DOI:10.13878/j.cnki.jnuist.2016.03.002

张倩倩[1]　李艳[1]　王志福[1]　董新宁[2]

1961—2012 年重庆市的降水特征分析

摘要

利用重庆市 1961—2012 年 34 个气象观测站的逐日降水资料,采用 EOF 分析、线性回归及相关分析的方法对重庆市的降水量时空特征、降水频数特征及降水强度特征进行诊断分析研究,并进行了相关讨论.结果表明:重庆市的年总降水量呈逐年减少的变化特征,并且年总降水量存在空间一致性与重庆市东北地区和其他地区反相变化的空间分布形式;各类持续性降水过程频数的空间分布差异较大,持续性降水过程频数的变化趋势表明短期降水过程(持续 2 d)逐年增加而持续较长时间(持续 5 d 及以上)的连阴雨天气过程减少趋势明显;降水强度分析中发现一般降水(小雨、中雨、大雨)的年总降水量呈下降趋势,是引起重庆市年总降水量减少的主要原因,小雨、中雨降水强度逐年减弱而大雨的强度有弱的增强,较强降水等级(暴雨与大暴雨)的年总降水量呈较弱的上升趋势,降水强度也表现为弱的增强趋势;持续 5 d 及以上降水过程频数的减少可能与当地 500 hPa 位势高度场的上升及赤道太平洋海表温度的升高相关,大雨及以上等级降水的强度变化可能与 El Niño Modoki 现象有关.

关键词

重庆市;降水频数;降水强度

中图分类号 P467

文献标志码 A

收稿日期 2015-03-07

资助项目 国家自然科学基金青年科学基金(40805039);重庆市气象局开放式研究基金;南京信息工程大学气象灾害教育部重点实验室开放课题 (KLME1303)

作者简介

张倩倩,女,硕士生,主要从事区域气候变化方面的研究.zhangqian5629@ 126.com

李艳(通信作者),女,博士,副教授,主要从事风能评价分析与区域气候变化方面的研究.yanlee@ nuist.edu.cn

1　南京信息工程大学　气象灾害教育部重点实验室,南京,210044

2　重庆市气候中心,重庆,401147

0　引言

在全球变暖的大背景下,气候变化的地域性特征明显,各地气候变化趋势不一致.重庆市位于 105°17′~110°11′E、28°10′~32°13′N 之间的中国西南部的长江上游地区,处于青藏高原与长江中下游平原的过渡地带,其特殊的地理位置使得该地区既受东亚季风和印度季风的影响,同时又受青藏高原环流系统的影响.夏季,太平洋副热带高压在东,南亚高压在南,两个高压的发展和减弱伴随着夏季风的进退,冷暖空气的交绥过程形成重庆市旱涝多变的天气、气候背景.重庆市的地形起伏较大,气温随地形的升高而显著减小,降水量随海拔高度的升高而逐渐增加[1].

重庆市是西南地区旱涝灾害频发的中心地区,其降水的变化对当地甚至西南地区的发展都具有重要影响[2].重庆市及其所处的大背景西南地区和周围的四川盆地等地区的降水特征已有许多研究.张荣等[3]分析了 1951—2010 年我国西南地区降水异常的时空分布特征得出结论,西南地区降水的季节分配不均匀,表现为秋季降水有明显的减少趋势,而其他季节变化趋势不明显.刘晓冉等[4]分析我国西南地区 1960—2000 年降水资源变化的时空特征发现,西南地区的西部高原地区降水资源呈增加趋势,而东部除重庆地区外大部分地区降水资源减少;西南地区降水资源的空间特征存在南北和东西相反变化的差异.邵远坤等[5]分析四川盆地 1958—2000 年的降水特征发现盆地内降水相对变率比较小,降水相对比较稳定,但盆地内降水空间分布不均匀,降水异常的显著特征是盆地西部与东部反相位分布.白莹莹等[6]分析了近 46 年四川盆地降水变化的区域差异,得出盆地降水空间异常分布主要呈东西震荡特征,且盆地西部降水显著减少,盆地东部降水总体变化趋势不明显,盆地西部地区的暖干化可能是对全球变暖的区域响应.陈艳英等[7]针对重庆地区 1961—2000 年的日降水变化趋势及变化特征进行了研究,指出重庆地区的日降水量有增加的趋势,且空间分布差异明显.刘晓冉等[8]分析了 1961—2006 年重庆地区降水资源的时空变化特征,发现除夏季和冬季小幅增加外,春季、秋季及年降水量都呈减少趋势,且空间分布的季节变化明显.刘毅等[9]分析近 1960—2000 年重庆地区夏季降水的气候特征得出降水空间分布既有整体一致性,也存在南部和北部及东部与西部相反变化的差异,且重庆地区夏季降水呈增加趋势,存在 22、14 和 2~4 a 的周

期变化.蒋智等[10]分析重庆地区 1951—2007 年的降水量变化特征发现降水的阶段性变化特征明显,年内降水量变化较大,降水量主要集中在夏季汛期.重庆市降水特征与周边地区相比具有独特性,关于重庆市降水特征的研究集中在 2007 年以前,因此,研究近年来重庆市降水特征是否有变化也很有必要.

降水的频数及强度也是反映降水特征的重要指标[11].早期林之光等[12]利用台站降水资料,通过降水的小时数来定义持续性降水,讨论了我国不同地区降水时数的空间分布特征,发现持续性降水空间差异较大且受地形影响明显.Zhao 等[13]利用站点资料的有效降水的持续时间来定义雨季的持续时间,分析了中国东部的 40 a 的持续性降水特征发现,南方持续性降水时间开始早结束晚,北方反之,持续性降水的这种变化形成了中国长期降水的南涝北旱形式.Yu 等[14]将江淮和黄淮地区降水事件按照持续时间分类发现降水峰值与降水持续性密切相关.Li 等[15]分析中国南方地区降水的季节变化时指出不同季节西南地区与东南地区的短时降水的峰值时间全年变化较为一致,而长持续性降水则表现出不同的特征.于文勇等[16]分析了中国地区降水持续性的季节变化特征发现自南向北,短时降水(持续 1 个时次,12 h)的降水量和降水频率占全年总降水的比例逐渐增加,持续性降水(持续 3 个时次及以上)的比例减少,持续时间随季节变化的区域性特征明显.黄丹青等[17]通过将持续性降水分为持续 2、3~4、5 d 及以上三类研究了江淮梅雨期各类持续性降水频数年代际尺度上的变异发现,随着持续时间的增加,降水总频数逐渐减少,且频发区从江淮的北部地区逐步向南部地区移动.张天宇等[18]分析三峡库区极端降水指数的变化规律指出,三峡库区最大连续 5 d 降水量的线性变化趋势不显著,但有显著的 2 和 5 a 左右的年际变化周期.重庆市位于长江上游地区,是高原与平原的过渡地带,属于气候敏感区,长时间的持续性降水易在该地区形成洪涝灾害.目前关于重庆市持续性降水特征的研究还不多,重庆市各类持续性降水的空间分布特征及变化趋势是否与重庆市总降水量的变化特征相同还需要进一步研究.

