

蔡新玲,程肖侠,张丽君. 1961—2021年陕西省区域性暴雨过程特征及其变化[J]. 陕西气象,2024(4):20-25.

文章编号:1006-4354(2024)04-0020-06

# 1961—2021年陕西省区域性暴雨过程特征及其变化

蔡新玲<sup>1,2</sup>,程肖侠<sup>1,2</sup>,张丽君<sup>2</sup>

(1. 陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室,西安 710016;

2. 陕西省气候中心,西安 710014)

**摘要:**利用1961—2021年陕西省99个国家级气象观测站逐日降水数据,给出了陕西省区域性暴雨过程识别方法;以暴雨过程平均强度、平均影响范围和持续时间为指标,建立了区域性暴雨过程综合强度评估模型,在此基础上分析了陕西省区域性暴雨过程特征及其变化。结果表明:(1)陕西区域性暴雨在4—11月均有出现,主要在6—9月;区域性暴雨一般持续1~2 d,平均1.2 d。(2)陕西区域性暴雨过程年均7.8次,年际变化较大;从长期变化来看,一般等级的暴雨过程趋于减少,而偏强等级的暴雨过程在明显增多。(3)首次区域性暴雨出现日期平均为5月31日,末次出现日期平均为9月20日;首次和末次出现日期的年际变化较大,且首次过程出现日期呈提前趋势,特别是近20 a明显提前,而末次过程出现日期没有明显的趋势变化。(4)陕西区域性暴雨可分为东南部型、中南部型、偏西型和偏北型4种空间型,其中中南部型的降水强度较其他分布型更强,强降水范围也更大。

**关键词:**区域性暴雨;综合评估;变化趋势;陕西

**中图分类号:**P426.6

**文献标识码:**A

区域性暴雨过程是引发区域性洪涝、中小河流洪水、地质灾害等次生灾害的主要致灾因素<sup>[1-2]</sup>。国内学者对区域性暴雨过程的客观评估做了大量卓有成效的研究工作<sup>[3-6]</sup>。早期的研究大多选取区域降水量、降水强度极值、覆盖范围和持续时间等评估指标,对每个指标作正态化转换,再运用权重分析法建立暴雨过程综合强度评估模型。袭祝香<sup>[7]</sup>、袁慧敏<sup>[8]</sup>、邹燕<sup>[9]</sup>等分别对吉林省、长江中下游、福建省的区域性暴雨过程进行了分析评估;蔡新玲等<sup>[10]</sup>采用平均降水量、区域和单站日最大降水量、覆盖范围和持续时间等5个指标建立了陕西省区域性暴雨过程评估模型,并对暴雨过程进行了等级划分。近年来,在充分考虑区域性过程事件的空间连续性和时间持续性的基础上,钱维宏<sup>[11]</sup>通过判定单站暴雨的持续性并

根据暴雨站点的相邻距离将其进行聚合,从而客观识别区域性强降水事件;任福民等<sup>[12]</sup>提出了基于“糖葫芦串”模型的区域性极端天气气候事件客观识别方法(OITREE),周杰等<sup>[13]</sup>利用该方法对西南地区东部区域性暴雨事件进行识别,确定了相应参数,发现该方法对西南地区东部的区域性暴雨事件具有较好的识别能力。

钱维宏<sup>[11]</sup>和任福民<sup>[12]</sup>的方法对区域性暴雨事件的客观描述更加细致和合理,但方法技术繁琐,识别过程复杂,应用推广不便。早期针对不同区域的暴雨过程,选取的指标和方法不同,所得评估结果的可比性不强。为规范全国范围和省级区域性暴雨过程的监测与评估,2019年中国气象局发布了《区域性重要过程监测和评价业务规定》(气预函〔2019〕63号)。为使上述规定中的省级

收稿日期:2023-07-27

作者简介:蔡新玲(1969—),女,汉族,陕西周至人,硕士,正高,主要从事气候变化监测评估工作。

基金项目:陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-4;2023G-8);陕西省科技厅重点研发计划项目(2024SF-YBXM-559)

