

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2016.10.017

我国西南地区 1963 年—2012 年 降水集中指数的变化特征^①

曹永兴¹, 蔡宏珂², 向卫国², 朱秋宇², 李晴璐²

1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 成都 610041;

2. 成都信息工程大学 大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 成都 610225

摘要: 本文选取 1963 年—2012 年我国西南地区 102 个站点的日降水资料, 计算了各站点 50 年降水集中指数 (Precipitation Concentration Index, PCI), 分析了西南地区 PCI 变化趋势及时空分布特征. 结果表明: 西南地区的 PCI 大值分布在西南—东北一线, 逐渐向西北、东南递减, 川东北和四川盆地降水集中最明显; 西南地区西北部的 PCI 值 50 年内呈下降趋势, 东部和南部呈上升趋势, 西南地区 PCI 大值区的范围在扩大, 川东北降水集中趋势最明显; 西南地区降水量总体呈减少趋势, 在降水集中度增大的同时, 旱涝灾害风险也增大, 这一变化特征自本世纪以来尤为突出; PCI 和 PCI 距平的空间分布都存在明显的年代际变化特征, 西南地区 60 年代、70 年代、80 年代和 90 年代、本世纪初的 PCI 距平总体呈正—负—正—负的变化. 典型站点巴中年降水量和 PCI 均增大, 与近年来洪涝灾害多发相吻合.

关键词: 西南地区; 降水集中指数; 时空特征

中图分类号: P468

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)10-0117-08

随着全球气候变化的加剧, 降水、蒸发、径流、土壤含水量等水循环过程都受到了不同程度的影响, 水资源的时空分布也发生了明显的变化, 对人类的生存环境造成了严重的负面影响. 自然降水是水循环的关键所在, 其变化包括降雨量和降雨结构 2 方面. 降雨量的变化是指降水总量的增加或减少, 降水结构的变化则是指不同时期降水量的变化. 2 者的变化都会直接影响旱涝灾害、农业生产、水资源的利用和管理以及经济社会的可持续发展, 如 2006 年川渝地区出现百年难遇的伏旱, 2009 年秋至 2010 年春发生的西南大旱^[1]. 其中 2009 年的西南干旱使全国六成水电告急, 云南省重旱面积约 6 666.67 hm², 仅农业损失就高达 172 亿元. 因此, 加强降水集中程度的研究, 能够为防灾减灾工作提供科学依据^[2].

1 研究现状

国内外许多学者以体现一定时期降水不均匀的特征为目的, 研究出一些能反映降水非均匀分配的方法. 文献[3]提出的降水集中度和降水集中期, 能相对灵活和客观地描述天气变化, 有效地反映了该时间段内降水的强度和分布特征. 朱丹等^[4]利用降水集中度和降水集中期研究了四川地区降水的不均匀性,

① 收稿日期: 2015-07-16

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(41405031); 国网公司科技项目(521997140007); 公益性行业(气象)科研专项项目(GYHY201506013); 成都信息工程大学引进人才科研启动项目(KYTZ201504); 成都信息工程大学中青年学术带头人科研基金项目(J201519).

作者简介: 曹永兴(1963-), 男, 四川资阳人, 高级工程师, 硕士, 主要从事输电线路防灾减灾研究.

通信作者: 蔡宏珂, 四川成都人, 讲师, 博士.

但其研究时段为 1960 年—2004 年,未能展现近年川东北洪涝. Oliver^[5]于 1980 年提出的降水集中指数 (PCI) 计算简单,物理意义直观,可以更好地反映降水的集中程度及其季节性特征. De Luis 等^[6-7]应用降水集中指数 (PCI) 分析认为,不能将降水引起的自然灾害表示为同系列的自然灾害,这与降水在年内的集中程度有关,也就是说,年降水量的不变或减少可能引起洪涝、土壤侵蚀等灾害,而年降水的增加同样可能引起旱灾. Apaydin 等^[8]比较了几个降水不均匀性指数,认为 PCI 在给定年份内能更好地表征降水的集中程度. 段亚雯等^[9]分析了中国区域 PCI 的变化和月分配特征,而降水往往仅持续数天,月尺度的 PCI 不足以充分描述降水的不均匀性.

本文根据日降水资料改进了 PCI 的算法,通过研究 PCI 在西南地区的时空分布及变化趋势,探讨了西南地区 50 年降水集中程度的变化特征.

2 资料和方法

2.1 日降水资料

本文采用国家气象信息中心整编的《中国地面气候资料日值数据集》中西南地区 1963 年—2012 年的日降水资料,经剔除缺测较多的站点,选取了 102 个站点(图 1).