不同等级的降水对降水量的贡献及其变化趋势是降水预报的重要参考.李红梅等[19]按小雨、中雨、大雨以及暴雨的降水强度分类,探讨了不同强度降水在我国东部降水变化中的贡献,结果表明中国东部地区夏季降水变化主要受暴雨的影响,且不同地区各等级降水变化趋势不同.陈冬冬等[20]研究了近 50 年我国西北地区降水强度变化特征发现,西北地区降水以强降水为主,西北东、西部各等级降水强度变化不同.李邦东等[21]研究了 1961—2010 年东北地区不同等级降水事件的变化特征发现,年降水量与年降水日数均呈减小趋势,年降雨量(日数)减小主要受小雨影响,年降雪量(日数)呈增加趋势,年降雨量空间分布具有东南多、西北少的特点.赵志鹏等[22]、李菲等[23]、许薇等[24]分别对黑龙江、宁夏、汕头的降水等级特征进行了分析,研究结果表明各地各等级降水量和降水强度的变化趋势不同,空间分布差异较大.我国降水的地域性特征明显.关于重庆地区的降水分等级研究较少,而各等级降水量对总降水量的贡献及各等级降水强度如何变化是重庆市降水特征的重要部分.

本文利用重庆市 1961—2012 年的逐日降水观测资料,通过 EOF 分析、线性回归及相关分析的统计方法,分别分析了重庆市降水量的时空变化特征、重庆市各类持续性降水过程的频数空间分布与变化趋势特征、重庆市各等级降水强度的变化趋势特征,并探讨了持续性降水频数和各等级降水强度与同期 500 hPa 位势高度场和海表温度的关系.

1 资料与方法

1.1 资料来源

文中的降水资料为重庆市 34 个常规气象观测站(图 1)1961 年 1 月 1 日到 2012 年 12 月 31 日共 52 a 的逐日降水资料,资料源自重庆市气象局.万盛站的逐日降水资料在 1961—1965 年为缺测,因此文中仅利用万盛 47 a 的逐日降水资料.位势高度场资料为 1961—2012 年的 NCEP/NCAR 再分析月平均资料,水平分辨率为 2.5°×2.5°.海表温度资料取自美国 NOAA 的月平均资料,水平分辨率为 2°×2°.

1.2 研究方法

本文采用经验正交函数分析方法[25](Empirical Orthogonal Function,EOF)对重庆市 34 个站的年平均降水量场进行时空分析.EOF 方法是一种分析矩阵数据中的结构特征、提取主要数据特征量的一种方法.EOF 展开得到的通过显著性检验的前几个特征向量可以最大限度地表征气候变量场整个区域的变率分布结构,特征向量所对应的时间系数代表了这一区域特征向量所表征的分布型式的时间变化特征.在对研究区域内的降水量及降水强度进行时间

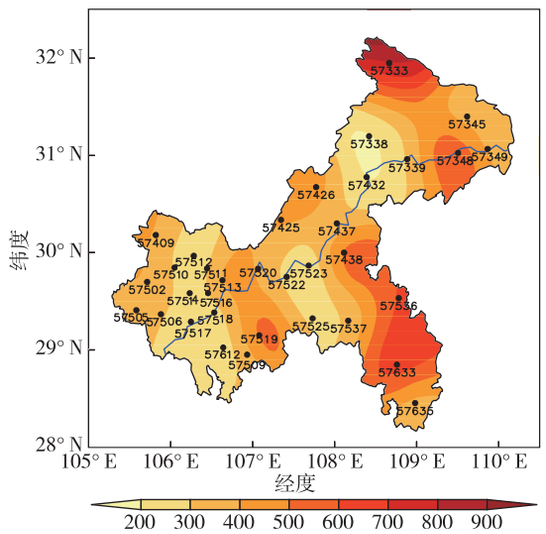


图 1 重庆市地形高程(单位:m)与气象观测站分布

Fig. 1 Chongqing's topography(units:m) and its 34 meteorological stations

趋势分析时,采用了 5 a 滑动平均处理来消除 5 a 内短周期的影响.分析降水频数和降水强度与同期 500 hPa 位势高度场和海表温度的关系时采用了相关分析的统计方法.

重庆市降水强度分析以国家气象局颁布的降水强度等级划分标准为依据,即 24 h 降水量在[0.1~10.0) mm 之间为小雨、[10.0~25.0) mm 为中雨、[25.0~50.0) mm 为大雨、[50.0~100.0) mm 为暴雨、[100.0~200.0) mm 为大暴雨、200.0 mm 及以上为特大暴雨.计算中发现,重庆市近 52 年来特大暴雨的降水日数和降水量分别占总降水日数与总降水量的 0.002%、0.08%,因此在降水级别分析时将特大暴雨归入大暴雨类中分析.全区年平均降水量为年总降水量的 52 a 的算术平均值,各等级降水的年平均降水量为各等级降水年总降水量的 52 a 平均值,万盛站均为 47 a 的算数平均值,单位为 mm/a.分析年总降水量的时间序列时,年总降水量为区域内 34 个测站年总降水量的算术平均值,各等级降水的年总降水量时间序列同理,单位为 mm/a.重庆市持续性降水过程的变化特征分别选取持续 2、3、4 和 5 d 及以上共 4 种持续性降水类型进行分析.各类持续性降水过程中出现的次数定义为各类持续性降水过程的频数,区域平均的降水频数为 34 个测站降水频数的算术平均值,全区各类持续性降水过程的年平均降水频数为 52 a 的算数平均值,万盛为 47 a 的算数平均值.逐日的持续性降水类型不重复计算,如持续 4 d 的降水类型不包括在持续 2 或 3 d 的类型中.

2 结果与分析

2.1 降水量的时空特征

由重庆市年平均降水量的空间分布及年总降水量时间序列(图 2)看出,重庆市年平均降水量呈东北地区西部和东南地区降水量较多而东北地区东部和西南地区降水量较少的空间分布形式(图 2a).在东南地区出现一个高值中心,年平均降水量超过 1 300 mm,西南地区有一个低值中心,年平均降水量不足 1 000 mm.同图 1 对比看出年平均降水量的空

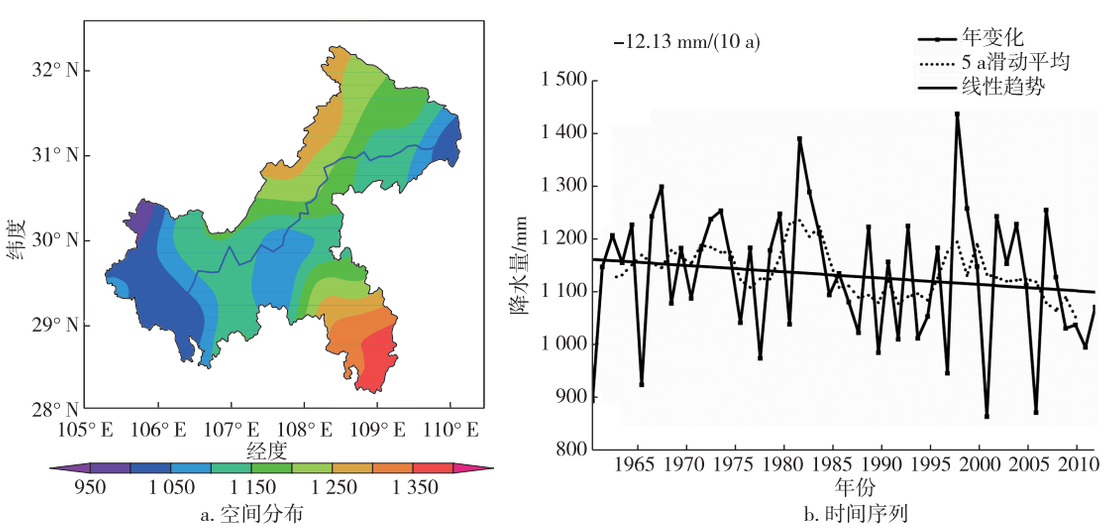


图 2 重庆市 1961—2012 年年平均降水量的空间分布(mm/a)与年总降水量的时间序列

Fig. 2 Spatial distribution of averaged annual precipitation(a;mm/a) and temporal variability of annual total precipitation(b) during 1961-2012 in Chongqing