区域性暴雨过程监测和评价方法适用于陕西省,本文采用“追踪式”客观识别方法<sup>[14]</sup>,以区域性暴雨过程平均强度、平均影响范围、持续时间3个基本要素,按照不同幂指数权重累乘法建立综合强度评估模型。在此基础上分析陕西省区域性暴雨过程时空特征及其变化,为重大灾害过程评估、制定防灾应急预案和灾害响应以及延伸期暴雨过程预测提供参考。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料说明

资料为陕西省气象信息中心提供的全省99个国家气象站1961—2021年逐日降水量数据。

### 1.2 区域性暴雨过程的识别与评估方法

区域性暴雨过程的识别与评估方法参考国标《区域性暴雨过程评估方法》(GB/T 42075—2022)和陕西省现行气候监测评估业务技术规定。

(1)区域性暴雨过程识别。某日至少有相邻4个(约4%)国家站日降水量 $\geq 50$  mm确定为区域性暴雨日。出现1个或以上区域性暴雨日,则为一次区域性暴雨过程。

(2)区域性暴雨过程评估指标。①持续时间( $T$ ):满足区域性暴雨过程条件的开始日与结束日之间的累计日数(单位为d)。②平均影响范围( $A_a$ ):以暴雨过程中平均日暴雨站数表征。③平均强度( $I_a$ ):以暴雨过程中平均每天每个暴雨站点的降水量表征(单位为mm)。④综合强度( $Z$ ):综合考虑一次区域性暴雨过程的平均强度、平均影响范围和持续时间确定该次过程的综合强度指数( $Z$ ),其计算公式为

$$Z = f(I_a, A_a, T) = I_a A_a^{0.5} T^{0.5}。$$

(3)区域性暴雨过程综合强度等级划分。基于气候态(1991—2020年)各次区域性暴雨过程综合强度指数,采用百分位数法,计算并确定第50、第80和第95百分位数阈值,将暴雨过程划分为一般(I级)、较强(II级)、强(III级)、特强(IV级)4个等级<sup>[2]</sup>。

暴雨过程的判定以20—20时的日降水量为主,用08—08时的日降水量对暴雨过程进行了补充(共60次,占12.6%)。如:2021年4月23—24日,按20—20时日降水量统计仅有2站暴雨,

但按照08—08时统计有14站暴雨,满足区域性暴雨条件。

## 2 陕西区域性暴雨过程基本特征

对1961—2021年逐日降水资料进行统计回算,共识别出了478次区域性暴雨过程。对478次区域性暴雨过程的综合强度指数进行排序,综合强度排在前10位的暴雨过程,如1998年7月7—8日、2010年7月23—24日、2003年8月29日—9月1日、2011年9月17—18日、1981年8月15—19日、1983年7月29—31日、2021年8月22日等,这些暴雨过程均引发了严重的洪涝灾害,在《中国气象灾害大典》(陕西卷)<sup>[15]</sup>和近几年的陕西气候影响评价中均有记载。由此说明,本文所采用的区域性暴雨过程识别标准和评估技术具有客观、合理性,在一定程度上能够反映出重大暴雨过程的综合影响。

### 2.1 时间分布

陕西区域性暴雨过程在4—11月均有出现,最早出现在4月1日(2015年),最晚出现在11月13日(1994年)。各月出现次数呈单峰型分布(图1)。7月出现次数最多,61 a共出现155次(年均2.5次);其次为8月,共132次(年均2.2次);9月共79次(年均1.3次);6月54次(年均0.9次);4月、5月、10月、11月相对较少,年均不足0.5次。区域性暴雨过程主要出现在6—9月,占全年的87.8%,其中7—8月占全年的60%。

