

高原东侧川渝盆地降水与水资源特征及变化

周长艳¹ 李跃清^{1, 2} 彭俊¹

¹ 成都高原气象研究所, 成都 610072

² 云南大学资源环境与地球科学学院, 昆明 650091

摘要 利用川渝盆地 1951~2000 年月平均气温及月降水资料, 讨论了该地区 50 年来的降水以及水资源的变化特征。结果表明, 50 年来川渝盆地的降水和水资源总体呈减少趋势, 盆地西部和东部降水及水资源的变化呈相反趋势, 盆地东(西)部总体呈增加(减少)趋势。川渝盆地水资源的减少与降水的减少有密切联系。夏季风水汽输送向北、向西扩展强度的减弱是川渝盆地西部水资源变化的重要原因。

关键词 川渝盆地 降水 水资源 变化

文章编号 1006-9895 (2006) 06-1217-10

中图分类号 P426

文献标识码 A

The Characteristics and Variation of Precipitation and Water Resource of Sichuan and Chongqing Basin on the Eastern Side of the Plateau

ZHOU Chang-Yan¹, LI Yue-Qing^{1, 2}, and PENG Jun¹

¹ Chengdu Institute of Plateau Meteorology, Chengdu 610072

² College of Resource, Environment and Earth Science, Yunnan University, Kunming 650091

Abstract Water is an important resource for basic human survival, for ecosystems, and for many key economic activities. In many parts of the world, water already is a scarce resource, and this situation seems certain to worsen as demand increases and water quality deteriorates, even in the absence of climate change. Moreover, most major impacts of climate variability and climate change on water resource are very uncertain. The Sichuan and Chongqing basin lies on the eastern side of the Plateau, and is influenced by many kinds of monsoon, such as tropic monsoon, subtropic monsoon and the Qinghai-Xizang Plateau monsoon, so its climate is complex and especial. At the same time, this region, as a transferring station on the water transport way from the South China Sea and the western Pacific Ocean to Northwest and North China in summer and autumn, plays a great role in the water budget of the areas around. Therefore it is important to study the characteristics and variation of precipitation and water resource of the Sichuan and Chongqing basin. Based on the monthly temperature and precipitation data of 1951-2000 in the Sichuan and Chongqing basin, the characteristics of precipitation and water resource have been analyzed. In this paper, $F = P - E$, where F denotes water resource, E is evaporation and P is monthly precipitation. It is found that, the annual total water resource in the region is 457 mm and mostly distributes in summer that contributes 56 percent to the annual amount in the region, and especially the water resource in July can reach 106.5 mm. In addition, the percents contributed by other three seasons are as follows: 21 percent by spring, 21 percent by autumn and 2 percent by winter. So it is clear that the seasonal difference of water resource is obvious in the Sichuan and Chongqing basin. From 1951 to 2000, the precipitation and water resource in the Sichuan and Chongqing basin had decreased and the decrease trend is the most obvious between 1990 and 1997. There is an evident difference of water resource in the east-

ern and western part of the Sichuan and Chongqing basin. The precipitation and water resource in the western part had decreased during the 50 years, and contrary to the western part, the water resource in the eastern part shows an increased tendency. The descending of the water resource are mainly influenced by the decrease of the precipitation in the Sichuan and Chongqing basin, especially by the rainfall in the western part of the basin. The weakness of northward and westward expansion of the water vapor transport with summer monsoon has an important influence on the variation of precipitation in the region, and the variation of the precipitation further affects the change of water resource.

Key words the Sichuan and Chongqing basin, precipitation, water resource, variation

1 引言

近几年来,全球气候变化对水资源的影响已成为世界科学界所关注的重要问题^[1]。黄荣辉等^[2]、张庆云^[3]和宋正山等^[4]研究了华北地区水资源量的变化规律以及可能原因,并预测了华北地区今后 10~20 年降水变化趋势以及对水资源的影响。川渝盆地作为高原大地形与我国东部平原的过渡区,受热带季风、副热带季风的影响,气候变异大,在天气、气候等方面表现出鲜明的区域特色,如该区域气候变化与全球、全国变暖不同步^[5],这种区域气候变化,必然会对本区的水资源带来独特的严重影响。特别是近年来该地区旱涝灾害频繁,并呈上升趋势,这不仅对本区域而且对长江中下游都有显著危害^[6~8]。作为高原东侧的典型气候敏感区,川渝盆地旱涝气候变化影响着我国大范围水资源的时空分布,而水资源的异常变化会对经济乃至社会的各个方面带来严重影响,因此,研究川渝盆地的降水以及水资源的变化规律有着十分重要的意义。然而,关于川渝盆地气候水资源的研究不多:曾熙竹等^[9]指出聚集着老四川 3/4 人口和耕地的盆地平原丘陵区(主要是川渝盆地,包括四川盆地和重庆市),水资源量只占全四川的 1/5,人均占有量仅为全四川人均的 1/3.6,全国人均的 1/3,世界人均的 1/13,是严重缺水地区,其水资源的变化严重影响国民经济的发展和人民生活质量的提高,因此,研究川渝盆地的水资源情况有着重要的意义;晋玉田^[10]研究四川省盆地云水资源,提出了开发云水资源的几点建议。大气降水是地表水和地下水的最终补给来源,是水资源中最重要的一环。陈文秀等^[11]研究了 20 世纪四川盆地东西部降水变化特

征,发现 20 世纪 60 年代初以后,盆地东西部降水变化趋势相反,东部增加而西部减少。影响川渝盆地降水的主要影响因子有季风、热带西太平洋热状况等^[5, 12, 13],后者通过影响西太平洋副高等环流系统变化,进而影响四川盆地气温和降水气候异常。

通过以上分析发现,利用长时段的气候资料深入分析川渝盆地水资源包括各分量(降水、蒸发等)的研究还很少。因此,本文将以此为目的,分析川渝盆地的水资源及其分量的气候特征以及变化,并从水汽输入的角度初步讨论川渝盆地降水与水资源减少的可能原因。

