

李勇,梅双丽,周宁芳.1961—2020年西北地区夏季降水趋势变化特征[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(1):74-80.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.01.009

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



1961—2020年西北地区夏季降水趋势变化特征

李 勇,梅双丽,周宁芳

(国家气象中心,北京 100081)

摘 要:采用 1961—2020 年我国西北地区 364 站逐日降水观测数据,从降水量和降水日的角度对比分析我国西北地区夏季降水趋势时空变化特征。结果表明:西北地区夏季降水量占全年总降水量的 50% 以上。从整体上来看,西北地区降水量呈现显著增多的线性趋势,但并非全区一致性增多。降水量增多(减少)的站数约占区域内总站数的 57%(43%),降水日数呈现增多(减少)的站数约占总站数的 43%(57%);降水量、降水日数同时增加的站点主要位于南疆盆地、北疆西部及青海中部和北部等地,两者同时减少的站点主要位于甘肃东南部、宁夏、陕西中部偏东等地,而两者反相变化的站点主要位于新疆北疆地区、青海省西南部边缘地区和陕西南部。近 60 年来,西北地区极端降水量和降水日数呈线性增加趋势。西北地区各个区域降水量和降水日数除年际变化外,还存在年代际变化特征,不同区域变化位相存在一定差异。

关键词:西北地区;夏季;降水;趋势

中图分类号:P

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)01-0074-07

我国西北地区地处欧亚大陆腹地,青藏高原北侧。地理上具有戈壁、沙漠、高山等地形地貌特征。该地区属温带大陆性气候,自然环境具有干旱、半干旱的特征,受地理条件的限制,这里常年气候干燥少雨,南疆盆地、内蒙古西部等沙漠地区年降水量一般不足 50 mm,形成了中国极端干旱区域。天山、祁连山等高山沿线存在相对多雨地区,山区个别地点年降水量超过 500 mm。这种独特的地理气候条件使得西北地区水资源紧缺、干旱严重、生态脆弱地区分布广、生态环境对降水依赖性强^[1]。

全球变暖使得气候系统变得更加不稳定,西北地区的气候也持续发生着变化。西北地区不仅有明显的变暖趋势,而且年总降水量也稍有增加^[2-4]。西北地区降水变化既有整体暖湿化特征,也存在区域性差异^[5-8]。西北偏西地区降水增多,东南部降水量

则出现减少,降水分布存在东西向和南北向的“跷跷板”变化现象^[9]。西北地区降水的时空变化特征反映在降水频次、降水强度、降水持续性及周期性等多方面,郑丽娜^[10]研究表明有效降水日数减少、降水强度偏弱等原因导致了西北地区东部降水偏少。西北地区的西部则因降水强度明显增强、持续降水日数和极端降水事件增加,导致该区域降水呈现偏多的态势。陈冬冬等^[11]指出近 50 年我国西北地区降水以强降水为主,且西北地区西部的强降水显著增加,东部则减少。降水日数变化是降水量变化的主要原因。王澄海^[12]指出西北地区降水周期随时间变化具有较强的区域性,具有多平衡态和非周期性振荡的特点,不同区域降水存在显著的年际和年代际变化,西北地区降水的周期性特征在年际和年代际尺度变化上也具有贡献。

近年研究表明,在气候变化的背景下西北地区气候湿化趋势出现了新特征,降水总体呈现西增东减的变化趋势,西部变湿的同时东部明显变干,且西增东减的分界线在近 3 个气候态时段以来持续东扩^[13-15]。西北地区夏季极端降水极端性越来越显著^[16-17],给

收稿日期:2022-06-07;修回日期:2022-11-07

基金项目:国家自然科学基金项目(U2142207);国家科技支撑计划课题(2015BAC03B07)

作者简介:李勇(1980—),男,正高级工程师,主要从事天气预报技术方法研究。E-mail:liy@cma.gov.cn

区域经济发展带来了新的挑战,如 2020 年 8 月青海湟源日降水量达 81.5 mm,2021 年 6 月新疆和田 3 h 降水量达 52.9 mm,超过了当地 1 a 的平均降水量。西北地区降水的形式和性质都和我国东部地区有着根本的差别,降水增加主要是极端和短时对流降水的增加^[18],这些极端降水的出现似乎在印证西北地区“暖湿化”的气候演变倾向。