2.2 PCI 指数

利用日降水资料,参考 Oliver 基于月降水量统计的降水集中度算法^[5]和西南地区的实际情况,定义了基于旬降水量统计的降水集中度:

$$P_{\text{PCI}} = \frac{\sum_{i=1}^{36} P_i^2}{\left(\sum_{i=1}^{36} P_i\right)^2} \times 100 \quad (1)$$

式中, P_i 为年内第 i 旬的降水量,共计 36 旬. 若年降水量都集中在一个旬内,则 $P_{\text{PCI}} = 100$, 达到最大值; 若年降水量均匀分布在年内 36 个旬,则 $P_{\text{PCI}} \approx 2.78$, 达到最小. $P_{\text{PCI}} < 4$ 代表年降水量分配比较均匀, $4 \leq P_{\text{PCI}} < 7$ 代表降水集中度中等, 当 $P_{\text{PCI}} \geq 7$ 时表示降水集中度高, 旬变化较大. 将 Oliver 月降水量统计修改为旬降水量统计, 提高了降水集中度的时间分辨率, 能够反映出更精细的降水时间分布, 对西南地区农业生产更有实用性.

利用公式(1), 计算各站点 PCI 时间序列的线性回归系数, 经标准化得到趋势系数, 用以分析 PCI 时间变化特征. 为了剔除 9 年及以下的高频信号, 对年降水及 PCI 进行了 9 年滑动平均处理.

3 西南地区 PCI 及其变化趋势的空间分布特征

西南地区的 PCI 多年来平均值为 6.90, 处于中等集中水平, 降水具有明显的季节性. 1963 年—2012 年 102 个站点的 PCI 平均值在 5.33~9.77 之间, 其中最小值在四川省叙永站为 5.33, 最大值在四川省温江站为 9.77, 大于 8 的观测站有 11 个. 从图 2 可看出, 西南地区存在 2 个 PCI 大值区, 分别位于四川盆地东部和滇西北与四川交界处, 降水年内集中程度相对较高; 四川北部、贵州东部为小值区, 年降水分配相对均匀; 总体来看, PCI 大值区呈东北—西南走向, 并逐渐向西北、东南递减. 西南地区的干旱区域^[10]与 PCI 大值区的分布情况有很好的对应关系, 四川、云南和重庆等省市为大值区. 若这些地方的年内降水过于集中, 发生旱涝灾害的可能性就会比较大.

从西南地区各站点 PCI 时间序列的趋势系数(图 3)可以看出, 西南地区降水整体呈集中趋势, 存在着

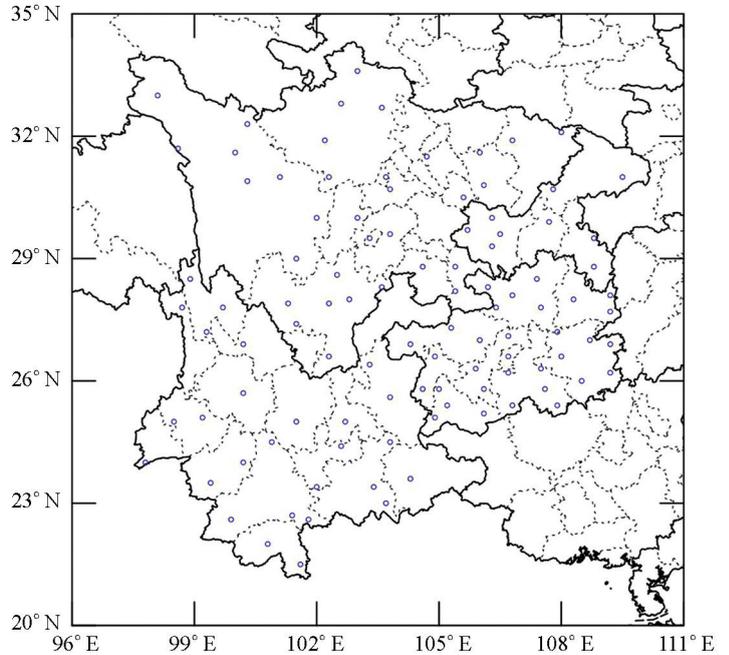


图 1 102 个降水观测站分布图

显著的区域差异特征。其中四川东北部与重庆北部交界处为趋势系数大值中心, 表明降水在 50 年间呈明显的集中趋势, 这与该地区近年连续发生特大洪涝灾害相吻合; 贵州西南部与广西交界处, 云南东南部、四川东部与重庆交界处也呈降水集中趋势; 云南西北部、四川西北部、重庆东南部降水分布趋于均匀; 降水均匀趋势变化最显著的是川西高原西北部。结合图 2 的 PCI 空间分布可知, 西南地区 PCI 大值区的变化趋势并不明显, 而西南地区东北部呈集中趋势, 表明西南地区降水集中范围在向东扩展, 年内降水趋于集中。张晓惠等人^[11]对重庆主城区降水变化趋势的研究也反映了这一特征。