2 资料和方法

挑选川渝盆地有代表性、分布均匀、数据时间序列长的成都(代表西部)、宜宾(代表南部)、广元(代表北部)、遂宁(代表中部)、达州(代表东北部)、重庆沙坪坝(代表东部,以下简称重庆)、酉阳(代表东南部)等 7 个测站^①^[14],1951~2000 年的月平均气温、月总降水量资料(由于成都站 1956 年 11 月的月平均温度缺测,我们没有计算 1956 年该站相应的各种物理量);1968~2000 年的由 NCEP/NCAR 月平均再分析资料计算得到的垂直积分的水汽通量资料(根据文献^[15]的结论,考虑到资料的精度问题,我们选取了 1968 年以后的资料进行计算)。

实际情况下,影响蒸发的最主要的物理因子是降水和温度,同时考虑到气象资料收集的难易程度,我们采用了高桥浩一郎的经验公式来计算蒸发量^[16]。

$$E = \frac{3100 P}{3100 + 1.8 P^2 \exp[-34.4 T / (235 + T)]},$$

其中, E 为地面蒸发量(单位: mm), P 为月降水

① 四川省气象局应用气候所,四川气候图集,1995: 95~140

量(单位: mm), T 为月平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$)。许多研究已经指出这个方法得到的结果无论在定性还是定量方面都有参考价值^[3, 4]。从气象的角度考虑, 降水量与蒸发量之差是可以利用的降水, 基本上能反映水资源的多寡, 参照文献^[4], 水资源 F 为 $F=P-E$; $\alpha=E/P$ 为蒸发系数; $\beta=1-\alpha=(P-E)/P$ 为可利用降水系数, 也可称为水资源系数。在讨论水资源各分量的时间变化规律时采用了 Morlet 小波分析方法^[17]。

3 川渝盆地水资源变化特征

图 1 给出川渝盆地水资源各个分量 1~12 月的变化特征, 表 1 进一步给出了川渝盆地 7 站平均水资源各个相关量的季节和全年数值以及各季占全年的比例。可以发现, 川渝盆地的降水主要集中在夏季。冬半年西风带受高原地形影响出现的南北两支气流控制了本区大部分地区, 两支气流都比较干, 所以造成冬季降水量特别少, 三个月降水量只有 51 mm, 仅占全年的 5%; 夏季, 本区受印度季风以及东亚副热带季风(主要是盆地东部地区)的共同影响, 东移的西风槽在本区减弱、消失等多种因素综合作用^[12], 降水量多, 可达 540 mm, 占全年的 50%。因此, 本区冬少雨、夏多雨的季风气候特征显著。本区夏季的蒸发量最高, 春秋次之, 冬季最小; 水资源在夏季最高, 总量为 257 mm, 占全年水资源的 56%, 冬季最小为 8 mm, 仅占全年的 2%, 春、秋季节分别为 95 mm、97 mm, 占全年的 21%、21%。本区 7 站的平均年降水量为 1085 mm, 蒸发

表 1 川渝盆地 50 年平均的降水 P 、蒸发 E 、水资源 F 以及蒸发系数 α 、水资源系数 β 的各季和全年数值以及各季占全年的比例

Table 1 Seasonal and annual mean P , E , F , evaporation coefficient α , water resource coefficient β averaged over the 50 years in the Sichuan and Chongqing basin

时段 Period	P/mm	E/mm	F/mm	α	β
春 Spring	243(22%)	148(24%)	95(21%)	61%	39%
夏 Summer	540(50%)	283(45%)	257(56%)	52%	48%
秋 Autumn	251(23%)	154(24%)	97(21%)	61%	39%
冬 Winter	51(5%)	43(7%)	8(2%)	85%	15%
全年 Annual	1085	628	457	58%	42%

注: 括号内的数值为各季占全年的比例

Note: The number in the brackets is the percentage contributed to the annual amount by the seasonal value

量为 628 mm, 水资源为 457 mm, 约有 58% 的降水被蒸发掉, 有 42% 的降水被利用。并且, 川渝盆地冬季蒸发系数最大, 相应水资源系数最小; 夏季蒸发系数最小, 相应水资源系数最大, 春秋介于两者之间, 更接近于夏季。我们还可发现: 虽然冬季蒸发量小, 但降水也少, 蒸发造成的水资源损失较大, 降水的可利用系数仅为 15%; 而夏季, 虽然蒸发量大, 但降水量也大, 因此蒸发的损失也小, 降水的可利用系数高达 48%。

从图 2 可以看出, 从 1951~2000 年, 川渝盆地 7 站平均年降水的年际差异很大, 旱涝事件交替发生, 降水总体上呈减少趋势, 1991~1997 年更是显