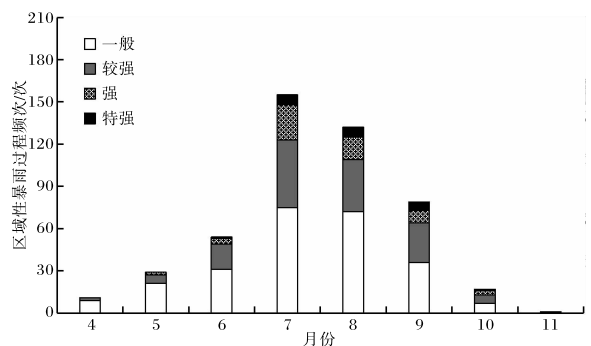


图1 1961—2021年陕西省区域性暴雨过程频次月变化

从各等级的分布来看,强等级暴雨在5—10月均有出现,主要在7—9月,占7—9月暴雨过程的14.8%;特强等级暴雨在6—10月均有出现,主要在7—9月,占7—9月暴雨过程的6%。61 a

中6月和10月各出现过1次特强暴雨过程,分别为2002年6月8—9日和2021年10月3—6日。

## 2.2 持续时间

陕西区域性暴雨过程一般持续1~2 d,平均1.2 d,持续1 d的过程数占总过程的82.4%,持续2 d的过程占总过程的14.1%,持续3 d以上的过程很少,最长持续5 d,为1981年8月15—19日的区域性暴雨过程。从各月分布来看,4—5月的区域性暴雨持续时间短,均不超过1 d,持续3 d的区域性暴雨主要出现在7月和9月,持续4 d及以上的区域性暴雨主要出现在8月中下旬,这可能与8月中下旬开始的冬夏季风转换有关。8月中下旬冬季风开始加强,副高南撤,对流层低层青藏高原东侧的西南暖湿气流和副高外围的东南暖湿气流与滞留在秦岭一带的冷空气相遇,会形成较长时间的阴雨天气。由于处于副高外围的高温高湿带,对流上升活跃,阴雨天气中常伴有暴雨、大暴雨的出现<sup>[16]</sup>。

## 2.3 覆盖范围

陕西区域性暴雨过程的平均覆盖范围为10站,最大范围为55站。影响范围最广的区域性暴雨过程是1998年7月7—8日的过程,暴雨波及关中、陕南55县(区),覆盖全省约50%面积。暴雨过程覆盖范围的出现频率随覆盖站数的增加而迅速减小(图略)。覆盖范围在4~8站之间时,出现频率由22.0%快速下降至6.7%。覆盖范围在9~14站时,出现频率在3.8%~5.2%之间。覆盖范围在15站以上时,出现频率较低,在2.5%以下,20站以上的区域性暴雨较少出现。

## 2.4 区域分布

从1961—2021年陕西省区域性暴雨事件发生总频次的区域分布(图略)可见,陕西省区域性暴雨事件发生频次存在明显的区域差异,发生次数最多的是陕南的镇巴站,共发生138次,发生次数最少的是陕北的定边站,仅发生5次。秦岭以北的区域性暴雨次数明显偏少,少于20次的站点主要位于陕北西北部的长城沿线。秦岭以南的区域性暴雨过程一般在60次以上,80次以上的站点共有9个,主要位于陕南中南部的大巴山区。

## 3 陕西区域性暴雨过程变化特征

### 3.1 首次和末次日期

区域性暴雨过程首次和末次出现时间对年内启动和结束防洪抗旱工作具有重要指示意义。1961—2021年,陕西首次区域性暴雨过程出现日期平均为5月31日,末次出现日期平均为9月20日。受东亚夏季风及其雨带北推和南撤的影响,首次和末次区域性暴雨过程一般出现在陕南,陕北和关中的区域性暴雨过程开始晚而结束早。

1961—2021年,陕西省首次区域性暴雨过程出现日期年际变化大(图2),其中2015年首次区域性暴雨过程出现最早,为4月1日,2001年最晚,为7月27日,最早和最晚相差近4个月。首次区域性暴雨过程出现日期在20世纪60年代和90年代偏晚,70年代和80年代接近正常,21世纪第2个10 a明显偏早。近61 a来,首次区域性暴雨过程出现日期年际变化呈提前趋势,线性趋势率为-3.1 d/10 a;特别是近20 a明显提前,线性趋势率为-16.8 d/10 a。

