

王娜,张文静,姜锋,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.

文章编号:1006-4354(2023)01-0021-06

# 陕西区域性暴雨过程的精细化客观识别及特征分析

王娜<sup>1,2</sup>,张文静<sup>1</sup>,姜锋<sup>3</sup>,汪媛媛<sup>4</sup>

(1. 陕西省气候中心,西安 710014;

2. 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;

3. 陕西省突发事件预警信息发布中心,西安 710014;

4. 陕西省气象服务中心,西安 710014)

**摘要:**采用2009—2021年陕西省内国家气象站以及区域气象观测站逐日降水资料,以某日出现暴雨站数至少占总站数的4%为识别条件,以降水强度、暴雨范围和持续时间建立综合强度评估指标,此区域暴雨过程识别方法与传统方法相比更加客观,基于此方法的识别结果分析陕西区域性暴雨过程的变化特征。结果表明:陕西区域性暴雨过程出现在4—10月,59.4%出现在夏季,最多发生在7月,33%出现在秋季,最多发生在9月。近13a首次区域性暴雨出现日期呈提前趋势,平均每年提前1.5d;末次日期呈缓慢推后趋势,平均每年推后0.7d。暴雨过程频次平均每年8.2次,其中夏季4.8次,秋季2.7次;暴雨过程频次呈增加趋势,平均每年增加0.3次,夏季增加明显,秋季不显著。覆盖范围呈减小趋势,暴雨站数占比平均每年减少0.1%,局地性增强。76.4%的区域性暴雨过程持续1d。区域性暴雨频次与陕西特色气候事件密切相关,夏季区域性暴雨多对应初夏强降雨、伏旱弱,秋季区域性暴雨多对应秋淋强。

**关键词:**区域性暴雨;客观识别;区域气象观测站;变化特征

**中图分类号:**P468.024

**文献标识码:**A

暴雨洪涝灾害是陕西省最严重的气象灾害之一,夏季受东亚夏季风向北推进影响,出现集中降水,秋季易出现秋淋,其间渭河流域、汉江流域降水强度大,时空分布极为不均,伴随暴雨、大暴雨等强降水天气,易诱发中小河流洪水、滑坡和泥石流等地质灾害,对人民生命财产造成严重的影响<sup>[1-5]</sup>。针对暴雨的客观监测评估,在事前、事后做出科学评估,对政府进行防灾减灾救灾决策、减轻灾害损失具有重要作用。

国内很多学者在暴雨过程识别以及量化评估方面做了很多工作。叶殿秀<sup>[6]</sup>提出了以降水强

度、暴雨范围和持续时间的综合强度评估指标,并分析全国区域性暴雨过程的气候特征及长期变化特征。牛若芸等<sup>[7]</sup>采用主、客观相结合的方法,以天气过程为单元建立中国95°E以东地区及其6个子区的区域性暴雨过程识别方法。王春学等<sup>[8]</sup>采用集中暴雨站点数、大雨出现站数以及连续日大雨站数重合比作为四川盆地区域性暴雨过程判识指标。中国气象局局、各省级也相应发布一些规范和地方标准,2019年中国气象局印发《区域性重要过程监测和评价业务规定》(气预函〔2019〕63号),规定中以某日出现暴雨的相邻站点(距离

收稿日期:2022-02-10

作者简介:王娜(1984—),女,甘肃陇南人,硕士,高级工程师,主要从事气象灾害风险评估与气候变化研究。

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(2021G-1,2021G-14);陕西省科技厅自然科学基金基础研究计划项目(2021JQ-954)

≤350 km)数至少占全国总站数的 0.8% 为识别条件,以降水强度、暴雨范围和持续时间建立综合强度评估指标;吉林、浙江、河南、贵州等地<sup>[9-12]</sup>以暴雨站次、极值、范围等建立区域性暴雨评估指标。各地的指标多数是基于国家气象站资料而建立的暴雨过程识别以及量化评估技术方法,而随着区域气象观测站的建立以及数量逐年增加,给暴雨的客观、精细化的监测评估奠定了基础也提出更高的要求,在新资料基础上如何客观识别区域暴雨过程,量化评估区域暴雨强度? 本文利用降水资料,结合陕西省实际业务应用,开展陕西省区域性暴雨监测评估方法研究,建立评估指标,并与现行的暴雨监测规范进行对比分析。在此基础上,分析基于区域自动气象站的区域性暴雨过程的变化特征,为更好地发挥防灾减灾第一道防线作用提供科学基础。