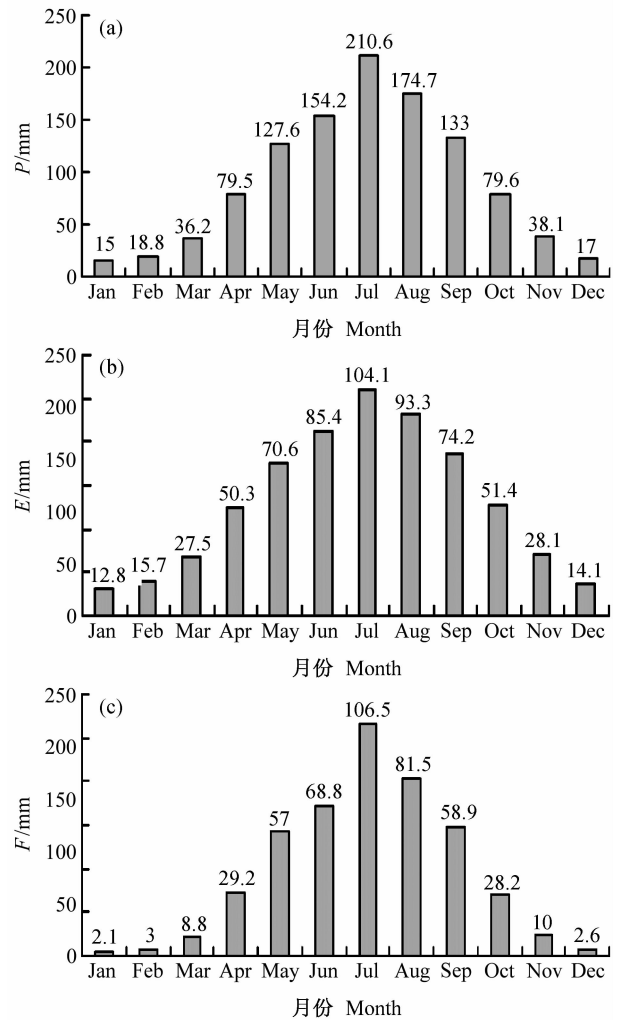


图 1 川渝盆地 1951~2000 年各变量的逐月变化: (a) 降水 P ; (b) 蒸发 E ; (c) 水资源 F
Fig. 1 Monthly variation of 50-year mean precipitation P (a), evaporation E (b), and water resource F (c) during 1951-2000 in the Sichuan and Chongqing basin

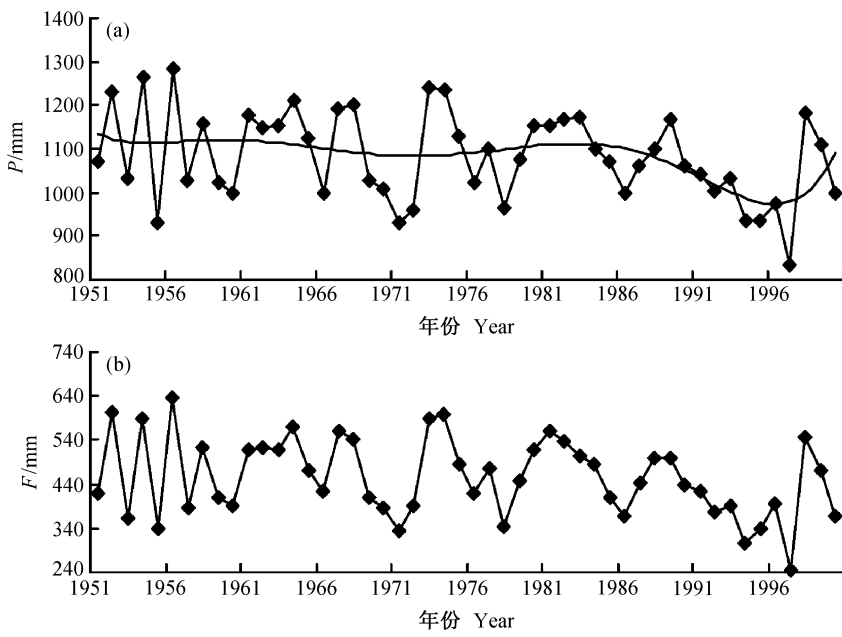


图2 川渝盆地 1951~2000 年年降水量 (a)、水资源 (b) 的逐年变化曲线
Fig. 2 Time series of yearly mean P and F during 1951–2000 in the Sichuan and Chongqing basin

著偏少, 1997 年达到 50 年的最低点, 年降水仅有 833.5 mm, 1998 年开始年降水量有所增加。虽然, 区域 7 站平均的年蒸发量总体呈减少趋势 (图略), 但是, 站点平均的年水资源变化总体也呈减少趋势, 50 年代是丰水阶段, 60 年代开始水资源出现显著的周期性变化, 通过 Morlet 小波分析表明, 此变化周期为 8 年左右 (见图 3)。同降水一样, 1990~1997 年水资源也尤为偏少, 1997 年出现了 50 年的最低值 240 mm。这一阶段蒸发量也是显著偏少 (图略), 但是, 蒸发量的减少远远小于年降水量的减少量, 导致这一阶段的水资源严重偏少。可见, 降水量的大小主要决定了川渝盆地水资源的大小, 也表明了研究降水变化规律对了解本区水资源状况的重要性。在水资源的小波分析图 (图 3) 上, 发现川渝盆地的水资源的年际变化很显著, 而年代际变化相对较弱。主要的年际变化周期是 8 年左右, 50 年代其信号很弱, 60 年代开始加强, 最强的振荡发生在 1975~1985 年, 此后减弱, 到 90 年代末信号已经相对很弱; 年代际变化的主要周期是 22 年左右, 70 年代开始, 振荡信号加强。

4 川渝盆地水资源分区特征

川渝盆地降水的区域性差异很大, 东部和西部
的降水有显著差异^[11]。了解不同区域水资源的变

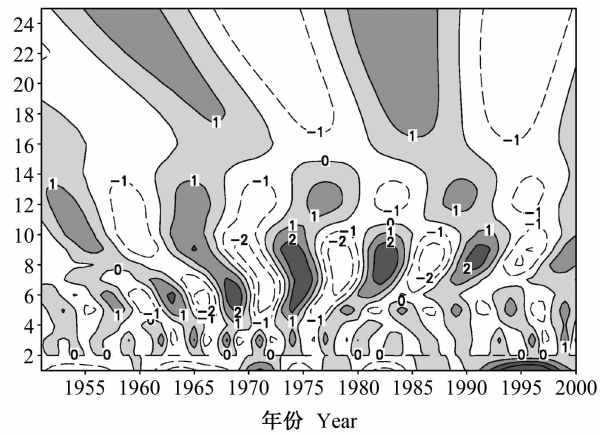


图3 川渝盆地年水资源的 Morlet 小波分析实部。阴影区表示正位相, 颜色深浅表示信号的强弱
Fig. 3 Real part of the Morlet wavelet analysis for yearly F in the Sichuan and Chongqing basin (shadings: positive phase)

化规律, 有利于进一步了解川渝盆地水资源的分布特征。下面, 我们来讨论盆地西部地区 (以成都为代表站)、盆地东部地区 (以重庆为代表站) 的降水和水资源的气候特征。

