势,与文献^[8,18]研究结果类似。

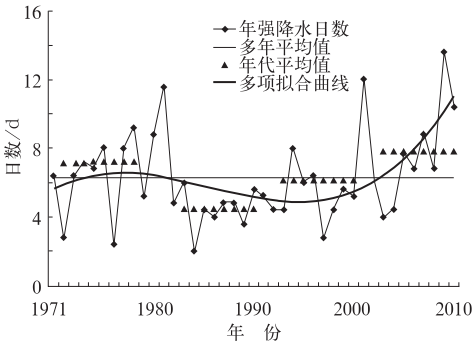


图 1 甘肃省南部地区主汛期 24 站合计 ≥ 50 mm 强降水日数年际变化图

Fig.1 Interannual variation of the total number of heavy precipitation (≥ 50 mm) days at 24 stations in the southern region of Gansu Province during the main flood season

2.2 可能原因分析

2.2.1 大气温湿场和不稳定性

为了研究甘肃省南部强降水日数年际差异的原因,我们利用 NCEP/NCAR 资料分别计算了主汛期强降水日数典型多年与典型少年平均 700 hPa 温度和相对湿度差值场(图 2)。结果表明,7—8 月在甘肃省南部地区,强降水日数典型多年的低层温度明显高于典型少年,差值为 $0.2\sim 0.4^{\circ}\text{C}$,且愈靠近青藏高原,温度差值愈高;在同一地区相对湿度也出现了正差值。我们还计算了主汛期强降水典型多年与典型少年平均 300 hPa 温度和相对湿度差值场(图 3)。结果表明,甘肃省南部地区强降水日数典型多年与典型少年 7—8 月的高层温度和相对湿度为明显的负差值。上述研究工作表明,主汛期强降

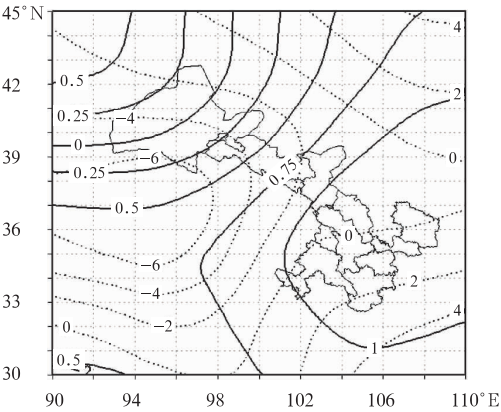


图 2 主汛期强降水日数典型多年与典型少年平均 700 hPa 温度和相对湿度差值场

(图中实线为温度距平等值线,单位: $^{\circ}\text{C}$;
点线为相对湿度距平等值线,单位: %)

Fig.2 Mean temperature and relative humidity difference chart at 700 hPa during July and August between typical years of more and less heavy precipitation days in main flood season

(Solid line for the temperature anomaly contour, unit: $^{\circ}\text{C}$, dotted line for the relative humidity anomaly contour, unit: %)

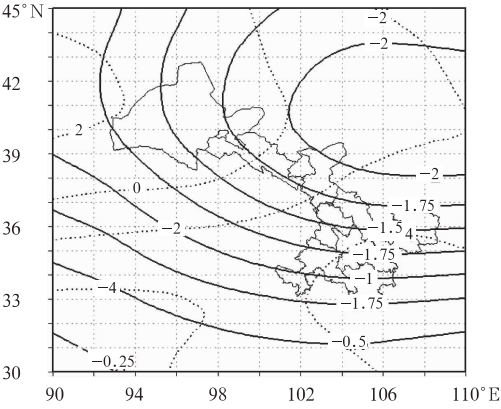


图 3 主汛期强降水日数典型多年与典型少年平均 300 hPa 温度和相对湿度差值场

(图中实线为温度距平等值线,单位: $^{\circ}\text{C}$;
点线为相对湿度距平等值线,单位: %)

Fig.3 Mean temperature and relative humidity difference chart at 300 hPa during July and August between typical years of more and less heavy precipitation days in main flood season

(Solid line for the temperature anomaly contour, unit: $^{\circ}\text{C}$, dotted line for the relative humidity anomaly contour, unit: %)

水日数典型多年与典型少年相比,甘肃省南部地区的低层气温和相对湿度都明显偏高,同时高层的气温和相对湿度明显偏低。

为了进一步说明各层的温湿场差异导致主汛期强降水日数年代际差异状况,我们取 105°E 的剖面,从图 4 可以清楚地看到,主汛期强降水日数偏多的 1991—2010 年与偏少的 1971—1990 年相比,从 30°~36.5°N 一线,在 750 hPa 以下温度都升高,750 hPa 以上各层的温度都是降低的;同时在 700 hPa 以下相对湿度也都升高,700 hPa 以上各层的相对湿度都是降低的,300 hPa 的降湿幅度最大为 -2.8%。图 4 进一步表明,在 105°E 的 30°~36.5°N,大气中下部温度和相对湿度上升,中上部温度和相对湿度下降,这意味着大气中潜在的不稳定性增加,对流性天气出现的几率增多,与由图 1 得出的 1991—2010 年平均主汛期强降水日数较 1971—1990 年偏多的结论相印证。因此,大气温湿场差异引起的大气潜在不稳定性差异可能是导致甘肃省南部强降水日数年代际差异的重要原因之一。