## 1 资料和方法

采用 2009—2021 陕西国家气象站及区域自动气象站逐日降水资料。以某日出现暴雨站数至少占总站数的 4% 为识别条件,满足区域暴雨天气过程识别条件的首日为区域性暴雨天气过程开始日。区域性暴雨天气过程开始后,单日评估范围内出现不满足区域性暴雨天气过程判定条件首日的前一日为区域性暴雨天气过程结束日。从区域性暴雨过程首日到结束日之间的日数为区域性暴雨过程的持续时间。以此为客观识别条件挑选出 2009—2021 年区域性暴雨过程 106 个。依据中国气象局印发区域性暴雨过程监测和评价方法,综合考虑一次区域性暴雨过程的平均暴雨量、平均范围和持续时间来确定该次过程的综合强度指数( $Z$ ),计算公式为

$$Z=f(I_a, A_a, T)=I_a A_a^{0.5} T^{0.5} \quad (1)$$

其中  $A_a$  为区域性暴雨过程的平均范围,用平均暴雨站数占比代表; $I_a$  为区域性暴雨过程的平均暴雨量,指该过程中平均每日暴雨站点的平均降水量; $T$  为持续时间,指区域性暴雨过程的开始日至结束日之间的日数。

## 2 历史回算结果和现行暴雨监测规范对比

### 2.1 历史回算结果与典型个案

基于以上方法,通过对识别出的 106 个区域

性暴雨过程的综合强度指数排序,确定了近 13 a 前 5 强,2010 年 7 月 23—24 日、2011 年 9 月 5—7 日、2011 年 9 月 17—18 日、2021 年 8 月 22 日、2021 年 9 月 24—28 日,这 5 次区域性暴雨过程陕西都出现严重的洪涝灾害,造成重大的经济损失和人员伤亡,与《陕西救灾年鉴》《陕西气候影响评价》记载的暴雨过程与灾情记载吻合。2010 年 7 月 23 日—24 日出现强降水过程,出现 2 个区域性暴雨日,平均暴雨站数占比为 14.1%,日平均降水量为 88.5 mm,据统计造成 27.74 万人受灾,华阴通往华阳管区的 202 进山省道路冲断,罗夫河决口。2011 年 9 月 5—7 日、11 日、13—14 日和 17—18 日接连出现区域性暴雨,其中:9 月 5—7 日出现 3 个区域性暴雨日,平均暴雨站数占比为 18.7%,日平均降水量为 65.3 mm;9 月 17—18 日出现 2 个区域性暴雨日,平均暴雨站数占比为 28.5%,日平均降水量为 69.9 mm。据陕西省应急管理厅统计共造成 518.72 万人受灾,直接经济损失 83.75 亿元;持续降雨导致山体滑坡、泥石流等地质灾害频发。2021 年 8 月 22 日,出现 1 个区域性暴雨日,平均暴雨站数占比为 36.7%,日平均降水量为 80.2 mm,据统计共造成全省 13.47 万人受灾,农作物受灾 2 876 hm<sup>2</sup>,其中绝收 526 hm<sup>2</sup>,直接经济损失 6 亿元。2021 年 9 月 24—28 日,出现 5 个区域性暴雨日,平均暴雨站数占比为 11.1%,日平均降水量为 67.9 mm,据统计共造成全省 43.4 万人受灾,农作物受灾 27 500 hm<sup>2</sup>,其中绝收 4 402.38 hm<sup>2</sup>,直接经济损失 9.48 亿元,全省 24 条河流 37 站出现洪峰 57 次,11 条河流 13 站出现超警戒洪水 18 次。可见区域性暴雨监测评估方法可客观评估陕西区域性暴雨过程。

### 2.2 与现行暴雨监测规范对比

目前业务中采用《陕西区域暴雨气候监测评估业务规定》(陕气预函[2017]30 号)中的方法,用相邻 4 个县(区)出现日降水量 ≥ 50 mm 为陕西区域性暴雨客观区域性暴雨过程识别方法,强度公式同公式(1),与中国气象局印发监测规范一致。识别方法将绝对阈值改为相对阈值,这对格点化、精密监测具有更强的适用性,并且对区域性