首先, 讨论季节变化特征。盆地西部地区成都站的降水 (图略) 主要集中在 6~9 月, 其中 7、8 月份的降水量可以分别达到 226.2 mm、227 mm, 是 6 月、9 月的两倍, 高度集中; 而重庆的降水 (图略) 主要集中在 5~9 月, 其中 5~7 月的降水量都

在 150 mm 以上，7 月最大达到 168.9 mm，8、9 月降水减少，但是均在 120 mm 以上，降水的分布不像成都那样集中，降水最大值也相对较小。对应降水的逐月变化，成都地区的水资源（见图 4）高度集中在 7、8 月，分别达到 124.8 mm、129.7 mm，相邻的 6、9 月均在 50 mm 以下，而冬季水资源非常少，三个月总量仅为 1.2 mm；盆地东部地区重庆的水资源在各个月份的分布与盆地西部明显不同，分别在 6、9 月达到极大值，出现双峰结构，5 月份水资源迅速增加，达到 72.6 mm，6 月继续增加达到 74.1 mm，7 月开始水资源减少，9 月水资源主要受华西秋雨的影响，秋季频繁南下的冷空气与滞留在重庆、川东、川南东部等地区的暖湿空气相遇，使锋面活动加剧而产生较长时间的阴雨，使盆地东部地区的水资源增加达到第二个极值。冬季水资源也很少，三个月的总量为 7.8 mm。

川渝盆地水资源的这种区域分布与青藏高原影

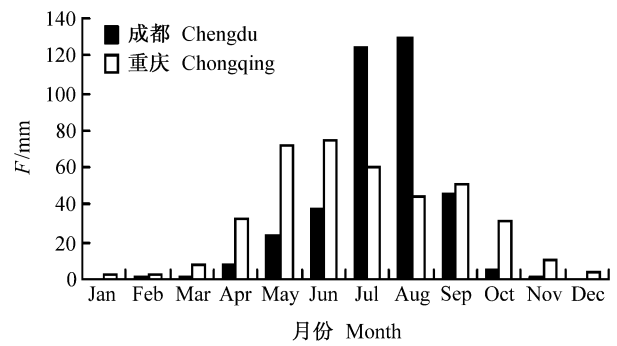


图 4 成都、重庆多年平均 1~12 月的水资源
Fig. 4 Monthly variation of 50-year mean F in Chengdu and Chongqing

响下盆地东西部的降水差异有密切关系。从大气环流的角度看，从春季到初夏，北方的冷空气越过高原和高山，进入川渝盆地。由于冷空气越山后产生下沉作用，使盆地西部地区云雨消散；而离高原地形相对较远的东部地区，冷暖空气相遇，可以使暖空气抬升而产生降水，因此，从春季到初夏，盆地东部地区降水明显增多，而西部地区降水仍然较少。夏季盆地西部受热带季风和高原季风的共同影响，同时位于西太平洋副高西部边缘，偏南暖湿气流输送了丰富的水汽，雨量特别多；而盆地东部在盛夏时主要受副热带高压控制，因此降水相对于西部较少。

表 2 给出盆地东西部两个代表站水资源各个相关量的季节和全年数值以及各季占全年的比例。从表 2 可以发现，盆地西部地区年降水量高度集中在夏季，三个月总量为 565 mm，占全年降水的 62%，冬季则为 24 mm，仅占 3%，夏多雨、冬少雨的季风气候特色非常显著；春季降水小于秋季。而盆地东部地区夏季降水总量为 471 mm，占 43%，冬季为 64 mm，占 6%，冬夏差异不如西部大，其春季降水略多于秋季。从蒸发上看，盆地西部地区除了夏季外，各个季节的蒸发占全年的百分比均大于相应的降水所占的百分比，尤其是春季，是多种农作物生长发育的重要时期，蒸发百分率比降水大 6%，蒸发系数 α 高达 78%，可利用降水系数 β 仅为 22%，所以，春季是盆地西部地区最容易发生干旱的季节，事实上盆地西部地区的确是春旱高发区^[12]。而盆地东部地区春季蒸发百分比小于降水，相对来说春旱发生的频率较低， β 为 40%，是全年

表 2 同表 1，但为川渝盆地东、西两个地区
Table 2 As in Table 1, but for the eastern and western parts of the basin

代表站 Representative station	时段 Period	P/mm	E/mm	F/mm	α	β
盆地西部(以成都为代表站) The western part of basin (Chengdu)	春 Spring	150 (16%)	117 (22%)	33 (8.7%)	78%	22%
	夏 Summer	565 (62%)	273 (51%)	292 (77%)	48%	52%
	秋 Autumn	173 (19%)	121 (23%)	52 (14%)	70%	30%
	冬 Winter	24 (3%)	23 (4%)	1 (0.3%)	95%	5%
	全年 Annual	912	534	378	59%	41%
盆地东部(以重庆为代表站) The eastern part of basin (Chongqing)	春 Spring	284 (26%)	172 (25%)	112 (29%)	60%	40%
	夏 Summer	471 (43%)	292 (42%)	179 (46%)	62%	38%
	秋 Autumn	272 (25%)	179 (26%)	93 (24%)	66%	34%
	冬 Winter	64 (6%)	56 (8%)	8 (2%)	88%	12%
	全年 Annual	1091	699	392	64%	36%

中最高。而夏季的降水和蒸发百分比很接近, α 高达 62%, β 仅为 38%, 易发生夏旱, 尤其是盛夏 7~8 月份, 受西太副高的影响, 易发生伏旱^[12]。而从全年来看, 盆地东部年降水总量为 1091 mm, 西部年降水总量为 912 mm, 虽然西部的降水总量少于盆地东部, 但是其 β 值高于东部地区。