间分布与地形有很大的联系,即海拔较高地区的降水量相对较多,这与陆忠艳等[1]得出的结论一致.由年总降水量的时间序列(图 2b)可以看出,年总降水量呈下降趋势,下降速率为-12.13 mm/(10 a),下降趋势不明显.由 5 a 滑动平均曲线可看出重庆市年总降水量在 20 世纪 70 年代中期以后年代际变化明显.

图 3 为重庆市年总降水量的 EOF 分析展开的第一、二模态的空间分布型和时间系数序列.重庆市降水第一主模态解释了总方差的 30.3%,从图 3a 看出全区均为正值且大值中心位于西南地区,表明重庆市的年总降水量在空间上具有较好的一致性,且西南地区的降水变率较大.全区一致性的降水特征在时间变化上表现出明显的年际、年代际变化特征(图 3c).EOF 分析展开的第二模态的方差贡献为 18.6%,由图 3b 看出空间分布表现出重庆市除东北地区为正值外其他地区均为负值且大值中心位于重庆市南部地区,表明重庆市东北地区与其他地区呈反位相变化,即重庆市东北地区的年总降水量增加(减少)时,其他地区的年总降水量减少(增加).第二模态空间分布对应的时间系数(图 3d)具有相对于对于第一模态较弱的年际变化,由 5 a 滑动平均曲线看出 20 世纪 80 年代以前时间系数变化不明显,1982—1993 年呈上升趋势,1994—1998 年为下降趋势,1999—2012 年呈逐年上升趋势,年代际变化明显.

2.2 降水频数特征

分析 1961—2012 年各类持续性降水过程的区域年平均总频数发现:持续 2 d 降水过程的频数为 15.6 次、持续 3d 的为 8.4 次、持续 4 d 的为 4.8 次、持续 5 d 及以上的为 6.5 次,可见持续 2 d 降水过程出现的频数最多,持续 4 d 降水过程出现的频数最少.持续 2 d 降水过程的总频数(图 4a)均在 15 次以上,频发区域主要集中在重庆市东北地区、中部和西南地区的南部.全区持续 3 d 降水过程的总频数(图 4b)大于 7 次,其大值区分布在西部地区、西南地区及东南部分地区,中部及东北地区的总频数相对较

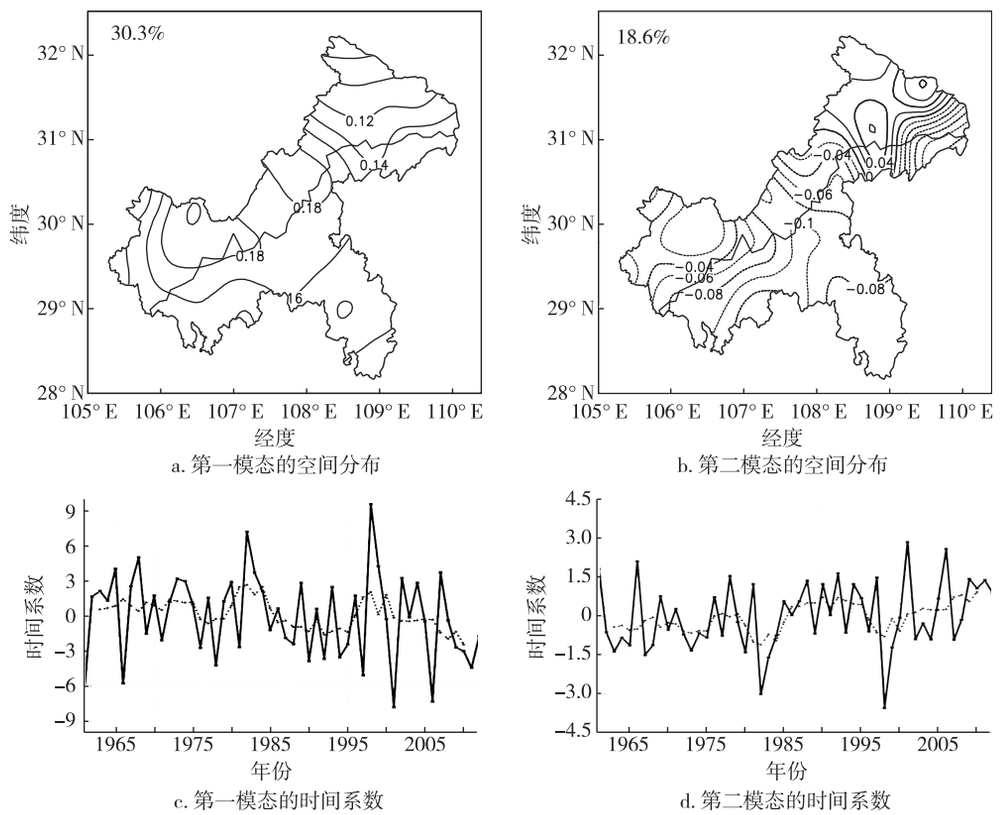


图 3 重庆市年总降水量(mm/a)的 EOF 主要模态的空间分布与对应的时间序列

Fig. 3 Spatial pattern of the EOF's leading modes and the corresponding temporal variability of annual total precipitation(mm/a) in Chongqing,(a)spatial pattern of the first mode,(b)spatial pattern of the second mode,(c)time variance of the first mode,(d)time variance of the second mode

少.由图 4c 看出持续 4 d 降水过程的频发区在西南地区和东南地区,而持续 5 d 及以上降水过程的频数(图 4d)主要分布在东南地区.由此可见重庆市各类持续性降水过程的频发区空间分布差异较大,东南部地区年平均降水量较多(图 2a)可能与较多的长时间持续性降水过程有关.

