

# 四川省降雨变化特征分析

孙磊<sup>1</sup>, 鲁燕<sup>2</sup>, 张一珂<sup>3</sup>

<sup>1</sup>成都市气象局, 四川 成都

<sup>2</sup>温江区气象局, 四川 成都

<sup>3</sup>成都市生态环境数智治理中心, 四川 成都

Email: mcsun@qq.com

收稿日期: 2021年6月9日; 录用日期: 2021年7月14日; 发布日期: 2021年7月21日

## 摘要

为了了解四川省降雨变化特征, 本文利用1982~2011年四川省37个观测站点的降雨资料对年季气候变化特征进行了分析, 结果表明: 四川省年平均降雨量在453~1578 mm之间, 各季平均降雨量依次为夏季最多, 秋季次之, 冬季最少; 年平均降雨量呈线性减少趋势, 减小幅度为2.0 mm/a; 除春季呈线性增多外, 其余各季均呈线性减少, 且减少幅度不尽相同, 夏季最大, 秋季次之; 年季降雨量空间分布特征具有相似性, 整体呈西北部偏少, 东部-南部一线偏多的分布特征, 强中心位于盆地西南部一带; 各地年季降雨量除东南部呈线性减少外, 其余各地随季节不同而不同。通过分析明确了四川省降雨变化特征, 可为气候论证和气候资源利用提供参考依据。

## 关键词

降雨量, 线性插值, 气候特征, 气候倾向率

# Analysis of Rainfall Variation Characteristics in Sichuan Province

Lei Sun<sup>1</sup>, Yan Lu<sup>2</sup>, Yike Zhang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu Sichuan

<sup>2</sup>Wenjiang Meteorological Bureau, Chengdu Sichuan

<sup>3</sup>Chengdu Ecological Environment Intelligent Management Center, Chengdu Sichuan

Email: mcsun@qq.com

Received: Jun. 9<sup>th</sup>, 2021; accepted: Jul. 14<sup>th</sup>, 2021; published: Jul. 21<sup>st</sup>, 2021

## Abstract

Using the precipitation data of 37 observation stations in Sichuan province from 1982 to 2011, this paper analyzes the characteristics of annual climate change. The results show that the annual average precipitation in Sichuan province is between 453 mm and 1578 mm, and the seasonal average precipitation is the most in summer and the next in autumn, least in winter. The annual average precipitation decreased linearly by 2.0 mm/a, and decreased linearly in all seasons except spring, with the largest decrease in summer and the second in autumn. The spatial distribution characteristics of annual precipitation are similar, showing less in the northwest and more in the east-south, with a strong center in the southwest of the basin. The annual precipitation in all areas is different with the seasons, except that in the southeast, and it decreases linearly. By analyzing the characteristics of precipitation change in Sichuan Province, it can provide reference for climate demonstration and utilization of climate resources.

## Keywords

Precipitation, Linear Interpolation, Climatic Characteristics, Climate Tendency

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

二十世纪以来,全球气温总体呈上升趋势,特别 1981~1990 年全球平均气温比 100 年前上升近 0.5℃。随着全球气温不断升高,大范围异常气候事件在世界各地频发,给全球带来了重大的经济损失和人员伤亡。气候变暖对环境、水资源等各方面的影响也愈发突显,而降雨量作为研究气候变化的重要组成部分也备受广大学者关注。

四川省位于青藏高原东部,地形地貌复杂,受高原低值系统东移影响,具有极其独特的天气气候特征。随着气候变化研究的不断展开,对于四川省降雨的气候特征方面的研究取得了一系列重要成果。徐裕华[1]、陈淑全[2]根据 1951~1980 年基本气候资料整编出四川盆地的一些降雨特征。邵远坤等[3]、孙云华等[4]研究指出:四川盆地降雨分布不均,且呈线性递减趋势。马振锋等[5]和刘晓冉等[6]研究指出:川西高原年降雨量呈显著增多趋势,而盆地降雨量呈线性减少趋势。周长艳等[7]利用 1961~2008 年四川逐日降雨资料研究指出:四川盆地中西部降雨明显减少。熊光洁等[8]研究指出:川东和川西高原夏季降雨明显增加,而四川盆地则明显减少。赵旋等[9]利用 EOF、REOF、趋势分析、M-K 突变检验和 Morlet 小波分析方法分析四川夏季降雨,结果表明:四川夏季降雨呈减小趋势,各区域降雨周期与变化趋势各不相同。蒋兴文等[10]和陈偌怡[11]研究西南地区冬季气候特征发现:1980s 以前四川地区降雨偏少,1980s 前期偏多、后期偏少,1990s 以来明显偏多。胡豪然等[12]利用四川盆地 1961~2006 年逐日降雨资料分析表明:四川盆地汛期极端降水自西向东呈阶梯状递减,川西高原与四川盆地之间、盆地东部和西部之间呈反位相变化。任小玢等[13]利用 1960~2010 年四川盆地逐日降雨资料进行定量分析表明: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。赵衍斌等[14]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。毛冬艳等[15]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; 降雨主要集中在 4~10 月, 并具有明显的夜发性。陶威等[16]利用 1960~2014 年的西南地区 93 个站的逐月降水资料, 统计分析了西南地区全年和春、夏、秋、冬季降水的时空分布特征。

