

四川省近60年降水变化特征分析

王梓奕

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月27日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月29日

摘要

本文利用四川省1961~2017年37个气象站的逐日降水观测数据,分析了四川省降水变化特征,结果表明: 1) 仅60年来四川省年降水量没有发生显著变化,年降水量在东南地区呈下降趋势,然后向西北地区逐渐过渡为增加趋势,但仅部分区域达到显著性水平。2) 秋季降水量呈显著下降趋势,其余季节降水量无显著变化;四季降水量在东南地区呈下降趋势,然后向西北地区逐渐过渡为增加趋势,其中仅夏季没有达到显著性水平。3) 不同等级降水日数在全省绝大多数地区均呈增加趋势,但只有小雨降水日数在全省均通过了90%的信度检验,暴雨仅在甘孜州西部、达州和广安通过了90%的信度检验。小雨降水强度呈下降趋势,且在绝大多数地区通过了90%的信度检验,大雨降水强度的变化趋势在全省都没有通过90%的信度检验,暴雨和中雨降水强度的变化仅在部分区域通过了90%的信度检验。

关键词

降水变化, 气候倾向率, 不同等级降水, 四川省

Characteristic Analysis of Precipitation Change in Sichuan Province during Recent 60 Years

Ziyi Wang

College of Atmospheric Science, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 27th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 29th, 2021

Abstract

Based on the daily precipitation measured data of 37 meteorological stations in Sichuan Province from 1961 to 2017, the change characteristics of precipitation are analyzed. The results show that:

1) There is no significant change in annual precipitation in Sichuan Province during the recent 60 years. The annual precipitation shows a downward trend in the southeast, and then gradually transits to an increasing trend toward the northwest, but only do some regions reach a significant level. 2) The precipitation in autumn shows a significant downward trend, and there is no significant change in other seasons. The precipitations of four seasons show a downward trend in the southeast, and then gradually transits to an increasing trend in the northwest, of which only in summer do not reach a significant level. 3) The number of precipitation days of different grades show an increasing trend in most areas of the province, but only the number of light rain precipitation days passes the 90% level significance in the province, and the rainstorm passes the 90% level significance only in the west of Ganzi Prefecture, Dazhou and Guang'an. The light rain precipitation intensity shows a downward trend and passes the 90% level significance in most areas. The change trend of heavy rain precipitation intensity does not pass the 90% level significance in the whole province. The change of rainstorm and moderate rain precipitation intensity only passes the 90% reliability test in some areas.

Keywords

Precipitation Change, Climate Tendency Rate, Precipitation of Different Grades, Sichuan Province

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

气候变暖对全球和区域水循环产生了巨大影响[1][2],主要表现为降水的时间变化和空间分布特征发生了显著改变,从而导致干旱、极端降水等自然灾害频发,对全球和区域水资源、生态环境和社会经济发展等诸多方面均产生了显著影响。

四川省位于我国西南地区,地貌较为复杂,兼具高原、盆地、丘陵地形,受复杂地貌地形和多个大型环流系统影响,导致该区域降水空间分布极不均匀,因此对四川省降水特征的研究历来受到诸多学者的关注。刘劲龙根据 1956~2010 年四川盆地逐日降水资料,研究发现盆地极端降水事件时间频数区域性差别大,且随时间呈波动趋势[3]。次旺顿珠分析了四川省 1980~2012 年降水变化情况,结果表明四川省中部年降水量较多,西部年降水量较少[4]。白莹莹利用四川盆地实测气象资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,分析表明盆地降水空间异常分布主要呈东西振荡特征,盆地降水显著减少[5]。陈超根据四川盆地 1961~2007 年月气象资料,研究表明四川盆地年降水量呈下降趋势,7~10 月降水减少是主要原因[6]。赵璇基于 1961~2007 年四川地区 119 个测站逐日降水资料,研究发现近 47 年来四川夏季降水呈减少趋势,且在 1962、1982 和 21 世纪初发生突变,存在 22 a 和 6~8 a 的周期[7]。任小玢利用 1960~2010 年逐日降雨资料进行定量分析,结果表明四川盆地降雨发生日数总体呈减少趋势,盆地年均降雨日数总体呈现西部、南部偏多,东部、北部偏少,且盆地西部和北部降雨日数减少趋势较快[8]。赵衍斌利用 1966~2013 年逐日降雨资料,统计表明四川盆地较其他地区强降雨事件次数偏多,强度偏强;且与夏季降雨相关性最好,与冬季降雨的相关性最差[9]。毛冬艳利用近 30 年逐时降雨资料分析指出西南地区短时强降雨呈频次增多、强度增强的趋势[10]。此外,一些学者还从四川省降水相态时空分布[11]、降水日变化特征和成因[12]、旱涝特征及趋势预测[13]以及夜雨特征[14]等方面进行了研究。