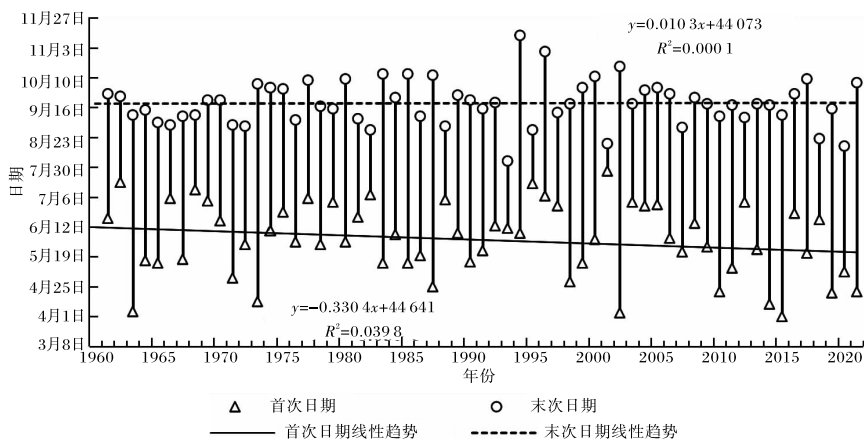


图2 1961—2021年陕西省首次和末次区域性暴雨过程出现日期的年际变化

1961—2021年,陕西省末次区域性暴雨过程出现日期的年际变化亦较大(图2),其中1994年末次区域性暴雨过程出现最晚,为11月13日,1993年出现最早,为8月4日,最早和最晚相差3个半月。末次区域性暴雨过程出现日期在20世纪60年代明显偏早,70年代至90年代接近正常,21世纪略偏早。近61a来,年末次区域性暴雨过程出现日期没有明显的提前或推后的趋势变化。

将一年中首次和末次区域性暴雨过程出现日期之间的时段称之为区域性暴雨过程发生期。1961—2021年,陕西省年均区域性暴雨发生期为110d,年际变率大。2002年最长,达199d,2001年最短,仅23d,最长与最短相差200多d;年区域性暴雨过程发生期年代际的变化较为明显,20世纪60年代明显偏短,70年代至21世纪第1个10a接近正常,21世纪第2个10a偏长。近61a来,区域性暴雨过程发生期年际变化呈增长趋势,线性趋势率为3.2d/10a,但未通过显著性检验。

### 3.2 频次

1961—2021年,陕西区域性暴雨过程频次年际变化大,阶段性变化特征较明显(图3)。区域性暴雨过程多年平均为7.8次,2021年最多(21次),其次是1998年(13次),1993和2001年最少(3次),最多是最少年的7倍。从二项式滑动平均看,20世纪60年代和90年代至21世纪初期暴雨过程偏少,70年代至80年代和近10a略偏多。从长期变化来看,区域性暴雨过程的年际变化呈微弱增多趋势,线性趋势率为0.4次/10a,未通过显著性检验。