西北地区暖湿化成为学术界关注和争论的话题,由于西北地区气象台站分布不均,观测资料的时间序列长短及空间分布差异大,计算区域平均降水量必然会导致较大误差,同时已有的研究多采用 2015 年前的降水观测数据,有必要采用最新的更长的时间序列资料分析降水的细致变化特征,特别是近些年西北地区降水变化情况。夏季降水量占全年降水量的比重最大^[19],因此本文从降水量、降水日数的角度分析西北地区夏季降水趋势变化特征,为气候变化背景下西北地区降水提供新认识,为区域经济发展提供决策依据。

1 资料与方法

站点观测资料来自国家气象信息中心整编的 1961—2020 年逐日(20 时—次日 20 时)2 410 站降水资料,从中挑选西北五省(区)内 364 个序列完整的站点(图 1)。西北地区各个站点日降水量 ≥ 0.1 mm 定义为一个雨日。降水量特征采用线性插值方法。极端降水的阈值根据所在站点逐年夏季日降水量序列的第 90 个百分位值确定。线性趋势采用线性回归法计算,根据最小二乘法原理确定趋势系数,趋势系数的显著性检验采用双侧学生 t 检验方法。年代际变化曲线采用 9 a 低通滤波方法。

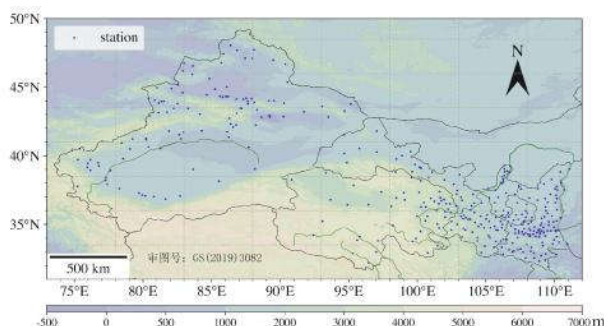


图 1 西北地区观测站点空间分布

2 西北地区夏季降水时空分布特征

2.1 西北地区降水季节变化

由图 2 可知,近 60 年的西北地区降水量和降水

日数存在显著的季节性变化。冬季最少,夏季最多。月平均降水量可达 30 mm,夏季月平均降水量可达 63.3 mm,其中 7—8 月是西北地区全年降水最强、最为集中的时段(图 2a),远多于冬季月平均 3.3 mm 的降水量。夏季西北地区区域平均累积降水量占该地区全年区域平均累积降水量的 51.2%。夏季逐年的月平均降水量一般在 40~80 mm,而冬季逐年的月平均降水量一般不足 10 mm,因此夏季降水量年际变化幅度远大于冬季。

从雨日的变化来看(图 2b),西北地区全年月内平均雨日为 6.2 d,夏季月内平均雨日可达 10 d,远多于冬季的 2.6 d。与降雨量不同,冬季月内平均雨日的年际变化范围并不一定比夏季平均雨日的年际变化范围小,如 1 月平均雨日可达 9 d。从空间分布来看,西北地区夏季降水量、降水日数(图 3)与全年降水量、降水日数具有相似的分布,夏季的降水基本上能够反映该地区汛期降水的主要特征。