学者们对四川降水特征从各个方面进行了研究,但是有关近年来降水特征的研究比较少见。进入 21

世纪以来,四川省极端降水事件频发,那么近 60 年来气候变化特征如何,目前尚不清楚。因此本文根据四川省 1961~2017 年 37 个气象站的逐日降水观测数据,分析了该省近 60 年来年和四季降水量的时空变化特征以及不同等级降水日数及强度变化的空间分布特征,这不仅有助于阐明四川省降水时空变化基本特征,而且也为该地区的农业生产、旱涝预警以及减灾防灾等方面提供理论支撑。

2. 资料与方法

2.1. 研究区概况

四川地貌地形复杂多样,东西差异较大,位于中国大陆地势三大阶梯中的第一级青藏高原和第二级长江中下游平原的过渡地带,地势呈西高东低的特点。西部为高原、山地,海拔多在 3000 米以上;东部为盆地、丘陵,海拔多在 500~2000 米之间。全省可分为四川盆地,川西高山高原,西北丘陵高原山,四川西南山区和米仓山大巴山中山区。川西北高山气候,四川盆地属亚热带湿润气候,四川西南部属亚热带半湿润气候。

2.2. 资料和方法

本文所用数据来源于中国气象数据网(<https://data.cma.cn>)提供的中国地面气候资料日值数据集,选取了 1961~2017 年四川省 37 个气象站点的逐日降水数据,该通过了极值检验,时间一致性检验和均一化检验,严格控制数据质量。四川省地势概况以及 37 个气象站点的分布如图 1 所示。

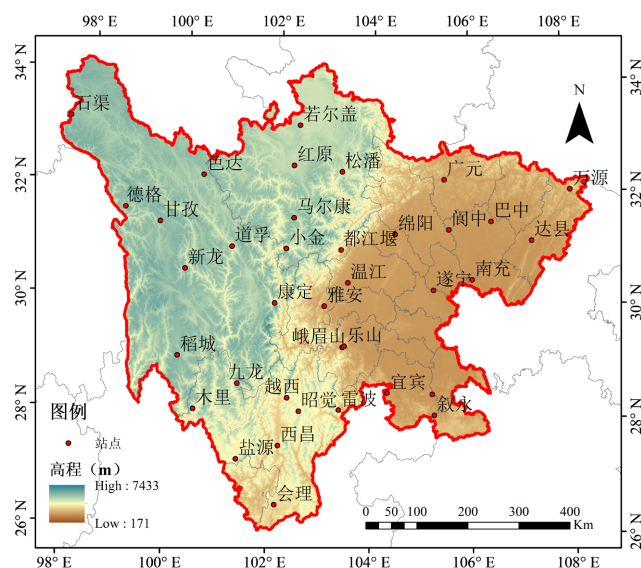


Figure 1. Topography of Sichuan Province and distribution of 37 meteorological stations
图 1. 四川省地形和气象台站分布图

本文基于 37 个气象站点实测降水数据,利用线性倾向估计法分析了四川省近 60 年年和四季降水量的变化趋势,并进一步基于 NCL 程序分析了降水量、不同等级降水日数和降水强度气候倾向率的空间分布特征。线性倾向估计法用 y_i 表示样本量为 n 的某一气象要素变量,用 x_i 表示 y_i 所对应的时间,建立 y_i 与 x_i 之间的一元线性回归方程:

$$y_i = a + bx_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

式中 a 为回归常数, b 为回归系数,回归系数 b 的符号表示变量的趋势倾向[15]。 $b > 0$ 说明随时间 x 增加

y 呈上升趋势; 当 $b < 0$ 时, 说明随时间 x 增加 y 呈下降趋势。 $b \times 10$ 称为气候倾向率, 表示气象要素每 10 a 的变化率。

