

文章编号: 2096-1618(2022)05-0584-08

近六十年中国华西地区秋季降水时空特征分析

邓欢¹, 华维^{1,2}, 冯亮亮¹, 夏昌基¹, 邓浩¹

(1. 成都信息工程大学大气科学学院/高原大气与环境四川省重点实验室/四川省气象灾害预测预警工程实验室, 四川 成都 610225; 2. 中国科学院大气物理研究所竺可桢—南森国际研究中心, 北京 100029)

摘要:为分析近60 a来中国华西地区秋季降水的时空变化特征及成因,采用1961–2020年CN05.1逐日降水量资料、NCEP/NCAR再分析资料以及采用线性趋势、小波分析以及合成分析等统计方法对华西地区秋季降水时空分布及环流背景进行分析。结果表明:中国华西地区近60 a来秋季累积降水、9月、10月和11月降水气候平均值分别为235.8 mm、127.9 mm、75.9 mm和32 mm,且存在明显“偏多—偏少—偏多”的年代际变化特征。受地形和环流影响,华西地区秋季降水空间分布极不均匀,其中季节累积降水在华西地区东部和西南部偏多,而西部和北部地区偏少,且存在多个降水大值中心,而9–11月各月降水大值中心逐渐向东南部移动,量级也随之减小。华西地区秋季降水指数能够较好地表征秋季降水的基本变化特征,基于该指数的小波分析结果表明华西地区秋季降水存在3 a、6 a、9 a和17 a的周期变化。华西地区秋季降水偏多和偏少年大气环流呈反位相变化特征,即降水偏多年巴尔喀什湖大槽加深,西太平洋副热带高压偏强且西伸北抬,源于西太平洋地区的水汽在华西地区辐合上升,有利于降水增加,反之亦然。

关键词:气象学;气候变化;华西地区;秋季降水;时空特征;合成分析

中图分类号:P467

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.05.015

0 引言

中国华西地区主要包括四川、重庆、云贵北部、湖北湖南西部,甘肃和陕西南部等地,区内地形地貌复杂,来自北方的冷空气与南方暖湿空气多在此汇集,从而形成华西地区秋季多雨的独特气候现象。华西地区秋季降水的主要特征表现为降水持续时间长、量级小,以绵绵细雨为主,降水量仅次于夏季。由于通常发生在秋收时期,长时间阴雨天气可对农业生产产生不利影响^[1],有时也会出现极端降水事件并诱发山体滑坡和泥石流等次生灾害^[2]。因此,华西地区秋季降水的时空特征及其异常机理一直备受关注。

不少学者从不同角度对华西地区秋季降水的时空变化特征及其环流背景进行了研究。20世纪80年代,已有研究指出华西地区秋季降水是引起长江上游秋汛的最直接原因,但华西地区秋季降水并非常年显著,而是存在明显的少雨和多雨的年际变化特征^[3]。在华西地区秋季降水的年际和年代际变化特征方面,徐金霞等^[4]发现华西地区秋季降水在20世纪80年代中期发生了年代际转折,具体为20世纪80年代中期以前秋季降水偏多,之后转为降水偏少,这与罗霄等^[5]的研究结果基本一致。陈凯等^[6]进一步指出华

西地区秋季降水的年代际突变发生在1998年前后,20世纪60年代至80年代中后期秋季降水为减少趋势,90年代至21世纪10年代为增加趋势。同时,一些研究^[7–9]还对华西地区秋季降水的多时间尺度周期特征进行了分析,相关研究结果表明华西地区秋季降水存在明显的准4 a和准6 a的周期变化。对华西地区秋季降水的个例分析^[10–13]也发现,引起华西地区秋季降水异常的主要环流系统包括能量锋区、乌拉尔山高压脊、南亚高压、巴湖槽、东亚急流轴向北加强移动、西太平洋副热带高压加强西伸以及东南亚西南季风等因素。此外,华西地区秋雨的多寡也与高原地表热源^[14]、印度洋偶极子^[15]、热带大气季内振荡^[16]、北半球欧亚秋季遥相关^[17]以及东亚西风急流强度^[18]等因子有关。上述研究加深了对中国华西地区秋季降水的认识,然而由于华西地区秋季降水的复杂性,仍需进一步采用时间尺度更长、空间分辨率更高的资料对华西秋季降水变化特征及其异常的环流背景进行诊断分析。鉴于此,本文利用1961–2020年高分辨率逐日格点降水资料和再分析资料,通过多种统计方法对华西地区秋季降水的时空变化特征及异常环流背景进行分析。

1 资料与方法

1.1 资料

降水量资料为基于全国2416个地面气象台站降

收稿日期:2022-09-26

基金项目:国家自然科学基金项目(41775072,42075019);国家重点研发计划项目(2018YFC1505702);第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK010203);四川省杰出青年科技人才计划项目(2019JDJQ0001)

水量观测数据通过“距平逼近”插值方法得到的CN05.1逐日降水格点数据集,其空间分辨率为 $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$ ^[19]。大气环流资料采用美国国家环境预报中心和美国国家大气研究中心(national centers for environmental prediction and national center for atmospheric research, NCEP/NCAR)提供的1961–2020年逐月再分析资料,要素包括风场、比湿场、地表气压场、高度场和垂直速度场,该资料空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ^[20]。

1.2 方法

采用施能^[21]定义的气候趋势系数分析华西地区秋季降水量的变化趋势;利用相关分析方法^[21]分析秋季降水与秋雨指数之间的相互关系;使用Morlet小波分析方法^[22–23]研究华西地区秋季降水变化的多尺度时频结构;利用合成分析方法^[24]分析华西地区秋季旱涝年对应的环流背景特征,并通过 t 检验方法^[21]进行显著性检验。本文秋季为9–11月,华西地区为($25^{\circ}\text{N} \sim 36^{\circ}\text{N}, 100^{\circ}\text{E} \sim 111^{\circ}\text{E}$)。