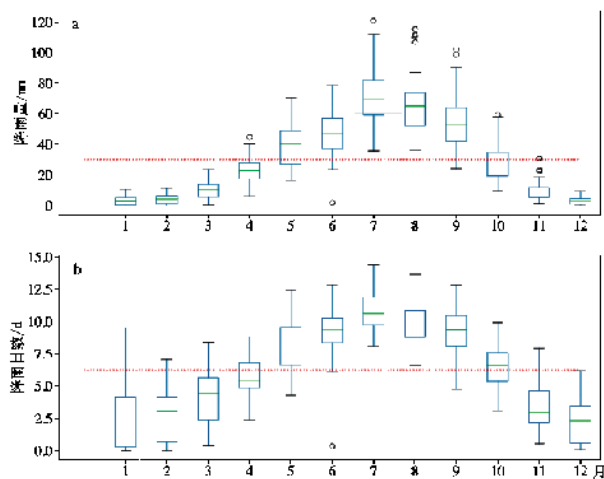


图 2 1961—2020 年西北地区夏季平均降水量(a)和降水日数(b)月际变化

2.2 西北地区夏季降水空间特征

从西北地区夏季降水量空间分布(图 3a)可知,西北地区夏季降水量自东南向西北逐渐减少,陕西南部存在一个降水量大值区,最大中心位于镇巴站,其气候平均的夏季降水量超过 592 mm。降水量大值区的存在与来自南方的暖湿气流北上时遇秦岭南麓阻挡爬坡,配合持续充沛的水汽产生强降水有一定的关系。新疆沿天山地区也存在一个降水量相对大值带,该地区常年受西风带短波影响并配合山区地形作用,降水量显著大于新疆其他地区。降水量的最小中心位于深处大陆内部的南疆盆地托克逊站,其气候平均的夏季降水量仅为 5 mm。

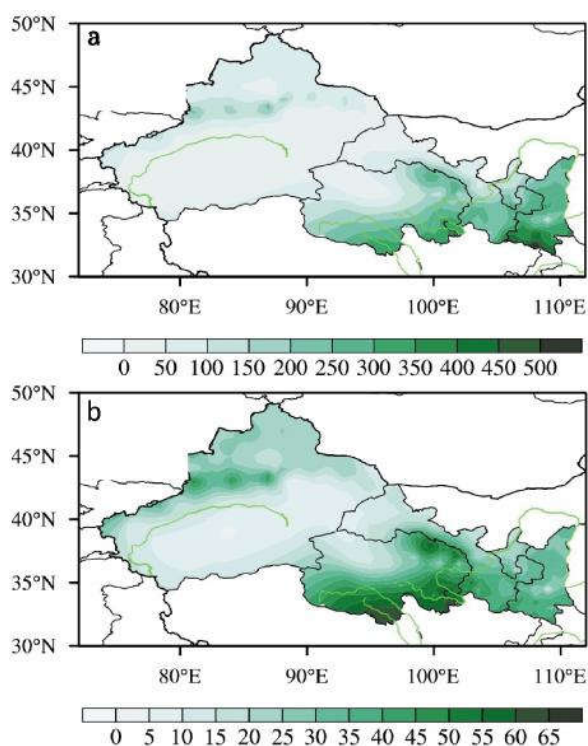


图3 1961—2020年西北地区夏季总降水量(a,单位:mm)和降雨日(b,单位:d)空间分布

从降水日数的空间分布来看(图3b),西北地区降水日数最大中心位于青海的东南部及祁连山地区,该地区夏季平均累积雨日为45~65 d,新疆沿天山地区累积雨日一般在30~40 d。青藏高原东部是夏季西北地区雨日最多的地区,该地区处于高原气候区与季风区交界地带,夏季高原短波活动较多,同时在高原热力作用的影响下,易产生局地对流性降水,雨日较多。但由于持续水汽条件及大范围抬升条件不如陕南好,总降水量并不是最多。雨日最少的地区仍然位于南疆盆地,该地区夏季累积雨日一般不超过15 d。夏季西北地区降水量及降水日数的空间分布形态反映了西北地区自然地理环境对降水的显著影响。

3 西北地区夏季降水的趋势变化特征

3.1 西北地区降水季节变化

图4a是近60年西北地区夏季降水量的年际变化趋势系数分布。西北地区大部分站点降水量趋势系数为正值,这些正趋势的站点数约占总观测站数的57%,主要分布在新疆、青海和甘肃西部等地,其中通过0.05的显著性检验的站点占比达30%,主要分布在南疆盆地以及青海等中西部地区,东部大部分地区没有通过显著性检验。另有约43%的站点降水量趋势系数为负值,这些降水量变化呈现负趋势的站点主要分布在甘肃东部、宁夏北部及陕西中部等地,且大部分站点也没有通过0.05的显著性检验。整体上看,近60年西北地区降水量呈现增多趋势,这一结果与刘维成等^[18]研究成果较为一致,但也存在一定的区域差异。