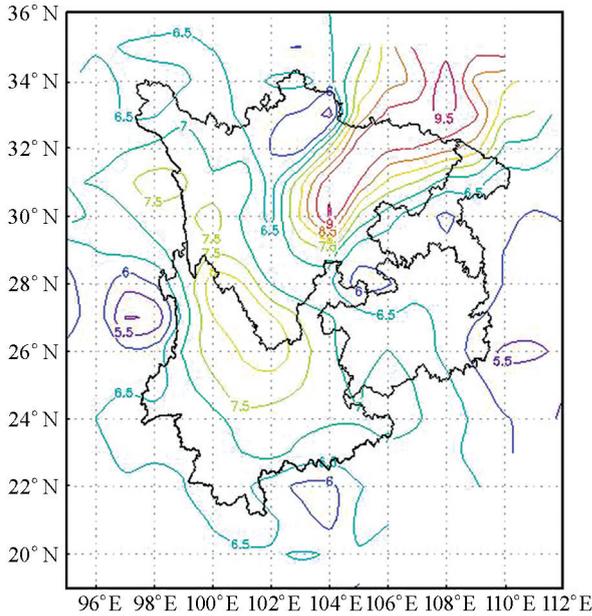


图 2 1963 年—2012 年 PCI 平均值分布图

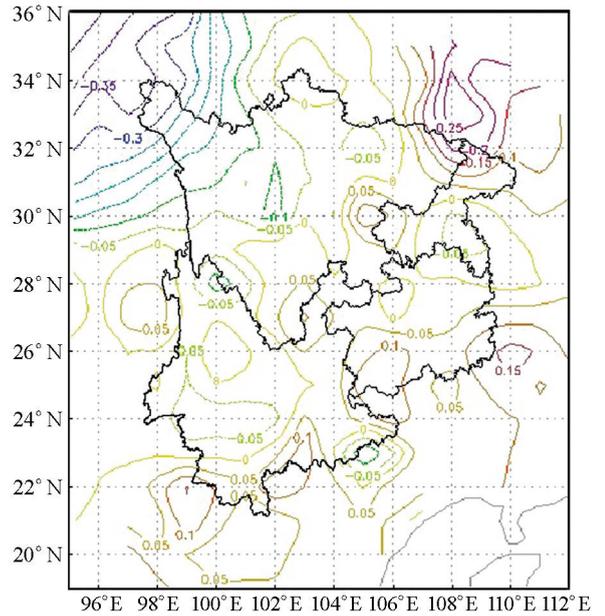


图 3 西南地区 50 年 PCI 趋势系数分布图

4 西南地区降水量与 PCI 的时间分布特征

利用西南地区 102 个站点的平均年降水量和 PCI 平均值, 分析该区域降水的年际和年代际变化(图 4、图 5)。用 REOF 方法按年降水量方差贡献大小将西南地区划分为 8 个气候区^[12], 下文选用典型东部站巴中和绵阳分别代表四川盆地东部和西部, 以分析 PCI 的时间变化。

4.1 时空变化特征

图 4 显示 1963 年—2012 年间西南地区的平均年降水量呈下降趋势($y = -1.7106x + 1134.9$), 特别是在 2000 年之后下降幅度显著, 而且年际变化较大, 这与邵远坤等^[13]和刘晓冉等^[14]对四川盆地和重庆地区的降水趋势的研究结果相符; 但平均 PCI 变化趋势不明显(6.4~7.6), 尤其是 1990 年以后, 变化范围较小, 但从 50 年长期变化看, 整体呈小幅上升趋势($y = 0.0029x + 6.8280$)。在降水量趋于减少的情况下, PCI 不变或者增大, 说明降水年内分布的不均匀性不变或增大, 非汛期降水量偏少的情况更容易出现^[14], 因此更容易引发干旱等自然灾害, 这与近 10 多年来西南地区几起重大干旱事件相吻合。

西南地区 PCI 的 9 年滑动平均值为 6.6~7, 存在着明显的年代际变化, 而降水量的 9 年滑动平均在 1987 年之前变化不大, 1987 年之后有明显波动(图 5)。特别是 2009 年以后, 西南地区 PCI 呈持续上升趋势, 而降水量的下降趋势明显, 这一特征与从 2009 年开始的西南地区百年不遇的大旱有着密切联系。

