

Characteristics of Precipitation Changes in Northwest and Southwest China from 1979 to 2018

Di Wang, Ruomei Zhong

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan
Email: 1270261771@qq.com, 352708752@qq.com

Received: Jul. 1st, 2020; accepted: Jul. 15th, 2020; published: Jul. 22nd, 2020

Abstract

In order to further study the changes in precipitation over time and space distribution in the northwest and southwest regions of China under the influence of global warming in the past forty years, the data set of regional meteorological elements in China from January 1979 to February 2018 was selected. Yangkun Precipitation data compared the trend and spatial distribution of annual precipitation in the northwest (75 - 105°E, 35 - 50°N) and southwestern regions (95 - 111°E, 20 - 35°N). The following conclusions are drawn: In the past 40 years, the spring, summer, autumn, winter and annual precipitation in northwestern China showed a large fluctuation growth pattern within 40 years, with the largest fluctuation in summer and the smallest fluctuation in winter; the spring, summer, winter and all. There are fluctuation patterns in each year, the overall growth and decline trend is not obvious, the fluctuation range in summer is the largest, and the fluctuation range in winter is the smallest; in both regions, the summer precipitation is the most and the winter precipitation is the least. As far as the spatial distribution of precipitation is concerned, the distribution of precipitation in the northwest region has increased from the center to the surroundings. The changes in the Tarim Basin, Qaidam Basin and Qinghai Lake have been more intuitive in the past 40 years; in rainy areas, the changes in precipitation reduction in Guangxi in the past 40 years are more intuitive, and the shrinkage of the central rain area in Sichuan is more obvious.

Keywords

Northwest Region, Southwest Region, Annual Changes, Seasons, Precipitation

1979~2018中国西北与西南地区降水变化特征

王 蒂, 钟若媚

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

Email: 1270261771@qq.com, 352708752@qq.com

收稿日期: 2020年7月1日; 录用日期: 2020年7月15日; 发布日期: 2020年7月22日

摘要

为进一步研究我国西北、西南地区在全球变暖影响下,近四十年来时间和空间分布上降水的变化情况,选用1979年1月~2018年12月的中国区域地面气象要素数据集-阳坤降水资料对西北(75~105°E, 35~50°N)、西南地区(95~111°E, 20~35°N)两地区的年降水量的变化趋势和空间分布进行了对比分析。结论如下:近四十年中国西北地区春、夏、秋、冬以及全年降水量在四十年内都呈现大幅度波动增长模式,夏季波动幅度最大,冬季波动幅度最小;西南地区春、夏、冬以及全年都呈现波动模式,整体增长和下降趋势不明显,夏季波动幅度最大,冬季波动幅度最小;两地区均为夏季降水最多,冬季降水最少,春季、秋季日平均降水与全年区别不大。就降水空间分布来讲,西北地区降水分布由中心向四周增加,四十年来塔里木盆地、柴达木盆地以及青海湖等区域变化更为直观;西南地区降水分布从东向西递减,四川中心具有多雨区,近四十年来广西地区降水减少变化更为直观,四川中心雨区的缩小更为明显。

关键词

西北地区, 西南地区, 年变化, 季节, 降水

Copyright © 2020 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

世界各地频繁发生大范围的气候异常事件,对事件发生地造成了极其严重的自然灾害和经济损失。气候变化造成的影响是多尺度、全方位、多层次的,积极和消极影响共同存在,但是消极影响受到更多的学术界和社会的关注。全球变暖,对地球环境和水资源的源影响更加明显,气候变化已成为气象科学界研究的主要关注点,其中降水变化作为气候变化的重要组成也受到了人们更多的关注。

西北地区处于内陆,具有较多的沙漠盆地和高原,多种多样的地形导致该地区具有多种气候,降水分布上也有很大区别;而位于青藏高原东南部的西南地区,具有多种地形地貌、特殊的因子影响气候,因此形成了独一无二的气候特征。二者地区的降水均对我国生产生活有着重要影响,对我国的气候研究也具有一定的影响意义。因此研究我国西北地区和西南地区降水时间分布、空间分布特征,对研究我国受全球变暖影响下的气候转变,极端天气等具有深远意义,以便更好地保障人们的生命安全以及生活质量,同时也能大强度的减少自然灾害导致的财产损失。

我国已经在西北地区降水量不同尺度发展趋势上获得一定成就,同时在其降水量与其他相关因子的相互关系研究也获得了一定的研究成果[1] [2] [3] [4] [5]。越来越多的研究表明,江河水位上涨以及湖水的加深是由于蒸发量的上升小于降水量的上升。而在气候类型上,我国西北地区也越来越向暖湿方向上发展[6]。科学家根据我国北疆地区的降水时间分布形势,研究发现该地在1961~1997年间降水是以增长的方式发展的[7]。同时,还有专家根据我国天山西部的山带近些年囤积雪的数量发现,该地区的积雪数量的上涨与冷季(11~3月)降水量呈现上升趋势有较紧密的联系[8]。且根据研究可以了解到,西北地区由