夏季西北地区降水日数变化也是降水变化的一个重要方面。由图4b可知,近60年西北地区降水日数呈现增加趋势的站点主要位于新疆南疆盆地、青海等地,正趋势的站点数约占总观测站数的43%,其中56%站点通过0.05的显著性检验。新疆北疆的东部地区及西北地区东部等地降水日数则呈现减少趋势,负趋势的站点约占总观测站数的57%,其中23%通过0.05的显著性检验。与降水量相比,降水日数呈现减少趋势的站点比例明显更高一些。值得注意的是,降水量和降水日数具有相反变化趋势的站点在空间分布方面具有明显差异,邻近区域内站点具有相似的变化趋势,降水量趋势变化的空间集中性特征较显著。

在气候变暖的大背景下,西北地区降水强度呈现出增强的趋势,特别是极端强降水出现的频次呈现增加趋势。降水量和降水日的变化必然与降水强度有一定关联。由于受地理位置及海拔高度等影响,不同站点具有不同的降水频率分布,用分位数来识别极端降水,可避免不同地区降雨量的差异。从夏季

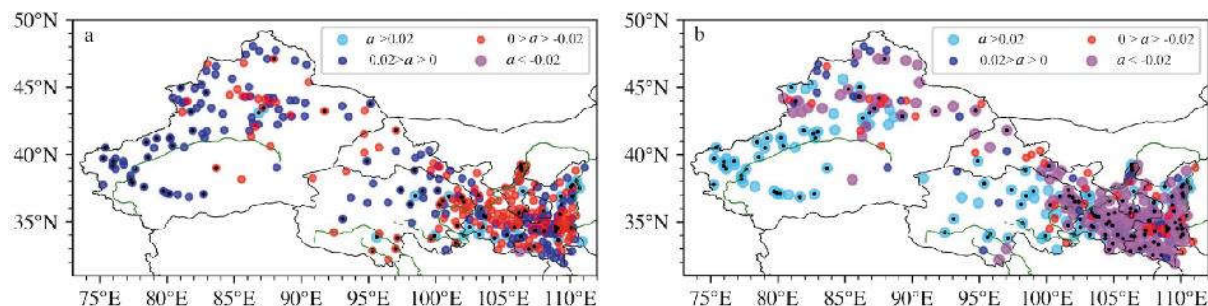


图4 1961—2020年夏季降水量(a)和降水日数(b)趋势系数分布特征
(冷色表示增加趋势,暖色表示减少趋势;黑点表示通过0.05的显著性检验)

极端降水阈值空间分布可知,西北地区各站的极端降水与图 3a 的降水量空间分布较为一致,从东南部向西北部逐渐递减,最大极端降水阈值中心位于陕西镇巴站,极端降水阈值为 19.2 mm;极端降水阈值较小区域位于新疆北部盆地、南疆盆地、青海西北部和甘肃北部,最小降水阈值接近 0 mm。这一结果反映了在气候变化背景下,极端降水空间分布依然与自然地理环境密切相关。

从图 5 可知,西北地区夏季极端降水量和极端降水日数呈现增加趋势具有全区一致的特征,但是这种趋势并不显著。值得注意的是,当选取不同长度时间序列时,结果没有显著差异,如采用 1971—2020、1981—2020、1991—2020 年的时间序列时所得结果与采用 1961—2020 年序列计算结果类似。极端降水增多的现象可能与全球气候变暖大背景有一定关联,同时我国在西北地区实施长达 20 多年的生态修复工程,生态环境面貌发生了巨大改变,植被覆盖增加,沙漠面积减少,局部区域水汽循环条件改善可能也是一个重要原因。