西南地区的 PCI 平均值和距平值表现出明显的年代际变化特征(图 6)。其中 60 年代、70 年代(图 6a、图 6b)西南地区 PCI 大值区主要集中在四川盆地东北部和川滇交界地区(PCI 最大值可达 10), 其他地区 PCI 在 7 左右。70 年代与 60 年代相比, 西南地区东部 PCI 增大, 西部大部分地区 PCI 减小。而 80 年代、90 年代(图 6c、图 6d)PCI 的整体平均值有所减小, 四川西部的 PCI 大值区向南收缩, 川滇交界处 PCI 减小, 大值区范围也有所减小, 但位置基本不变, 而川东北 PCI 大值区向盆地西部延伸。90 年代大值中心从四川

盆地东北部移动到了四川盆地西部,四川盆地 PCI 值较 80 年代增大,反映了该区域的年内降水分布趋于不均匀. 21 世纪初,西南地区 PCI 普遍增大,川滇交界处大值区中心数值增大,范围有所扩大并向东移动;川东北又成为大值区,川渝交界处北部边缘 PCI 增大明显(最高达 10.5),而盆地的 PCI 减小. 由此可见,西南地区 PCI 存在着显著的年代际变化特征,从 60 年代至本世纪初普遍经历了大一小一大一小 4 个阶段,四川盆地的变化更为明显,体现在 PCI 大值区从川东北向四川盆地西部的移入和撤出.