暖干型气候向暖湿气候的转变趋势或者降水量的增多的发展模式存在着区域差异。而我国西北地区降水量的变化机理不同于主要受东亚季风影响的中国东部地区的机制。

通过分析处理 1951~1995 年西南地区 76 个站点的资料发现, 该地区春季、夏季和秋季的年降水正趋势要低于负趋势, 局部地区的差异很大; 而冬季则与之相反[9]; 1951~1999 年对于西南地区中的四川东部、西部以及贵州夏季降水发展变化形式不明显。而中心盆地和云南等地具有明显的变干趋势[10]; 1961~2000 年西南地区在川西高原、云南中部以北的区域年降水变化具有明显的增大变化, 四川盆地、贵州及云南南部则在慢慢减少[11]; 从近四十年西南地区年降水的区域分布研究我们可以了解到, 其空间变化复杂。川西高原降水量成上升形式, 不包括重庆, 东部地区与之相反, 年降水逐渐减少[12]; 西南地区东部夏季降水存在 15a 左右的主周期及准 2 年的周期变化[13]; 通过对西南地区冬季气候特征的研究, 得出在 1980s 以前降水偏少, 1980s 前期偏多、后期偏少, 1990s 以来明显偏多[14]; 西南地区近 50a 秋季降水呈减少趋势, 2009 年秋季降水异常偏少是热力和动力因素共同作用的结果, 其中热力影响更为显著[15]; 我国科学家利用第四次 IPCC 评估报告提供的气候系统模式结果, 预估分析了不同情景下西南地区 21 世纪的气候变化, 结果表明西南地区气候总体呈显著变暖、变湿的趋势, 其中降水变化表现出一定的纬向分布特征[16]。

鉴于降水对西北地区和西南地区气候和环境影响非常重要, 通过对近 40 年西北地区和西南地区降水变化趋势进行分析, 统计降水过程并了解降水分布形势, 是掌握此类事件规律、进行准确预报、预测和防灾、减灾的重要基础。通过不同气候特征区域的降水变化趋势, 然后探讨造成这一变化趋势的主要影响因素, 为我国研究西北地区和西南地区在全球变暖下的影响提供材料。

2. 研究所用数据资料和研究方法

2.1. 研究资料

研究资料来自中国气象强迫数据集中降水数据。其空间分辨率为 0.1° , 时间分辨率为 3 小时。该数据集可用于水文建模, 地表建模, 土地数据同化和其他地面建模。

用于产生强制数据的此数据源包括: CMA (中国气象局) 1979~2018 年期间的气象站观测数据(风, 气温, 相对湿度, 日照时长, 降水和表面压力), 观测数据与根据观测日照持续时间估算的辐射数据一起用作气象参数的真实值。1998~2018 年期间的 TRMM 卫星降水分析数据(3B42)和 1979~2018 年期间的 GLDAS 降水, 1998~2018 年期间的 GLDAS 降水数据仅用于替代 TRMM 3B42 数据, 这些数据在 40°N 以上才可用。1983.07~2007.12 期间的 GEWEX-SRB 下行短波辐射以及 1979.01~1983.06 和 2008.01~2018.12 的 GLDAS 下行短波辐射数据。1979~2015 年期间的现代时代研究与应用回顾(MERRA) (表面压力), 2015 年后使用 GLDAS 数据(表面压力)。1979~2018 年期间的 GLDAS 数据(风, 气温, 相对湿度)。

2.2. 研究方法

本文将运用“中国气象强迫数据集中降水数据”中 1998~2018 年期间的 TRMM 卫星降水分析数据(3B42)和 1979~2018 年期间 GLDAS 降水资料, 通过统计方法和空间平均的方法对中国西北和西南区域内的降水进行分析。所选取地理范围是西北(75°E ~ 105°E , 35°N ~ 50°N)、西南地区(95°E ~ 111°E , 20°N ~ 35°N), 时间段为 1979 年 1 月 1 日 00 时至 2018 年 12 月 31 日 24 时(世界时), 间隔三小时一次结果输出, 得出西北和西南地区 10 年为一组的平均年降水空间分布图以及春季(3、4、5 月)、夏季(6、7、8 月)、秋季(9、10、11 月)、冬季(12、1、2 月)和全年的降水时间序列图, 研究分析年降水的空间分布和时间分布特征。