图 5 为 1961—2012 年各类持续性降水过程频数的线性趋势,持续 2、3、4、5 d 及以上降水过程频数的区域平均的线性趋势分别为 0.28、-0.02、0.03 和-0.21 次/(10 a),持续 2 d 降水过程的频数呈上升趋势,持续 5 d 及以上降水过程的频数为下降趋势,持续 3 与 4 d 降水过程的频数变化趋势不明显.由各类持续性降水频数的空间趋势(图 5)看出近 52 年来持续 2 d 降水过程的频数(图 5a)在东南地区呈下降趋势,其余地区均呈上升趋势,中部和东北地区的上升趋势较明显,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验.持续 3 d 降水过程的频数(图 5b)在重庆中部、东南地区和东北部分地区为上升趋势,其余地区为下降趋势,上升及下降趋势均不显著.从持续 4d 降水过程频数的线性趋势(图 5c)可以看出重庆市北部与南部为不明显下降趋势,西南与东南地区表现出较弱的上升趋势,而重庆市持续 5 d 及以上的连阴雨天气过程在近 52 年来有所减少,中部与东北地区下降趋势明显.以上分析说明,重庆市持续时间较短的降水过程(持续 2 d)的频数以上升的线性变化趋势为主,持续时间较长的降水过程(持续 5 d 及以上)的频数以下降的变化趋势为主,持续 3、4 d 降水过程的频数变化不明显,即重庆市的连阴雨天气逐年减少,而短期降水过程有所增多.

2.3 降水强度特征

各等级降水的年平均降水量与降水日数分配比例如图 6 所示.近 52 年来小雨的年平均降水量为 296.8 mm/a、中雨为 333.1 mm/a、大雨为 280.5 mm/a、

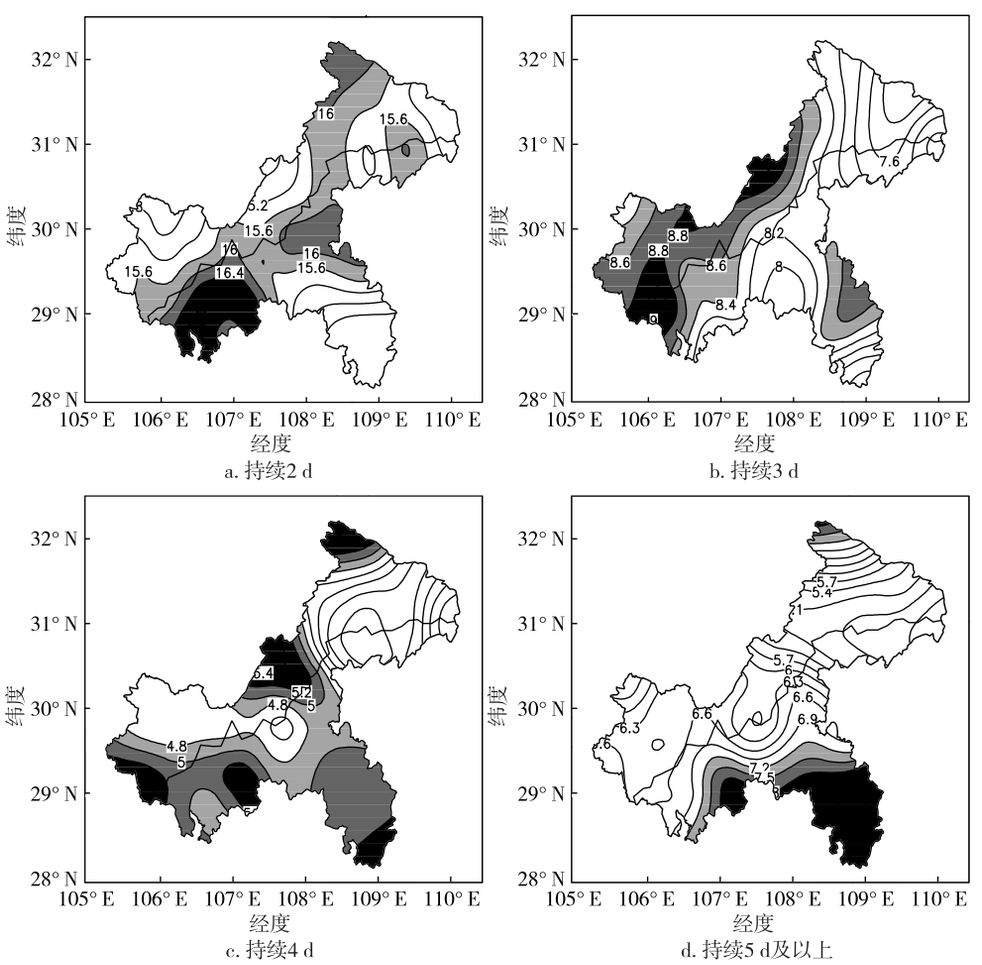


图 4 重庆市各类持续性降水过程的年平均频数(阴影部分为大值区)

Fig. 4 Averaged annual frequency of precipitation processes lasted for 2 days(a),3 days(b),4 days(c),and 5 or more days(d) in Chongqing(shaded area represents large value)

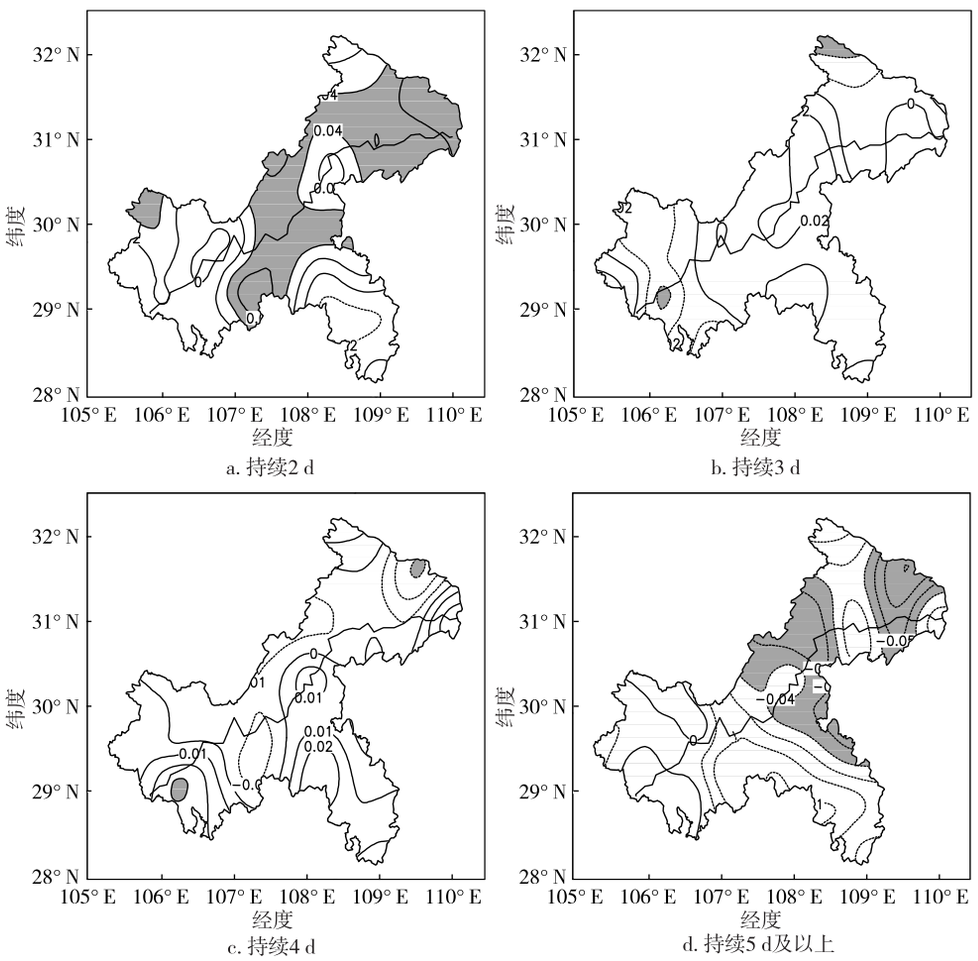


图 5　重庆市各类持续性降水过程频数的线性趋势(阴影区域通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 5　Linear trend of precipitation frequency for processes lasted for 2 days(a),3 days(b),4 days(c), and 5 or more days(d) in Chongqing(shaded areas are significant at level of $\alpha=0.05$)