四季划分标准为: 春季时间为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月, 冬季为当年 12 月至次年 2 月。不同等级降水日划分标准如下: 日降水量在 0.1~9.9 mm 定为小雨日, 日降水量在 10~24.9 mm 为中雨日, 日降水量在 25~49.9 mm 为大雨日, 日降水 ≥ 50 mm 为暴雨日; 降水强度定义为各量级降水总量与降水日数之比[16]。

3. 研究结果

3.1. 年降水量时空分布特征

如图 2(a)所示, 四川省年降水量平均值为 943.9 mm, 最大值为 1044.4 mm (1998 年), 最小值为 786.9 mm (2006 年), 年际间降水量差异大, 标准差为 62.8 mm, 变异系数为 6.7%。近 60 年年降水量呈减小趋势, 但没有达到 0.1 的显著性水平($p = 0.39$), 说明 1961~2017 年四川省年降水量没有发生显著变化。四川省年降水量空间分布上基本呈“东多西少”的特征[17], 但近 60 年来年降水量变化趋势空间差异明显。如图 2(b)所示, 甘孜州和阿坝州西部气候倾向率达到了 8 mm/10a, 且通过了 90% 的信度检验, 说明该区域年降水量呈显著增加趋势。四川盆地大部分地区的年降水量却呈显著减少趋势, 在宜宾、自贡和乐山附近气候倾向率甚至达到了 -20 mm/10a。其余地区尽管年降水量呈增加或减少趋势, 但其信度均没有通过 90% 的显著性水平, 说明这些地区年降水量没有发生显著变化。

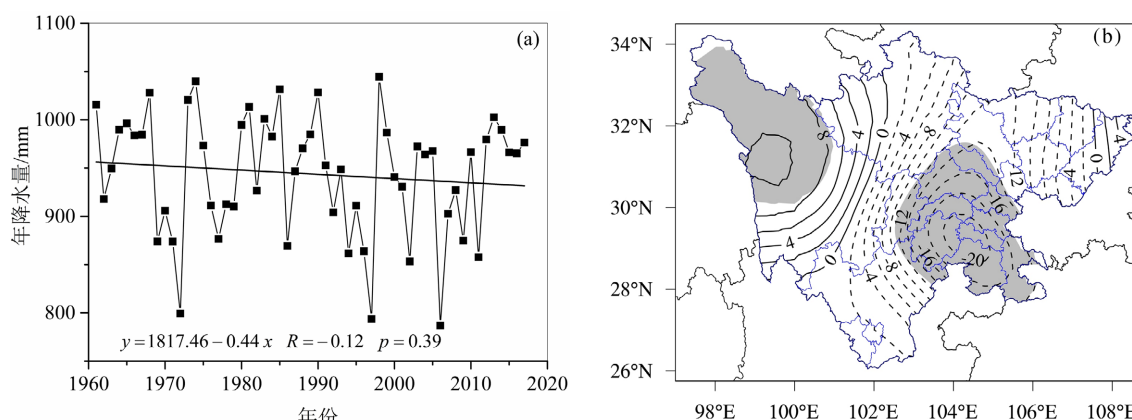


Figure 2. Interannual variation of annual precipitation (a) and the distribution of linear trend coefficient field of the annual precipitation in Sichuan during 1961~2008 (shaded area is over 90% level significance) (mm/10a)

图 2. 1961~2017 年四川省年降水量变化(a)及其气候倾向率(mm/10a)空间分布(b) (阴影区通过 90%的信度检验)