3. 数据处理和分析

3.1. 西北地区和西南地区降水年际变分析

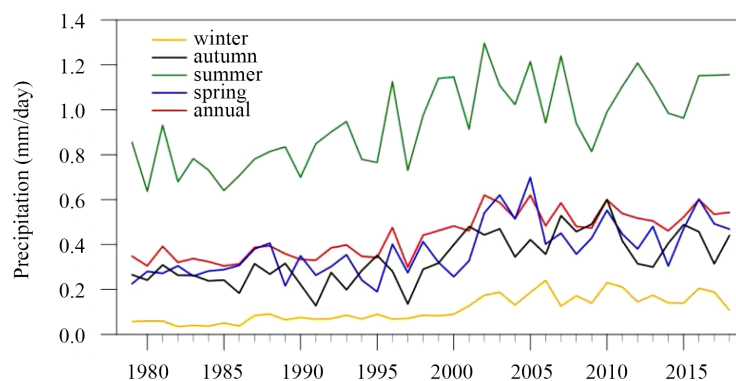


Figure 1. Time series of precipitation in spring, summer, autumn, winter and the whole year of northwest China from 1979 to 2018

图 1. 1979~2018 年中国西北地区春、夏、秋、冬及全年降水时间序列图

根据图 1 我们可以看到西北地区春、夏、冬以及全年降水量在四十年内都呈现大幅度波动增长模式。其中, 夏季降水最多, 四十年来日平均降水范围在 0.6~1.3 mm, 冬季降水最少, 日平均降水仅在 0.02~0.23 mm。我国西北地区春季、秋季日平均降水与全年区别不大, 大致在 0.1~0.7 mm 之间波动。西北地区降水在 1997 年达到全年最小值, 日平均降水量仅为 0.3 mm; 而全年降水最多为 2002 年, 日平均降水量可达 0.6 mm。在 1995 年达到西北地区春季降水最小值, 日平均降水量为 0.18 mm; 在 2005 年达到最大值, 日平均降水量可达 0.68 mm。西北地区夏季降水则在 1980 达到最小值, 日平均降水量为 0.63 mm; 而最大降水在 2002 年, 日平均降水量可达 1.3 mm。秋季西北地区降水最少在 1991 年, 日平均降水量仅 0.1 mm; 而降水最多则在 2010 年, 日平均降水量可达 5.8 mm。冬季日平均降水浮动不大, 降水最少在 1982 年, 日平均降水量仅为 0.02, 而最多在 2006 年, 日平均降水量为 0.22 mm。同时随着时间变化, 西北地区夏季降水波动最大, 而冬季降水波动最小。

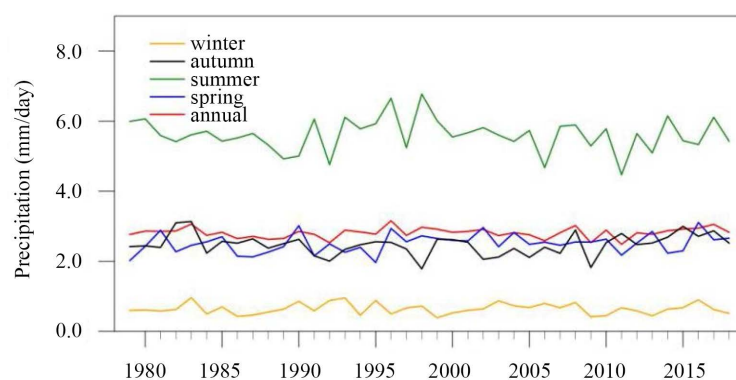


Figure 2. Time series of precipitation in spring, summer, autumn, winter and the whole year of southwest China from 1979 to 2018

图 2. 1979~2018 年中国西南地春、夏、秋、冬以及全年降水时间序列图

根据图 2 我们可以看到西南地区春、夏、冬以及全年降水量在四十年内都呈现小幅度波动模式, 总体增长下降趋势不大。其中, 夏季降水最多, 四十年来日平均降水范围在 4.8~6.8 mm, 冬季降水最少,

日平均降水仅在 0.4~0.9 mm。同样西南地区春季、秋季日平均降水与全年区别不大, 大致在 1.8~2.9 mm 之间波动。西南地区降水在 2001 年达到全年最小值, 日平均降水量仅为 2.4 mm; 而全年降水最多为 1996 年, 日平均降水量可达 3.3 mm。西北地区在 1997 年达到春季降水最小值, 日平均降水量为 1.96 mm; 在 2016 年达到最大值, 日平均降水量可达 3.2 mm。西南地区夏季降水在 2011 达到最小值, 日平均降水量为 4.5 mm; 而最高降水在 1998 年, 日平均降水量可达 6.78 mm。秋季西南地区降水最少在 1998 年, 日平均降水量仅 1.65 mm; 而降水最多则在 1983 年, 日平均降水量可达 3.2 mm。冬季日平均降水同样浮动不大, 降水最少在 2009 年, 日平均降水量仅为 0.2, 而最多在 1998 年, 日平均降水量为 0.8 mm。与西北地区相同, 近四十年来, 西南地区相对来讲同样是夏季波动幅度更大, 冬季波动幅度最小。