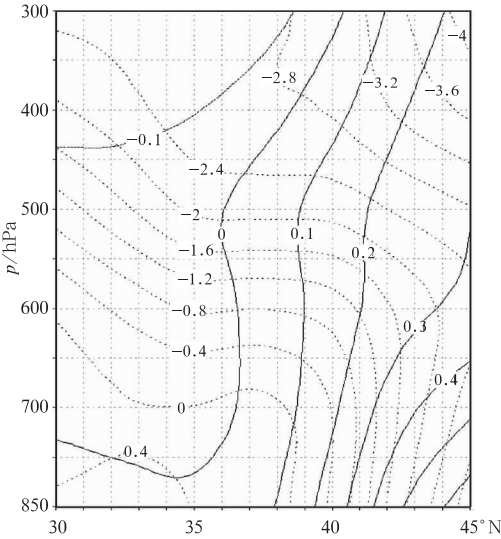


图 4 1991—2010 年与 1971—1990 年多年平均 7—8 月温度和相对湿度差值剖面图
(图中实线为温度距平等值线,单位:℃;点线为相对湿度距平等值线,单位:%,沿 105°E 的剖面)
Fig. 4 Secular mean temperature and relative humidity difference profiles during July and August between years 1991—2010 and years 1971—1990
(Solid line for the temperature anomaly contour, unit: °C; dotted line for the relative humidity anomaly contour, unit: %; the profile along 105°E)

为了进一步研究甘肃省南部强降水日数年际差异的原因,我们又用甘肃省南部陇南市武都气象站高空探测资料计算了 K 指数,分析了强降水日数典型多年与典型少年相比,7—8 月降水量 ≥ 50 mm 各日 20 时 K 指数年平均值的差异。结果表明,强降水日数典型多年不稳定指数 K 指数的年平均值均偏高,强降水日数的典型少年 K 指数的年平均值均偏低, F 检验表明,其差异达到 0.01 显著性水平。上述研究结果说明,甘肃省南部上空大气的不稳定性差异,可能是导致甘肃省南部主汛期强降水日数差异的直接原因之一。

另外,利用陇南市武都气象站高空探测资料计算了 1971—2010 年 7—8 月降水量 ≥ 50 mm 各日 20 时对流层气柱水汽总量的年平均值,分析了强降水日数典型多年与典型少年气柱水汽总量年平均值的差异。结果表明强降水日数典型多年气柱水汽总量年平均值比典型少年高 0.36 mm,可见气柱水汽总量是伴随强降雨频率的增加而增加。

2.2.2 大气动力作用

我们还分析了大气动力作用对甘肃省南部地区

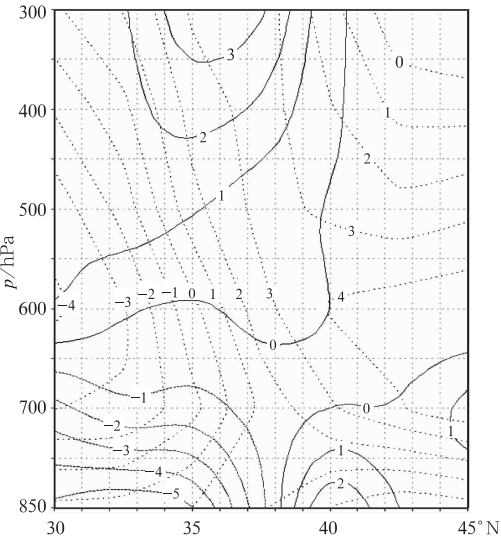


图 5 1991—2010 年多年平均 7—8 月散度和垂直速度距平等值剖面图
[图中实线为散度距平($\times 10^{-13}$)等值线,点线为垂直速度距平($\times 10^{-3}$)等值线,沿 105°E 的剖面]
Fig. 5 Secular mean divergence and vertical velocity anomaly profile during July and August in years 1991—2010
[Solid line for divergence anomaly ($\times 10^{-13}$) contour, dotted line for the vertical velocity anomaly ($\times 10^{-3}$) contour, the profile along 105°E]