3.2. 季节降水量时空变化特征

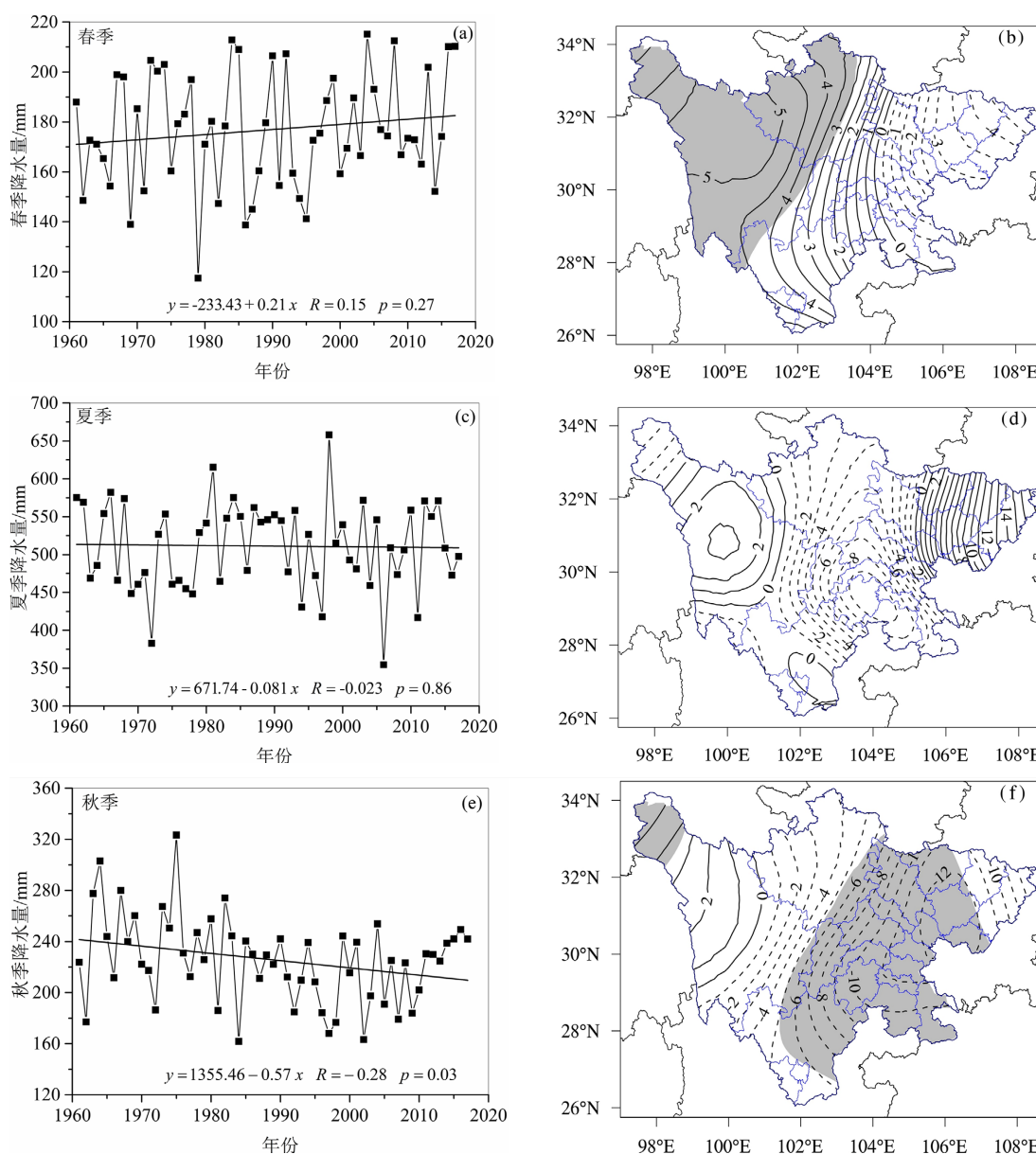
四川省季节降水量变化趋势及其空间分布特征如图 3 所示。春季降水量年际波动幅度大, 最大值为 215.11 mm, 最小值为 117.37.9 mm, 变异系数达到了 13.0%。春季降水量呈增加趋势, 但没有达到 0.1 的显著性水平($p = 0.27$), 说明春季降水量没有发生明显变化(图 3(a))。春季降水量变化趋势的空间分布特征为从西北到东南表现为由增加到减少的趋势, 即川西高原和盆地西部春季降水量呈增加趋势, 气候倾向率超了 3 mm/10a, 且通过 90% 的信度检验。其中甘孜州西北部气候倾向率更是超过 6.5 mm/10a。盆地东部大部分地区春季降水量呈减少趋势, 但这种变化趋势并不显著(图 3(b))。