3.2. 西北地区和西南地区降水空间分布特征分析

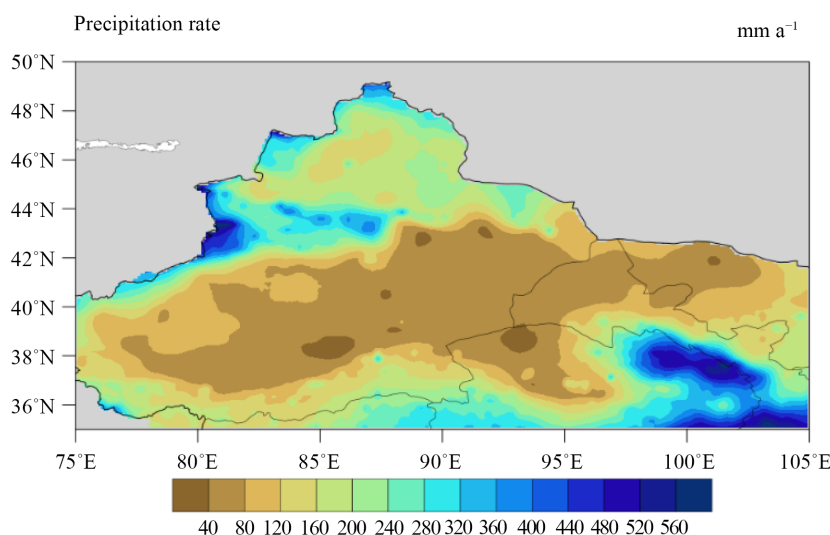


Figure 3. Spatial distribution map of annual average precipitation (mm a^{-1}) in north-west China from 1979 to 2018

图 3. 1979 年~2018 年中国西北地区年平均降水(mm a^{-1})空间分布图

根据图 3 我们可以明显的看到西北地区四十年平均降水分布具有由中心向四周增加的特征, 由于远离海洋, 东亚季风只能影响到西北东部边缘地带, 使得西北地区降水量少且分布很不均匀。其次近于东西走向的天山、阿尔泰山、帕米尔高原等构成的屏障, 使塔里木盆地($77\sim 88^{\circ}\text{E}$, $37\sim 41^{\circ}\text{N}$)、准格尔盆地($85\sim 90^{\circ}\text{E}$, $44\sim 48^{\circ}\text{N}$)成为干旱的闭塞盆地。所以整体上年降水总量地区分布总趋势是东部降水多, 年降水量一般 250~600 mm, 其次是北疆地区, 年降水量 100~200 mm, 南疆盆地 60 mm, 吐鲁番盆地小于 10 mm, 河西走廊西部不足 50 mm, 阿拉善地区东部在 100 mm 左右。由图 4 进一步分析降水在中国西北地区的分布和其随时间的变化情况。

由于研究区内地势格局分布不同, 地形类型及山脉走向呈多样性, 区域降水分布情况也将会有所不同, 西北地区幅员广阔, 地形复杂, 降水量差异很大较大的前体下, 中国西北地区降水四十年来随时间在分布区域具有一定的变化:

图 4(a)看到 1979 年到 1988 年在塔里木盆地中部、柴达木盆地北部、吐鲁番盆地中部以及腾格里沙漠北部, 年均降水平均不足 40 mm, 而将近三分之二的西北地区年平均降水量小于 60 mm, 仅在赛里木湖、青海湖、兰州南部及周边城市的极小部分区域平均年降水达到了 480 mm。