2 结果分析

2.1 华西地区秋季降水时间演变特征

图1为区域平均的华西地区秋季和9–11月降水量年际变化曲线。由图1(a)可知,华西地区秋季降水量的气候平均值为235.8 mm,而9–11月各月分别为

127.9 mm、75.9 mm和32 mm。进一步分析可以发现,华西地区秋季降水最多的年份出现在2014年,降水量达到308.3 mm,而最小值出现在1998年,仅为157.4 mm,其年代际变化大致可分为两个阶段,第一阶段从1961–1998年,降水量主要呈减少趋势;第二阶段从1999–2020年,秋季降水呈明显的增加趋势。从各年代平均值可知,从1960年代开始降水逐渐减少,到1990年代达到最低值,为208.2 mm,2000年代开始秋季降水量较前一年代略有增加,到2010年代降水迅速增加,达到最大,为270.4 mm。

进一步对秋季各月降水量的年代际特征进行分析。由9月降水量变化曲线(图1b)可知,降水最多的年份为2014年,降水量达到182.7 mm,最小值出现在1998年,仅有76.6 mm,该月降水量的年代际变化特征与秋季降水量基本一致,均表现为1960年代到1990年代减少,之后增加的变化趋势。从各年代平均值可以看出,1960年代到1980年代降水量变化不大,至1990年代达到最低值,之后缓慢增加,到2010年代开始迅速上升。华西地区10月最大降水量(图1c)出现在2017年,达到112.4 mm,最小为1979年,为48.5 mm,其年代际变化主要呈现“减少—增加—减少—增加”的趋势,其中1980年代降水量最少,为70.1 mm,而2010年代达到最大的82.5 mm。11月降水量(图1d)最大值出现在1963年,为63.5 mm,最小值为1988年,降水仅有12.3 mm,其年代际变化趋势相对并不显著。

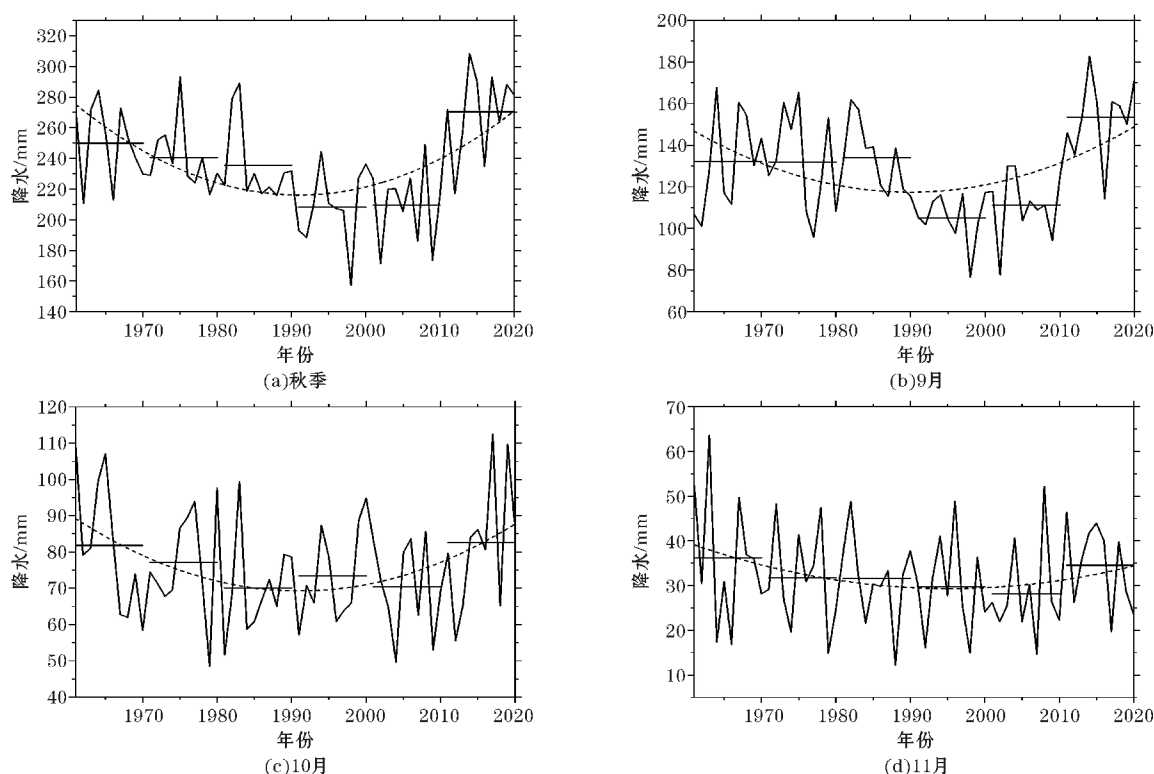


图1 华西地区秋季降水量区域平均值曲线(实线为时间序列,虚线为线性趋势,实直线为各年代平均值)

2.2 华西地区秋季降水空间分布特征

图2为多年平均的华西地区秋季及各月降水量空间分布。由秋季累积降水量空间分布(图2a)可知,受地形和环流系统影响,华西地区秋季降水的空间分布极不均匀,其大小在70~400 mm,主要表现出华西东部和西南部地区降水较多,而西部和北部地区降水较少的特征,且同时存在多个降水大值中心,其中最大降水中心位于重庆、四川和陕西三省交界地区,其次是位于四川西南部和云贵交界处的两个降水中心。进一步分析华西地区秋季各月降水量空间分布(图2b~d)可