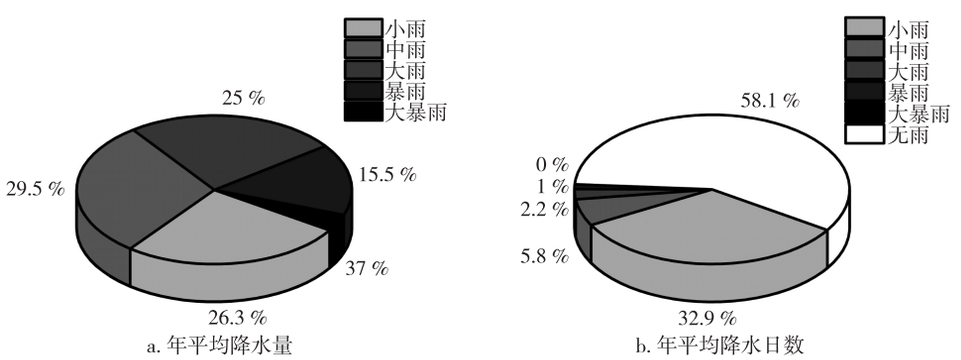


图 6　重庆市各等级降水的年平均降水量和年平均降水日数的分配比例

Fig. 6　Distribution percentage of various precipitation grades in averaged annual rainfall(a) and annual rainfall days(b) in Chongqing

暴雨为 175.3 mm/a、大暴雨为 41.7 mm/a,重庆市一般降水(小雨、中雨、大雨)的年平均降水量占年平均总降水量的 80.8%,年平均降水日数占年平均总降水日数的 40.9%.中雨的年平均降水量所占比例最大,为年平均总降水量的 29.5%,中雨的年平均降水日数占年平均总降水日数的 5.8%,为降水日数的

第二位.小雨的年平均降水日数最多,占年平均总降水日数的32.9%,其年平均降水量占年平均总降水量的26.3%,为降水量的第二位.大雨的年平均降水日数只占年平均总降水日数的2.2%,但其年平均降水量占年平均总降水量的25%.而强降水(暴雨、大暴雨)在年平均降水日数占1%的时间内所产生的年平均降水量是年平均总降水量的19.2%.

由各级别降水的年总降水量的时间变化趋势(图7)可以看出:中雨的年总降水量逐年减弱显著,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,减少速率为-9.09 mm/(10 a)(图7b),小雨、大雨也表现为弱的下降趋势(图7a,7c),下降速率分别为-2.49 和-1.64 mm/(10 a),减小趋势不明显;暴雨、大暴雨的年总降水量则呈不明显的上升趋势(图7d,7e),线性增加趋势分别为0.29 和0.62 mm/(10 a).由此可见,重庆市近52年来一般降水(小雨、中雨、大雨)的年总降水量以线性减少为主,对总降水量贡献最大的中雨减少显著;强降水过程(暴雨、大暴雨)的年总降水量呈逐年上升趋势,但上升趋势不显著.因此,中雨年总降水量的减少是重庆市年总降水量逐年减少的主要原因.

降水强度为年总降水量与对应等级的年总降水日数之比,1961—2012年重庆市各等级降水的平均降水强度分别为小雨2.47 mm/d、中雨15.66 mm/d、大雨34.29 mm/d、暴雨65.76 mm/d、大暴雨128.65 mm/d.从图8中1961—2012年重庆地区不同等级降水强度的变化趋势看出小雨、中雨的降水强度呈下降趋势(图8a 和8b),下降速率分别为-0.009 和-0.019 mm·d^{-1}/(10 a).由于小雨、中雨的年总降水量呈逐年减少的趋势(图7a 和7b),而小雨、中雨的年总降水日数的下降趋势不显著(下降速率分别为-0.59 和-0.55 d/(10 a)),因此其降水强度仍然表现出逐年减弱趋势.而大雨、暴雨、大暴雨的降水强度呈弱的逐年增加趋势(图8c—8e),增加速率分别为0.072、0.187 和0.59 mm·d^{-1}/(10 a),与近年来重庆市极端降水的增多一致.

2.4 降水变化的原因讨论

重庆市的连阴雨天气与大气环流和太平洋的海温变化密切相关,分析重庆市持续5 d及以上降水过程的频数与500 hPa位势高度场的相关系数(图9)可以看出,重庆市的连阴雨天气过程与该区域500 hPa位势高度场呈负相关,且通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验.即当地的位势高度偏高(低)时,重庆市持续5 d及以上降水过程的频数偏少(多).考虑到青藏高原及其邻近地区近39年的500 hPa位势高度场年变化以上升趋势为主[26],并且青藏高原东北部上升趋势尤其显著,因此位于高原东部的重庆市500 hPa位势高度场也存在逐年上升的线性趋势.结合以上重庆市500 hPa位势高度场与其持续5 d及以上的连阴雨过程存在反位相变化趋势的分析,恰恰对

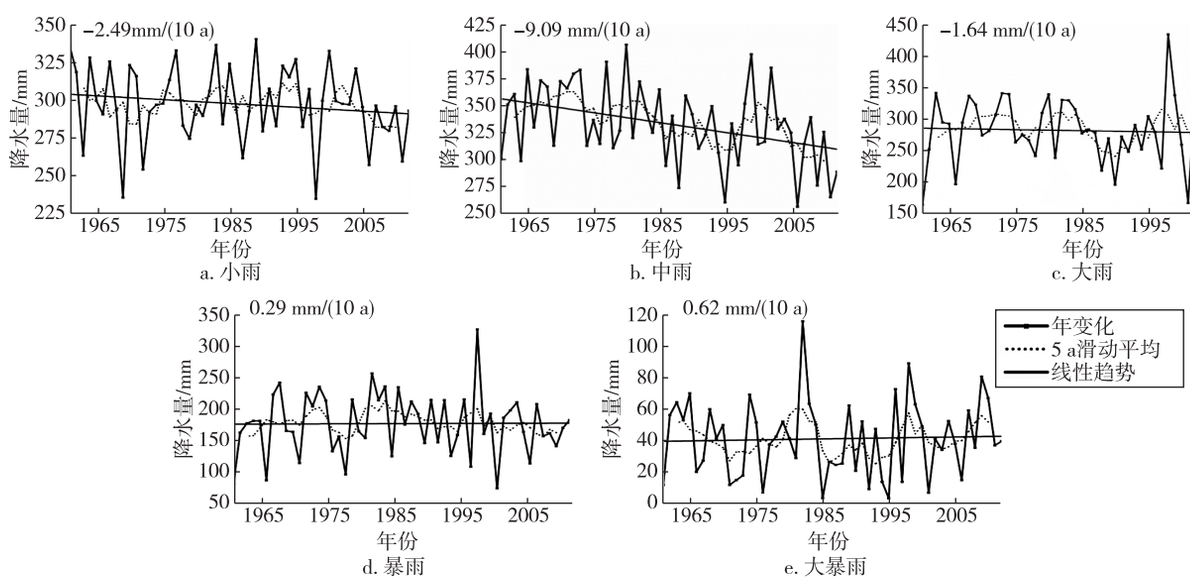


图7 重庆市各等级降水的年总降水量(mm/a)的时间序列(中雨的变化趋势通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验)