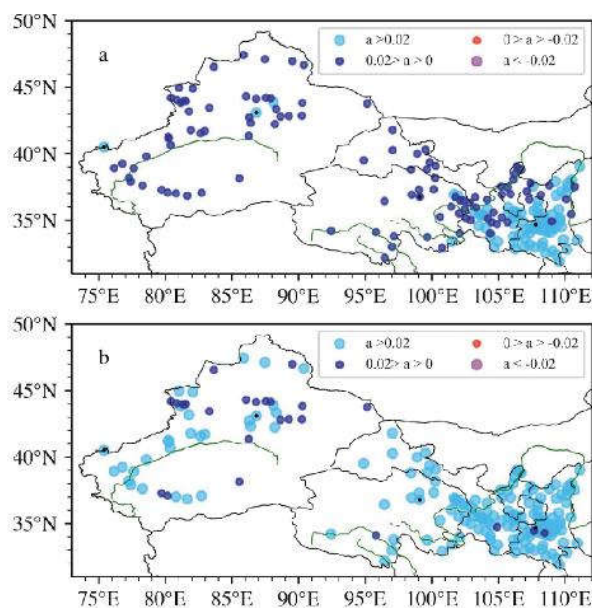


图 5 1961—2020 年夏季极端降水累积降水量(a)和极端降水累积日数(b)趋势系数分布特征(冷色表示增加趋势,暖色表示减少趋势;黑点表示通过 0.05 的显著性检验)

4 西北地区不同区域降水时间演变特征

西北地区夏季降水存在不同的区域内变化,即使具有相似线性变化趋势的站点,也可能存在不同甚至相反的阶段性变化特征。图 6 是西北地区夏季降水量趋势和降水日趋势同向与反向变化空间分

布。南疆盆地、北疆西部及青海中部和北部降水量和降水日数以同时增大的线性趋势为主,甘肃东南部、宁夏、陕西中部偏东等地降水量和降水日数以同时减少趋势为主,在新疆北疆地区、青海省西南部边缘地区和陕西南部均存在降水量和降水日数呈现反向变化的站点。

地理上西北地区地处欧亚大陆腹地和青藏高原东北部,自西向东分为西部(72°~90°E, 36°~48°N)、中部(90°~102°E, 32°~42°N)和东部(105°~110°E, 33°~37°N)3 个大区域,分别代表西风带及沙漠气候区、高原及沙漠气候区以及季风气候区^[20-22]。从大气环流的角度看,夏季风北边缘能够影响到西北地区的东部,西部基本上受西风带影响,结合西北地区降水量和降水日的趋势变化,又可将西北地区自西向东细分为新疆北部、南疆盆地、青海与甘肃中西部、甘肃东部与宁夏及陕西等 5 个子区域,将这 5 个区域分别简称为一区、二区、三区、四区及五区(图 6)。

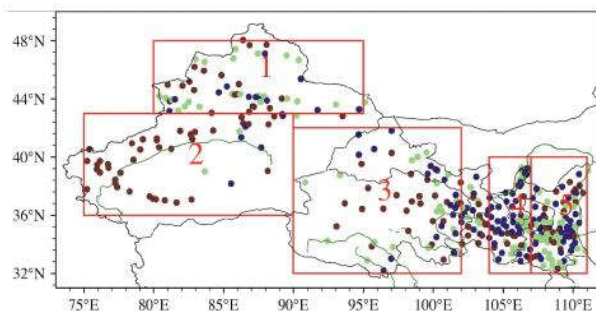


图 6 1961—2020 年夏季降水量趋势和降水日趋势同向与反向变化空间分布

(棕色表示降水量降水日均为正趋势;深蓝色表示降水量降水日均为负趋势,绿色表示降水量和降水日趋势相反)

近 60 年来,一、二、三区的降水量和降水日数均呈现增加趋势,但除二区降水日数外,这种趋势在统计上并不具有显著性,四区和五区更是无明显线性趋势,一方面与能够通过显著性检验的站点相对较少有关,另一方面与区域内存在相反趋势变化的站点有关。整体上看,西北地区降水增多的地区主要位于中西部地区。降水量和降水日数的标准化时间序列(图 7)显示,西北地区不同子区域的降水量和降水日数既具有年际特征,又具有年代际特征。具体到年代际变化,各个子区域又具有不同的特征。一区和二区位于西风带及沙漠气候区,在 20 世纪 70—80 年代前期,降水量和降水日数整体偏少,90 年代降水量和降水日数显著增加。21 世纪以来一区降水量增多的同时降水日数有减少趋势,二区大部分站点