总的说来, 已有大量学者对四川地区的降雨进行了研究, 但对降雨的空间分布, 特别是季节性的分布特征研究相对较少。因此, 本文在前人的研究基础上应用 1982~2011 年的降水资料, 分析年和四季平均降雨量的时空分布特征, 进一步加强对四川地区降雨气候特征的认识。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 资料简介

本文使用的资料来源于四川省气象信息共享平台。资料选择范围为  $97^{\circ}\sim 109^{\circ}\text{E}$ ,  $26^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  范围内四川省的基本站或基准站。为了保证资料客观真实, 对所用资料按以下条件进行筛选: 1) 鉴于四川省各基本站或基准站建站时间不一, 且建站初期缺值较多, 资料起始时间选为 1982 年; 2) 删除有明显错误的记录值, 如连续多年总降雨为 0。最终我们选取 1982~2011 年四川省 37 个观测站(图 1)资料来研究四川省近 30 年来降雨变化的气候特征。季节按气象学方法进行划分: 春节为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月, 冬季为 12 月~次年 2 月。

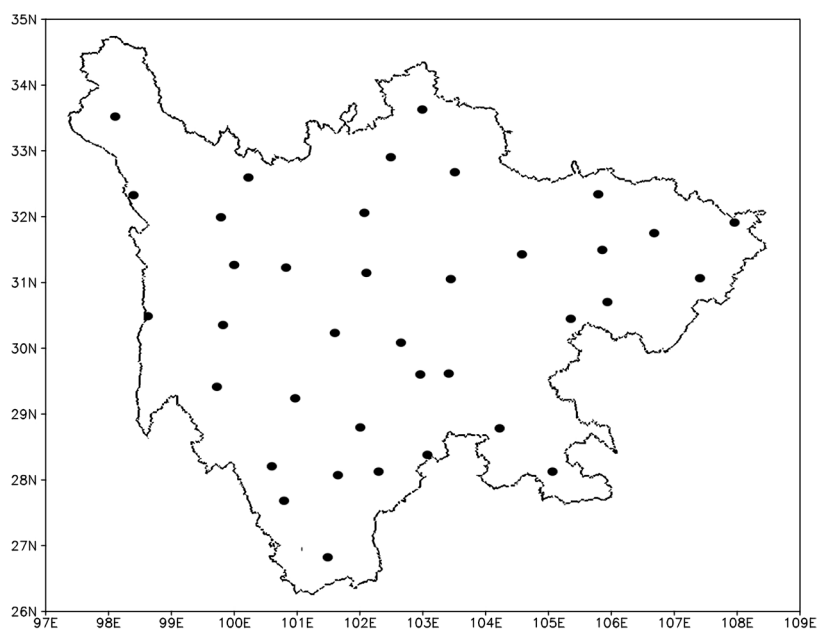


Figure 1. Distribution map: Rainfall observation stations in Sichuan Province  
图 1. 四川省降雨量观测站点分布图(黑点表示站点所在位置)

### 2.2. 计算方法与原理

本文采用双线性插值法和气候倾向率法[17]对四川省年平均降水和各季节降雨的变化特征进行分析。

#### 2.2.1. 双线性插值法

双线性插值法在内陆气象要素插值中, 有较好的适应性, 能够得到较高的准确度[18], 因此本文采用双线性插值法对降雨量进行插值。

在数学上, 双线性插值是有两个变量的插值函数的线性插值扩展, 其核心思想是在两个方向分别进行一次线性插值。线性插值的结果与插值的顺序无关。首先进行  $y$  方向的插值, 然后进行  $x$  方向的插值, 所得到的结果是一样的。