知,秋季各月降水大值中心随时间逐渐向东南方向回撤,量级也随之减小,其中9月降水大值中心分布与秋季累积降水量大值中心基本一致,表明9月对秋季季节降水的贡献最大。

为进一步分析华西地区秋季降水量的地域特征,给出了降水百分率的空间分布图(图3)。由图可知,华西地区秋季累积降水量占全年总降水量比例在12%~31%,且北部高于南部,其最大中心位于陕西南部,相较于降水大值中心明显北移,而最小中心主要位于四川东南部和贵州东部(图3a)。9~11月(图3b~d)降水百分率逐渐减小,且大值中心同样较降水量中心有所北移。

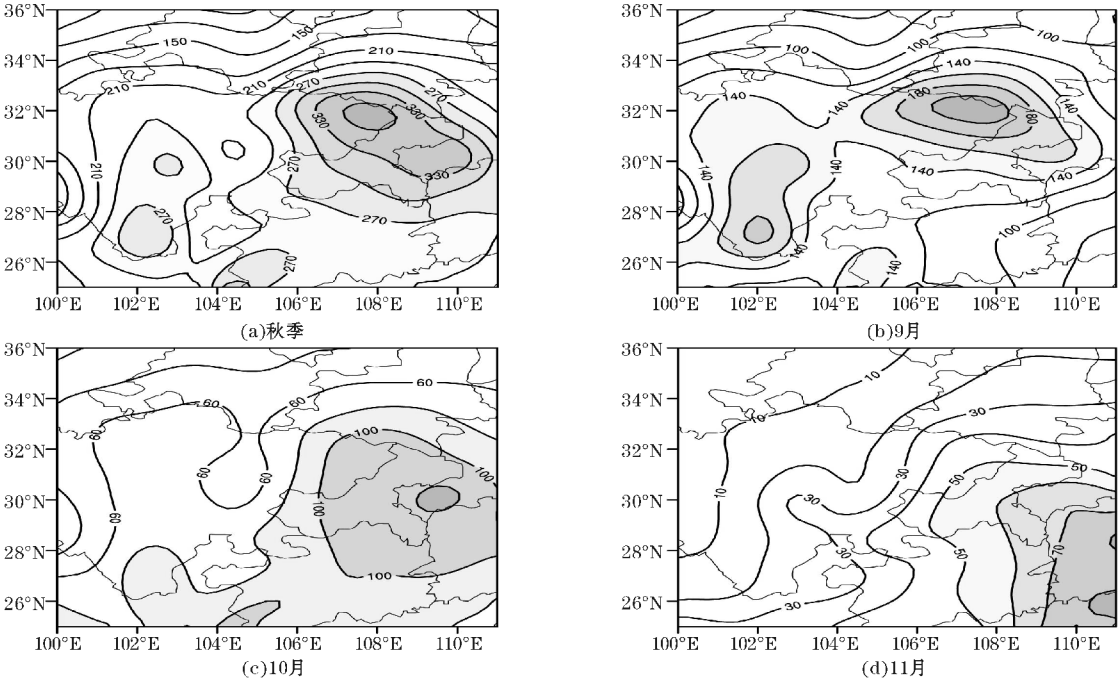


图2 华西地区秋季降水量空间分布

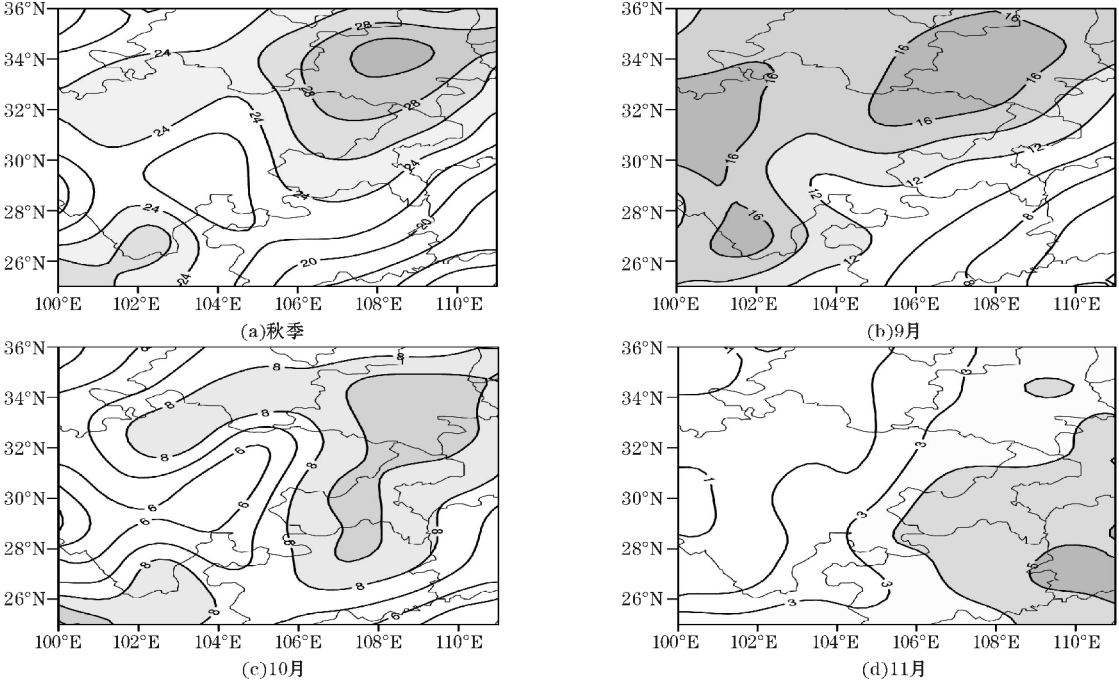


图3 华西地区秋季降水百分率空间分布

图 4 为华西地区秋季及各月降水的趋势相关系数空间分布。由图 4(a)可知,秋季累积降水量变化趋势较为复杂,主要表现为降水增加、减少区域交错分布的特点,其中降水显著增加的区域分别位于川西高原、重庆北陕西交界地区以及湖南西部地区,而降水量显著减少的区域则主要集中在陕甘交界地区、四川盆地中部以及云贵一带。9 月华西地区降水量趋势系数空间