强降水日数的影响。为了反映各层的散度和垂直速度场的变化状况,我们取 105°E 的剖面绘制了主汛期强降水日数偏多的 1991—2010 年多年平均 7—8 月散度和垂直速度场距平剖面图(图 5)。从图中可以清楚地看到,主汛期强降水日数偏多的 1991—2010 年中,从 $30^{\circ}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$,在 600 hPa 以下均为散度负距平,600 hPa 以上各层均为散度正距平;同时在 $30^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$,500~700 hPa 有一个明显的垂直速度负距平区,600 hPa 的负距平幅度最大为 -4×10^{-3} 。图 5 进一步表明,在 105°E 的 $30^{\circ}\sim 37.5^{\circ}\text{N}$,近 20 年来大气中下部辐合作用加强,中上部辐散作用加强,这导致了大气中部有向上的垂直速度距平,大气中的不稳定性增加,对流性天气出现的几率增多。因此,大气动力作用差异引起的大气不稳定性差异也可能是导致甘肃省南部强降水日数差异的一个原因。

3 结 论

(1) 甘肃省南部地区主汛期强降水日数存在年际差异,偏多的年份有 1978、1981、1998、2005、2007、2009 和 2010 年,偏少的年份有 1972、1977、1988、1996 和 2002 年。主汛期强降水日数还存在年代际差异,1991—2010 年偏多,1971—1990 年偏少。

(2) 甘肃南部地区主汛期强降水日数偏多的年份,大气中下部温度和相对湿度较高,中上部温度和相对湿度较低,意味着强降水日数典型多年大气中的潜在不稳定性较强,不稳定指数 K 指数较高,同时对流层气柱水汽总量也较高,且大气中下部辐合、中上部辐散作用较强,导致了大气中部垂直上升气流出现几率较大,大气中的不稳定性较强,强降水天气出现的几率较大。

(3) 导致甘肃省南部地区主汛期强降水日数年际和年代际差异的可能原因主要是大气温湿场差异引起的大气潜在不稳定性差异、水汽条件的差异和

大气动力作用的差异等。

参考文献

- [1] 罗伯良,张超,林浩,等. 近 40 年湖南省极端强降水气候变化趋势与突变特征[J]. 气象,2008,34(1):80-85.
- [2] 陈波,史瑞琴,陈正洪. 近 45 年华中地区不同级别强降水事件变化趋势[J]. 应用气象学报,2010,21(1):47-53.
- [3] 李红梅,周天军,宇如聪. 近四十年我国东部盛夏日降水特性变化分析[J]. 大气科学,2008,32(2):358-370.
- [4] 杨宏青,陈正洪,石燕,等. 长江流域近 40 年强降水的变化趋势[J]. 气象,2005,31(3):66-68.
- [5] 刘海文,丁一汇. 华北汛期日降水特性的变化分析[J]. 大气科学,2010,34(1):12-22.
- [6] 黄涛,刘治国,邓振镛. 青藏高原东北侧强降水变化特征及其气候重现期计算[J]. 干旱气象,2009,27(4):314-319.
- [7] 黄玉霞,王宝鉴,王鹏祥. 青藏高原夏季降水异常及其水汽输送特征分析[J]. 气象,2006,32(1):18-23.
- [8] 汪青春,李林,刘蓓,等. 青海省近 40 年雨日、雨强气候变化特征[J]. 气象,2005,31(3):69-72.
- [9] 张杰,钱维宏,丁婷. 东北地区 5—9 月降水特征和趋势分析[J]. 气象,2010,36(8):1-7.
- [10] 伍红雨,杜尧东,秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化[J]. 气象,2011,37(10):1262-1269.
- [11] 陈晓光,郑广芬,陈晓娟,等. 气候变暖背景下宁夏暴雨日数的变化[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):85-90.
- [12] 刘丽,曹杰,何大明,等. 中国低纬高原汛期强降水事件的年代际变化及其成因研究[J]. 大气科学,2011,35(3):435-443.
- [13] 曲晓波,张涛,刘鑫华,等. 舟曲“8.8”特大山洪泥石流灾害气象成因分析[J]. 气象,2010,36(10):102-105.
- [14] 赵天保,符淙斌,柯宗建,等. 全球大气再分析资料的研究现状与进展[J]. 地球科学进展,2010,25(3):242-254.
- [15] 周后福,郑媛媛,李耀东,等. 强对流天气的诊断模拟及其预报应用[M]. 北京:气象出版社,2009:12-13.
- [16] 杨红梅,葛润生,徐宝祥. 用单站探空资料分析对流层气柱水汽总量[J]. 气象,1998,24(9):8-11.
- [17] Yu R C, Wang B, Zhou T J. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia[J]. Geophys Res Lett,2004,31(L22212):1-4.
- [18] 王建兵. 甘南高原雷暴的气候特征[J]. 干旱气象,2007,25(4):51-55.