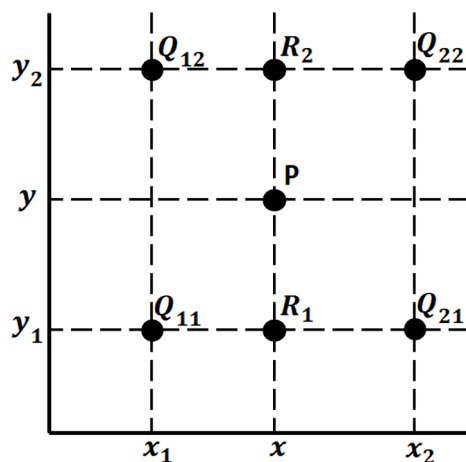


Figure 2. Linear interpolation algorithm diagram  
图 2. 线性插值算法图示

假设已知函数  $f$  在  $Q_{11} = (x_1, y_1)$ 、 $Q_{12} = (x_1, y_2)$ 、 $Q_{21} = (x_2, y_1)$  以及  $Q_{22} = (x_2, y_2)$  四个点的值, 想得到函数  $f$  在点  $P = (x, y)$  的值。首先在  $x$  方向进行线性插值, 得到  $R_1$  和  $R_2$ , 然后在  $y$  方向进行线性插值, 得到  $P$ 。这样我们就得到所想得到的结果  $f(x, y)$ 。其中,  $Q_{11}$ 、 $Q_{12}$ 、 $Q_{21}$ 、 $Q_{22}$  为已知的 4 个像素点。第一步:  $x$  方向的线性插值, 在  $Q_{12}$ 、 $Q_{22}$  中插入  $R_2$ ,  $Q_{11}$ 、 $Q_{21}$  中插入  $R_1$ ; 第二步:  $y$  方向的线性插值, 通过第一步计算出的  $R_1$  与  $R_2$  在  $y$  方向上插值计算出  $P$  点(图 2)。

### 2.2.2. 气候倾向率

本文采用一元线性回归进行趋势线分析, 通过线性回归方式计算各网格的降雨量变异倾向特征, 从而反映降雨量空间变异倾向特征, 趋势斜率计算公式为:

$$\text{Slope} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n i \cdot \bar{R}_i - \sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{i=1}^n \bar{R}_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

式中,  $n$  为总年数,  $i$  为第  $i$  年;  $\bar{R}_i$  为第  $i$  年平均降雨量; slope 为趋势线斜率。其中, slope  $< 0$  时, 说明降雨量在  $n$  年间呈现增加趋势; slope = 0 时, 说明降雨量没有变化; slope  $> 0$  时, 降雨量呈现减少趋势。