下面, 讨论年际变化的特征。1951~2000 年, 盆地西部和东部降水 (图 5a) 主要呈反位相变化, 这对应着盆地“西涝东旱”或“西旱东涝”的气候特征。从 50 年代到 80 年代初, 东 (西) 部经历了由少 (多) 到多 (少) 的阶段变化, 80 年代中期开始, 盆地东 (西) 部增加 (减少)。1951~2000 年, 盆地东 (西) 部降水的总趋势是增加 (减少) 的。虽然, 盆地东 (西) 部的蒸发 50 年来总体是增加 (减少) 的 (图略), 但是其变化的幅度均不如降水大。所以对应降水的变化, 如图 5b 所示, 盆地西部地区水资源的减少趋势明显, 而盆地东部地区 50 年来的总趋势是增加的, 而且达州 (代表东北部)、重庆沙坪坝 (代表东部)、酉阳 (代表东南部) 三站水资源的平均值在 1951~2000 年以来也是增加的, 这进一步表明盆地东部地区水资源 50 年来的总趋势是增加的。

在水资源的小波分析图 (图略) 上, 可以发现

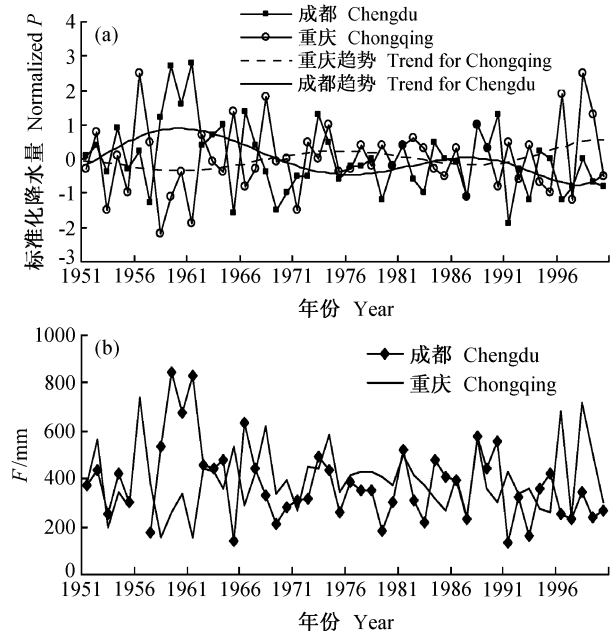


图 5 成都、重庆 1951~2000 年标准化年降水量 (a) 以及年水资源 (b) 的逐年变化曲线

Fig. 5 Time series of normalized yearly P (a) and yearly F (b) from 1951 to 2000 in Chengdu and Chongqing

盆地西部地区水资源的年际和年代际变化均较强。主要的年际变化周期是 6~8 年左右, 最强的振荡发生在 50 年代末~60 年代中期, 此后有所减弱; 另一年际变化尺度为 4 年左右, 主要发生在 70~80 年代; 年代际变化的主要周期是 14 年左右, 最强的振荡主要发生在 50 年代末~70 年代末期, 此后振荡减弱。而盆地东部地区的水资源的年际变化很显著, 而年代际变化相对较弱, 主要的年际变化周期是 6 年左右, 主要发生在 50 年代中期到 70 年代中期, 此后信号一直很弱。值得注意的是, 1995 年以来 3 年左右的振荡较为显著。

5 川渝盆地降水和水资源变化原因分析

由上可知, 川渝盆地水资源的变化特征与盆地降水的变化密切相关。因此, 我们从分析川渝盆地降水的变化出发, 探讨盆地总体水资源变化的原因。

影响川渝盆地降水的因子很多^[12, 13, 18, 19], 这里, 我们从水汽输入的角度来讨论夏季川渝盆地降水与水资源减少的可能原因。川渝盆地的降水主要集中在 5~9 月 (图 1), 在盆地 5~9 月份降水偏多与降水偏少年水汽输送的差值场上 (图略), 来自太平洋地区的偏东风水汽距平在南海、中南半岛地区转向, 成为偏南水汽输送距平向西、向北输送, 与来自高原附近的偏西风水汽输送距平以及北方偏北水汽输送距平在盆地辐合, 表明来自低纬的偏南风水汽输送以及来自高原地区的偏西风水汽输送的异常对盆地的降水变化有重要影响。

如图 6 所示, 1951~2000 年川渝盆地 5~9 月降水的减少趋势, 主要是由于 90 年代以来盆地降

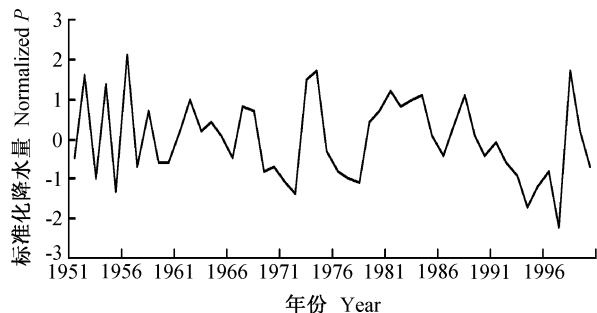


图 6 川渝盆地 1951~2000 年 5~9 月标准化降水量的逐年变化曲线

Fig. 6 Time series of normalized precipitation from May to Sep during 1951-2000 in the Sichuan and Chongqing basin

水显著偏少造成的，而降水在 80 年代总体偏多。为此，做了两个阶段的差值图（图 7a），可知 90 年代以来，自南海西太平洋地区向西、向北输送到四川盆地、华北地区的偏南风水汽输送偏弱，大量水汽只能在长江中下游地区以及盆地东部、南部辐合；来自孟加拉湾的偏南风水汽输送也减弱，大量水汽只能在云贵地区辐合，向东、向北进入盆地的西南风水汽也减少。从散度场（图 7b）上看，盆地西部（106°E 以西）是很强的辐散区，很不利于盆地西部降水的发生，再加上南来水汽减弱的影响，盆地西部 90 年代以来降水显著减少；而东部则是弱辐合区，有利于降水发生。然而，总体来说，由于盆地西部的影响，90 年代以来水汽输送场以及相应散度场的分布形势是不利于整个盆地降水发生的。