夏季降水量最大(平均值达到了 511.21 mm), 年际间差异也较大, 最大值为 657.88 mm, 最小值仅为 354.5 mm, 变异系数也达到了 11.38%。尽管夏季降水呈微弱下降趋势, 但远没有达到显著水平, 说明夏

季降水无明显变化(图 3(c))。夏季降水从西到东气候倾向率总体呈增加趋势,但均没有通过 90%的信度检验,说明四川省夏季降水量近 70 年均没有发生明显变化(图 3(d))。

秋季降水量明显下降,平均降水量为 225.57 mm,最大值为 323.39 mm,最小值为 161.78 mm,变异系数达到了 14.9%。秋季降水量呈明显下降趋势,且达到了 0.05 的显著性水平(图 3(e))。秋季降水量变化趋势,在西北地区呈增加趋势,向东南地区逐渐过渡减小趋势。但只有甘孜州西部和四川盆地大部分地区的气候倾向率通过 90%的信度检验,其中阆中市、南充市、广安市最显著,气候倾向率达到了 12 mm/10a(图 3(f))。

冬季降水量最小,平均值仅为 30.33 mm,最大值为 42.19 mm,最小值为 16.07 mm,但冬季降水量年际差异最大了,变异系数高达 22.56%。冬季降水量呈增加趋势,但同样没有达到 0.1 的显著性水平($p = 0.95$),说明冬季降水量没有发生显著变化。冬季降水量变化趋势为北部地区为增加趋势,然后向南逐渐过渡为减小趋势。北部地区只有甘孜州和阿坝州靠北区域的气候倾向率通过了 90%的信度检验,最大气候倾向率超过了 1.6 mm/10a。四川南部冬季降水量有减少趋势,但是均没有通过 90%的信度检验。



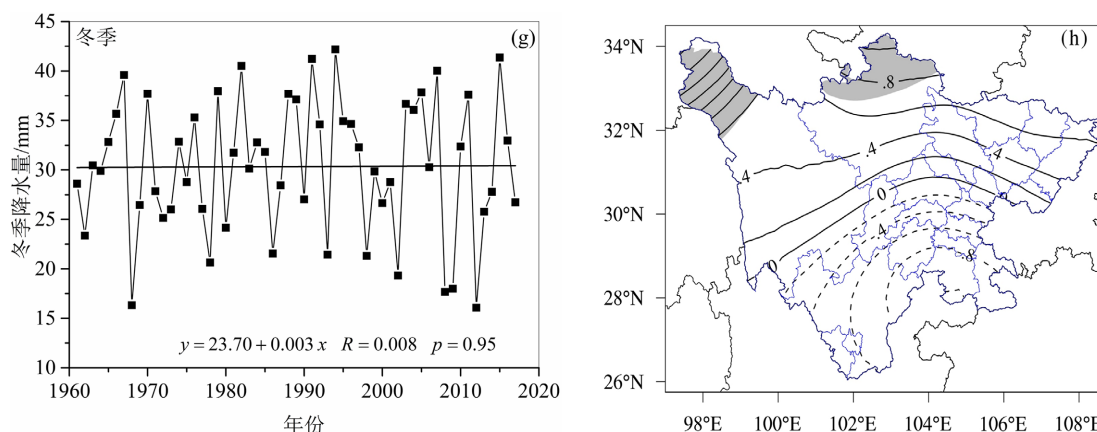


Figure 3. Spatial-temporal variation characteristics of precipitation in Sichuan Province from 1961 to 2017: interannual variation of precipitation (a) spring, (c) summer, (e) autumn, (g) winter and distribution of climate tendency rate of precipitation (b) spring, (d) summer, (f) autumn, (h) winter (Shaded area is over 90% level significance)