## 3. 四川省降雨变化特征分析

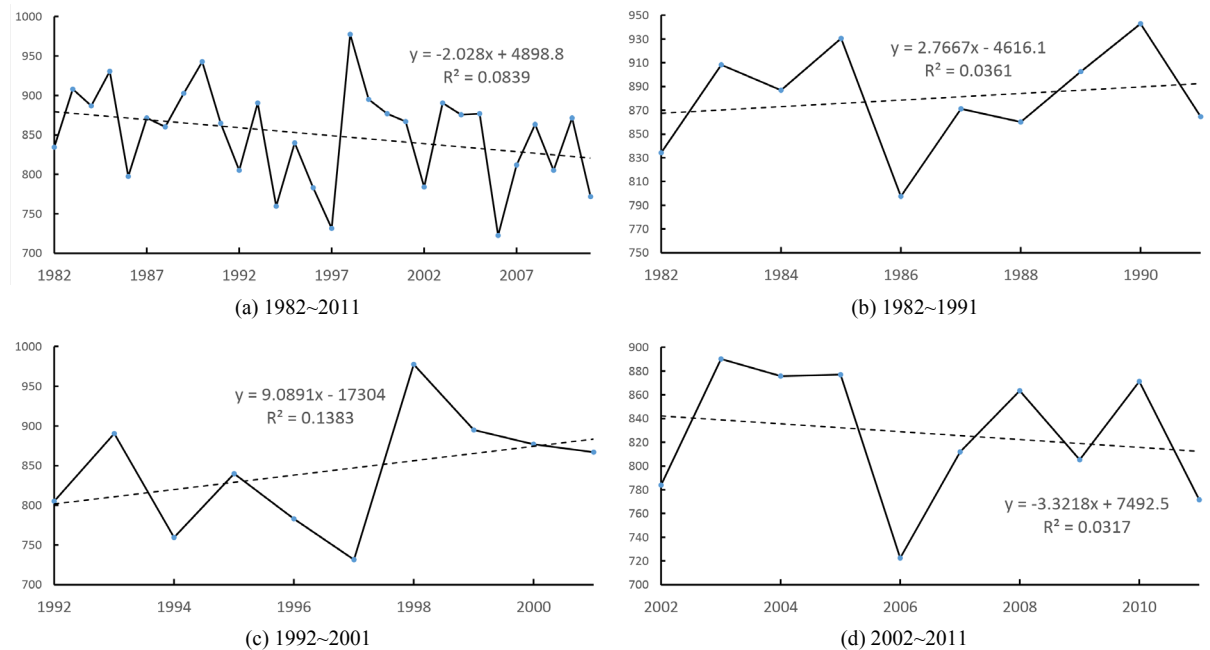
### 3.1. 四川省年平均降雨量变化特征

基于四川省年平均降雨量统计基础上(表 1), 在 1982~2011 年期间, 四川省年平均降水量 851 mm, 最多出现在 1998 年, 为 978 mm, 最少出现在 2006 年, 为 723 mm, 年平均降水量最多年和最少年相差达 255 mm。年平均降雨量总体上呈线性减少趋势(图 3(a)), 减小幅度为 2.0 mm/a。其中, 1982~1991 年期间和 1992~2001 年期间, 四川省降雨量分别以 2.8 mm/a 和 9.1 mm/a 的幅度呈线性增多的趋势, 而 2001~2011 年期间, 降雨量以 -3.4 mm/a 的幅度呈线性减少的趋势。造成这种差异的原因可能与四川特殊地形和气候背景有关。

**Table 1.** System resulting data of standard experiment  
**表 1.** 标准试验系统结果数据

时期	年平均降雨量/mm	距平降雨量/mm	趋势值/(mm/a)
1982~2011	851	0	-2.0
1982~1991	880	29	2.8
1992~2001	843	-7	9.1
2001~2011	828	-23	-3.4

\*注：距平降雨量表示各时间段年平均降雨量与 30 年总年平均降雨量之差。



**Figure 3.** Interannual variation of Sichuan Province (mm)

**图 3.** 各年段四川省年际变化图(mm)

### 3.2. 四川省平均降雨量四季变化特征

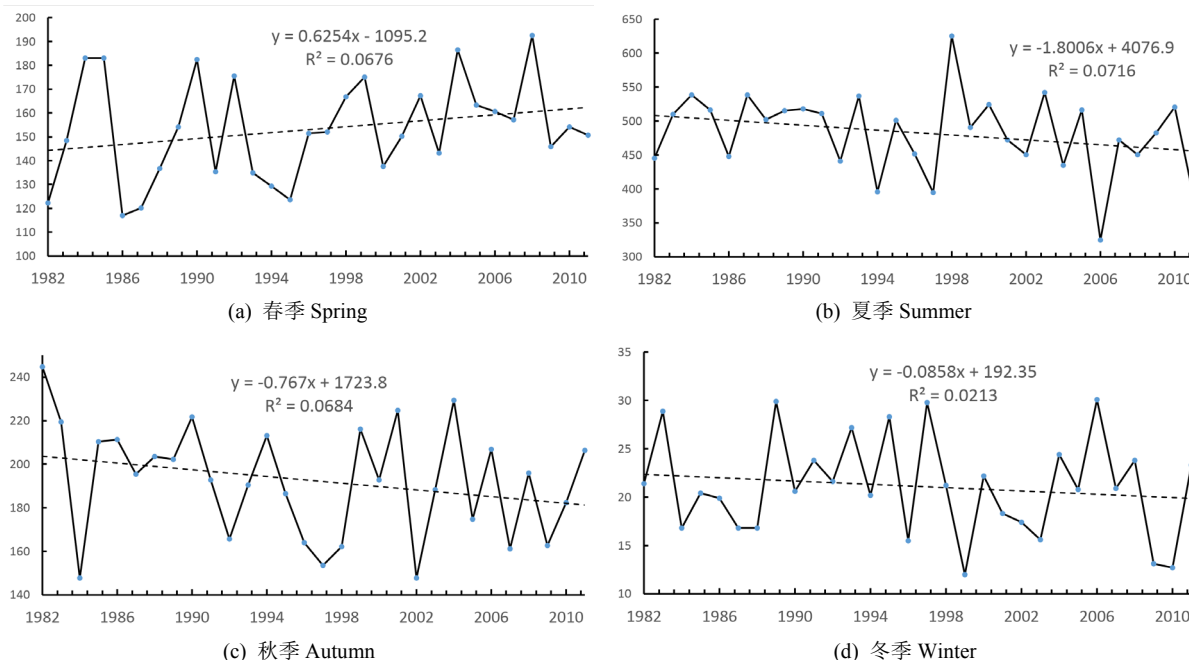
从表 2 可知，四川省各季平均降雨量排序依次为夏季、秋季、春季、冬季，其中，夏季降雨量占全年一半以上，高达 56.8%，而冬季最少，仅占全年平均降雨量的 2.4%。

**Table 2.** Statistics of four seasons rainfall in Sichuan Province

**表 2.** 四川省四季降雨量统计表

季节	均值/mm	占年平均降雨量比例(%)	趋势值/(mm/a)
春季	154	18.1	0.6
夏季	483	56.8	-1.8
秋季	193	22.7	-0.8
冬季	21	2.4	-0.1