Fig. 7 Time series of annual total precipitation(mm/a) induced by various grades of precipitation in Chongqing (linear trend of moderate rain is significant at level of $\alpha=0.05$),(a)light rain,(b)moderate rain,(c)heavy rain,(d)storm,and (e)heavy storm

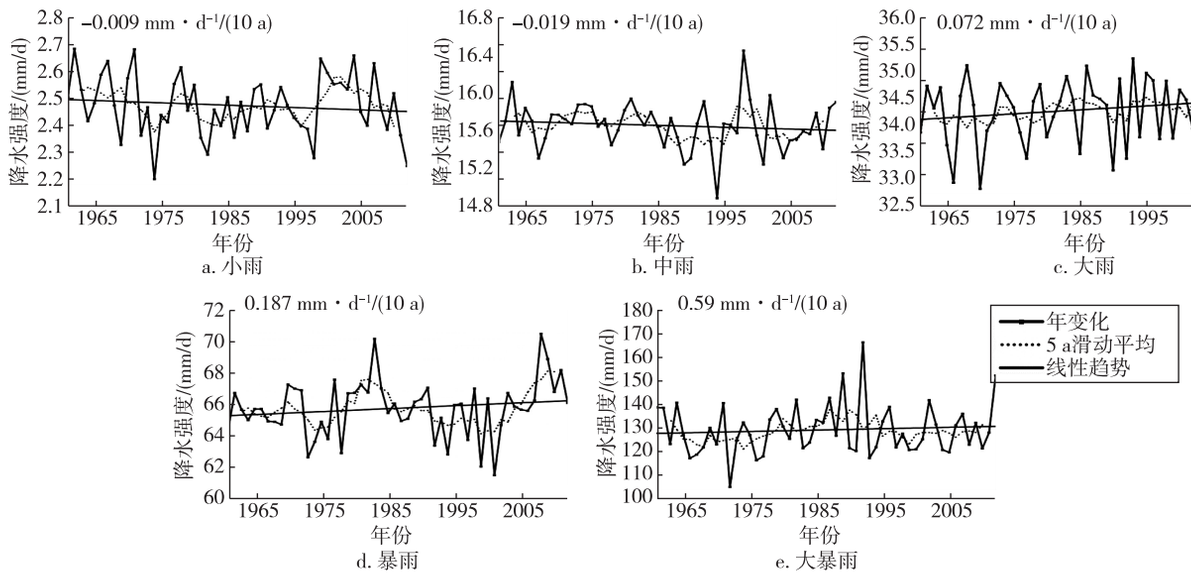


图 8　重庆市各等级降水的降水强度的时间序列(mm/d)

Fig. 8　Time series of precipitation intensity of each precipitation grade in Chongqing(mm/d), (a) light rain, (b) moderate rain, (c) heavy rain, (d) storm, and (e) heavy storm

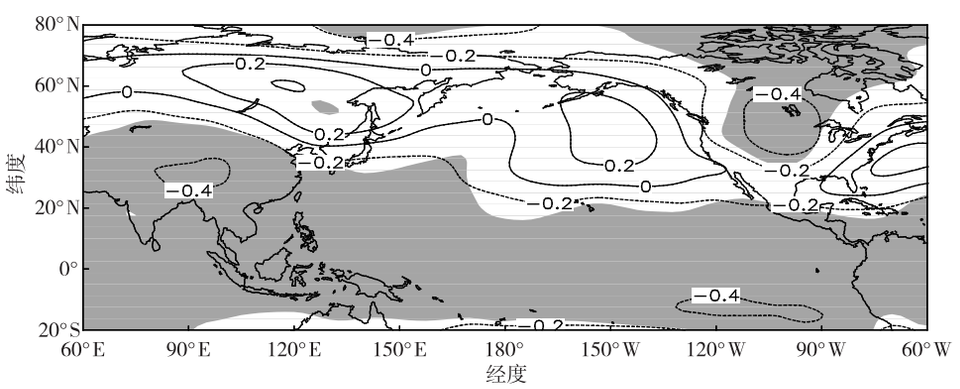


图 9　重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数与 500 hPa 位势高度场相关系数的空间分布(阴影区域通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 9　Correlation coefficient of long duration (5-d and more) precipitation processes frequency and 500 hPa geopotential height (shaded areas are significant at level of $\alpha=0.05$)

应于重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数的下降趋势.由此有理由认为重庆市的连阴雨天气过程的减少可能与 500 hPa 位势高度场的升高有关.图 10 为重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数与太平洋海表温度的相关系数空间分布,从图 10 中可以看到重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数与赤道太平洋海表温度呈负相关,其中与 Niño3 区和太平洋中部的负相关通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验.即 El Niño 年重庆市的连阴雨天气过程较少,La Niña 年较多.有研究表明近百年来太平洋海表温度呈弱的上升趋势[27],由此可见海表温度的变化会导致重庆市 5 d 及以上连阴雨天气过程频数的减少趋势,与当前的观测结果一致.以上分析说明重庆市 5 d 及以上连阴雨天气过程频数减少与海表温度尤其是 Niño3 区海表温度的上升相关.

由图 11 大雨及以上的降水强度与太平洋海表温度相关系数的空间分布看出,大雨及以上的降水强度与赤道中太平洋地区的海表温度呈正相关,而与赤道中太平洋地区东西两侧的海表温度呈负相关,与赤道中太平洋地区的正相关及与西侧的负相关均通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性检验.正相关大值区域在 180°E 附近,呈东北—西南走向,负相关中心分别位于 140°E 以西与 100°W 以东.较强降水的强度与赤道太平洋海温的相关关系形态恰好与 El Niño Modoki 的现象类似.El