暴雨过程评估更加客观、量化。2018年8月22日暴雨,以现行业务规定识别计算综合强度指数为192.6,2019年6月27日暴雨综合强度指数为179.9,等级均为一般,据陕西省应急管理厅的灾情数据,两次暴雨造成的直接经济损失分别为1.05、0.43亿元。以本文识别方法计算两次过程的综合强度指数分别为206.5、142.0,等级分别为强、一般,这与实际灾害情况相符。2021年7月10日,西乡、石泉出现暴雨,镇巴出现大暴雨,降水量达195 mm,以现行业务规定的方法未识别出此次区域性暴雨天气。全省6.7%的气象站出现暴雨,以本文方法准确识别出区域性暴雨过程,可见此方法对区域性暴雨过程的量化评估更加客观。

### 3 区域性暴雨过程变化特征

#### 3.1 年、季变化

2009—2021年陕西共出现106次区域性暴雨过程。年平均8.2次,平均区域性暴雨过程暴雨站数占比为9.6%,平均持续时间为1.3 d。陕西降水呈现双峰型特点,降水多集中在夏季,雨热同季,秋雨多,入秋后易形成秋雨连绵天气<sup>[13]</sup>。故按夏季(6月1日—8月20日)和秋季(8月21日—10月31日)分别统计分析,夏季出现区域性暴雨频次为63次,年平均4.8次,秋季共35次,年平均为2.7次,夏季区域性暴雨覆盖范围普遍大于秋季。夏季区域性暴雨过程持续1 d或2 d,覆盖范围最广的暴雨过程出现在2013年7月22日,日降水量最大的暴雨过程出现在2017年7月26日。秋季区域性暴雨过程以持续1 d和2 d为主,最多为5 d,覆盖范围最广、日降水量最大的暴雨过程出现在2021年8月22日。

#### 3.2 首次和末次日期

2009—2021年,陕西省首次区域性暴雨最早出现时间为2015年4月1日,最晚出现时间为2010年7月17日,最早和最晚出现时间相差3个多月,首次区域性暴雨过程出现日期年际变化大。首次区域性暴雨出现日期呈逐年提前趋势,平均每年提前1.5 d(图1)。末次区域性暴雨最早出现时间为8月22日,最晚出现时间为10月9日,最早和最晚出现时间相差1个多月。与首

次出现日期趋势相比,陕西省历年末次区域性暴雨出现日期变化较为平缓,呈缓慢推后趋势,平均每年推后0.7 d(图1)。

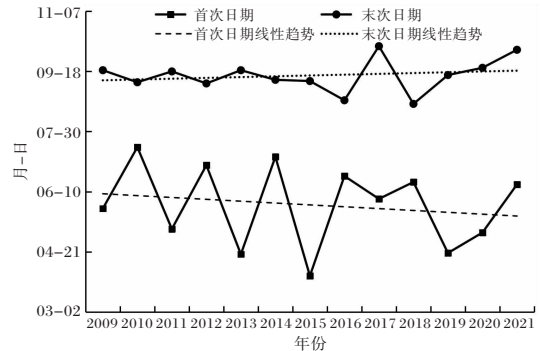


图1 2009—2021年陕西首次和末次区域性暴雨过程出现日期的年际变化

#### 3.3 出现频次

2009—2021年,陕西区域性暴雨过程频次年际变化大,2021年暴雨最多(17次),2014和2015年最少(均为4次),最多年是最少年的4倍多。近13 a区域性暴雨过程呈现逐年增加趋势(图2a),平均每年增加0.3次。

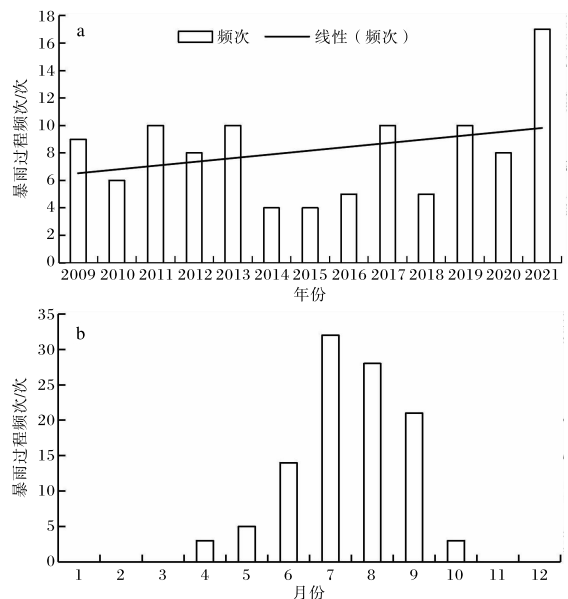


图2 2009—2021年陕西区域性暴雨过程频次年际变化(a)和月变化(b)