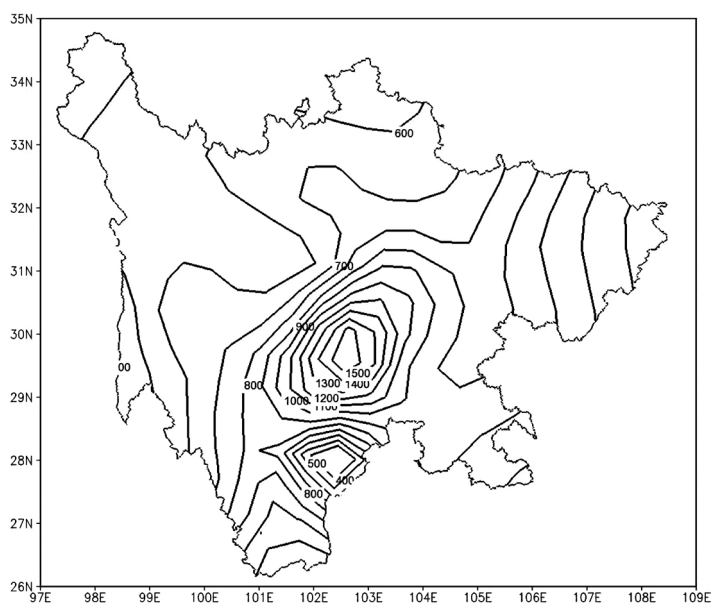
从图 4 可知，1982~2011 年期间，四川省除春季平均降雨量呈线性增多趋势外，其余各季平均降雨量呈线性减少趋势，且减少幅度不尽相同。其中，夏季年降雨量减少幅度最大，达 1.8 mm/a，秋季次之。



**Figure 4.** Four seasons average rainfall in Sichuan Province from 1982 to 2011  
**图 4.** 1982~2011 年四川省四季平均降雨量变化图

### 3.3. 四川省年季平均降雨量空间分布特征

1982~2011 年期间, 四川省各站年平均降雨量在 453~1578 mm 之间, 年最大降雨量出现在 1990 年的峨眉山为 2324 mm, 最小出现在 1994 年的巴塘, 仅 255 mm, 年最大值和最小值相差高达 2069 mm, 说明四川省各地降雨量分布极其不均。从四川省各站年平均降雨量分布图(图 5)可知, 西南部明显偏多, 东部和川西高原明显偏少, 强中心位于盆地西南部一带。



**Figure 5.** Annual average rainfall in Sichuan Province  
**图 5.** 四川省年平均降雨量分布图

图6为四川省37个观测站四季年平均降雨量分布图。从图中可知：四川省春季年平均降雨量在47~302 mm之间，其中，年最大降雨量出现在2008年的达川为517 mm，最小出现在1982年的稻城，仅10 mm，各地降雨分布不均，降雨量强中心位于盆地西南部一带(图6(a))。夏季年平均降雨量在325~627 mm之间，年最大降雨量出现在1984年的峨眉为1488 mm，最小出现在2006年的巴塘为111 mm，呈西北部偏少，东部——南部一线偏多，强中心位于盆地西南部一带(图6(b))。秋季年平均降雨量在100~323 mm之间，年最大降雨量出现在2011年的万源为715 mm，最小出现在1994年的巴塘为255 mm，强降雨量中心位于盆地西南部一带(图6(c))。冬季年平均降雨量在1~87 mm之间，川西高原西北部降雨量明显偏少，四川盆地和攀西地区降雨量偏多，年最大降雨量出现在2006年叙永为119 mm(图6(d))。

