

四川盆地降水变化的区域差异

白莹莹^{1 2} 张 焱³ 高阳华² 何泽能² 李永华⁴

(1. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610072; 2. 重庆市气象科学研究所, 重庆 401147;
3. 重庆市气象台, 重庆 401147; 4. 重庆市气候中心, 重庆 401147)

摘要: 利用四川盆地实测气象资料、NCEP/NCAR 再分析资料以及 NCDC 全球气温距平资料, 分析了四川盆地降水变化的区域差异。结果表明: 盆地降水空间异常分布主要呈东西振荡特征, 近 46 a 来, 盆西降水显著减少, 盆东降水总体变化趋势不明显。青藏高原夏季风指数、西太平洋副热带高压北界和脊线指数与盆地夏季降水的相关场表现为盆西和盆东反号分布, 表明高原夏季风和西太副高可能是盆地降水东西振荡分布的重要原因。通过与全球气温变化的回归分析发现, 盆地降水变化趋势的区域差异, 特别是盆西地区的暖干化可能是对全球变暖的区域响应。

关 键 词: 四川盆地; 降水; 区域差异; 全球变暖

中图分类号: P466 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2011)04-0478-07

四川盆地位于亚热带, 地处高原大地形与中国东部平原的过渡区, 特殊的地理位置使得盆地的气候既受东亚季风和印度季风的影响, 同时又受青藏高原大气环流系统的影响, 气候复杂^[1]。

在各种气候要素中, 降水量是描述一个地区气候及其变化的关键指标之一。对于四川盆地降水量在不同时间尺度和空间尺度上的变化特征, 及其它与相关气候因子的关系研究, 很多学者作了相关方面的工作。谭友邦等分析了盆地 6~8 月降水的主要特征, 发现四川盆地主汛期降水变化主要表现为东西部的振荡^[2]。蒋兴文等分析了四川盆地夏季平均的水汽输送状况及四川盆地典型旱涝年的水汽输送差异特征^[3]。陈吉琴等认为四川盆地近 50 a 来气候的年代际变化经历了一个“暖湿-暖干-冷湿-暖干”的过程^[4]。以上的研究结果表明四川盆地的降水具有很强的区域差异。

以往的研究大多关注于某一因子对盆地降水的影响, 如水汽输送、副热带高压、高原系统等, 或者关注于整个盆地的气候变化特征, 而单独针对盆地降水的区域性差异的研究相对较少。本文拟利用近 46 a 盆地实测气象资料、NCEP/NCAR 再分析资料以及 NCDC 全球气温距平资料, 重点分析盆地降水异常在空间尺度以及时间尺度的区域性差异,

并尝试寻找盆地降水区域性差异的成因。结果将有利于人们进一步认识盆地降水的变化规律, 并对该地区的短期气候预测提供一定的参考意义。

1 资 料

从中国气象局整编的全国 754 站基本观测资料中选取了位于盆地境内的 20 个站点资料, 并对其中有迁站纪录的 3 个测站进行了剔除, 得到了本文主要研究的 17 个测站(都江堰、绵阳、雅安、资阳、乐山、宜宾、广元、阆中、巴中、达州、遂宁、南充、梁平、万州、沙坪坝、涪陵、叙永), 时间长度取为 1961~2006 年。选定的测站分布较为均匀, 且和盆地地形相吻合(图略)。

全球气温距平序列资料取自 NCDC(National Climate Data Centre), 时间取为 1880~2006 年^[5]。

大气资料取自 NCEP/NCAR 再分析资料集^[6]。水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$, 垂直方向取 8 层(自地面至 300 hPa), 时间取为 1961~2006 年。

2 盆地降水变化概况

图 1a 显示的是四川盆地 1961~2006 年的年平均降水量距平变化, 可看出, 整个时段内, 降水总体呈减少趋势, 同时从降水日数距平变化(图 1b)