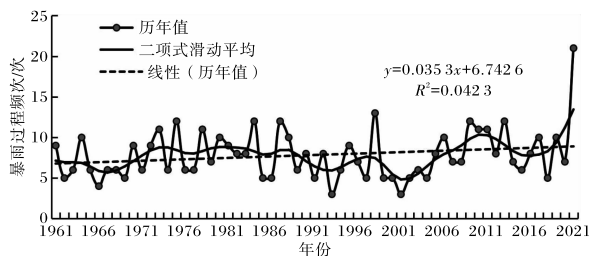


图3 1961—2021年陕西省区域性暴雨过程频次的年际变化

近61a陕西478次区域性暴雨过程中:特强等级过程22次,占总过程的4.6%,平均3a出现1次;强等级过程59次,占12.3%,平均1a出现1次;较强等级过程146次,占30.1%,年均2.4次;一般过程251次,占52.5%,年均4.1次。从不同等级暴雨在各年代的分布来看,特强暴雨过程在20世纪80年代最多,强和较强等级的暴雨过程在21世纪第2个10a最多。从长期的线性变化趋势来看,一般等级的暴雨过程频次在减少,而较强、强及特强等级的暴雨过程均在增多(图略),且较强和特强过程的增多趋势明显,通过了0.05显著性检验。

### 3.3 综合强度

1961—2021年,陕西平均单次区域性暴雨过程综合强度指数为208.8,2011年最大,其次是1998年,再依次为1983、1981、2007年,单次区域性暴雨过程的平均综合强度的年际变化呈显著增强趋势(图4),线性趋势率为 $5.9(10\text{ a})^{-1}$ ,其趋势相关系数为0.33,通过0.01的显著性检验。年最强暴雨过程综合强度的年际变化也呈显著增强趋势,线性趋势率为 $16.4(10\text{ a})^{-1}$ ,其趋势相关系数为0.30,通过0.05的显著性检验。

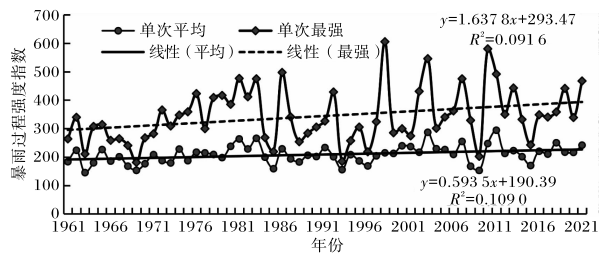


图4 1961—2021年陕西区域性暴雨过程综合强度的年际变化

年区域性暴雨过程综合强度累加值的大小可反映当年的雨涝年景。1961—2021年,陕西区域性暴雨过程综合强度的累计值的年际变化呈显著增加趋势(图略),线性趋势率为 $125.6(10\text{ a})^{-1}$ ,其趋势相关系数为0.31,通过0.05的显著性检验。

### 3.4 覆盖范围

1961—2021年,陕西单次区域性暴雨过程平均覆盖范围的年际变化呈显著增大趋势,线性趋

势率为 0.5 站/10 a(图 5),趋势相关系数为 0.301,通过 0.01 的显著性检验;年区域性暴雨过程中单次最大覆盖范围也呈显著的增大趋势,线性趋势率为 1.91/10 a,趋势相关系数为 0.304,通过 0.01 的显著性检验,由此说明覆盖范围的极端性明显增大。