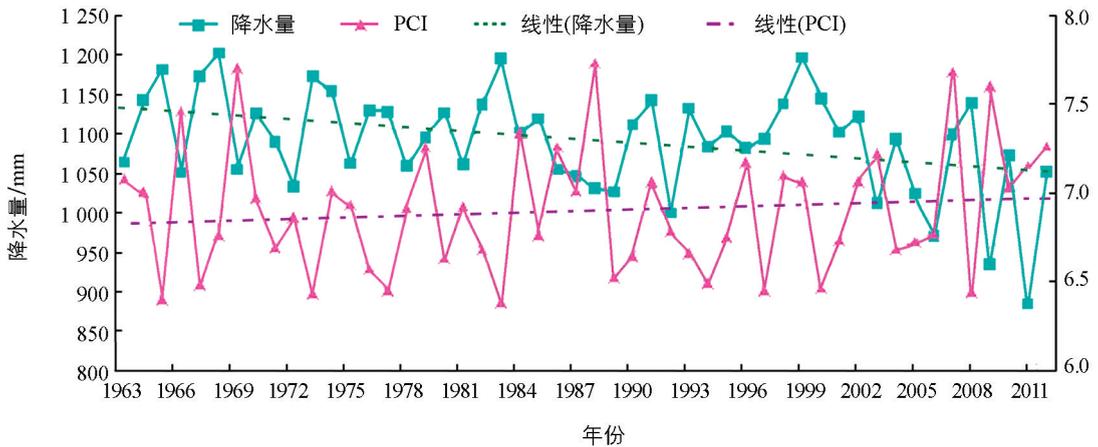


图 4 西南地区平均降水量和 PCI 的时间序列

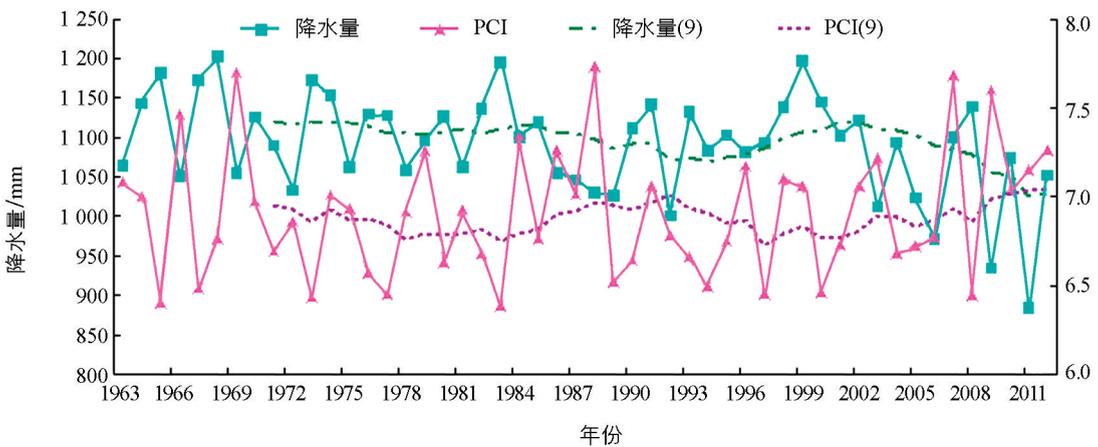
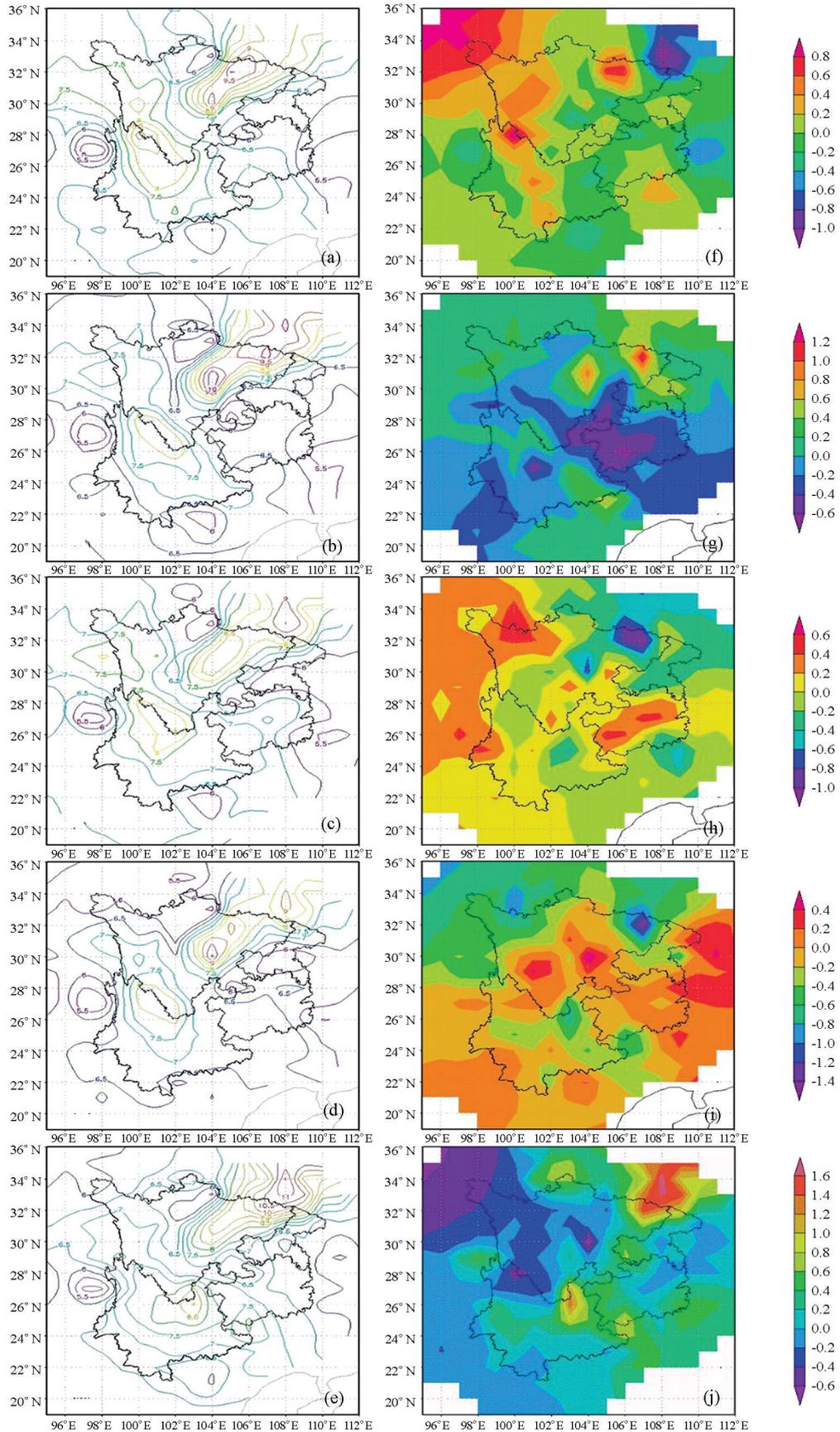