收稿日期: 2010-07-04; 修订日期: 2010-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(40975058)、重庆市自然科学基金计划项目(CSTC2010BB7335, CSTC2009BB7248)、中国气象局成都高原气象研究所开放实验室基金项目(LPM2009008, LPM200814)资助。

作者简介: 白莹莹(1981-), 女, 河北张家口人, 硕士研究生, 主要从事气候变化研究。E-mail: byying113@126.com

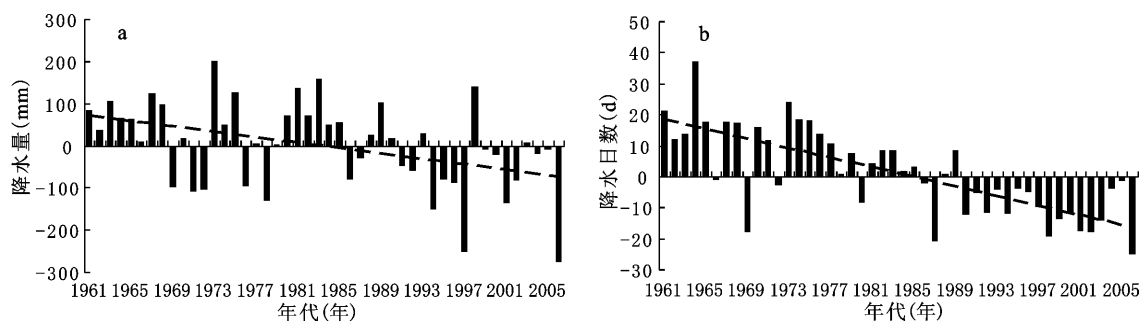


图 1 盆地年降水量距平 (a) (mm) 及降水日数距平 (b) (d)

Fig. 1 Anomalies of mean annual precipitation (a , unit: mm) and precipitation days (b , unit: day) in Sichuan basin

可以看出 , 降水日数也在显著减少 , 20 世纪 90 年代后基本为负距平。

3 盆地降水异常的区域差异

3.1 盆地降水异常的 EOF 分析

图 2a、b 给出了盆地内降水异常 EOF 展开的第一模态的空间分布和时间系数 , 第一模态的方差贡献是 27.41% , 代表盆地内降水变化的主要空间分布特征。由图 2a 可见 , 盆地区域降水异常主要呈东西振荡分布 , 即盆地西部和东部降水异常呈反位相变化 , 负值的中心位于雅安附近 , 正值中心位于达州、巴中一带。这和邵远坤等的结论相一致^[7]。考虑到图 2a 所示的基本状态 , 参考图 2b , 当时间系数为正时 , 盆西降水偏少 , 盆东降水偏多 ; 反之 , 当时间系数为负时 , 盆西降水偏多 , 盆东降水偏少。

3.2 盆西和盆东降水变化的不同特征

根据 EOF 分析的结果 , EOF1 代表了盆地内降水变化的主要分布特征 , 即盆地东西部呈反位相变化 , 故以 105°E 为界 , 将盆地区域分为盆西和盆东

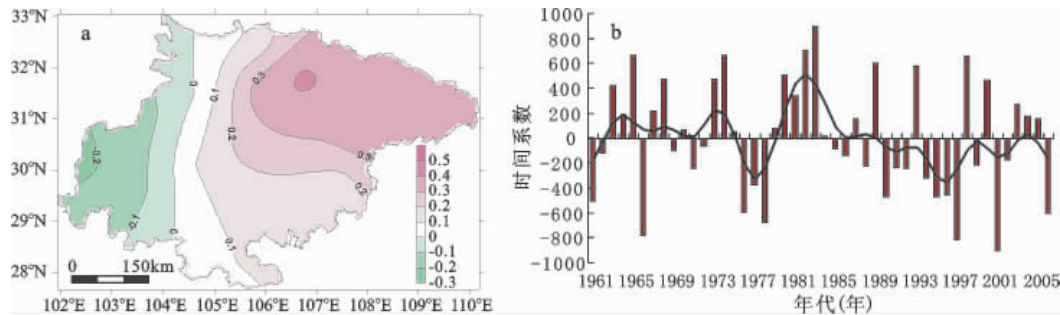
两部分 , 下面分别讨论了盆西和盆东降水变化的不同特征。从年平均降水总量的变化看 , 盆西和盆东有较大差异 , 盆西降水距平呈显著下降趋势 , 特别是 20 世纪 90 年代后 , 除个别年份以外基本为负距平 ; 而盆东年降水距平总体变化趋势不明显 (图 3a、b) 。已有的研究也指出 , 以雅安为显著代表的盆西地区降水减少趋势明显 , 但原因尚未完全说明^[8]。