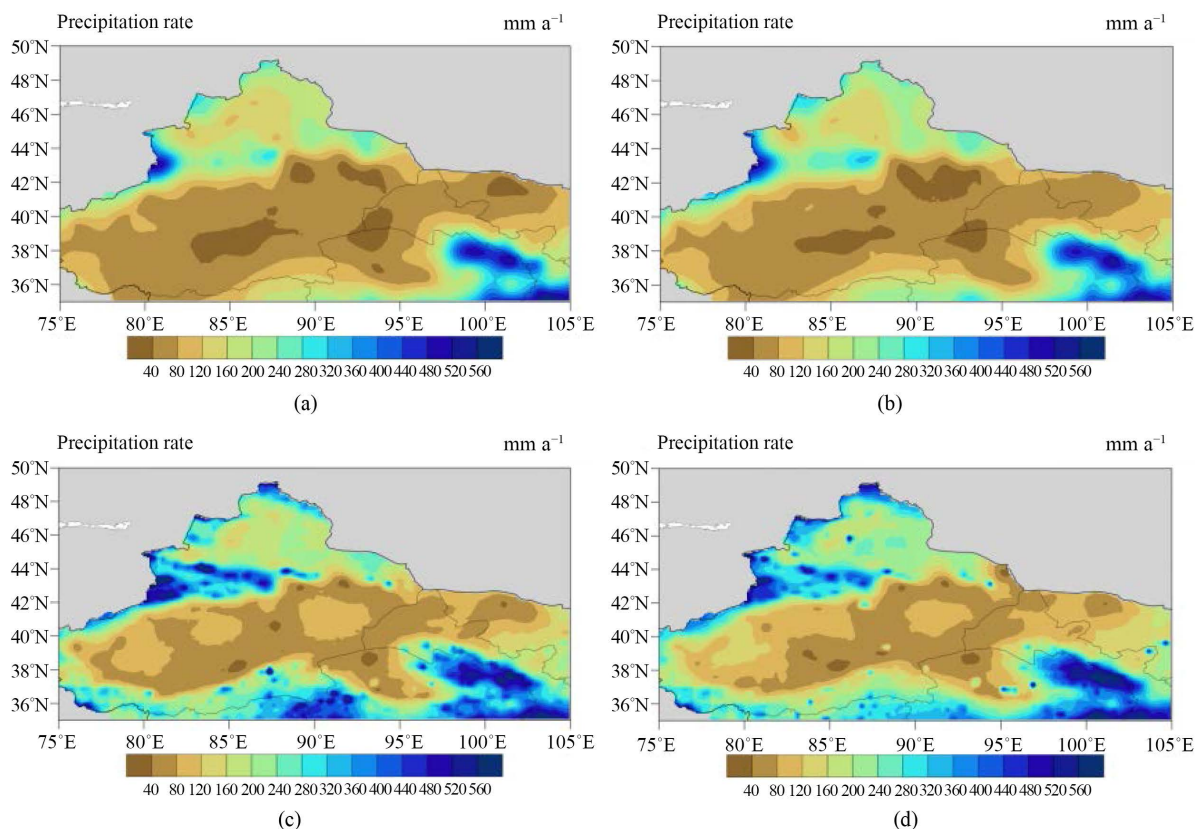


Figure 4. The spatial distribution of annual mean precipitation (mm a^{-1}) in northwest China from 1979 to 2018 changes with time (a) 1979-1988 (b) 1989-1998 (c) 1999-2008 (d) 2009-2018

图 4. 1979 年~2018 年中国西北地区年平均降水(mm a^{-1})空间分布随时间变化(a) 1979~1988 (b) 1989~1998 (c) 1999~2008 (d) 2009~2018

图 4(b)看到 1989 年到 1998 年仅在塔里木盆地中部、柴达木盆地北部、吐鲁番盆地中部, 年均降水平均不足 40 mm , 同样仅在赛里木湖、青海湖、兰州南部及周边城市的极小部分区域平均年降水达到了 480 mm 。但平均年降水量小于 60 仅有二分之一的西北地区了。

图 4(c)中看到西北地区只有极小部分降水量小于 40 mm , 除塔里木盆地中部、柴达木盆地北部、吐鲁番盆地中部以及腾格里沙漠北部等区域年平均降水会达到 80 mm 以下外, 其他西北地区年平均降水均在 80 mm 以上, 约占西北地区三分之二。而平均年降水大于 480 mm 的区域从青海湖附近扩大到青海大部分区域, 从赛里木湖附近扩大道特克斯河及喀什河流域。

图 4(d)中西北地区平均年降水小于 80 mm 区域在明显大范围缩小, 该区域缩小到约西北地区五分之一, 在常年干旱的塔里木盆地柴达木盆地中出现部分降水量 120 mm 左右区域。平均年降水量大于 480 mm 的区域也不断增多, 平均年降水 120 mm 到 240 mm 占主体。而小于 40 mm 区域占极小区域。

所以在过去的四十年里, 随着气温的上升, 中国西北西部和中部地区降水量显著增加, 塔里木盆地、柴达木盆地以及青海湖等区域变化更为直观, 其中新疆北部和南部河西走廊中、西部等地区增加最多, 这一特征从位于秦岭北侧的渭河年径流量近几十年的减少也反映了出来。据研究, 1981~1999 年渭河年平均径流量比 1935~1980 年减少 27.4% [17], 而这一变化可能恰恰跟全球变暖具有一定联系[18]; 研究表明 44 年以来, 在全球变暖背景下西北西部地区降水量呈现增加趋势, 而西北东部地区降水量呈减少趋势。随着气温的升高, 降水量的增加(或减少)将在一定程度上导致一个地区的气候趋于变得暖湿(或暖干) [19]; 西北西部区域气候已由暖干向暖湿转型、而西北东部地区, 随气温升高有继续变干的趋势[6]。