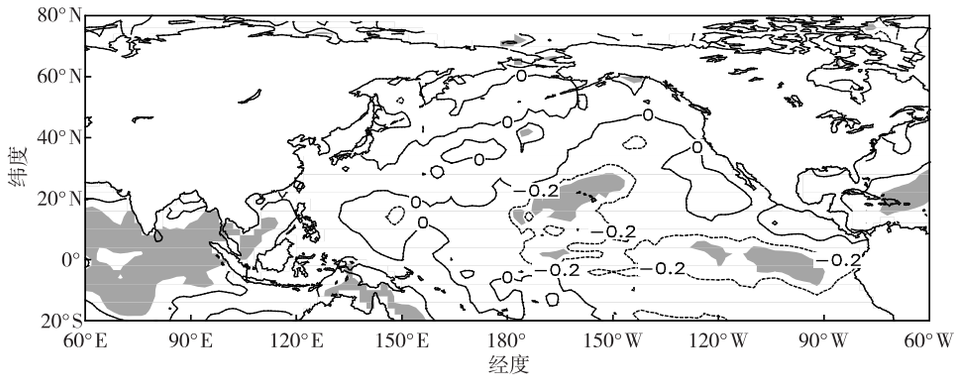


图 10　重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数与太平洋海表温度相关系数的空间分布(阴影区域通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 10　Correlation coefficient of long duration (5-d and more) precipitation processes frequency and the SST of Pacific(shaded areas are significant at level of $\alpha=0.05$)

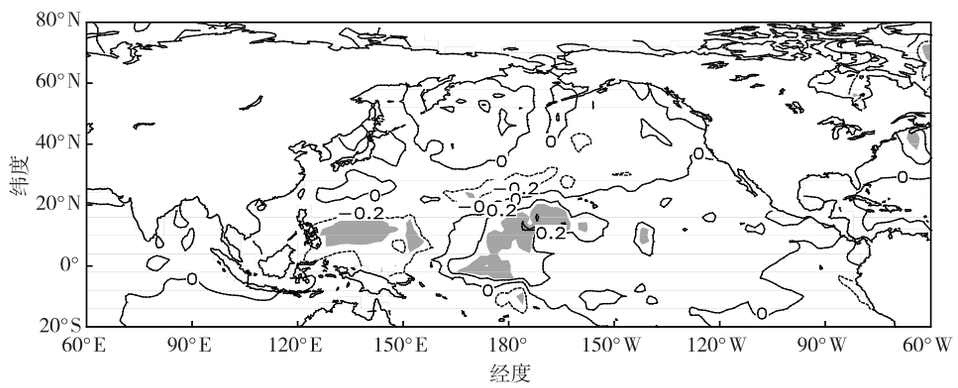


图 11　大雨及以上降水的强度与太平洋海温相关系数的空间分布(阴影区域通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验)

Fig. 11　Correlation coefficient of the precipitation intensity of heavy rain and storm and the SST of Pacific(shaded areas are significant at level of $\alpha=0.05$)

Niño Modoki 太平洋海温异常的马蹄状(horse-shoe)表现为赤道中太平洋地区的唯一正异常中心与两个负异常中心,两个负异常中心分别位于正异常中心沿赤道的东西两侧[28].因此,重庆市大雨及以上降水的强度可能与 El Niño Modoki 相关.

3　结果与结论

通过利用 EOF 分析方法、线性回归方法及相关分析方法对重庆市 1961—2012 年共 52 a 的降水时空分布特征、各类持续性降水过程的降水频数特征、各等级降水的降水强度特征进行分析,得出以下结论:

1)重庆市的年平均总降水量呈东北地区西部与东南地区降水量较多而东北地区东部与西南地区降水量较少的空间分布形式,且年总降水量呈逐年下降趋势.重庆市年总降水量的 EOF 分析结果表明年总降水量的空间分布既有全区一致的性质,也存在重庆市东北地区与其他地区反相的变化形式.

2)持续 2、3 和 4 d 降水过程的频数,随着持续时间的增加,降水频数逐渐减少;各类持续性降水过程的频数空间分布差异较大,重庆市东南地区降水量较多可能与较多的长时间持续性降水过程有关.持续 2 d 降水过程的频数以上升趋势为主,持续 5 d 及以上降水过程的频数下降趋势明显,持续 3 和 4 d 降水过程的变化趋势不明显,即短期降水过程逐渐增多而连阴雨天气过程逐渐减少.

3)一般降水(小雨、中雨、大雨)的年总降水量以线性减少为主,其中中雨减少趋势显著,是引起重庆市年总降水量逐年减少的主要原因.小雨、中雨降水强度逐年减弱而大雨强度增强,强降水(暴雨、大暴雨)的年总降水量与降水强度都呈弱的增加趋势.

4)重庆市持续 5 d 及以上降水过程频数的减少可能与当地 500 hPa 位势高度场的上升和赤道太平洋海表温度的升高有关.大雨及以上等级降水的强

度变化可能与 El Niño Modoki 相关.

参考文献

References

[1] 陆忠艳,马力,缪启龙,等.起伏地形下重庆降水精细的空间分布[J].南京气象学院学报,2006,29(3):408-412
LU Zhongyan, MA Li, MIAO Qilong, et al. Fine spatial distribution of precipitation on Chongqing rugged terrain [J].Journal of Nanjing Institute of Meteorology,2006,29(3):408-412

[2] 温克刚,马力.中国气象灾害大典:重庆卷[M].北京:气象出版社,2008:14
WEN Kegang,MA Li.China's meteorology disaster collection: Chongqing volume [M]. Beijing: China Meteorological Press,2008:14

[3] 张荣,庞晶,覃军.近 60 年西南地区降水异常的气候特征分析[J].安徽农业科学,2012,40(30):14873-14875
ZHANG Rong,PANG Jing,QIN Jun.Analysis on climatic characteristics of the precipitation anomaly in southwest China in recent 60 years [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2012,40(30):14873-14875

[4] 刘晓冉,李国平,范广洲,等.我国西南地区 1960—2000 年降水资源变化的时空特征[J].自然资源学报,2007,22(5):783-792
LIU Xiaoran,LI Guoping,FAN Guangzhou,et al.Spatial and temporal characteristics of precipitation resource in southwest China during 1961 - 2000 [J]. Journal of Natural Resources,2007,22(5):783-792

[5] 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
SHAO Yuankun,SHEN Tongli,YOU Yong,et al.Precipitation features of Sichuan basin in the recent 40 decades [J]. Journal o f Southwest Agricultural University (Natural Science),2005,27(6):749-752

[6] 白莹莹,张焱,高阳华,等.四川盆地降水变化的区域差异[J].地理科学,2011,31(4):478-484
BAI Yingying,ZHANG Yan,GAO Yanghua,et al.Spatial differences of precipitation over Sichuan basin [J]. Scientia Geographica Sinica,2011,31(4):478-484

[7] 陈艳英,马力,高阳华,等.重庆地区日降水气候分析[J].南通大学学报(自然科学版),2008,7(3):75-80
CHEN Yanying, MA Li, GAO Yanghua, et al. Climate analysis on daily precipitation in Chongqing[J].Journal of Nantong University(Natural Science Edition),2008,7(3):75-80

[8] 刘晓冉,杨茜,程炳炎,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
LIU Xiaoran,YANG Xi,CHENG Bingyan,et al.Characteristics of change in precipitation resources in Chongqing during 1961-2006[J].Journal of Southwest University (Natural Science Edition),2010,32(7):93-100

[9] 刘毅,何金海,王黎娟.近 40 年重庆地区夏季降水的气候特征[J].气象科学,2005,25(5):490-498
LIU Yi, HE Jinghai, Wang Lijuan. Climate features of summer precipitation in Chongqing region during 40 a [J].Scientia Meteorologica Sinica,2005,25(5):490-498