3.3 盆地夏季降水变率的方差贡献

参考文献的定义 , 第 m 月降水对年降水年际变率的方差贡献表示为^[9,10] :

$$S_m = \frac{\sum_{y=1}^{46} [(R_y - R_y^*) (R_{ym} - R_m^*)]}{\sum_{y=1}^{46} (R_y - R_y^*)^2}$$

式中 R 表示降水 , 下标 y 表示年 , m 表示月 , $*$ 表示时间平均。根据以上公式 , 计算了盆地区域 6 ~ 8 月降水对年降水变率的方差贡献 (图略) , 发现盆地西部夏季降水方差贡献超过了 70% , 盆地东部大部地区也都超过了 60% , 另外 , 从方差贡献的空间分布来看 , 也可以看出显著的区域差异 , 盆地西部夏季降水方差贡献较东部整体偏大 , 但总体来看 , 盆地夏季降水仍是决定年降水量变化的关键时期。



a. EOF1 的空间分布 ; b. EOF1 的时间序列

图 2 盆地年降水异常 EOF 分解

Fig. 2 Leading EOF mode of annual precipitation anomalies in Sichuan Basin

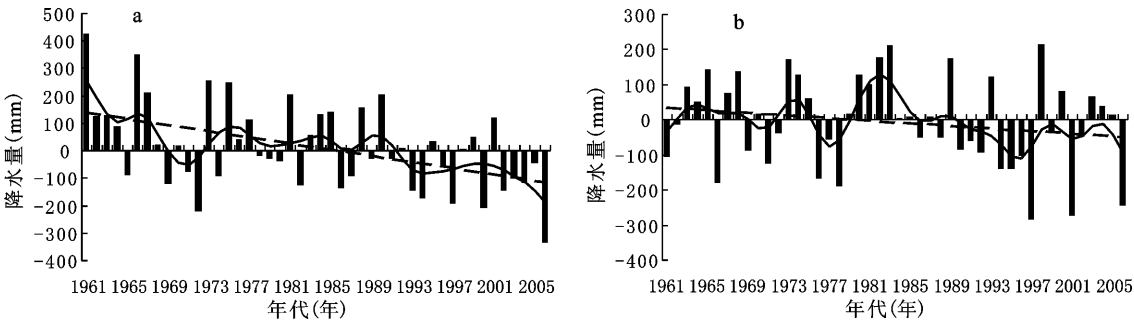


图3 盆西(a)和盆东(b)年平均降水距平(mm)

Fig. 3 Anomalies of mean annual precipitation for western part (a) and eastern part (b) of Sichuan Basin