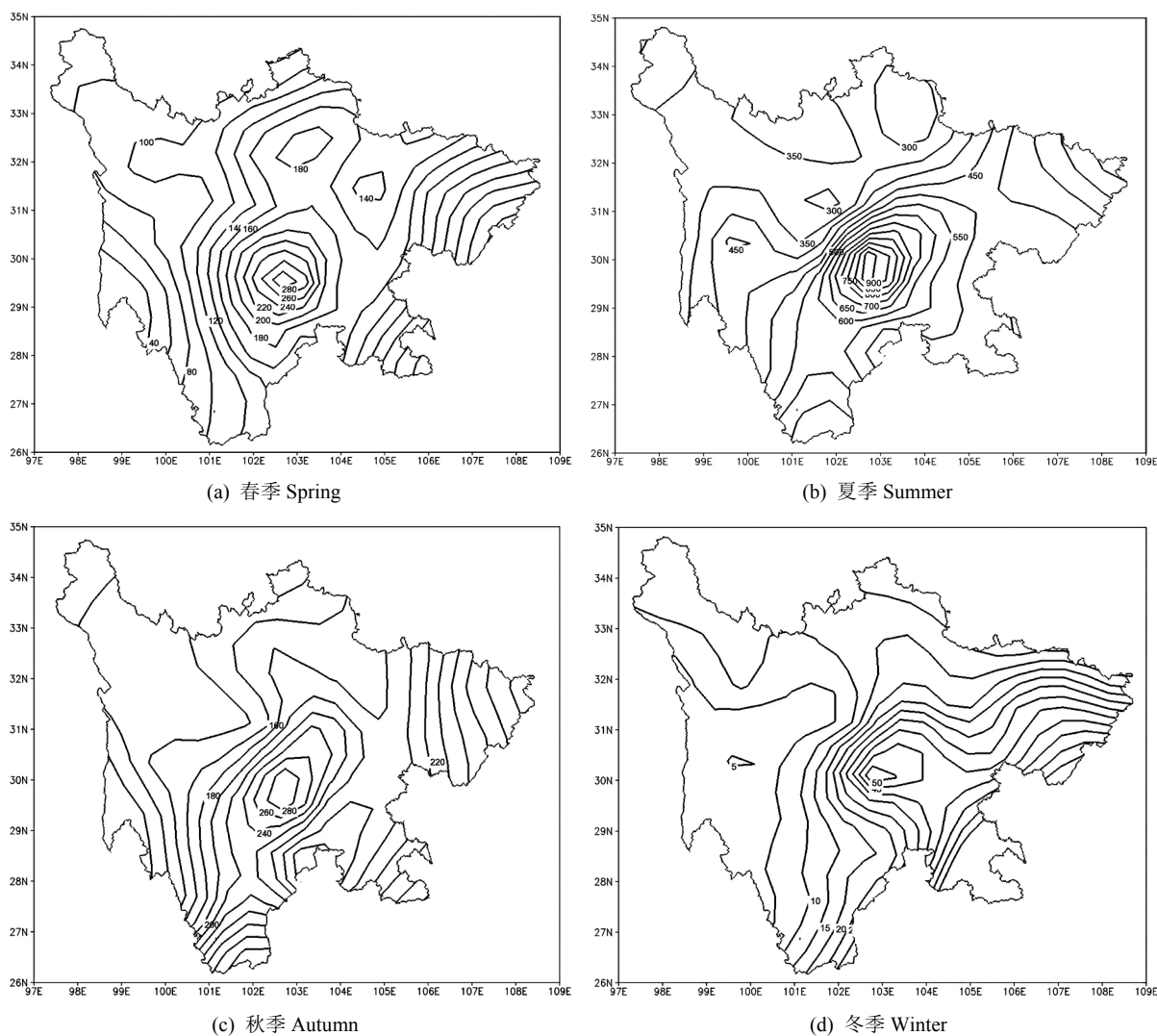


Figure 6. Average rainfall in four seasons in Sichuan Province  
图6. 四川省四季平均降雨量分布图

### 3.4. 四川省年季降雨量趋势系数变化特征

计算四川省各个观测站的降雨量趋势系数，统计结果显示，在四川省37个观测站中有10个观测站是正值，27个观测站是负值，这说明近30年四川省大部分地区年降雨量的变化趋势是减少的。从四川

省 1982~2011 年各观测站年降雨量趋势系数分布图(图 7)上可知,西北部和东北部降雨量呈线性增多趋势,中心位于稻城和阆中,中心强度分别为 2.8 mm/a 和 2.2 mm/a; 其余各地均呈线性减少的趋势,强度位于东南部的峨眉山,减少幅度为-11.6 mm/a。这与马振锋等[6]和刘晓冉等[7]研究结果一致。