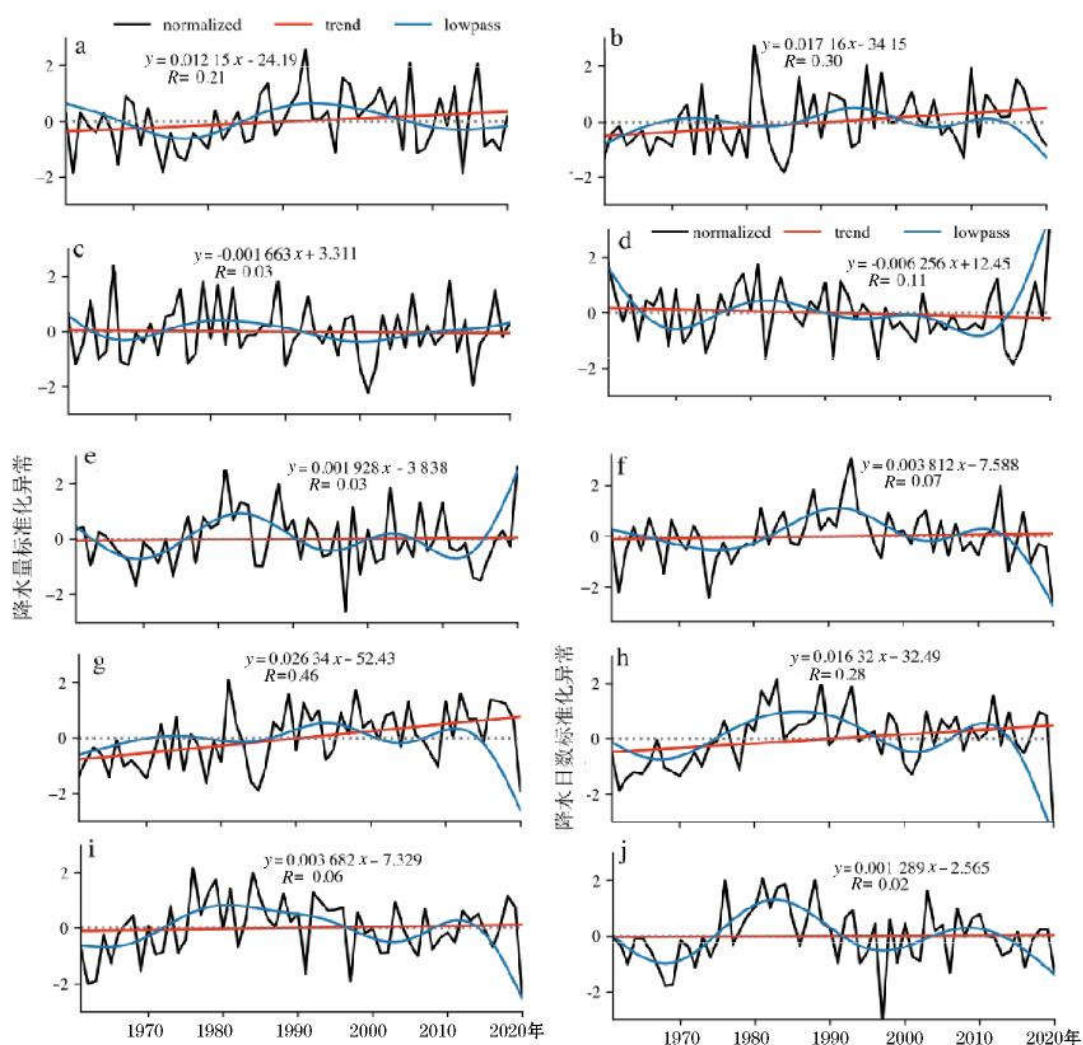


图7 1961—2020年夏季西北地区各个子区域平均的降水量和降水日数标准化序列
(a、b为一区,c、d为二区,e、f为三区,g、h为四区,i、j为五区,a、c、e、g、i为降水量,b、d、f、h、j为降水日数;
黑色线表示年际变化,蓝色线表示年代际变化,红色线表示线性趋势)