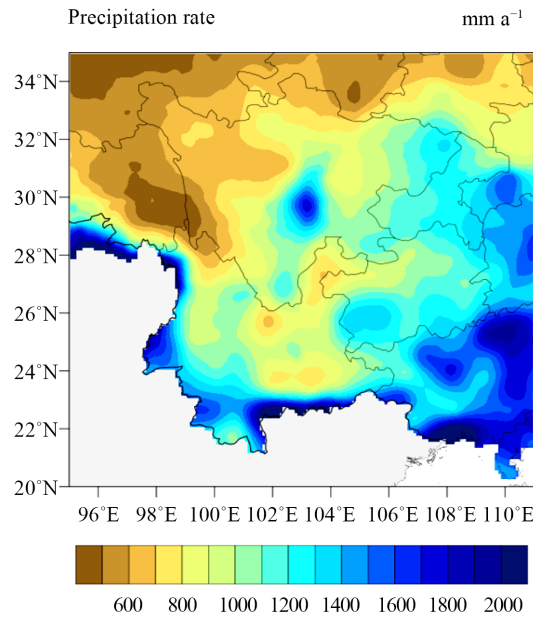
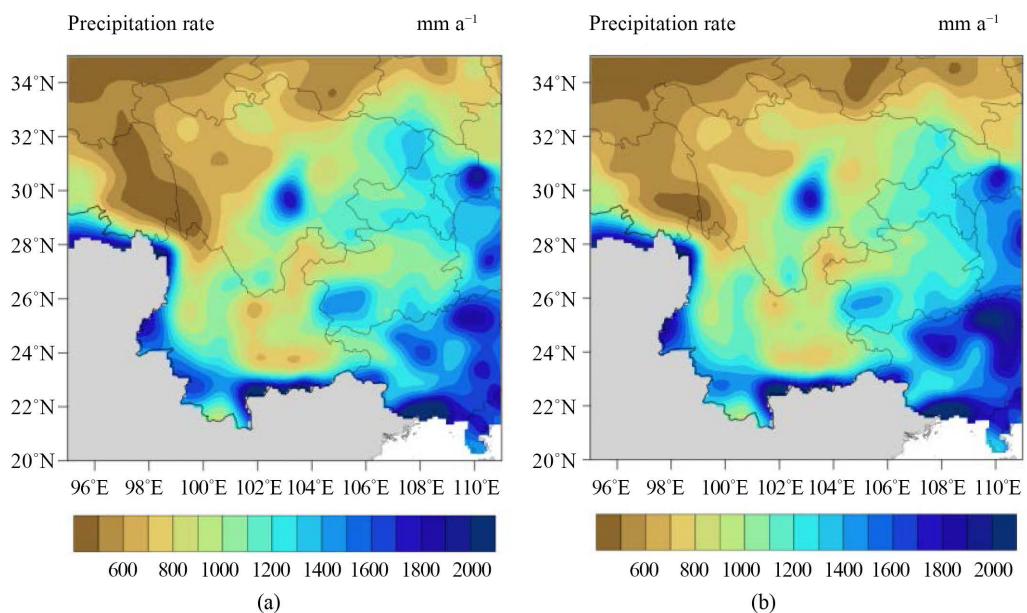


Figure 5. Spatial distribution map of annual average precipitation (mm a^{-1}) in southwest China from 1979 to 2018

图 5. 1979 年~2018 年中国西南地区年平均降水(mm a^{-1})空间分布图

由于西南地区位于青藏高原东南部, 地形地貌复杂多样, 局地因子影响显著, 具有独特的天气气候特征, 年降水区域分布也会有所差异。据图 5 我们可以明显的看到西南地区四十年平均降水空间分布不均匀, 局地差异大, 降水从东往西减少, 东部平均年降水最大值达到 2000 mm, 西部平均年降水最小值达到 400 mm, 川西高原是少雨区, 降水量是 600 mm 以下, 往东南地区降水量逐渐增大, 南部降水最大值可达 2100 mm。在四川中部有一多雨中心, 中心极值达到 1700 mm, 同时在云南东北部和东南部有少雨中心, 中心极值最小可达 700 mm。