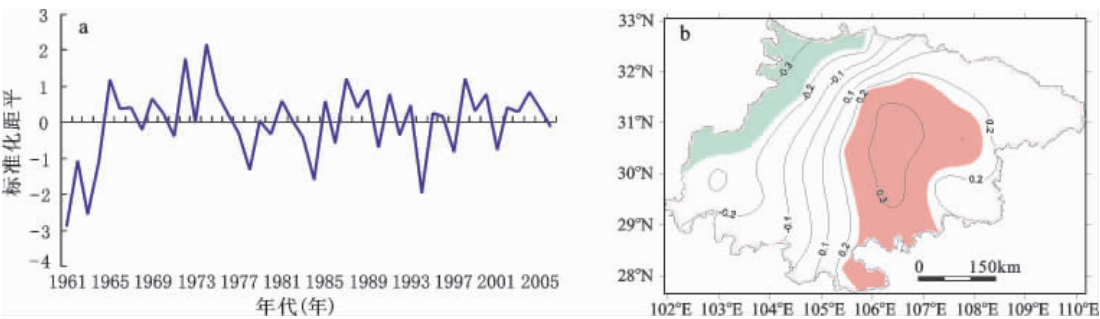
4 盆地降水变化区域差异的成因初步分析

4.1 青藏高原夏季风的影响

四川盆地地理位置特殊,西与青藏高原相连,高原天气系统对盆地气候有重要影响。白虎志等在研究高原夏季风与全国降水的相关关系中曾指出,高原夏季风与四川盆地夏季降水存在较好的关系^[11]。因此,本文将高原夏季风作为影响盆地降水变化的一个重要因子进行进一步研究。青藏高原季风形成的本质是冬、夏季高原大气具有相反的热力作用,汤懋苍等的研究指出大气环流在高原主体600 hPa上表现最明显,并从高度场出发定义了高原季风指数^[12,13]。白虎志等的研究表明 NCEP/

NCAR 600 hPa 高度场再分析资料在高原地区的可用性^[11]。本文参考白虎志提出的方法,取青藏高原四周的32.5°N 80°E、25°N 90°E、32.5°N 100°E、40°N 90°E和中心点32.5°N 90°E共5个点的600 hPa高度值 H_1, H_2, H_3, H_4, H_0 ,计算出6~8月 $I_H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 - 4H_0$ 的值作为高原夏季风高度场指数。

高原夏季风指数和盆地夏季降水的相关分布可以看出,盆西和盆东呈反号分布(图4b),即:盆地西部为负相关,盆地东部为正相关。显著正相关区位于重庆的中西部以及四川的东北部,显著的负相关区位于盆地的偏西地区。说明当高原夏季风偏强时,盆西降水偏少,而盆东降水偏多;反之,当高原夏季风偏弱时,盆西降水偏多,而盆东降水偏少。



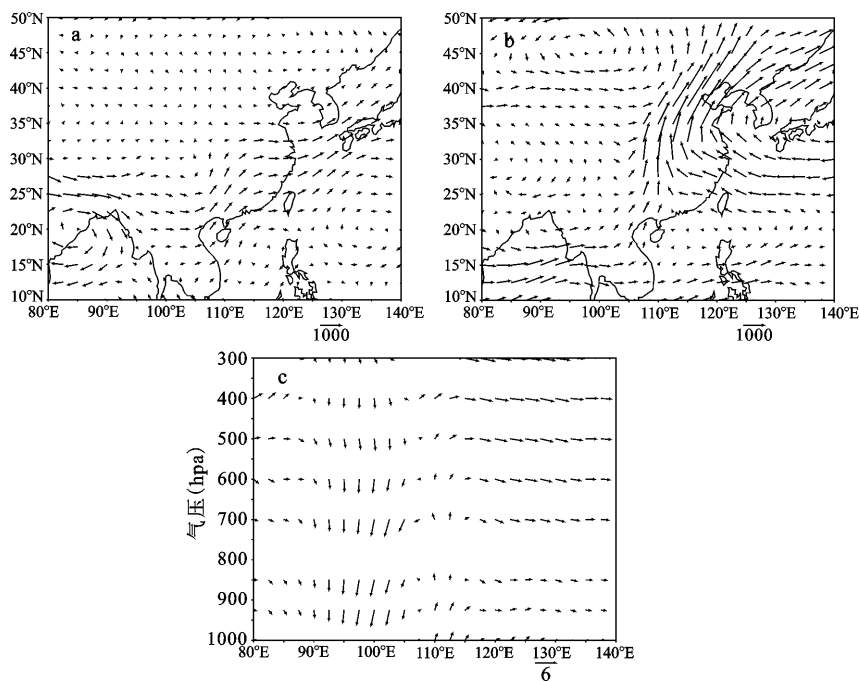
阴影部分通过90%的显著性检验

图4 高原夏季风指数标准化距平序列(a)及其与夏季盆地降水的相关系数分布(b)