降水量和降水日数均显著增加,表明南疆盆地整体变湿的特征更加明显。三区属于高原及沙漠气候区,该区20世纪70年代末以前,降水量和降水日数显著偏少,80年代降水量和降水日数开始增加,相较一区和二区增加的幅度更大,其气候倾向率为 $0.3 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。此后除了在2000年前后出现阶段性减弱外,其他大部分时段降水量和降水日数都显著偏多。四区和五区属于季风气候区,但地理上位于季风能够影响到的边缘地区,大部分站点降水量和降水日数呈下降趋势,但降水量和降水日数在20世纪80年代依然存在显著增加的阶段,且最近几年降水量增加但降水日数减少的趋势非常显著。总体上看,西北地区各个区域降水量和降水日数除年际变化外,也存在年代际变化特征,但不同区域变化位相存在一定差异。

5 结论

(1)我国西北地区夏季降水量占该地区全年总降水量的50%以上,近60年来降水量和降水日数线性趋势具有显著的差异。降水量增多(减少)的站数约占区域内总站数的57%(43%),降水日数呈现增多(减少)的站点数约占总站数的43%(57%)。降水增多的站点主要分布在新疆、青海、甘肃西部等地,降水减少的站点主要分布在甘肃东部、宁夏北部及陕西中部等地。

(2)降水量和降水日数同时增加的站点主要位于南疆盆地、北疆西部及青海中部和北部,特别是新疆南疆盆地和青海中部,降水量和降水日数同向变化的一致性极高,且大多数站点能够通过显著性检验,表明上述地区是我国西北地区降水增多最显著的地区。降水量和降水日数同时减少的站点主要位

于甘肃东南部和宁夏等地,但多数站点没有通过显著性检验。

(3)位于西风带及沙漠气候区和青藏高原及沙漠气候区的降水量和降水日数显著增加,位于西北地区东部季风边缘区的降水量和降水日数以线性减少趋势为主,部分区域如新疆北部、陕西等地区,降水量和降水日数既有同向变化的站点,也有反向变化的站点。表明西北地区整体暖湿化过程中区域内降水变化的差异性和复杂性。

(4)西北地区各个区域降水量和降水日数除年际变化外,还存在年代际变化特征,但不同区域变化位相存在一定差异。20世纪80年代各个区域降水量和降水日数存在显著增加的阶段。近年来西北地区各个区域降水量和降水日数无论增加还是减少,均出现显著变化,这是否意味着一个新阶段的开始,有待后续更多资料加以证实。

从本文的研究结果来看,西北地区西部,特别是新疆南疆盆地夏季降水整体增加的趋势是比较显著的,这一结论是比较确定的,但位于西北地区东部季风边缘区降水减少的趋势并不显著,且极端降水呈现非显著性增强的现象。整个西北地区极端降水量和极端降水日数呈现增加趋势,在一定程度上反映了降水强度的增强,但由于根据不同尺度确定的降水极端阈值存在差异,其结论的普适性还有待进一步研究。西北地区地广人稀,观测站点分布极不均匀,本文结论中降水日数增多的站点占比相对较少可能与这些观测站点多分布在青海、南疆盆地等站点稀疏地区有关,由于观测站点的代表性不足,看似较为确定的南疆盆地及青海中部等地是否存在其他降水特征,还需用更多资料加以研究证实。此外,本文主要针对西北地区夏季降水整体变化进行了趋势分析,没有讨论与这些趋势变化相关的大气环流异常特征及造成环流异常的可能的外强迫因子作用,这些工作还需要继续开展研究,以便进一步认识西北地区降水变化的深层原因。

参考文献:

- [1] WANG, P J, XIE, D H, ZHOU, Y Y, et al. Estimation of net primary productivity using a process-based model in Gansu Province, northwest China[J]. *Environmental Earth Sciences*, 2014, 71(2): 647–658.
- [2] 王鹏翔, 杨金虎, 张强, 等. 近半个世纪来中国西北地面气候变化基本特征[J]. *地球科学进展*, 2007, 22(6): 649–656.
- [3] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型问题评估[M]. 北京: 气象出版社, 2003.
- [4] 张强, 朱飙, 杨金虎, 等. 西北地区气候湿化趋势的新特征[J]. *科学通报*, 2021, 66(28–29): 3757–3771.
- [5] 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 西北地区近40年年降水异常的时空特征分析[J]. *高原气象*, 2004, 23(2): 245–252.
- [6] 刘芸芸, 张雪芹, 孙杨. 全球变暖背景下西北干旱区雨季的降水时空变化特征[J]. *气候变化研究进展*, 2011, 7(2): 97–103.
- [7] 陈志昆, 张书余, 雒佳丽, 等. 中国西北地区降水异常的气候分析[J]. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1874–1883.
- [8] 郭慕萍, 王志伟, 秦爱民, 等. 54年来中国西北地区降水量的变化[J]. *干旱区研究*, 2009, 26(1): 120–125.
- [9] 张强, 林婧婧, 刘维成, 等. 西北地区东部与西部汛期降水跷跷板变化现象及其形成机制[J]. *中国科学: 地球科学*, 2019, 49(12): 2064–2078.
- [10] 郑丽娜. 近55a中国西北地区夏季降水的时空演变特征[J]. *海洋气象学报*, 2018, 38(2): 50–59.
- [11] 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.
- [12] 王澄海, 崔洋. 西北地区近50年降水周期的稳定性分析[J]. *地球科学进展*, 2006, 21(6): 576–584.
- [13] 王澄海, 张晟宁, 李课臣, 等. 1961—2018年西北地区降水的变化特征[J]. *大气科学*, 2021, 45(4): 713–724.
- [14] 王澄海, 张晟宁, 张飞民, 等. 论全球变暖背景下中国西北地区降水增加问题[J]. *地球科学进展*, 2021, 36(9): 980–989.
- [15] 杨金虎, 杨启国, 姚玉璧, 等. 西北东部夏季干湿演变及环流特征[J]. *气象*, 2006, 32(10): 94–101.
- [16] 赵庆云, 张武, 王式功, 等. 西北地区东部干旱半干旱区极端降水事件的变化[J]. *中国沙漠*, 2005, 25(6): 904–909.
- [17] 杨金虎, 江志红, 杨启国, 等. 中国西北汛期极端降水事件分析[J]. *中国沙漠*, 2007, 27(2): 320–325.
- [18] 刘维成, 张强, 傅朝. 近55年来中国西北地区降水变化特征及影响因素分析[J]. *高原气象*, 2017, 36(6): 1533–1545.
- [19] 姚俊强, 杨青, 刘志辉, 等. 中国西北干旱区降水时空分布特征[J]. *生态学报*, 2015, 35(17): 5846–5855.
- [20] 王鹏祥, 何金海, 郑有飞, 等. 近44年来我国西北地区干湿特征分析[J]. *应用气象学报*, 2007, (6): 35–41.
- [21] 谢金南, 周嘉陵. 西北地区中、东部降水趋势的初步研究[J]. *高原气象*, 2001, 20(4): 362–367.
- [22] 王宝鉴, 黄玉霞, 陶健红, 等. 西北地区大气水汽的区域分布特征及其变化[J]. *冰川冻土*, 2006, 28(1): 15–21.

Variation Characteristics of Summer Precipitation in Northwest China from 1961 to 2020

LI Yong, MEI Shuangli, ZHOU Ningfang

(National Meteorological Center, Beijing 100081, China)

Abstract Based on the daily precipitation observation data of 364 stations in northwest China in recent 60 years, the spatial and temporal variation characteristics of summer precipitation trend in northwest China were compared and studied from the perspective of precipitation and precipitation days. The results show that, on average, the summer precipitation in northwest China accounts for more than 50% of the total annual precipitation in the region. On the whole, the precipitation in northwest China shows a linear trend of significant increase, but it is not consistent with the increase in the whole region. The number of stations with increased (decreased) precipitation accounts for about 57% (43%) of the total stations in the region, and the number of stations with increased (decreased) precipitation days accounts for about 43% (57%) of the total stations. The stations increased at the same time are mainly located in southern Xinjiang basin, the western northern Xinjiang, central and northern Qinghai, while the stations decreased at the same time are mainly located in southeast Gansu, Ningxia, eastern central Shaanxi and other places, while the stations with reversed changes are mainly located in northern Xinjiang, the southwestern edge of Qinghai province, and southern Shaanxi. In the past 60 years, the extreme precipitation and precipitation days in northwest China also show a linear increase trend. In addition to the interannual variation, there are also interdecadal variation characteristics of precipitation and precipitation days in various regions of northwest China, but there are certain differences in the change phases of different regions.

Key words northwest region; summer; precipitation; trend