分布(图 4b)与秋季累积降水量相似,但除贵州降水显著增加外,其余显著变化区面积均有所减小。10 月华西地区降水量趋势系数(图 4c)则主要表现为华西地区中部增加、南部减少的趋势,主要的增加中心位于重庆北部和四川西北部。11 月降水量趋势系数空间分布(图 4d)由西往东变线为“增加—减少—增加”的特征,但仅有贵州和云南部分地区通过显著性检验。

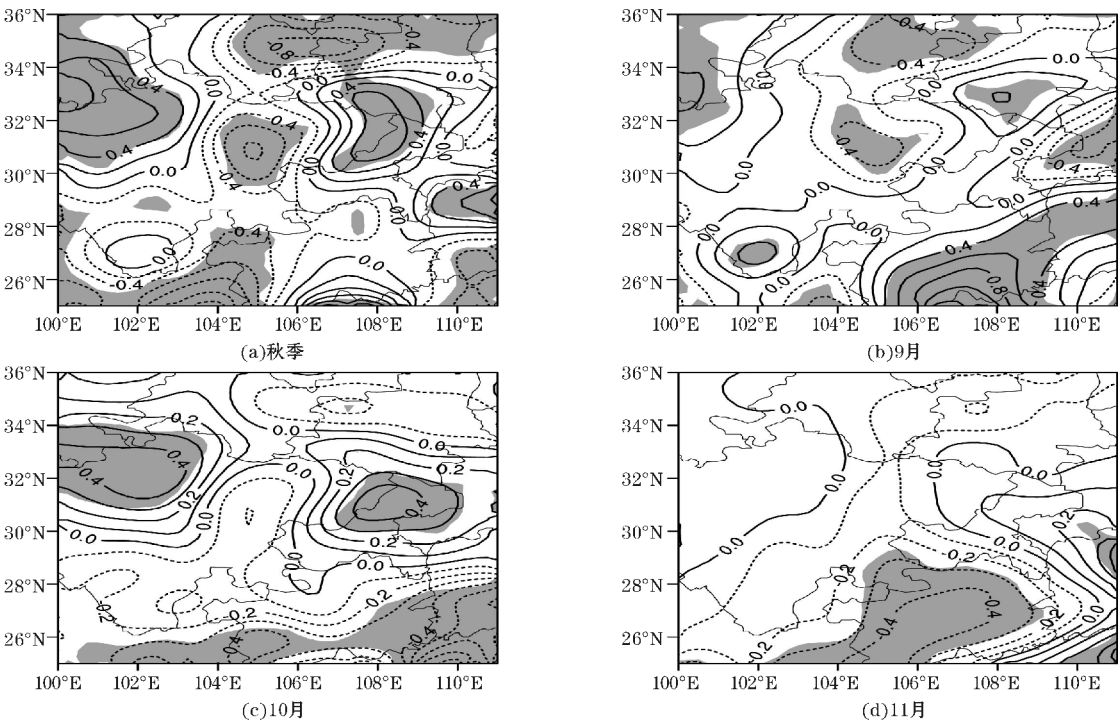
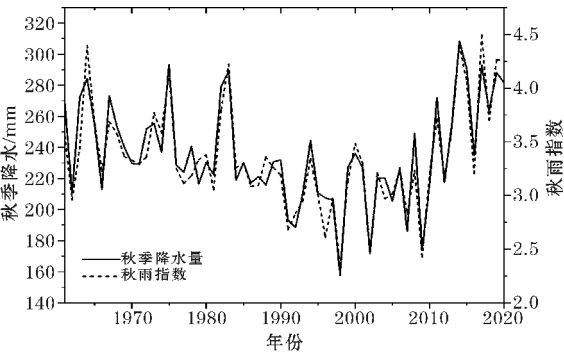


图 4 华西地区秋季降水变化趋势(阴影区代表通过 95% 的显著性水平检验)

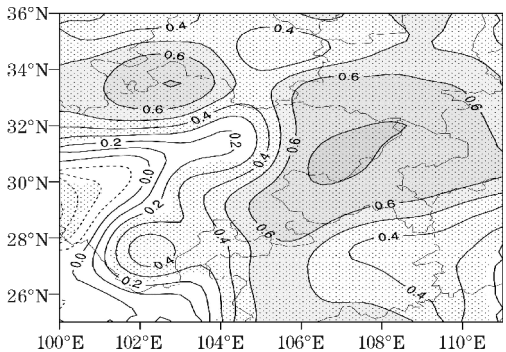
2.3 华西地区秋季降水指数变化特征

以往研究^[25]指出,9-10 月降水异常对秋季整体降水的空间分布起着决定性作用,由上文分析也可发现,11 月华西地区降水量较少,对秋季累积降水的影响并不明显。因此,进一步将华西地区 9-10 月平均降水定义为秋季降水指数以表征该地区秋季降水的总体变化特征(图 5)。从图 5(a)可知,华西地区秋季降水总量与秋季降水指数

的变化基本一致,其相关系数达到 0.94,通过 95% 的显著性水平检验,而从秋季降水指数与秋季降水量的空间相关系数分布(图 5b)也可发现,相关系数以显著的正相关为主,仅川西高原少部分地区为负相关分布,除云南和四川西部部分地方没有通过显著性水平检验,其余区域都通过了 95% 显著性水平检验,这与 Zhu 等^[26]的研究结果一致,因此采用秋季降水指数表征华西地区秋季降水量的变化特征是较为合理的。