Fig. 4 Standard anomalies of plateau summer monsoon index (a), and correlations coefficients between the index and summer precipitation of Sichuan Basin (b)

张杰等的研究指出青藏高原降水分布的空间差异和时间演变与季风的演变特征相一致,说明区域降水与季风水汽的输送时空变化有关^[14]。参考图4a将高原夏季风标准化距平大于1的年份定义为强季风年,标准化距平小于-1的年份定义为弱季风年。得到强季风年5a,即1965、1972、1974、

1987、1998年;弱季风年7a,即1961、1962、1963、1964、1978、1984、1994年。分别计算了高原强、弱季风年夏季整层水汽输送的合成场,可见,强季风年(图5a)孟加拉湾为反气旋性距平环流所控制,向东的水汽输送偏弱,在菲律宾以东的洋面为一弱反气旋性距平环流,其西侧来自南海地区的水汽输



a、b[单位: $\text{g}/(\text{m} \cdot \text{s})$]及 $27.5^{\circ}\text{N} \sim 32.5^{\circ}\text{N}$ 平均垂直环流差值; c . [单位(m/s)]

图5 高原强、弱季风年的夏季整层水汽输送距平合成场

Fig. 5 Composites of vertically integrated water vapor transport anomalies in years with strong (a) and weak (b) summer monsoon and differences of vertical circulation between strong and weak summer monsoon years along $27.5^{\circ}\text{N} - 32.5^{\circ}\text{N}$ (c)

送也异常偏弱,仅能到达盆地东南部,盆地东部为异常的水汽辐合区,而盆地西部则表现为异常的水汽辐散,使得盆西降水偏少,而盆东降水偏多。反之,高原夏季风偏弱时(图5b),孟加拉湾地区为气旋性距平环流所控制,其南侧丰沛的水汽向东沿中南半岛经南海地区北上输送到盆地,并延伸到我国河套地区。而在日本上空存在一个强的反气旋性距平环流中心,其西侧强劲的偏南气流使得孟湾水汽和高原水汽受到阻挡被迫停留在盆地西部,进而形成异常的盆地西部水汽辐合,而盆地东部水汽辐散,导致盆西降水偏多,盆东降水偏少。从垂直环流上看(图5c),当高原夏季风偏强时,以 105°E 为界,盆西上空为一致的下沉气流,而盆东为较弱的上升气流,也有利于盆西少雨而盆东多雨;反之亦然。

4.2 西太平洋副高的影响

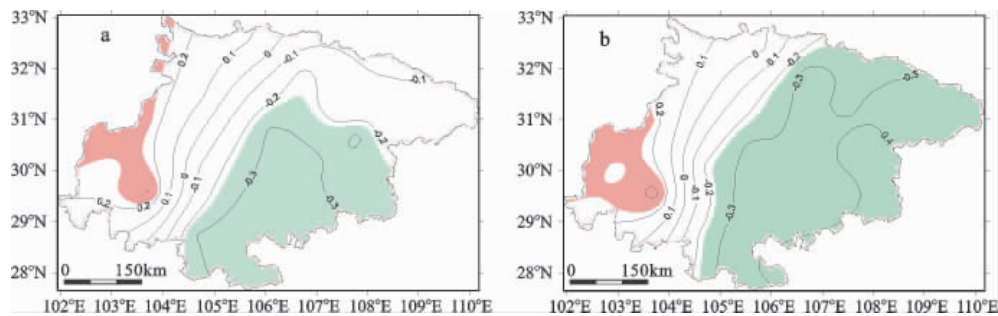
西太平洋副高的异常往往会引起四川盆地的旱涝异常^[3],因此对于盆地气候的研究我们也应密切关注其活动规律。利用中国气象局国家气候中心整编的74项环流指数,计算其与盆地夏季降水的相关,发现西太平洋副高北界、副高脊线指数与盆地夏季降水的相关呈现出盆西和盆东反号分