[10] 蒋智,况明生.重庆地区近 57 年降水量变化特征及其影响分析[J].亚热带水土保持,2009,21(2):9-13
JIANG Zhi,KUANG Mingsheng.Analysis on the characteristic of precipitation variability & effects in recent fifty-seven years in Chongqing area[J].Subtropical Soil and Water Conservation,2009,21(2):9-13

[11] Dai A G,Lin X,Hsu K L.The frequency,intensity,and diurnal cycle of precipitation in surface and satellite observations over low-and mid-latitudes [J]. Climate Dynamics,2007,29(7):727-744

[12] 林之光,彭开秀,焦仪珍.我国降水时数时空分布[J].地理学报,1983,38(4):382-396
LIN Zhiguang,PENG Kaixiu,JIAO Yizhen.The regional and seasonal distribution of the duration of precipitation hours in China [J]. Acta Geographica Sinica, 1983, 38(4):382-396

[13] Zhao P,Yang S,Yu R C.Long-term changes in rainfall over eastern china and large-scale atmospheric circulation associated with recent global warming[J].Journal of Climate,2010,23(6):1544-1562

[14] Yu R C, Xu Y P, Zhou T J, et al. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China[J].Geophysical Research Letters,2007,34(13):173-180

[15] Li J,Yu R C,Zhou T J.Seasonal variation of the diurnal cycle of rainfall in southern contiguous China[J].Journal of Climate,2008,21(22):6036-6043

[16] 于文勇,李建,宇如聪.中国地区降水持续性的季节变化特征[J].气象,2012,38(4):392-401
YU Wenyong,LI Jian,YU Rucong.Analyses of seasonal variation characteristics of the rainfall duration over China[J].Meteorological Monthly,2012,38(4):392-401

[17] 黄丹青,朱坚,况雪源.江淮梅雨期各类持续性降水频数年代际尺度上的变异及其可能原因的探讨[J].科学通报,2010,55(35):3408-3415
HUANG Danqing,ZHU Jian,KUANG Xueyuan.Decadal variation of continuous Meiyu precipitations with different duration and their possible causes[J].Chinese Science Bulletin,2010,55(35):3408-3415

[18] 张天宇,范莉,程炳岩,等.1961—2007 年三峡库区极端降水指数 R5d 的变化规律及其未来情景预估[J].中国农业气象,2010,31(2):176-182
ZHANG Tianyu, FAN Li, CHENG Bingyan, et al. Variation of extreme precipitation index (Maximum consecutive 5-day precipitation totals) in the Three Gorges during 1961-2007 and scenario projections[J].Chinese Journal of Agrometeorology,2010,31(2):176-182

[19] 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
LI Hongmei, ZHOU Tianjun, YU Rucong. Analysis of July-August daily precipitation characteristics variation in eastern China during 1958-2000[J].Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2008,32(2):358-370

[20] 陈冬冬,戴永久.近五十年我国西北地区降水强度变化特征[J].大气科学,2009,33(5):923-935

CHEN Dongdong, DAI Yongjiu. Characteristics of northwest China rainfall intensity in recent 50 years[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences,2009,33(5):923-935

[21] 李邦东,周旭,赵中军,等.近50年中国东北地区不同类型和等级降水事件变化特征[J].高原气象,2013,32(5):1414-1424
LI Bangdong,ZHOU Xu,ZHAO Zhongjun,et al. Change features of different types and grades of precipitation event in Northeast China in recent 50 years[J]. Plateau Meteorology,2013,32(5):1414-1424

[22] 赵志鹏,曹立国,魏锦烨,等.近52年黑龙江省不同级别降水特征分析[J].水土保持研究,2012,19(2):48-52
ZHAO Zhipeng, CAO Liguo, WEI Jinye, et al. Research on the characteristic of different level precipitation in Heilongjiang province in recent 52 years[J]. Research of Soil and Water Conservation,2012,19(2):48-52

[23] 李菲,张明军,李小飞,等.1962—2011年来宁夏不同等级降水的变化特征[J].生态学杂志,2013,32(8):2154-2162
LI Fei,ZHANG Mingjun,LI Xiaofei,et al. Variation characteristics of different-level precipitation in Ningxia of Southwest China in 1962-2011[J]. Chinese Journal of Ecology,2013,32(8):2154-2162

[24] 许薇,甘庆辉,汤强.1962—2008年汛期汕头各级别降水特征分析[J].暴雨灾害,2011,30(3):277-281
XU Wei, GAN Qinghui, TANG Qiang. Characteristics of different level precipitation in Shantou during rainy season from 1962 to 2008[J]. Torrential Rain and Disasters,2011,30(3):277-281

[25] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,1999:106-122
WEI Fengying. Modern climate statistical diagnosis and prediction technology[M]. Beijing: China Meteorological Press,1999:106-122

[26] 张雪芹,陶杰,尹志勇,等.1979—2005年青藏高原位势高度场变化趋势的时空特征[J].地理研究,2010,29(8):1493-1501
ZHANG Xueqin,TAO Jie,YIN Zhiyong,et al. Spatial and temporal patterns for the tendency of geopotential height variation over the Qinghai-Tibet Plateau during 1979-2005[J]. Geographical Research, 2010, 29(8):1493-1501

[27] Liu P, Sui C H. An observational analysis of the oceanic and atmospheric structure of global-scale multi-decadal variability[J]. Advances in Atmospheric Sciences,2014,31(2):316-330

[28] Ashok K, Behera S K, Rao S A, et al. El Niño Modoki and its possible teleconnection[J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(C11): C11007, doi: 10.1029/2006JC003798

Precipitation characteristics in Chongqing during 1961-2012

ZHANG Qianqian[1] LI Yan[1] WANG Zhifu[1] DONG Xinning[2]
1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044
2 Chongqing Climate Center, Chongqing 401147

Abstract The daily precipitation in Chongqing during 1961-2012 observed by 34 meteorological stations were used to analyze the precipitation characteristics in temporal and spatial distribution, frequency and intensity by applying methods of EOF, linear regression and correlation analysis. The results indicate that the annual total precipitation of Chongqing is gradually decreasing. There are two patterns for the spatial distribution of annual total precipitation, namely, pattern of wet or dry in all area, and pattern of wet (or dry) in northeast with dry (or wet) in other areas of Chongqing. There are big differences in annual total frequency distribution for different duration precipitations. Linear trends show that short duration (2-day) precipitation processes are increasing, while long-duration (5-day and more) precipitation processes are decreasing in frequency. The reduction of annual total rainfall by general precipitations (including light rain, moderate rain, and heavy rain) may be the main reason for the decrease of annual total precipitation in Chongqing; the light rain and moderate rain are decreasing, but the heavy rain is increasing slightly in intensity. While the annual total rainfall by heavy precipitation processes (storm, heavy storm) is weakly increased, with slightly enhanced precipitation intensity. The decreased frequency of long duration (5-d and more) precipitation processes may be related to the rising trend of 500 hPa geopotential height in Chongqing region and the increment of equatorial Pacific sea surface temperature, while the slight increase in precipitation intensity of heavy rain and storm may be due to the El Niño Modoki.

Key words Chongqing; precipitation frequency; precipitation intensity