(a) 秋季累积降水量及秋季降水量指数



(b) 秋季降水量与秋季降水量指数的相关系数空间分布

图 5 华西地区秋季降水量、秋季降水量指数曲线及其相关系数空间分布(打点区域代表通过 95% 的显著性水平检验)

为分析华西地区秋季降水的周期特征,采用 Morlet 小波分析方法对秋雨指数进行了周期分析(图 6)。由图 6(a)可知,1961–2020 年华西地区秋季降水主要存 2~4 a 短震荡周期、6~12 a 和 14~20 a 中震荡周期以及 25~32 a 长震荡周期。进一步由图 6(b)小波方

差分布可知,华西秋季降水存在多个明显的峰值,分别为 3 a、6 a、9 a 和 17 a,其中 17 a 的震荡周期最强,是华西地区秋季降水的第一主周期,对应秋季降水存在多次“偏少—偏多”的中周期交替变化。

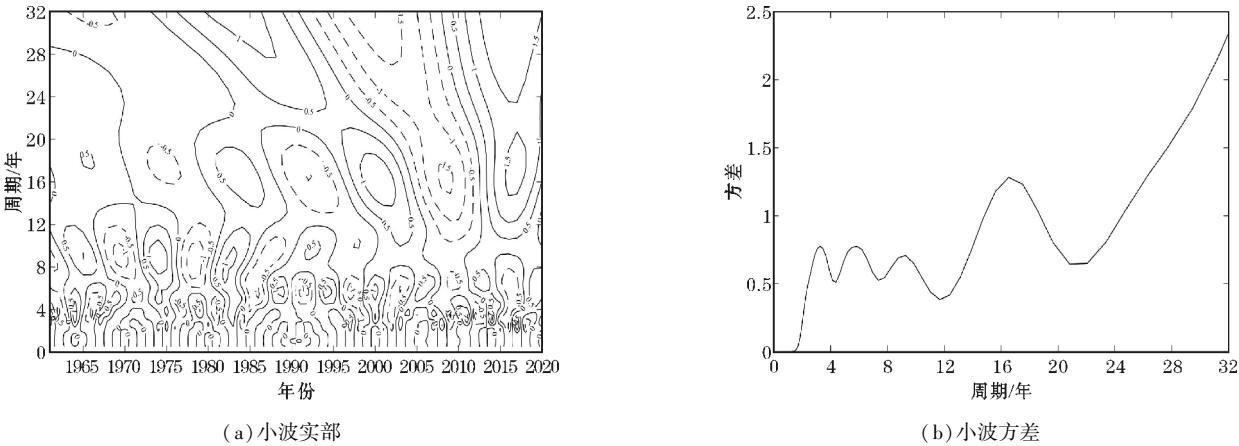


图 6 华西地区秋雨指数 Morlet 小波分析结果

2.4 与华西地区秋季降水异常相关的环流特征

为进一步探讨影响秋季降水的环流背景,对华西地区秋季降水极端旱涝年进行合成分析。首先计算华西地区秋季降水指数的标准化时间序列,选取大于 1 的年份为降水偏多年,小于 -1 的年份为降水偏少年(表 1)进行合成。

表 1 极端旱涝年及降水指数标准化值

| 降水偏多年 | | 降水偏少年 | |
|-------|----------|-------|-----------|
| 年份 | 标准化值 | 年份 | 标准化值 |
| 1964 | 2.154069 | 1991 | -1.396888 |
| 1975 | 1.648639 | 1992 | -1.075158 |
| 1983 | 1.798212 | 1996 | -1.541471 |
| 2014 | 2.16086 | 1998 | -2.103279 |
| 2015 | 1.453905 | 2002 | -1.859593 |
| 2017 | 2.359536 | 2007 | -1.097216 |
| 2019 | 1.888906 | 2009 | -1.924131 |
| 2020 | 1.85588 | | |

水汽是导致降水异常的关键影响因子。图 7 为华西地区秋季降水偏多和偏少年 850 hPa 风场、整层积分的水汽通量和水汽通量散度合成图。由降水偏多年 850 hPa 风场合成场(图 7a)可知,巴尔喀什湖以东为明显的异常反气旋环流中心所控制,其南侧为显著的偏东异常气流,可将北太平洋地区水汽输送至华西地

区,而华西地区南部则为异常的偏南气流控制,大量源于印度洋和西太平洋的暖湿气流通过气流输送至华西地区,两支异常气流在华西地区相遇有利于降水增加。从整层积分的水汽通量差值场(图 7c)可知,影响华西地区降水异常的水汽主要来自西太平洋地区。进一步从水汽通量散度差值场(图 7e)发现,华西地区大部分为水汽通量散度的显著负异常中心,表明大量水汽在该地区辐合,有利于华西地区秋季降水增加。由降水偏少年 850 hPa 风场(图 7b)、水汽通量场(图 7d)和水汽通量散度合成图(图 7f)可知,与涝年相反,华西地区上空主要以偏北气流为主,其水汽含量远小于涝年,并且以辐散为主,不利于华西地区降水发生。

图 8 为华西地区秋季降水偏多和偏少年海平面气压和 500 hPa 位势高度场合成图。在降水偏多年海平面气压合成场(图 8a)上,东亚地区海平面气压为东正西负分布,华西地区主要为负值分布,而降水偏少年则相反,东亚地区海平面气压差值场为西正东负形势,华西地区主要为正异常分布,表明大陆性高压增强,副热带高压减弱,不利于华西地区降水形成。进一步由 500 hPa 位势高度差值场可以发现,降水偏多年在巴尔喀什湖以东为显著的负异常中心,中国中东部为显著的正异常中心,这与早年 500 hPa 位势高度分布相反,表明华西地区秋季降水与巴尔喀什湖大槽和西太平洋副热带高压联系密切,当巴尔喀什湖大槽加深,太平洋副热带高压增强并西伸北抬时有利于华西地区秋季降水形成,反之亦然。