图 5 西南地区平均降水量和 PCI 的时间序列

PCI 距平的年代际变化(图 6f~j),也表现出明显的年代际转型变化. 其中 60 年代(图 6f)西南地区 PCI 距平整体呈东负西正格局;西南地区西部除滇缅交界处为负距平,其余大部分地区为正距平,表明西南地区西部年内降水趋于集中,降水年内分布不均匀;西南地区东部除川东北部分地区(广元至南充)、黔南局部地区正距平外,其余地区为负距平,表示西南地区东部年内降水趋于均匀. 70 年代(图 6g)西南地区基本为负距平,负距平区中心在黔西南,贵州、川东南、川南、云南中部 PCI 均为负值,降水都趋于均匀,四川盆地、川东北、重庆大部分地区、滇越边境小部分地区 PCI 为正距平,降水趋于集中. 80 年代和 90 年代(图 6h、图 6i)西南地区大部分地区 PCI 距平为正,川东北为主要的负距平区;成都地区 80 年代为负距平,而 90 年代却成为正距平中心区域,降水集中度在 80 年代、90 年代间迅速提高;贵州也从 70 年代的负距平中心转变为 80 年代、90 年代的正距平区. 21 世纪初,西南地区 PCI 距平总体呈西北负距平、东北—西南正距平、东南负距平的格局,川西高原、四川盆地西部为显著负距平,中心在成都地区和滇西北,川东北为显著的正距平,川东北至滇东北为正距平区,渝东南和黔东为负距平.

分析表明,与 50 年的平均值相比,60 年代以来西南地区先后经历了一个有规律的变化过程,整个西南地区的 PCI 距平值总体表现为正—负—正—负的交替变化. 该分析结果与李鹏飞等^[10]的研究结论一致.