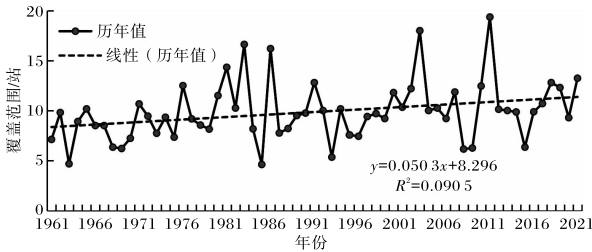


图 5 1961—2021 年陕西区域性暴雨过程平均覆盖范围的年际变化

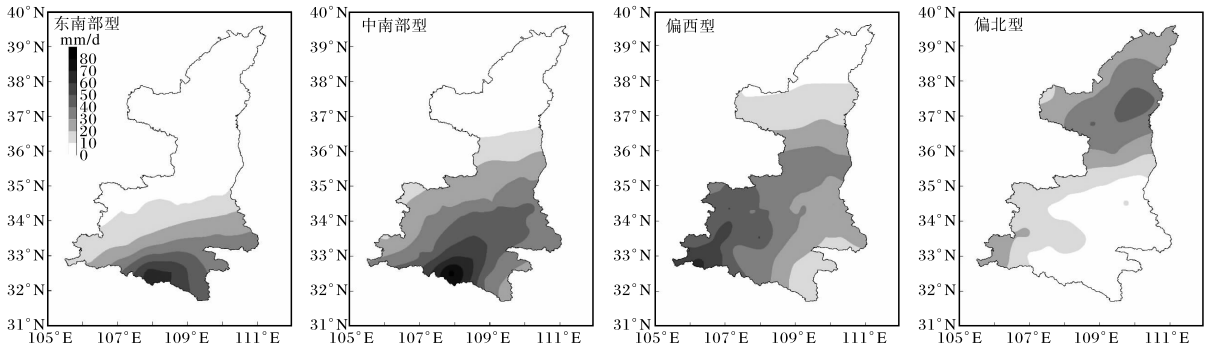


图 6 1961—2021 年陕西区域性暴雨 4 种空间型降水强度分布(审图号为 GS(2019)1719 号)

大 64.2 mm/d;中南部型平均日降水强度大于 30 mm/d 的站分布在渭南、西安、咸阳东南部、宝鸡东南部、商洛、安康和汉中东南部,大于 50 mm/d 的站有镇巴、汉阴、紫阳、石泉、西乡、宁陕等,镇巴最大 83.8 mm/d;偏西型平均日降水强度大于 30 mm/d 的站点主要分布在陕西南部、关中西部和北部,大于 50 mm/d 的站有宁强、留坝、勉县、佛坪、宝鸡等,最大宁强 63.1 mm/d;偏北型平均日降水强度大于 30 mm/d 的站主要分布在延安东北部,子洲最大 44.1 mm/d。中南部型的降水强度较其他分布型的降水强度更强,强降水范围也更大。

## 5 结论与讨论

(1)陕西区域性暴雨过程在 4—11 月均可出现,主要在 6—9 月,占全年的 87.8%。强等级暴

## 4 区域性暴雨过程中暴雨落区分型

区域性暴雨过程中强降水落区是延伸期暴雨过程预测的重点和难点。利用 K-means 聚类方法<sup>[4]</sup>,对近 61 a 区域性暴雨过程中强降水进行分类,总结暴雨过程中强降水落区的气候规律。聚类与合成分析结果显示,近 61 a 陕西区域性暴雨过程中的强降水落区可分为 4 种空间型,即东南部型、中南部型、偏西型和偏北型 4 种(图 6)。其中,东南部型 145 次(占 30.3%),中南部型 108 次(占 22.6%),偏西型 123 次(25.7%),偏北型(主要在陕北)102 次(占 21.3%)。

从各分布型暴雨日的平均降水量空间分布看:东南部型平均日降水强度大于 30 mm/d 的站点分布在汉中东南部、商洛西南部和安康西南部,大于 50 mm/d 的站仅有镇巴、紫阳、岚皋,镇巴最

雨在 5—10 月均有出现,主要在 7—9 月,占 7—9 月暴雨过程的 14.8%。特强等级暴雨在 6—10 月均有出现,主要在 7—9 月,占 7—9 月暴雨过程的 6%。区域性暴雨过程一般持续 1~2 d,平均 1.2 d,持续 3 d 以上的过程很少;区域性暴雨事件发生频次存在明显的区域差异,秦岭以南的区域性暴雨过程明显多于秦岭以北。

(2)陕西区域性暴雨过程的平均覆盖范围为 10 站,最大范围为 55 站。暴雨过程覆盖范围越大,出现频率越小。单次最大和单次平均的暴雨过程覆盖范围的年际变化均呈显著增加趋势。

(3)陕西区域性暴雨过程年均 7.8 次,年际变化大,阶段性变化特征较明显。从长期趋势看,一般等级的暴雨过程频次在减少,而偏强等级的暴雨过程明显增加;暴雨过程的平均综合强度和最