同样我们通过由图 6 进一步分析降水在中国西南地区的分布和其随时间的变化情况。



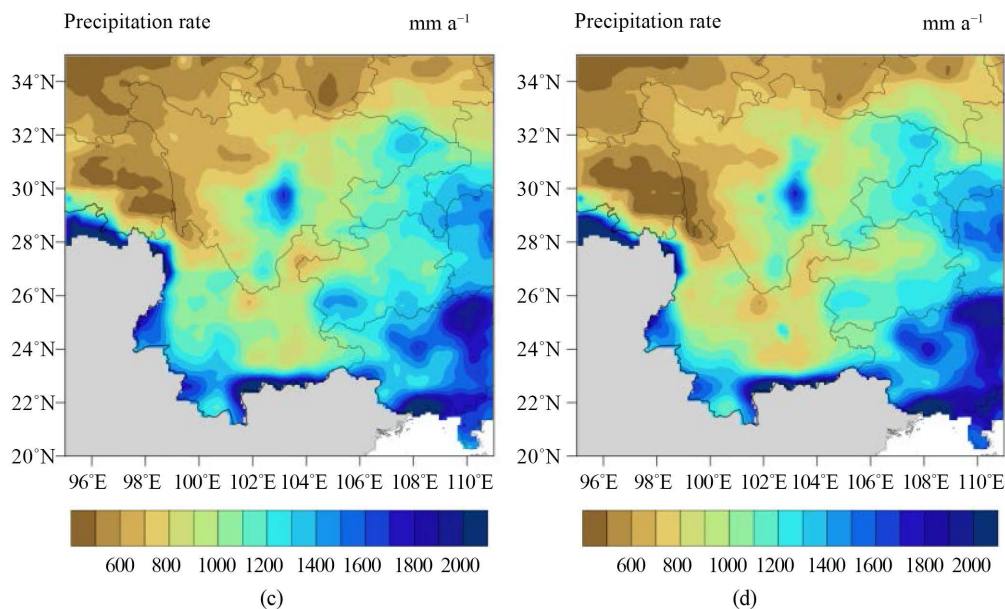


Figure 6. The spatial distribution of annual mean precipitation (mm a^{-1}) in southwest China from 1979 to 2018 changes with time (a) 1979-1988 (b) 1989-1998 (c) 1999-2008 (d) 2009-2018

图 6. 1979 年~2018 年中国西南地区年平均降水(mm a^{-1})空间分布随时间变化(a) 1979~1988 (b) 1989~1998 (c) 1999~2008 (d) 2009~2018

由于西南地区位于青藏高原东南部, 地形地貌复杂多样, 局地因子影响显著, 具有独特的天气气候特征, 年降水区域分布也会有所差异, 中国西北地区降水四十年来随时间在在分布区域具有一定的变化:

图 6(a)看到 1979 年到 1988 年的西南地区, 也呈现从东南到西北地区降水减少的趋势, 其中在川西高原, 青海南部等地区降水相对较少, 中心年降水小于 500 mm; 在广西降水等地降水最多平均年降水量最大值可达到 2200 mm; 西南地区中部, 即四川东南部、重庆、贵州和云南的东北部地区, 大范围年平均降水在 1000~1500 mm 左右; 四川中部多雨区年平均降水中心值可达 1800 mm。

图 6(b)看到 1989 年到 1998 年的西南地区降水变化趋势依然从东向西减少, 但川西高原地区降水具有大范围的增加, 大部分年平均降水值可达 600 mm; 广西以及云南南部年平均降水大于 2000 mm 的区域也明显增加; 除甘肃南部地区小范围年降水减少外, 其余地区年降水没有什么较为明显的变化。

图 6(c)看到西南地区北部川西高原和青海南部年平均降水有所增加, 年降水小于 500 mm 的区域大幅度减少; 但在广西地区年平均降水出现明显的减少, 年平均降水量最大值由原来的 2200 mm 减少到 1900 mm, 年平均降水大于 1500 mm 的区域也大范围缩小。四川中心多雨区区域范围明显缩小, 年平均降水中心值也缩小至 1500 mm。总体来讲 1999 年到 2018 年西南地区年平均降水值明显减小。

图 6(d)中川西高原年平均降水大范围减少, 大部分范围平均年降水小于 500 mm; 与此同时, 广西地区年平均降水依然部分范围内在减少; 四川多雨区范围也继续缩小。整体来看 2009 年到 2018 年整个西南地区年平均降水大范围减少, 年降水量 1000 mm 以下范围约占整个西南地区的三分之二。

所以在过去的四十年里, 随着气温的上升, 虽然在期间的几十年里降水量来回波动, 但就中国西南地区总体来讲平均年降水量是有所减少。广西地区及四川中心雨区降水减少变化更为直观。

4. 结论

本文利用中国气象强迫数据集中降水数据, 对 1979 年~2008 年中国西北和西南地区的降水进行一定的研究; 分别分析了西北地区 and 西南地区降水随时间的年际变化以及随经纬度的空间变化。并得出以下

结论:

西北地区春、夏、秋、冬以及全年降水量在四十年内都呈现大幅度波动增长模式, 夏季波动幅度最大, 冬季波动幅度最小。其中, 夏季降水最多, 而冬季降水最少, 我国西北地区春季、秋季日平均降水与全年区别不大。西北地区降水在 1997 年、1995 年、1980 年、1991 年、1982 年分别达到全年、春季、夏季、秋季和冬季的降水最小值; 在 2002 年、2005 年、2002 年、1991 年、2006 年分别达到全年、春季、夏季、秋季和冬季的降水最大值。