表 3 表明 1951~2000 年以来整个盆地的降水减少主要是由于盆地西部的强减少趋势导致的。从表 3 可知，盆地降水减少主要发生在 8、9 月份，其中 8 月份减少最为显著。8 月份气候平均的水汽输送图（略）上来自于副高南侧、季风槽北侧偏东风水汽输送控制了大部分东亚地区，它对盆地的贡献最重要，副热带高压是主要的影响系统。90 年代，川渝盆地 8 月份的降水异常偏少与西太平洋副高的活动密切相关。90 年代盆地降水偏少年中，副高

脊线或者显著偏北 [如 1990 年（29°N，130°E）、1992 年（32°N，135°E）、1994 年（32°N，100°E）、1995 年（29°N，100°E）、1997 年（29°N，100°E）、1999 年（31°N，135°E）]，或者偏南偏东 [如 1991 年（23°N，145°E）]，或者偏南偏西 [1996 年（22°N，100°E）]，这些位置都不利于 8 月份四川盆地降水的发生。可见 90 年代以来副高异常活动，它的位置异常使四川盆地尤其是盆地西部 8 月份的主要水汽流——来自南海、西太平洋地区的水汽减少最为显著，因此，造成 8 月份盆地降水减少趋势最强。

从表 3 中，我们还发现 6、7 月份盆地降水的增加，是由于盆地东部引起的。而盆地东部 7 月份的降水增加很显著，因此，我们专挑 7 月份进行讨论。如图 8 所示，重庆 7 月的降水在 80 年代以来明显增加。

在气候平均情况下（图略），夏季风爆发以后，伴随夏季风的南来水汽在北扩的同时也在向西扩展，7 月份较大的水汽输送区西部边缘已经到达盆地东部（105°E 附近），季风槽位于 100°E 附近，东亚季风最为强盛，输送到长江中下游地区以及盆地东部的水汽是 5~9 月份中最多的。然而 80 年代以来，来自南海西太平洋地区向北扩的水汽输送减弱，大量的水汽只能到达长江流域地区（图 9a）；同时，来自南海西太平洋地区的水汽输送向西的扩展

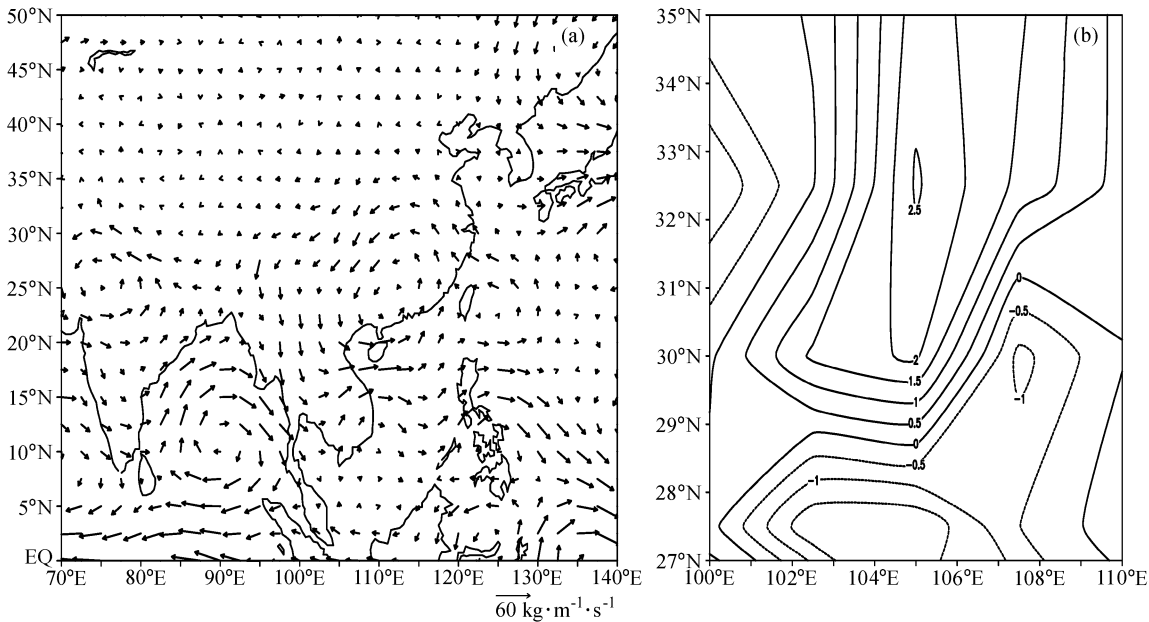


图 7 1990~1997 年与 1980~1997 的 5~9 月份整层水汽输送的差值场 (a) 及整层水汽输送距平的散度场 (b, 单位: $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
Fig. 7 The difference of vertically integrated water vapor transport from May to Sep between 1990 - 1997 and 1980 - 1989 (a) and the divergence (b, $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)

表 3 1951~2000 年各区域降水量的线性趋势系数
Table 3 The liner tendency in each region from 1951 to 2000

区域 Region	5 月 May	6 月 Jun	7 月 Jul	8 月 Aug	9 月 Sep	5~9 月 May-Sep
川渝盆地 The Sichuan and Chongqing basin	-0.005	0.006	0.002	-0.018	-0.010	-0.012
盆地西部 (以成都为代表站) The western part (Chengdu)	-0.019	-0.006	-0.009	-0.013	-0.0003	-0.021
盆地东部 (以重庆为代表站) The eastern part (Chongqing)	-0.005	0.007	0.020	-0.006	-0.002	0.007

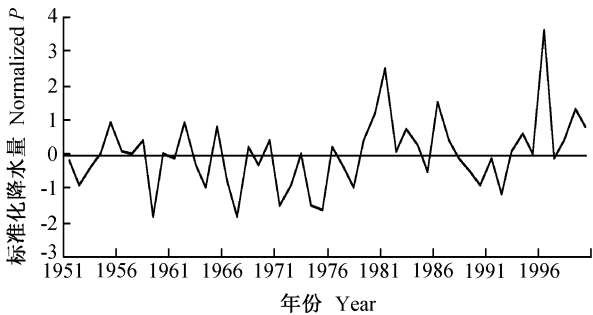


图 8 重庆 7 月标准化降水量的逐年变化曲线
Fig. 8 Time series of normalized Jul precipitation in Chongqing from 1951 to 2000