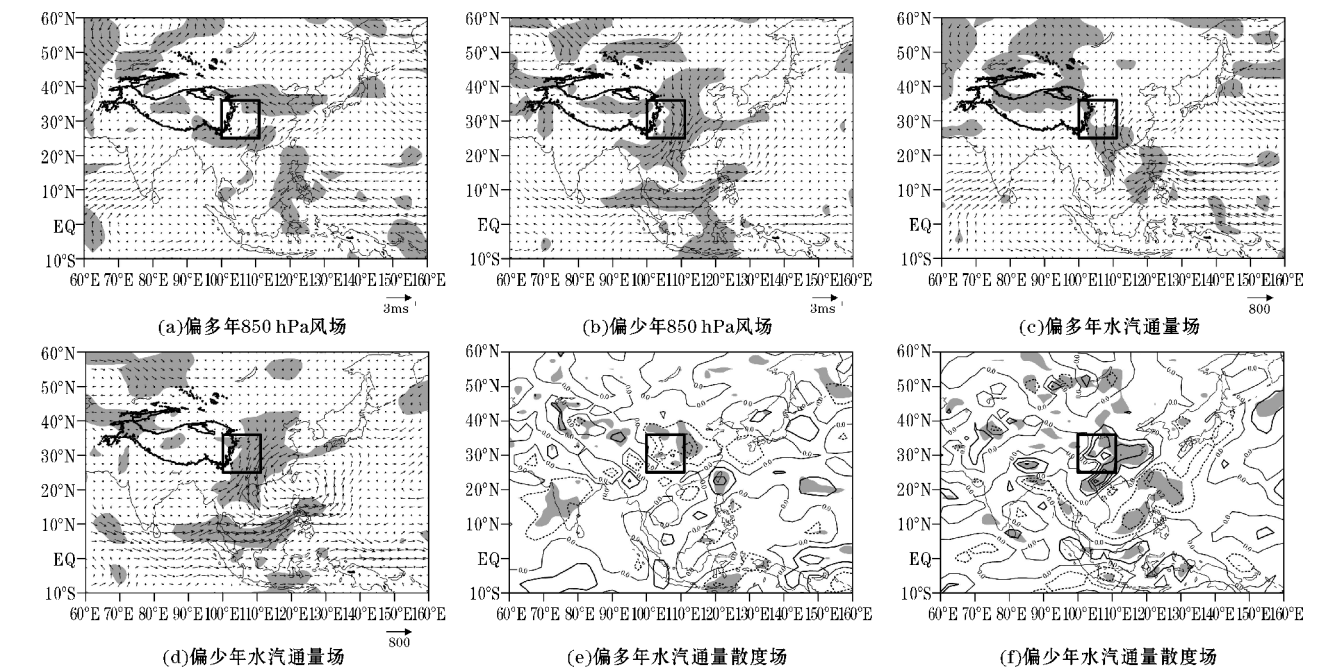


图 7 华西地区秋季降水异常年风场、水汽通量和水汽通量散度合成图(阴影区域和打点区域代表通过 90% 的显著性水平检验,黑色等值线表示海拔大于 3000 m)