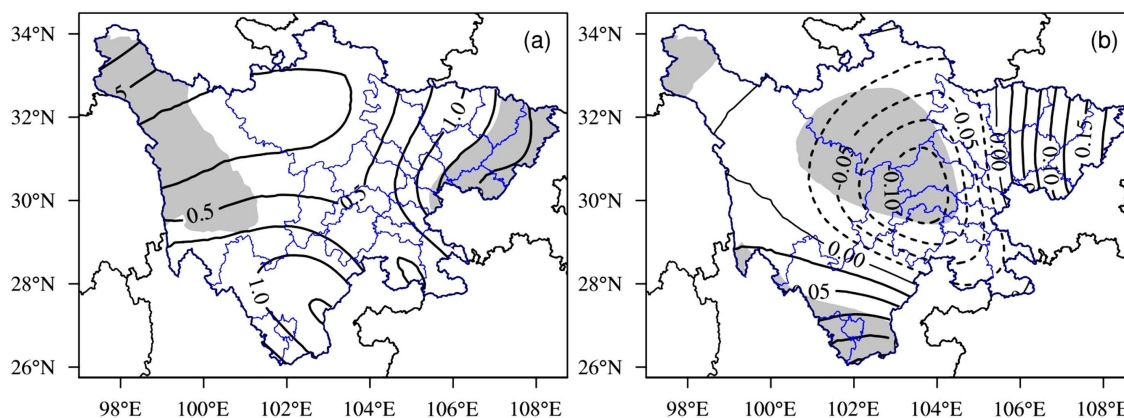
图 3. 1961~2017 年四川省降水量时空变化特征: 降水量年际变化(a) 春季、(c) 夏季、(e) 秋季、(g) 冬季和降水量气候倾向率分布图(b) 春季、(d) 夏季、(f) 秋季、(h) 冬季(阴影区通过 90% 的信度检验)

3.3. 不同等级降水日数和强度变化的空间分布特征

受地理位置和地形地势的影响, 四川省降水不仅区域性差异性较大(图 3), 而且不同等级降水的日数和强度也存在明显差异, 如图 4 所示。全省范围内暴雨日数均呈弱增加趋势, 气候倾向率最大值为 1.5 d/10a, 但只有甘孜州西部、达州和广安的气候倾向率通过了 90% 的信度检验(图 4(a))。暴雨强度变化趋势以四川中部为中心负值区(气候倾向率为 $-0.1 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}/10\text{a}$), 且通过了 90% 的信度检验, 说明该区域暴雨强度呈显著下降趋势。由该中心向外气候倾向率逐渐由负值转变为正值, 但大部分区域没有通过了 90% 的信度检验(图 4(b))。

全省范围内大雨日数亦呈弱增加趋势, 由东南到西北气候倾向率逐渐增大, 最大达到 0.9 d/10a, 但是均没有达到显著性水平(图 4(c))。大雨强度变化趋势与日数大体一致, 气候倾向率由东向西呈增大趋势, 但亦没有达到显著性水平(图 4(d))。

四川省中雨日数几乎没有变化, 仅在西南部分区域表现为显著下降趋势(气候倾向率最大为 $-0.06 \text{ d}/10\text{a}$) (图 4(e))。从东南到西北, 中雨强度变化趋势由减少趋势逐渐转变为增加趋势, 其中甘孜州的巴塘县可达 $0.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}/10\text{a}$, 且通过了 90% 的信度检验。此外东南地区中雨强度的气候倾向率也超过 $0.4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}/10\text{a}$, 且达到了显著性水平(图 4(f))。