也减弱 (如图 9b 中 80、120 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等值线所示), 尤其是 90 年代以来, 大量水汽只能到达长江中下游地区以及盆地东部 (105°E 附近, 如图 9b 中 80 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等值线所示)。80 年代以来, 东亚季风槽输送辐合区减弱 (图 9a), 来自孟加拉湾、高原上空的偏西风水汽 (图 9b 中 40 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的等值线所示) 较少在盆地西部辐合, 而被输送到盆地东部及以东地区, 与来自南海西太平洋地区的水汽辐合, 充足的水汽以及有利的辐合条件, 导致 7 月份盆地东部降水增加最多。

有研究^[20]指出, 1961~1997 年以来夏季

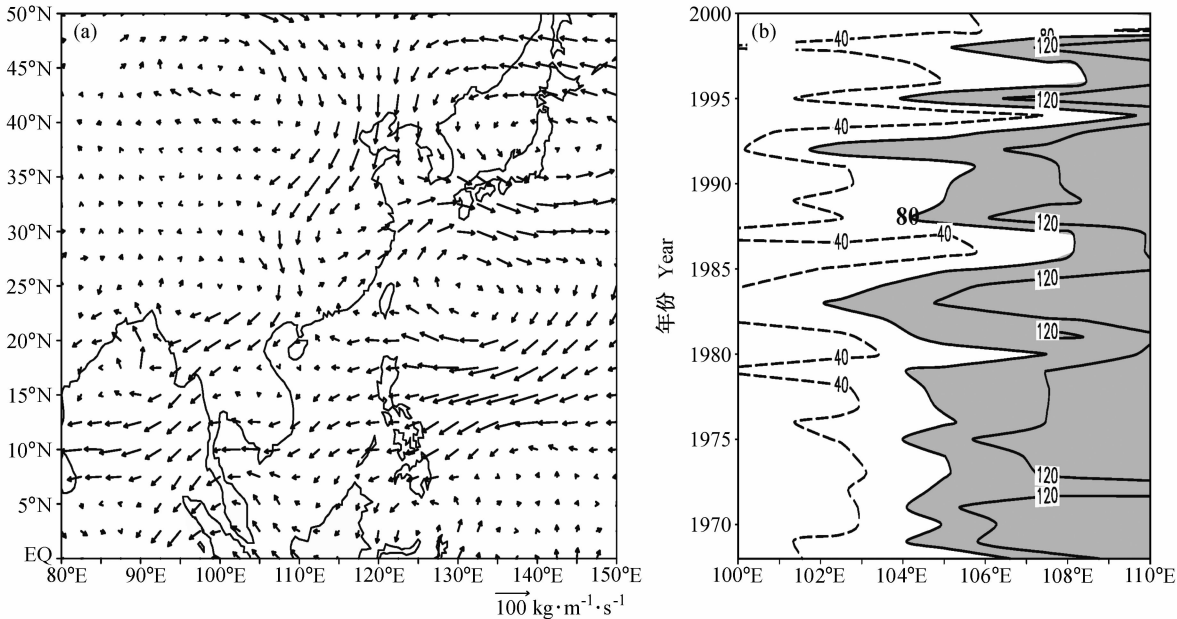


图 9 (a) 1980~2000 年与 1968~1979 的 7 月份整层水汽输送的差值场; (b) 1968~2000 年 7 月份 27.5°N~32.5°N 纬度带上整层水汽输送的时间-经度剖面图 (盆地在 102.5°E~110°E, 东西以 105°E 为界)。单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$
Fig. 9 (a) The difference of vertically integrated water vapor transport in Jul between 1980-2000 and 1968-1979; (b) time-longitude section of vertically integrated water vapor transport ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) in Jul along 27.5°N-32.5°N

850 hPa 偏南风最北伸展纬度及最强偏南风伸展纬度在南退,再结合图 7、9 可知,由于夏季风的异常变化引起伴随夏季风的南来水汽向北、向西输送异常,从而导致川渝盆地降水发生变化,以至影响到盆地水资源的变化。

6 结论

通过以上的分析,可以得出以下结论:

(1) 川渝盆地的降水以及水资源的季节变化明显,夏季最大,夏季降水以及夏季水资源的多年平均值分别为 540 mm、257 mm,分别占全年的 50%、56%;冬季最小,所占比例也最低。盆地多年平均可利用降水系数,夏季最大为 48%,冬季最小为 15%,全年平均为 42%。川渝盆地平均降水以及水资源 50 年以来的总趋势是减少的,最主要的年际变化周期是 8 年左右。

(2) 川渝盆地东西部降水以及水资源特征有着显著差异。西部地区的降水和水资源高度集中在夏季,分别占全年的 62%、77%,东部地区则为 43%、46%,不如西部集中。西部的可利用降水系数 β 夏季最高为 52%,东部则是春季最高为 40%,就全年来说,西部 β 为 41%,东部为 36%,西部高于东部。

(3) 盆地东、西部降水和水资源的变化相反,50 年来盆地东(西)部总体呈增加(减少)趋势。盆地西部地区水资源 6~8 年年际变化和 14 年左右的年代际变化均较强;盆地东部地区水资源的 6 年左右年际变化很显著,而年代际变化相对较弱。

(4) 川渝盆地水资源变化与降水多少密切相关。盆地总体水资源的减少主要是由盆地西部降水减少引起的,20 世纪 90 年代以来减少最为显著。近年来,自南海西太平洋地区向西、向北输送到四川盆地、华北地区的水汽输送减弱,大量水汽与来自孟加拉湾、高原地区的水汽只能在盆地东部及以东长江中下游地区辐合,导致盆地东部降水增加,而西部降水显著减少。