布的特征(图6),且两个指数的相关分布基本一致。其中,以盆东的负相关最为显著,盆东大部地区都可以通过显著性检验,显著正相关区域位于盆西西部的乐山和雅安附近。说明副高位置偏北,盆西降水偏多,而盆东降水偏少;反之,副高位置偏南,盆西降水偏少,而盆东降水偏多。

周长艳等的研究表明,西太平洋副高偏北,有利于将东部、南部海洋上的暖湿空气向北、向西输送,为盆西夏季降水提供水汽来源,盆西夏季降水偏多;副高偏南,盆东位于脊线北侧,受副热带锋区的影响,多气旋和锋面活动,盆东降水偏多^[15]。因此,副高偏北有利于盆西多雨盆东少雨,副高偏南有利于盆东多雨盆西少雨。

5 盆地降水变化对全球变暖的响应

随着全球变暖的日益显著,以气候变暖为代表的全球性环境问题已越来越受到科学界、社会公众和各国政府的关注。IPCC第四次评估报告指出最新更新的过去100a(1906~2005)的变暖趋势为 0.74°C 。过去50a变暖趋势是每十年升高 0.13°C ($0.10 \sim 0.16^{\circ}\text{C}$),几乎是过去100a来的两倍^[16]。近年来,四川盆地地区平均气温的增暖趋势也较为



阴影部分通过了 90% 的显著性检验

图 6 西太平洋副高北界指数 (a)、副高脊线指数 (b) 分别与盆地夏季降水的相关系数分布

Fig. 6 Correlations coefficients between north boundary index (a), Ridge index (b) of West Pacific Ocean Subtropical High and summer precipitation of Sichuan Basin

明显,但与全国的气温变化趋势仍有较大差别,中国大部分地区的增暖始于 20 世纪 80 年代中期^[17~21],而盆地在整个 80 年代都是气温的负距平,已有的研究成果也指出四川盆地 80 年代的呈降温趋势^[22],这与本文的结果相一致。从 90 年代中期开始可以看出盆地区域的显著增温,此后 10 a 的增温速率甚至超过了全国以及全球的增温速率 (图略)。

为了探讨盆地降水变化对全球变暖的可能响应,利用盆地内 46 a 的降水资料和 NCDC 全球气温距平资料,采用一元线性回归方法,以全球气温距平拟合盆地各站降水,得到了与全球变暖有关的盆地降水变化。假设全球温度升高 1℃ 的情况下,盆地降水量距平分布见图 7a,盆西大部分地区降水显著减少,其中以盆地西南部的雅安、资阳、宜宾降水减少最为显著,超过了 -200 mm;盆东地区降水距平呈现出南北部反相分布,以巴中为代表的偏北地区降水减少 100 mm 左右,而以重庆中西部为代表的偏南地区降水偏多 0 ~ 50 mm,由于盆东地

区降水分布的南北差异,使得盆东地区总体降水变化趋势不明显。由此可见,盆东和盆西近 46 a 实际降水量变化趋势 (图 3) 与在全球变暖 1℃ 情况下的趋势 (图 7a) 基本一致。

为了进一步证实全球变暖与盆地区域降水的关系,选择 46 a 中最暖的 10 a (1997 ~ 2006 年) 和最冷的 10 a (1980 ~ 1989 年) 做合成分析。结果表明,高温年和低温年降水量距平的差值分布 (图 7b) 与图 7a 相类似,盆西地区以及盆东东北部地区降水量都是偏少,只有盆东南部降水偏多。由此说明盆地降水变化趋势的区域性差异,特别是盆西地区的暖干化可能是对全球变暖的区域响应。