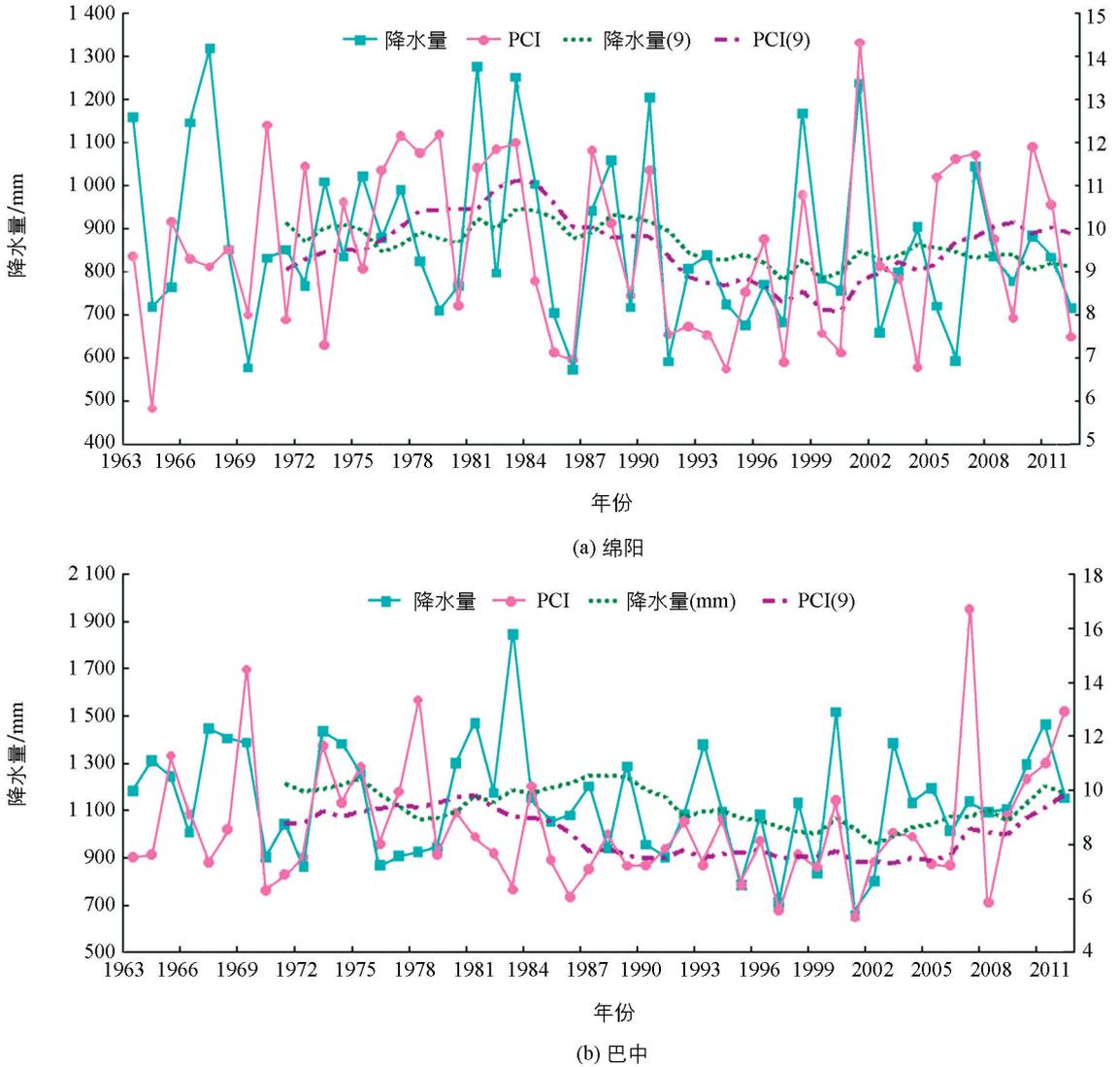


(a) 1963—1972 年 PCI; (b) 1973—1982 年 PCI; (c) 1983—1992 年 PCI; (d) 1993—2002 年 PCI; (e) 2003—2012 年 PCI; (f) 1963—1972 年 PCI 距平; (g) 1973—1982 年 PCI 距平; (h) 1983—1992 年 PCI 距平; (i) 1993—2002 年 PCI 距平; (j) 2003—2012 年 PCI 距平。

图 6 西南地区每十年的 PCI 平均值及 PCI 距平值

4.2 典型代表站的变化特征

鉴于四川盆地是西南地区 PCI 大值区,也是 PCI 变化敏感区,因此选取绵阳和巴中为盆地西部、东部的代表站点,分析 PCI 变化趋势(图 7)。



图中红线为年 PCI 平均值,蓝线为年降水量累计值(单位: mm),实线为观测值,虚线为 9 年滑动平均值。

图 7 典型站点 PCI 和年降水量 9 年滑动平均

绵阳的年降水量 9 年滑动平均在 750~950 mm 之间,PCI 的 9 年滑动值在 8~10 之间,年降水量较小,降水集中度较高,自进入本世纪,年降水量持平略有减少,PCI 却呈上升趋势,从 2000 年的 8 增大到 10. 巴中年降水量相对较大,9 年滑动平均在 900~1 200 mm 之间,但 2005 年以前降水集中度相对较小,稳定在 7 上下,从 2006 年开始,年降水量和 PCI 都呈上升趋势,PCI 从 7 增大到 10. 这一变化特征与近年川东北短时强降水和洪涝灾害多发相吻合。

总之,PCI 能较好地表征降水的年内集中程度. 近 50 年的分析结论表明:年降水量、PCI 和 PCI 距平的时空分布及演变特征等对分析旱涝灾害的发生具有指导作用. 因此,分析应用 PCI 的变化趋势结果,有利于提高旱涝预报水平,为防灾减灾和水资源利用、生产生活调度提供科学依据^[15]。

5 小 结

基于西南地区 102 个站点的日降水资料计算得到降水集中指数 PCI,其与年降水量的时空分布有如

下特征:

1) 四川盆地东部、滇西北与四川交界处为 PCI 大值区, 降水年内集中程度相对较高, 四川北部、贵州东部年降水量分配相对均匀; 总体来看, PCI 大值区呈东北—西南走向, 并逐渐向西北、东南递减。

川东北既是 PCI 大值区, 也是 PCI 增大趋势最明显的地区, 这与近年来短时强降水和洪涝灾害多发相吻合。川西高原西北部降水分布趋于均匀; 西南地区降水集中的范围在向东扩展, 年内降水趋于集中。

2) 西南地区的平均年降水量呈下降趋势, 特别是在 2000 年之后下降幅度显著, 而降水集中度长期变化呈小幅上升趋势。2009 年以后降水量下降、降水集中指数上升的趋势尤为明显, 这一特征意味着干旱更容易发生。

PCI 及其距平表现出明显的年代际特征, 60 年代至本世纪初西南地区普遍经历了 PCI 大—小—大—小 4 个阶段, 与之相应的是 PCI 距平总体表现为正—负—正—负的交替变化, 四川盆地的变化更为明显。

3) 典型站点绵阳和巴中近年的变化趋势显示, 四川盆地东部相比于西部, 降水增多和降水趋于集中的趋势更加明显, 更容易出现洪涝灾害。

PCI 和 PCI 距平的时空分布, 对于分析旱涝灾害的发生具有指导意义。与降水量的时空分布相结合^[17]、与水质在丰、平、枯 3 个水期的变化特征相结合^[17], 降水集中度的应用将更有利于为防灾减灾和水资源利用、生产生活调度提供依据。

参考文献:

- [1] 何永坤, 唐余学, 范 莉, 等. 近 50 年西南地区玉米干旱变化规律研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1): 34—42.
- [2] 张录军, 钱永甫. 长江流域汛期降水集中程度和洪涝关系研究 [J]. 地球物理学报, 2004, 47(4): 622—630.
- [3] ZHANG L J, QIAN Y F. Annual Distribution Features of the Yearly Precipitation in China and Their Interannual Variations [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 17(2): 146—163.
- [4] 朱 丹, 肖天贵, 谌 芸. 四川地区 1960 年—2004 年降水集中程度研究 [J]. 资源科学, 2010, 32(10): 1910—1917.
- [5] OLIVER J E. Monthly Precipitation Distribution: A Comparative Index [J]. The Professional Geographer, 1980, 32(3): 300—309.
- [6] DE LUIS M, GARCIA-CANO M F, CORTINA J, et al. Climatic Trends, Disturbances and Short-Term Vegetation Dynamics in a Mediterranean Shrubland [J]. Forest Ecology and Management, 2001, 147(1): 25—37.
- [7] DE LUIS M, GONZÁLEZ-HIDALGO J C, LONGARES L A. Is Rainfall Erosivity Increasing in the Mediterranean Iberian Peninsula? [J]. Land Degrad Dev, 2010, 21(2): 139—144.
- [8] APAYDIN H, ERPUL G, BAYRAMIN I, et al. Evaluation of Indices for Characterizing the Distribution and Concentration of Precipitation: A Case for the Region of Southeastern Anatolia Project, Turkey [J]. Journal of Hydrology, 2006, 328(3): 726—732.
- [9] 段亚雯, 朱克云, 马柱国, 等. 中国区域 1961~2010 年降水集中指数(PCI)的变化及月分配特征 [J]. 大气科学, 2014, 38(6): 1124—1136.
- [10] 李鹏飞, 赵昕奕. 2009—2011 年中国西南五省的降水异常 [J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(6): 1083—1097.
- [11] 张晓惠, 谢世友, 任伟. 1951 年—2014 年重庆市主城区降水变化特征分析——以沙坪坝区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(4): 104—109.
- [12] HOREL J D. A Rotated Principal Component Analysis of the Interannual Variability of the Northern Hemisphere 500 Mb Height Field [J]. Monthly Weather Review, 1981, 109(10): 2080—2092.
- [13] 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(自然科学版), 2005, 27(6): 749—752.
- [14] 刘晓冉, 杨 茜, 程炳岩, 等. 近 46 年重庆地区降水资源的变化特征分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(7): 93—100.
- [15] 钱妙芬. 大蒜产量波动的气候原因分析 [J]. 西南农业大学学报, 2001, 23(6): 507—509.

- [16] 胡豪然, 梁 玲. 近 50 年西南地区降水的气候特征及区划 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(7): 146–154.
- [17] 杨 鲲, 李玉静, 史琼彬, 等. 不同水期嘉陵江北温泉段表水中 COD 的变化特征 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2013, 38(3): 113–119.

Characteristics of Precipitation Concentration Index Variations in Southwest China from 1963 to 2012

CAO Yong-xing¹, CAI Hong-ke², XIANG Wei-guo²,
ZHU Qiu-yu², LI Qing-lu²

1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, China;
2. Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China

Abstract: Based on the daily precipitation data at 102 stations from 1963 to 2012 in southwest regions of China, the PCI of each station in the past 50 years was calculated. Besides, the variation tendency and the time-space distribution features of PCI at southwest regions were analyzed. The results indicate that, the maximum value of PCI in southwest regions distributed from southwest to northeast and decreased progressively toward the northwest and southeast. Precipitation in Northeast of Sichuan and Sichuan basin was the most obvious. The PCI of northwest in southwest regions was on a declining curve during 50 years, while the PCI of east and south areas was on the increase. In the southwest region, the range of the PCI maximum value was enlarged, and in the northeast of Sichuan province, the precipitation concentration trend is the most obvious. The overall trend of precipitation in the southeast was decreasing. The precipitation concentration degree was increasing, as the same time the more risk of drought and flood disaster took place. And this characteristic of PCI variation was particularly prominent in this century. The space distribution of PCI and PCI anomaly shows an obvious inter-decadal variation characteristic. The variation of PCI anomaly experiences positive-negative-positive-negative process from the sixties to early this century. Annual precipitation and PCI value were enlarged in Bazhong which was one of typical stations, corresponding to frequent flood disasters in the recent years.

Key words: Southwest China; precipitation concentration index; spatial and temporal characteristics

责任编辑 崔玉洁