盆地东部降水的变化和长江中下游地区的变化是一致的^[2],两者在 20 世纪 80 年代以来降水均偏多。这可能是由于全球气候系统变化引起的,特别是和东亚气候系统变化密切相关。而盆地西部则在 20 世纪 70 年代末、80 年代初以来没有较明显的年代际变化,表明盆地东、西的主要影响气候系统可

能不一样,或者相同的天气系统的影响不一样。本文由于篇幅原因,仅从水汽输送的角度进行讨论,关于环流系统方面的原因,将在以后的工作中继续进行讨论。

参考文献 (References)

- [1] 李崇银. 21 世纪的气候变化及其可预报性研究——国际 CLIVER 计划及科学大会介绍. 应用气象学报, 1999, **10** (增刊): 158~160
Li Chongyin. The study on the climate variability and predictability in the 20th century—the introduction of the international CLIVAR project and science convention. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1999, **10** (supplement): 158~160
- [2] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, **18** (4): 465~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 465~476
- [3] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 1999, **18** (4): 486~495
Zhang Qingyun. The variation of the precipitation and water resources in North China since 1880. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 486~495
- [4] 宋正山, 杨辉, 张庆云. 华北地区水资源各分量的时空变化特征. 高原气象, 1999, **18** (4): 552~565
Song Zhengshan, Yang Hui, Zhang Qingyun. The characteristics of temporal and spatial variation of water resource components over North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18** (4): 552~565
- [5] 李跃清, 李崇银. 近四十多年四川盆地降温与热带西太平洋海温异常的关系. 气候与环境研究, 1999, **4**(4): 388~399
Li Yueqing, Li Chongyin. The relationship between the temperature descension in Sichuan Basin and the sea surface temperature abnormality of the west Tropical Pacific ocean. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (4): 388~399
- [6] 中国气象局国家气候中心. 98 中国洪水与气候异常. 北京: 气象出版社, 1998. 81~85
National Climate Centre, China Meteorological Administration. *The Flood of 1998 in China and the Climate Abnormality* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1998. 81~85
- [7] 郁淑华. 长江上游暴雨对 1998 年长江洪峰影响的分析. 气象, 2000, **26** (1): 56~57, 65
Yu Shuhua. An analysis of impact of the heavy rain in upper reaches of the Yangtze River on the flood peak of the river in

1998. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2000, **26** (1): 56~57, 65
- [8] 徐祥德, 陶诗言, 王继志, 等. 青藏高原-季风水汽输送“大三角扇型”影响域特征与中国区域旱涝异常的关系. *气象学报*, 2002, **60** (3): 259~265
- Xu Xiangde, Tao Shiyang, Wang Jizhi, et al. The relationship between water vapor transport features of Tibetan Plateau - monsoon “large triangle” affecting region and drought - flood abnormality of China. *Acta Meteor. Sinica* (in Chinese), 2002, **60** (3): 259~265
- [9] 曾熙竹, 傅金琳, 田宏, 等. 四川省气候水资源分析和开发利用及减灾对策建议. *四川气象*, 1999, **19** (1): 1~6
- Zeng Xizhu, Fu Jinlin, Tian Hong, et al. Analysis and development of climatically water resources in Sichuan and the countermeasures. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 1999, **19** (1): 1~6
- [10] 晋玉田. 四川省盆地云水资源与开发. *四川气象*, 1999, **19** (1): 14~19
- Jin Yutian. Ideas on cloud - water resource in the Basin of Sichuan and its development. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 1999, **19** (1): 14~19
- [11] 陈文秀, 郝克俊. 20 世纪四川盆地降水变化特征分析. *四川气象*, 2001, **21** (1): 37~39
- Chen Wenxiu, Hao Kejun. Analysis on the character of rainfall changing over Sichuan Basin in the 20th century. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 2001, **21** (1): 37~39
- [12] 徐裕华. 西南气候. 北京: 气象出版社, 2001. 280pp
- Xu Yuhua. *Climate of Southwest China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 280pp
- [13] 马振峰, 高文良. 青藏高原季风年际变化与长江上游气候变化的联系. *高原气象*, 2003, **22** (增刊): 8~16
- Ma Zhenfeng, Gao Wenliang. Relationship between interannual change over Qinghai-Xizang Plateau monsoon and climate change in upper reach of Changjiang River. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2003, **22** (supplement): 8~16
- [14] 李跃清. 近 40 年青藏高原东侧地区云、日照、温度及日照差的分析. *高原气象*, 2002, **21** (3): 327~331
- Li Yueqing. Analyses of cloudiness, sunshine, temperature and daily range on the eastern side of Qinghai-Xizang Plateau in recent 40 years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (3): 327~331
- [15] Yang S, Lau K M, Kim K M. Variation of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies. *J. Climate*, 2002, **15**: 306~355
- [16] Takahashi Hiroichiro. The calculation method of monthly average temperature, precipitation and evaporation. *Synoptic* (Japan), 1979, **26** (12): 759~763
- [17] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 1999. 106~113
- Wei Fengying. *The Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 106~113
- [18] 马振峰. 四川盆地春季低温和夏季旱涝预测方法的研究. *四川气象*, 1997, **17** (4): 33~38
- Ma Zhenfeng. Primary study on the prediction methods of microtherm in spring and drought, flood in summer over Sichuan Basin. *Journal of Sichuan Meteorology* (in Chinese), 1997, **17** (4): 33~38
- [19] 李跃清. 青藏高原上空环流变化与其东侧旱涝异常分析. *大气科学*, 2000, **24** (4): 470~476
- Li Yueqing. Analyses of circulation variation over the Tibetan plateau and drought - flood anomalies on its eastern side. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2000, **24** (4): 470~476
- [20] 陈月娟, 周任君, 简俊. 东亚夏季风环流与 ENSO 循环的关系. *高原气象*, 2002, **21** (6): 536~545
- Chen Yuejuan, Zhou Renjun, Jian Jun. The relationship between the summer monsoon circulation in East Asia and ENSO cycle. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2002, **21** (6): 536~545