6 结论与讨论

1) 近 46 a 来,盆地年降水量、降水日数均呈显著减少趋势。盆地降水空间异常主要呈东西振荡分布,即盆地东、西部反位相变化。

2) 从年平均降水总量的变化来看,盆西和盆东有较大差异,盆西降水呈显著下降趋势,而盆东

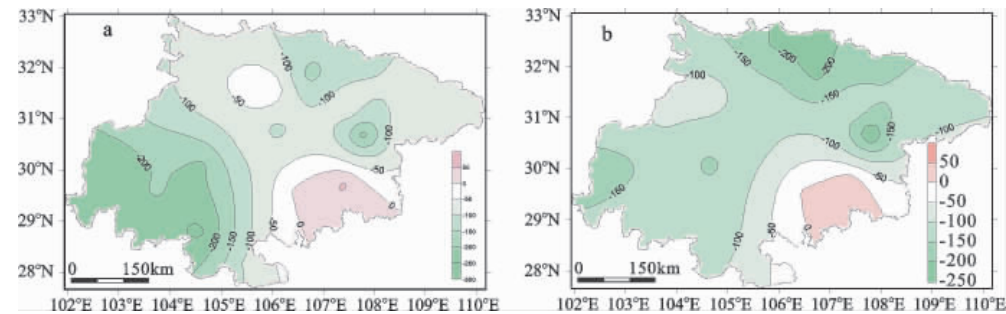


图 7 全球升温 1℃ 的情况下盆地年降水量距平 (a, 单位: mm)、1997 ~ 2006 与 1980 ~ 1989 年两个时段降水量距平之差 (b, 单位: mm)

Fig. 7 Annual precipitation anomaly over Sichuan basin with an increase of 1℃ in global mean air temperature (a) and composite differences of annual precipitation anomalies between periods 1997 - 2006 and 1980 - 1989 (b)

年降水总体变化趋势不明显。

3) 高原夏季风和西太平洋副热带高压可能是盆地降水区域差异的重要原因。当高原夏季风偏强、西太平洋副高偏南时, 盆西降水偏少, 盆东降水偏多; 反之, 当高原季风偏弱、副高偏北时, 盆西降水偏多, 盆东降水偏少。

4) 盆地年降水量的变化与全球变暖存在一定的对应关系。在假设全球温度升高 1°C 情况下, 盆西大部分地区降水显著减少; 盆东地区降水距平呈现出南北部反相分布, 偏北地区降水减少, 而以重庆中西部为代表的偏南地区降水增加, 使盆东地区总体降水变化不明显。

本文对盆地降水变化区域差异作了一个事实的揭露和逻辑的推理, 然而区域性气候变化的原因复杂, 影响因子也很多, 本文没有作过细的研究, 详细的物理过程以及影响机制有待于进行。虽然本文仅通过线性关系讨论了盆地降水对全球变暖的响应, 二者之复杂的非线性关系有待于进一步研究, 但在未来全球气候进一步变暖的情况下, 盆地西部的暖干化以及降水减少相联系的水资源变化等问题无疑应当引起我们足够的重视。

参考文献:

- [1] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991: 298.
- [2] 谭友邦, 马振锋. 四川盆地 6~8 月降水变化的主要特征及预测因子研究[J]. 四川气象, 1997, 17(4): 6~10.
- [3] 蒋兴文, 李跃清, 李春, 等. 四川盆地夏季水汽输送特征及其对旱涝的影响[J]. 高原气象, 2007, 26(3): 476~484.
- [4] 陈吉琴, 张晓, 柏菊. 四川盆地 1951~2000 年气候的年和年代际变化[J]. 长江工程职业技术学院学报, 2008, 25(3): 23~25.
- [5] Smith T M, Reynolds R W. A global merged land air and sea surface temperature reconstruction based on historical observations (1880~1997) [J]. J. Climate, 2005, 18: 2021~2036.
- [6] Kalnay E, coauthor. The NCEP/NCAR 40 year Reanalysis Project [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 1996, 77: 437~471.
- [7] 邵远坤, 沈桐立, 游泳, 等. 四川盆地近 40 年来的降水特征分析[J]. 西南农业大学学报, 2005, 27(6): 749~752.
- [8] 朱艳峰, 宇如聪. 川西地区夏季降水的年际变化特征与大尺度环流的联系[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1045~1055.
- [9] 刘晓东, 安芷生, 方建刚, 等. 全球气候变暖条件下黄河流域降水的可能变化[J]. 地理科学, 2002, 22(5): 513~519.
- [10] 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567~572.
- [11] 白虎志, 马振锋, 董存杰. 青藏高原地区季风特征及与我国气候异常的联系[J]. 应用气象学报, 2005, 16(4): 484~491.
- [12] 汤懋苍, 沈志宝, 陈有虞. 高原季风的平均气候特征[J]. 地理学报, 1979, 34(1): 33~42.
- [13] 汤懋苍, 梁娟, 邵明镜, 等. 高原季风年际变化的初步分析[J]. 高原气象, 1984, 3(3): 75~82.
- [14] 张杰, 李栋梁, 王文. 夏季风期间青藏高原地形对降水的影响[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 235~240.
- [15] 周长艳, 李跃清, 房静, 等. 高原东侧四川盆地东西部夏季降水及其大尺度环流特征[J]. 高原山地气象研究, 2008, 28(2): 1~8.
- [16] IPCC. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report[M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [17] 丁一汇, 戴晓苏. 中国近百年来的温度变化[J]. 气象, 1994, 20(12): 19~26.
- [18] 卢爱刚, 庞德谦, 何元庆, 等. 全球升温对中国区域温度纬向梯度的影响[J]. 地理科学, 2006, 26(3): 345~350.
- [19] 郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征的研究[J]. 地理科学, 2005, 25(4): 448~454.
- [20] 董满宇, 吴正方, 江源. 近百年来中国东北与日本北海道地区气温变化对比[J]. 地理科学, 2009, 29(5): 684~689.
- [21] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J]. 地理科学, 2007, 27(4): 499~505.
- [22] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬, 等. 近四十年我国气候变化的初步分析[J]. 应用气象学报, 1991, 6(2): 164~173.

Spatial Differences of Precipitation Over Sichuan Basin

BAI Ying-ying^{1,2}, ZHANG Yan³, GAO Yang-hua², HE Ze-neng², LI Yong-hua⁴

(1. *Chengdu Institute of Plateau Meteorology, Chengdu, Sichuan 610072, China*; 2. *ChongQing Institute of Meteorological Sciences, Chongqing 401147, China*; 3. *Chongqing Meteorological Office, Chongqing, 401147, China*; 4. *Chongqing Climate Center, Chongqing, 401147, China*)

Abstract: Daily meteorological data of Sichuan basin, NCEP/ NCAR reanalysis data and global temperature anomalies data of NCDC were employed to diagnose the spatial differences of precipitation in Sichuan basin. The results show that the main spatial distribution of precipitation in Sichuan Basin appears to be east-west oscillation, from 1961 to 2006. The precipitation of western basin decreases significantly, but that in the eastern basin was not obvious decreased. There is a reverse distribution between plateau summer monsoon index, north boundary index and ridge index of west Pacific subtropical high and summer precipitation of Sichuan basin, which indicates that plateau summer monsoon and west Pacific ocean subtropical high may be the important reasons of the east-west oscillation of precipitation in Sichuan Basin. Using the regressive analysis and composition analysis, we found that the anomalies of precipitation over Sichuan basin have a relationship with the global mean temperature. With air temperature increasing, the precipitation over the western basin decreases significantly, while the trend in the eastern basin was not obvious, which indicates that the spatial differences of precipitation trends, especially for warming and drying of climate in western basin, are the response to global warming.

Key words: Sichuan basin; precipitation; spatial differences; global warming