强暴雨过程的综合强度的年际变化均呈显著增强趋势,最强暴雨过程的综合强度年际变化也呈显著增强趋势。

(4)陕西首次区域性暴雨过程出现日期平均为5月31日,末次平均为9月20日。首次和末次暴雨过程一般出现在陕南,陕北和关中的暴雨过程开始晚而结束早;首次和末次暴雨过程出现日期的年际变化较大,且首次区域性暴雨过程出现日期呈提前趋势,特别是近20 a明显提前,末次过程出现日期没有明显的提前或推后变化。

(5)近61 a陕西区域性暴雨过程中强降水落区可分为东南部型、中南部型、偏西型和偏北型4类空间分布型,分别占总过程的30.3%、22.7%、25.7%、21.3%。其中中南部型的降水强度较其他分布型的降水强度更强,强降水范围也更大。

(6)本文给出了区域性暴雨过程识别和评估的方法,是基于国家级观测站点的日降水量资料,主要针对陕西全省范围内的区域性暴雨过程。如果需要判定更小范围,或者使用更为密集的省级区域站资料,建议对阈值进行适当调整。区域性暴雨过程中常伴有短时强降水,本文综合强度的评估没有考虑短时强降水的影响,这可能低估个别极端暴雨过程的综合强度及其实际灾害影响程度,需进一步研究和改进。

#### 参考文献:

- [1] 丁一汇,张建云. 暴雨洪涝[M]. 北京:气象出版社, 2009:1-10.
- [2] 於琰,徐影,张永香. 近25 a中国暴雨及其引发的暴雨洪涝灾害影响的时空变化特征[J]. 暴雨灾害, 2018,37(1):67-72.
- [3] 洪国平. 区域性暴雨过程评价指标在湖北的本地化修订与应用[J]. 暴雨灾害, 2020,39(5):470-476.
- [4] 戴泽军,蔡荣辉,彭莉莉,等. 湖南持续性区域暴雨气候特征及暴雨落区分型[J]. 高原气象, 2019,38(3):573-582.
- [5] 高洁,范江琳,汪丽. 1961—2021年四川省区域性暴雨过程时空变化特征[J]. 陕西气象, 2023(4):25-31.
- [6] 王娜,张文静,姜峰,等. 陕西区域性暴雨过程的精细化客观识别及特征分析[J]. 陕西气象, 2023(1):21-26.
- [7] 裘祝香. 吉林省重大暴雨过程评估方法研究[J]. 气象科技, 2008,36(1):78-81.
- [8] 袁慧敏,王秀荣,范广州,等. 长江中下游沿江地区暴雨过程综合评估模型及应用[J]. 气象, 2012,38(10):1189-1195.
- [9] 邹燕,叶殿秀,林毅,等. 福建区域性暴雨过程综合强度定量化评估方法[J]. 应用气象学报, 2014,25(3):360-364.
- [10] 蔡新玲,路岑之,程肖侠. 陕西省区域性暴雨过程综合评估方法研究[J]. 陕西气象, 2012(6):16-19.
- [11] 钱维宏. 气候变化与中国极端气候事件图集[M]. 北京:气象出版社, 2011:146-156.
- [12] 任福民,龚志强,王艳姣,等. 中国干旱、强降水、高温和低温区域性极端事件[M]. 北京:气象出版社, 2015:90-95.
- [13] 周杰,赵俊虎,李永华,等. 西南地区东部区域性暴雨事件的客观识别及其变化特征[J]. 高原气象, 2021,40(4):789-800.
- [14] 叶殿秀,王遵娅,高荣,等. 1961—2016年我国区域性暴雨过程的客观识别及其气候特征[J]. 气候变化研究进展, 2019,15(6):575-583.
- [15] 温克刚,翟佑安. 中国气象灾害大典(陕西卷)[M]. 北京:气象出版社, 2005:42-87.
- [16] 蔡新玲,李瑜,李茜,等. 1961—2016年陕西秋淋气候变化特征及其与大气环流和海温的关系[J]. 干旱气象, 2019,37(2):226-232.