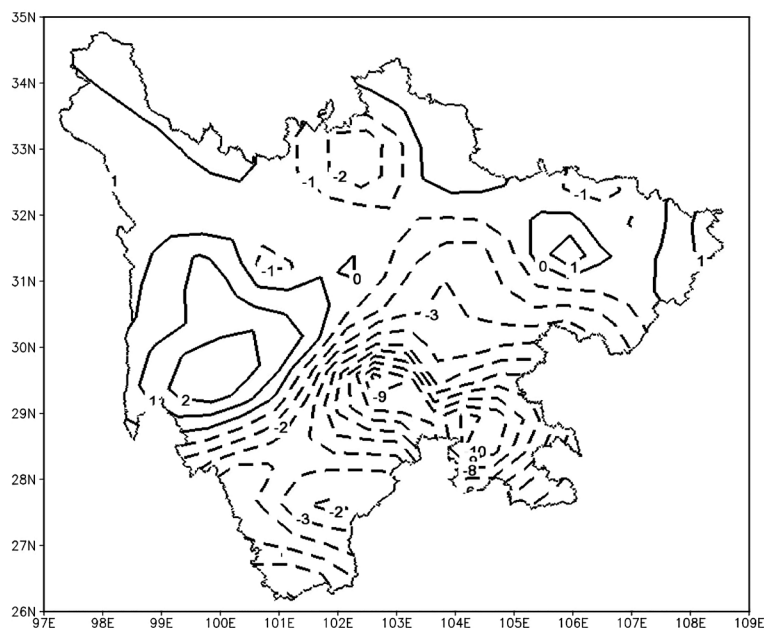
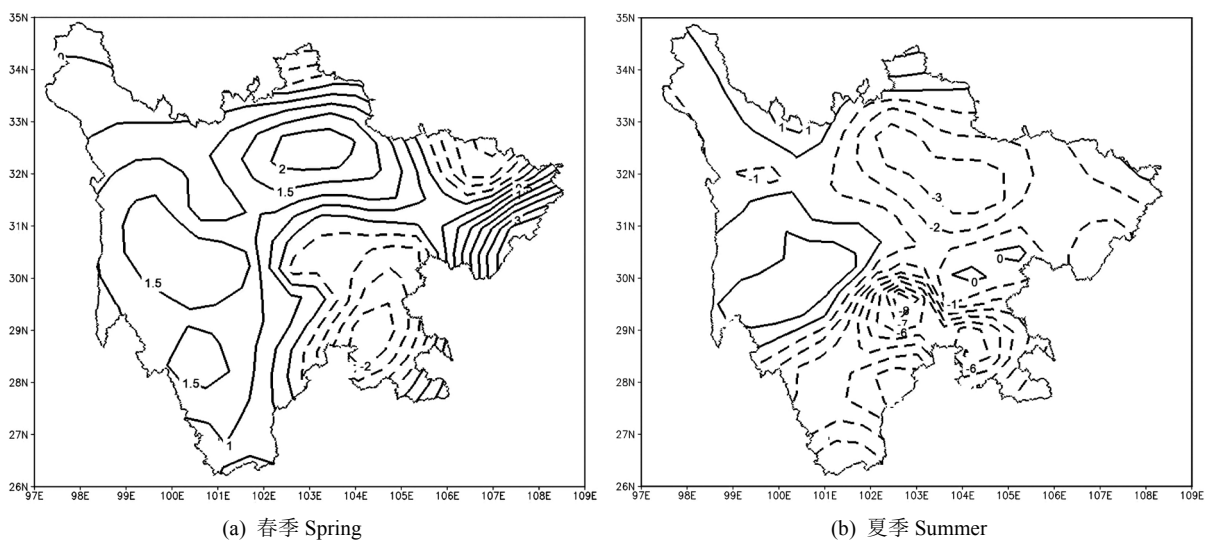


Figure 7. Annual rainfall trend coefficient of each observation station in Sichuan Province

图 7. 四川省各观测站年降雨量趋势系数分布图

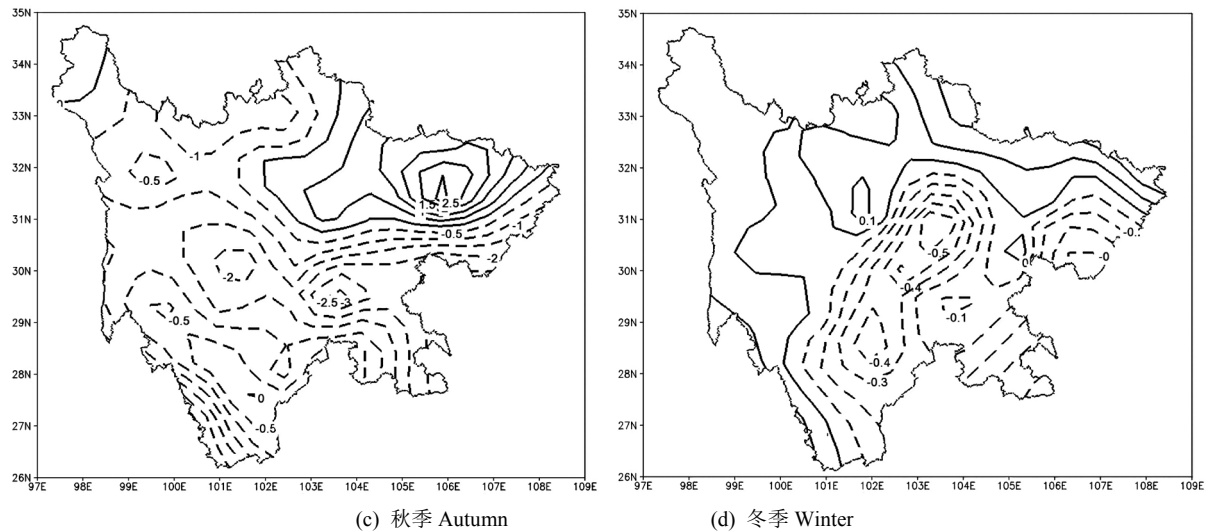
从四季各站降雨量趋势系数分布图上看,春季在东北部个别地方和东南部降雨量呈线性减少趋势外,其余大部地方呈线性增多趋势(图 8(a))。夏季在西北部降雨量呈线性增多趋势,其余大部地方均呈线性递减趋势(图 8(b))。秋季降雨量在东北部呈线性增多趋势,其余大部地方均呈线性递减趋势(图 8(c))。冬季降雨量较其余三季相对较弱,除攀西地区到东北部为线性减弱趋势外,西北部和北部呈较弱的线性增多趋势,增多幅度接近 0.1 mm/a (图 8(d))。