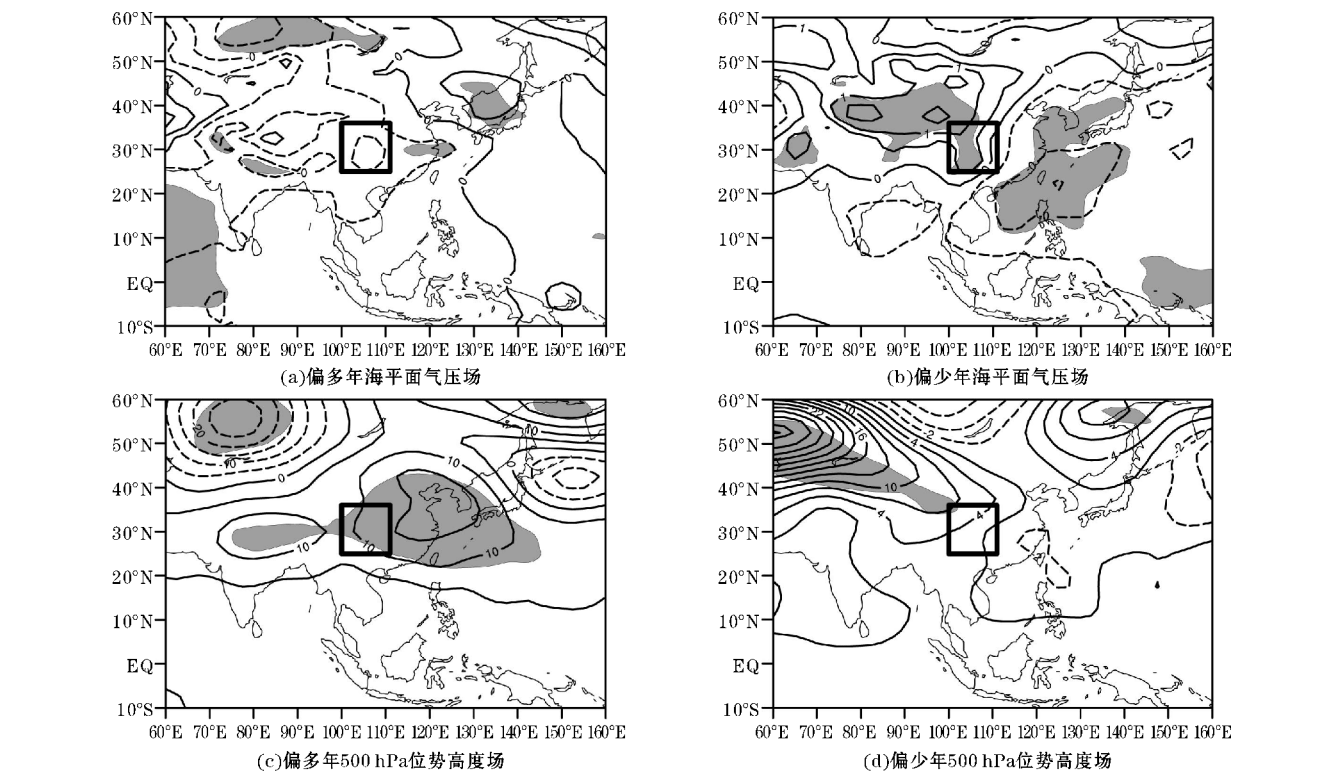


图 8 华西地区秋季降水异常年海平面气压场和 500 hPa 位势高度场合成图

垂直速度对大气水汽和能量的垂直输送有重要影响^[27]。图 9 为华西地区秋季垂直速度沿 100 °E ~ 111 °E 的垂直剖面图。由图可知,华西地区秋季降水偏多和偏少年垂直速度差值存在明显差异,降水偏多年华西地区上空垂直速度为负值分布为主,最大负中

心出现在 30 °N ~ 35 °N 附近,表明华西地区上空气流主要为上升运动为主,有助于降水形成,而降水偏少年在 华西地区上空为垂直速度正值中心所控制,表明降水偏少年华西地区主要为下沉运动,不利于对流活动增强。

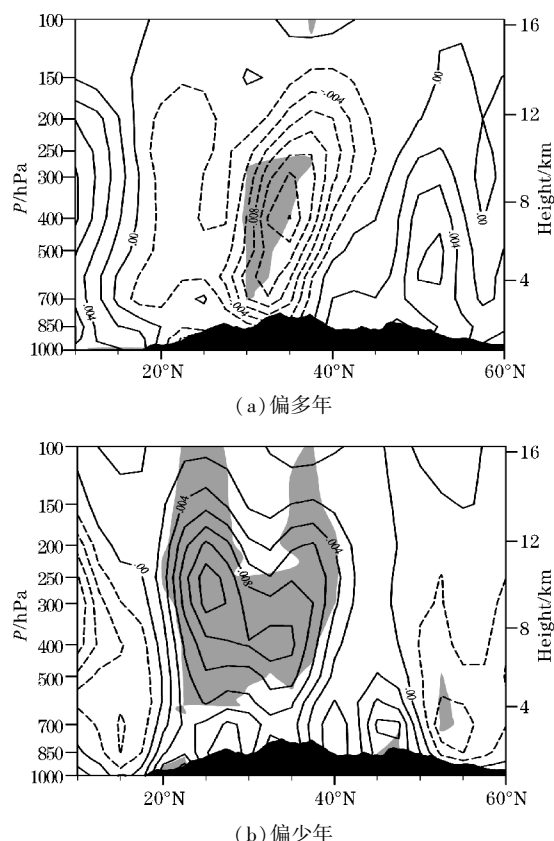


图9 华西地区秋季垂直速度沿 100°E ~ 111°E 垂直剖面图

3 结论

本文利用 1961–2020 年 CN05.1 逐日降水量资料和 NCEP/NCAR 再分析资料,通过线性趋势、小波分析以及合成分析等统计方法对近 60 a 来中国华西地区秋季降水的时空变化特征及异常的环流背景进行了分析,得到以下结论::

(1) 华西地区近 60 a 来秋季累积降水、9 月、10 月和 11 月降水气候平均值分别为 235.8 mm、127.9 mm、75.9 mm 和 32 mm,且存在明显“先增加后减少”的年际变化特征,以及“偏多—偏少—偏多”的年代际变化特征。

(2) 受地形和环流影响,华西地区秋季降水的空间分布极不均匀,其中秋季累积降水主要表现为华西地区东部和西南部地区降水较多,而西部和北部地区降水较少的特征,且存在多个降水大值中心,最大降水中心位于重庆、四川和陕西三省交界地区,而 9–11 月各月降水大值中心逐渐向东南部移动,量级也随之减小,其中 9 月对秋季季节降水的贡献最大。

(3) 秋季累积降水量的变化趋势较为复杂,主要表现为降水增加、减少交错分布的特点。9 月变化趋势与秋季累积降水量相似,10 月则主要表现为华西地区中部增加,南部减少的趋势。11 月降水量趋势系数空间分布由西往东变线为“增加—减少—增加”的特征。

(4) 根据 9、10 月降水量定义的秋季降水指数能

够较好地表征华西地区秋季降水的基本变化特征,小波分析表明华西地区秋季降水存在 3 a、6 a、9 a 和 17 a 的准震荡周期,第一主周期经历了多次“偏少—偏多”交替变化。

(5) 华西地区秋季降水偏多和偏少年大气环流表现出反位相变化特征,降水偏多年巴尔喀什湖大槽加深,西太平洋副热带高压增强且西伸北抬,源于西太平洋地区的水汽在华西地区辐合上升,有利于降水增加,反之亦然。

参考文献:

- [1] 白虎志,董文杰. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象,2004,23(6):884–889.
- [2] 鲍媛媛,李勇,康志明. 2017 年华西极端秋雨的季风环流异常特征及机理[J]. 高原气象,2020,39(3):560–569.
- [3] 冯丽文,郭其蕴. 华西秋雨的多年变化[J]. 地理研究,1983,2(1):74–84.
- [4] 徐金霞,郭海燕,王钦,等. 华西秋雨的空间分型及其特征分析[J]. 高原山地气象研究,2019,39(1):26–33.
- [5] 罗霄,李栋梁,王慧. 华西秋雨演变的新特征及其对大气环流的响应[J]. 高原气象,2013,32(4):1019–1031.
- [6] 陈凯,钟霖浩,华丽娟,等. 华西秋雨趋势变化的年代际转折及其成因分析[J]. 气候与环境研究,2020,25(1):90–102.
- [7] 蒋竹将,马振峰,刘佳,等. 一种改进的华西秋雨指数及其气候特征[J]. 大气科学,2014,38(1):32–44.
- [8] 王春学,马振峰,王佳津,等. 华西秋雨准 4 年周期特征及其与赤道太平洋海表温度的关系[J]. 大气科学,2015,39(3):643–652.
- [9] 王春学,马振峰,邵鹏程,等. 中国华西秋雨的气候变化规律及其影响因子[J]. 干旱区研究,2015,32(6):1113–1121.
- [10] 鲍媛媛,阿布力米提,李峰,等. 2001 年华西秋雨时空分布特点及其成因分析[J]. 应用气象学报,2003,14(2):215–222.
- [11] 柳艳菊,孙冷,孙丞虎,等. 2011 年秋季华西秋雨异常及成因分析[J]. 气象,2012,38(4):456–463.
- [12] 方建刚,易俊莲. 2011 年陕西秋季强连阴雨天气的大气环流异常特征分析[J]. 灾害学,2013,28(1):6–10.
- [13] Botao Zhou, Zunya Wang. Enlightenment from heavy autumn rain of West China in 2017: synergic role of atmospheric circulation at mid-high latitudes and oceanic background[J]. Theoretical and Applied Cli-

- matology, 2019, 138(1-2): 263-274.
- [14] 陈忠明, 刘富明, 赵平, 等. 青藏高原地表热状况与华西秋雨[J]. 高原气象, 2001, 20(1): 94-99.
- [15] 刘佳, 马振峰, 杨淑群, 等. 印度洋偶极子和华西秋雨的关系[J]. 高原气象, 2015, 34(4): 950-962.
- [16] 赵佳玉, 马振峰, 范广洲. 热带大气季节内振荡对华西秋雨的影响[J]. 高原气象, 2016, 35(6): 1487-1497.
- [17] 徐金霞, 闫彩霞, 钟燕川, 等. 北半球秋季欧亚遥相关与华西秋雨的关系[J]. 气象科技, 2017, 45(3): 492-498.
- [18] 尹才虎, 肖天贵, 杨明鑫, 等. 东亚西风急流与中国华西秋雨降水的相关分析[J]. 自然科学, 2019, 7(6): 515-530.
- [19] 吴佳, 高学杰. 一套格点化的中国区域逐日观测资料及与其它资料的对比[J]. 地球物理学报, 2013, 56(4): 1102-1111.
- [20] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, 77(3): 437-471.
- [21] 施能. 气象科研与预报中的多元统计分析方法[M]. 北京: 气象出版社(第二版), 2002: 14-15.
- [22] 胡增臻, 石伟. 子波变换在大气科学中的应用研究[J]. 大气科学, 1997, 21(1): 58-72.
- [23] 林振山, 邓自旺. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 1-56.
- [24] 施能, 古文保. 大气环流异常分析中使用合成方法的一个问题[J]. 气象, 1993, 19(9): 32-34.
- [25] 梁萍, 周兵, 马悦, 等. 2017年秋季华西秋雨的多时间尺度变化特征及成因分析[J]. 气象, 2019, 45(8): 1104-1112.
- [26] Zhiwei Zhu, Rui Lu, Huiping Yan, et al. Dynamic origin of the interannual variability of west China autumn rainfall[J]. Journal of Climate, 2020, 33(22): 9643-9652.
- [27] 万云霞, 朱保林, 张万诚, 等. 云南秋季降水的变化特征及其成因分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1): 62-71.

Analysis of Temporal and Spatial Characteristics of Autumn Precipitation in Western China in Recent 60 Years

DENG Huan¹, HUA Wei^{1,2}, FENG Liangliang¹, XIA Changji¹, DENG Hao¹

(1. College of Atmospheric Sciences/Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province/Engineering Laboratory of Meteorological Disasters Prediction and Early Warning of Sichuan Province, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: In order to explore the temporal and spatial variation characteristics and causes of autumn precipitation in West China in recent 60 years, combined with CN05.1 daily precipitation data and NCEP/NCAR reanalysis data from 1961 to 2020, the temporal and spatial distribution and circulation background of autumn precipitation in West China are analyzed and studied by using statistical analysis methods such as linear trend, wavelet analysis and composite analysis. The results show that the climatic average values of autumn cumulative precipitation, September, October and November precipitation in West China in recent 60 years are 235.8 mm, 127.9 mm, 75.9 mm and 32 mm respectively, and there is an obvious interdecadal variation characteristic of "more-less-more". Affected by topography and circulation, the spatial distribution of autumn precipitation in West China is extremely uneven. The seasonal cumulative precipitation in autumn is mainly characterized by more precipitation in the East and southwest of West China, while less precipitation in the West and North, and there are several large precipitation value centers. From September to November, the large precipitation value centers gradually move to the southeast, and the magnitude decreases. The autumn precipitation index in West China can better reflect the basic variation characteristics of autumn precipitation, and the result of Morlet wavelet analysis based on this index shows that the autumn precipitation in West China has periodic changes of 3 years, 6 years, 9 years and 17 years. In the autumn drought and flood years in West China, the atmospheric circulation shows the characteristics of inverse phase change. In the flood years, the trough of Lake Balkash deepens abnormally, the West Pacific subtropical high locates more westward and northward with stronger intensity, and the water vapor from the West Pacific region converges and rises in West China, which is conducive to the increase of precipitation, and vice versa.

Keywords: meteorology; climate change; West China; autumn precipitation; temporal and spatial variation; composite analysis