近 40 年西南地区西南地区春、夏、冬以及全年都呈现波动增长模式, 夏季波动幅度最大, 冬季波动幅度最小, 但整体波动增长幅度不大。与西北地区类似, 同样是夏季降水最多, 而冬季降水最少, 我国西北地区春季、秋季日平均降水与全年区别不大。在 2001 年、1997 年、1980 年、1998 年、2009 年分别达到西南地区全年、春季、夏季、秋季和冬季的降水最小值; 在 1996 年、2016 年、1998 年、1983 年、1998 年分别达到西南地区全年、春季、夏季、秋季和冬季的降水最大值。

在中国西北地区, 降水分布具有由中心向四周增加的特征: 整体上年降水总量地区分布总趋势是东部降水多, 年降水量一般 250~600 mm, 木盆地中部、柴达木盆地北部、吐鲁番盆地中部降水量较少, 年降水量小于 40 mm。通过分析和研究, 我们得到了我国西北地区四十年内变化最大在塔里木盆地中部、柴达木盆地北部、吐鲁番盆地中部变化最为明显, 以十年为分界, 每十年都具有很明显的降水增加; 在西北地区的东部和西北部分区域降水也都有较为明显的增加。

西南地区降水分布从东往西减少, 东部平均年降水最大值达到 2000 mm, 西部平均年降水最小值达到 400 mm。研究发现近四十年内, 川西高原附近平均降水最为显著, 以十年为分界, 我们可以看到川西高原在 1989~1998 年降水照上一个十年有明显的增加, 而下一个十年又继续在增加, 到 2009~2018 年时, 川西高原地区降水又大范围减少。我国广西地区降水在 1989~1998 年时, 降水照上一个十年有着明显的增加, 但在之后的两个十年内接连广西地区年降水量接连减少。四川中心多雨区范围慢慢减小, 中心值也有所降低。西南地区中部年降水大范围小幅度略微减少。

参考文献

- [1] 靳立亚, 秦宁生, 吴永森. 中国西北地区不同季节降水气温异常的时空分布及其与西北干旱的关系[M]//孙国武, 主编. 中国西北干旱气候研究. 北京: 气象出版社, 1997.
- [2] 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135-142.
- [3] 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量的变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143-148.
- [4] 韦志刚, 董文杰, 惠小英. 中国西北地区降水的演变趋势和年际变化[J]. 气象学报, 2000, 58(2): 234-243.
- [5] 谢金梦. “西北地区干旱预测系统研究”专题研究成果综述[M]//谢金南, 主编. 中国西北干旱气候变化与预测研究(1-3 卷). 北京: 气象出版社, 2000.
- [6] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152-164.
- [7] 姜逢清, 朱诚, 胡汝骥. 1960~1997 年新疆北部降水序列的趋势探测[J]. 地理科学, 2002, 22(6): 669-672.
- [8] 张丽旭, 魏文寿. 天山西部中山带积雪变化趋势与气温和降水的关系——以巩乃斯河谷为例[J]. 地理科学, 2002, 22(1): 67-71.
- [9] 董谢琼, 段旭. 西南地区降水量的气候特征及变化趋势[J]. 气象科学, 1998, 18(3): 239-247.
- [10] 刘燕, 王谦谦, 程正泉, 等. 我国西南地区夏季降水异常的区域特征[J]. 南京气象学院学报, 2002, 25(1): 105-110.
- [11] 马振锋, 彭骏, 高文良, 等. 近 40 年西南地区的气候变化事实[J]. 高原气象, 2006, 25(4): 633-642.
- [12] 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.
- [13] 李永华, 徐海明, 白莹莹, 等. 我国西南地区东部夏季降水的时空特征[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 523-530.

-
- [14] 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.
- [15] 谭志强, 余锦华. 西南秋季降水及其影响要素的气候变化特征[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2012, 40(2): 141-147.
- [16] 刘晓冉, 程炳岩, 杨茜, 等. 我国西南地区 21 世纪气候变化的情景预估分析[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2012, 34(9): 82-89.
- [17] 查小春, 延军平. 全球变化下秦岭南北河流径流泥沙比较分析[J]. 地理科学, 2002, 22(4): 404-407.
- [18] 延军平, 汪西莉, 孙虎, 等. 陕、甘干旱地区不同时段地表径流递减率的分析[J]. 地理科学, 1999, 19(6): 532-535.
- [19] 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 近 44 年来中国西北降水量变化的区域差异以及对全球变暖的响应[J]. 地理科学, 2005, 25(5): 567-572.