(a) 春季 Spring

(b) 夏季 Summer





**Figure 8.** Annual rainfall trend coefficient of each observation station in Sichuan Province (Unit: mm/a)  
**图 8.** 四川省各观测站四季降雨量趋势系数分布图(单位: mm/a)

#### 4. 结论

本文利用 1982~2011 年四川省 37 个观测站点的年、季降雨量资料,对四川省降雨的气候变化特征进行了分析,突出了前人研究较少四季降雨空间分布和年际变化,得出如下结论:

1) 在 1982~2011 年期间,四川省年平均降雨量呈线性减少趋势,减小幅度为 2.0 mm/a。各季平均降雨量依次为夏季最多,秋季次之,冬季最少;除春季降雨量呈线性增加趋势外,其余各季降雨量呈线性减少,且减少幅度不尽相同,夏季最大,秋季次之。

2) 四川省降雨的四季空间分布具有相似性,总体都呈西北部偏少,东部-南部一线偏多的分布特征,强中心位于盆地西南部一带。

3) 1982~2011 年期间,各地年季降雨量除东南部呈线性减少趋势外,其余各地随季节不同而不同。四川省年降雨量在北部和东北部呈线性增多趋势,其余各地均呈线性减少的趋势。春季降雨量在东北部个别地方和东南部呈线性减少趋势外,其余大部地方呈线性增多趋势。夏季降雨量在西北部呈线性增多趋势外,其余大部地方均呈线性递减趋势;秋季降雨量在东北部呈线性增多趋势外,其余大部地方均呈线性递减趋势。冬季降雨量较其余三季相对较弱,除攀西地区到东北部为线性减弱趋势外,西北部 and 北部呈较弱的线性增多趋势。

#### 参考文献

- [1] 徐裕华. 西南气候[M]. 北京: 气象出版社, 1991.
- [2] 陈淑全. 四川气候[M]. 北京: 气象出版社, 1985.
- [3] 邵远坤, 沈桐立, 游泳. 四川盆地近 40 年来的降水特征分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2005, 27(6): 749-752.
- [4] 孙云华, 崔希民, 杨星. 1981~2010 年四川省的降水时空分布变化特征研究[J]. 气候变化研究快报, 2018, 7(3): 163-173.
- [5] 马振锋, 彭骏, 高文良. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 633-642.
- [6] 刘晓冉, 李国平, 范广洲. 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.
- [7] 周长艳, 岑思弦, 李跃清. 四川省近 50 年降水的变化特征及影响[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 619-630.

- 
- [8] 熊光洁, 王式功, 尚可政. 中国西南地区近 50 年夏季降水的气候特征[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2012, 48(4): 45-52.
- [9] 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): 181-189.
- [10] 蒋兴文, 李跃清. 西南地区冬季气候异常的时空变化特征及其影响因子[J]. 地理学报, 2010, 65(11): 1325-1335.
- [11] 陈偌怡. 我国西南地区降水季节变化特征分析[J]. 自然科学, 2020, 8(5): 450-457.
- [12] 胡豪然, 毛晓亮, 梁玲. 近 50 年四川盆地汛期极端降水事件的时空演变[J]. 地理学报, 2009, 64(3): 278-288.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 陶威. 近 50 年西南地区降水的时空分布特征[J]. 气候变化研究快报, 2018, 7(4): 308-319.
- [17] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007.
- [18] 饶莉娟, 王健林, 张星. 不同插值方法对精细化预报产品在青岛地区的检验比较[J]. 中国农学通报, 2020(32): 100-108.