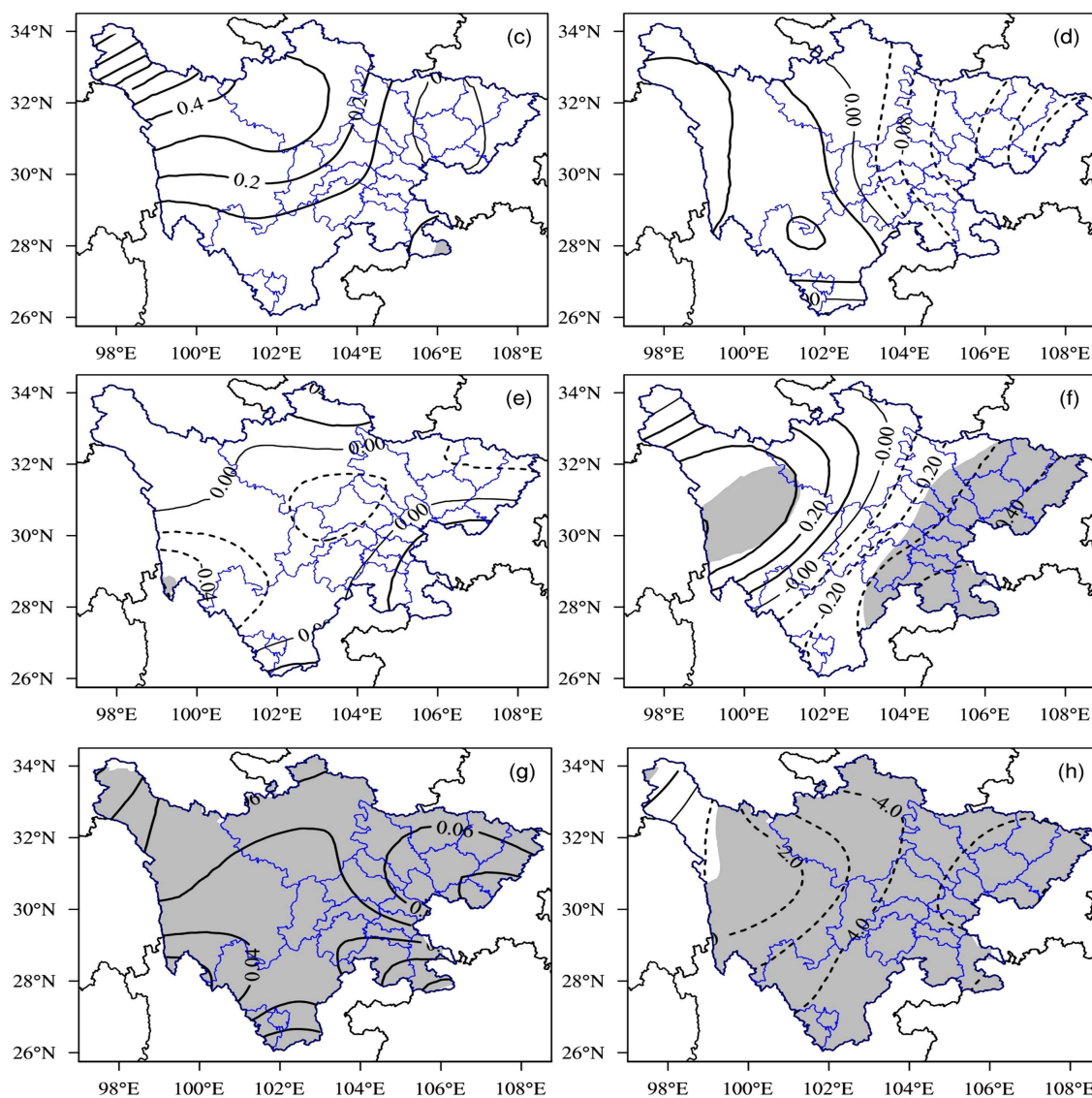


Figure 4. The distribution of linear trend coefficient field of different grades of precipitation days and their intensity in Sichuan Province from 1961 to 2017: (a) Rainstorm precipitation days; (b) Rainstorm precipitation intensity; (c) Heavy rain precipitation days; (d) Heavy rain precipitation intensity; (e) Moderate rain precipitation days; (f) Moderate rain precipitation intensity; (g) Light rain precipitation days; (h) Light rain precipitation intensity (Shaded area is over 90% level significance)

图 4. 1961~2017 年四川省不同等级降水日数及其强度的气候倾向率分布图: (a) 暴雨降水日数、(b) 暴雨降水强度、(c) 大雨降水日数、(d) 大雨降水强度、(e) 中雨降水日数、(f) 中雨降水强度、(g) 小雨降水日数和(h) 小雨降水强度(阴影区表示通过了 90%的信度检验)

全省小雨日数均呈增加趋势,且都通过 90%信度检验,气候倾向率最大达到了 0.07 d/10a (图 4(g))。小雨强度的变化趋势,除西北部甘孜州的石渠县表现为增加趋势外,其余地区小雨强度均呈减小趋势,且均通过 90%的信度检验,气候倾向率为 $-2 \sim -4 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}/10\text{a}$ (图 4(h))。

4. 结论

本文利用 1961~2017 年实测降水数据分析了四川省降水量的时空变化特征,结果表明:

1) 四川省年降水量呈缓慢下降趋势,但没有达到 0.1 的显著性水平,其空间分布特征为东南地区降水呈下降趋势,然后向西北地区逐渐过渡为增加趋势。

2) 四季降水量的年际变化均较大, 其中春季和冬季降水量呈增加趋势, 夏季和秋季的降水量呈下降趋势, 但是只有秋季降水量的变化趋势达到了 0.05 的显著性水平。四季降水量在东南地区呈下降趋势, 然后向西北地区逐渐过渡为增加趋势, 但夏季四川全省均没有通过 90% 的信度检验, 其他季节仅部分地区通过了 90% 的信度检验。

3) 不同等级降水日数在全省绝大多数地区呈增加趋势, 但只有小雨降水日数通过了 90% 的信度检验, 暴雨仅在甘孜州西部、达州和广安通过了 90% 的信度检验, 大雨和中雨降水日数在全省范围内均没有通过 90% 的信度检验。小雨降水强度的下降趋势在四川省绝大多数地区通过了 90% 的信度检验, 大雨降水强度的变化趋势在全省范围内都没有通过 90% 的信度检验, 暴雨和中雨降水强度的变化仅在部分区域通过了 90% 的信度检验。

基金项目

本研究得到成都信息工程大学本科教学工程项目(BKJX2019007, BKJX2019013)和大学生创新创业训练计划项目(202110621023)的支持。

参考文献

- [1] Nijssen, B., O'Donnell, G.M., Hamlet, A.F. and Lettenmaier, D.P. (2001) Hydrologic Sensitivity of Global Rivers to Climate Change. *Climatic Change*, **50**, 143-175. <https://doi.org/10.1023/A:1010616428763>
- [2] Betts, R., Cox, P., Collins, M., Harris, P.P., Huntingford, C. and Jones, C.D. (2004) The Role of Ecosystem-Atmosphere Interactions in Simulated Amazonian Precipitation Decrease and Forest Dieback under Global Climate Warming. *Theoretical and Applied Climatology*, **78**, 157-175. <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0050-y>
- [3] 刘劲龙. 四川盆地极端气温和降水事件研究[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [4] 次旺顿珠, 白玛多吉, 罗桑丹增. 四川省强降水分布及变化特征研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(4): 224-230.
- [5] 白莹莹, 张焱, 高阳华, 何泽能, 李永华. 四川盆地降水变化的区域差异[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 478-484.
- [6] 陈超, 庞艳梅, 张玉芳. 近 50 年来四川盆地气候变化特征研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, 32(9): 115-120.
- [7] 赵旋, 李耀辉, 齐冬梅. 1961-2007 年四川夏季降水的时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2013, 35(4): 959-967.
- [8] 任小玢, 董治宝, 周正朝. 近 50 年来四川盆地降水日数的时空变化特征[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 65-70.
- [9] 赵衍斌, 肖天贵. 四川地区强降水的时空分布特征[J]. 成都信息工程学院学报, 2016, 31(1): 94-101.
- [10] 毛冬艳, 曹艳察, 朱文剑. 西南地区短时强降水的气候特征分析[J]. 气象, 2018, 44(8): 1042-1050.
- [11] 龙柯吉, 郭旭, 陈朝平, 王佳津. 四川省降水相态时空分布及变化特征[J]. 高原山地气象研究, 2015, 35(1): 21-26.
- [12] 金霞. 四川盆地降水日变化特征分析及成因研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国气象科学研究院, 2013.
- [13] 杨福安, 徐渝江, 陈效孟. 四川近五十年降水、旱涝特征分析及未来十年趋势预测[J]. 四川气象, 1994(2): 28-31.
- [14] 范江琳, 曹萍萍, 冯良敏, 王佳津. 1961-2018 年四川盆地夜雨特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2019, 39(4): 24-30.
- [15] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 第 2 版. 北京: 气象出版社, 2007
- [16] 叶飞, 柳苗. 近 48 a 浙江省不同等级降水变化特征分析[J]. 中低纬山地气象, 2020, 44(6): 38-43, 50.
- [17] 孙磊, 鲁燕, 张一珂. 四川省降雨变化特征分析[J]. 自然科学, 2021, 9(4): 454-463.