区域性暴雨过程频次的月际变化明显(图2b),近13 a来未出现区域暴雨过程的月份为1、2、3、11、12月,4月和10月仅发生3次,5—9月

相对较多,其中7月最多为32次,占总频次的30.2%,其次为8月(26.4%),9月为19.8%,6月为13.2%。为了说明区域性暴雨过程的变化特征,根据陕西降水特征以及初夏汛期、华西秋雨等监测规范,分夏季和秋季两个时间段进行分析。从季节来看,区域性暴雨过程59.4%出现在夏季,33%出现在秋季。近13 a夏季区域性暴雨频次呈逐年增加趋势,而秋季变化趋势不明显(图3)。

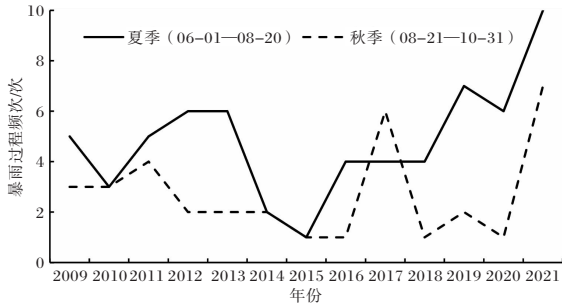


图3 2009—2021年陕西夏季和秋季区域性暴雨过程频次

陕西降水季节变化呈现双峰型特点,受东亚夏季风向北推进影响,出现集中降水,即初夏汛期,秋季出现秋淋天气。陕西伏旱出现在初夏多

雨段和秋季多雨段之间<sup>[14]</sup>,俗称“卡脖子旱”。初夏汛期主要出现在6月第6候—7月第3候,伏旱常年出现时间为7月第4候—8月第1候,秋季主要为秋淋,常年出现时间为9月第3候—10月第2候。分析区域性暴雨与初夏汛期、伏旱、秋淋的关系(表1),发现夏季出现区域性暴雨频次与初夏汛期雨量指数及综合强度指数、雨季长度相关系数为0.231、0.319、0.446,仅与雨季长度相关性显著,与伏旱持续时间、强度指数相关系数为-0.496、-0.593,分别达到90%、95%的置信水平,说明区域性暴雨过程少对应伏旱持续时间长、强度大,初夏汛期时段是降水量集中期,区域性暴雨过程多对应初夏汛期雨季长度长、汛雨量多、强度大,其中初夏汛期雨季长度与区域性暴雨过程频次相关显著。

秋季区域性暴雨过程频次与秋雨量指数及强度指数相关性达0.842、0.780,说明秋淋强的时候,对应区域性暴雨过程多,2011、2017、2019、2021强秋淋天气除2019年外对应的区域性暴雨过程均在4次以上,虽然2019年出现2个区域性暴雨过程,但强度较大。

表1 2009—2021年陕西夏、秋季特色气候事件以及区域性暴雨频次一览表

年份	夏季(06-01-08-20)暴雨频次/次	秋季(08-21-10-31)暴雨频次/次	初夏汛期雨量指数	初夏汛期综合强度指数	初夏汛期雨季长度/d	初夏汛期雨强度
2009	5	3	-1.5	-1.3	5	弱
2010	3	3	0.4	0.5	24	偏强
2011	5	4	-0.1	-0.1	17	正常
2012	6	2	1.4	1.4	32	强
2013	6	2	1.2	1.3	31	强
2014	2	2	-1.6	-1.4	4	弱
2015	1	1	-0.2	-0.3	8	正常
2016	4	1	0.6	0.7	27	偏强
2017	4	6	-1.6	-0.9	2	偏弱
2018	4	1	1.5	1.1	24	偏强
2019	7	2	0.2	0.5	27	偏强
2020	6	1	-1.4	-1.1	4	偏弱
2021	10	7	0.3	0.5	26	偏强
相关系数	—	—	0.231	0.319	0.446*	—

续表

年份	伏旱持续 时间/d	伏旱指数	伏旱强度	秋雨量 指数	秋雨综合 强度指数	秋淋强度
2009	10	0.87	轻	-0.2	0.9	偏强
2010	31	0.06	轻	-0.6	-2.8	显著偏弱
2011	20	1.41	中	1.6	2.2	显著偏强
2012	20	1.34	中	-0.4	-1.0	偏弱
2013	14	0.97	轻	-0.8	-2.9	显著偏弱
2014	35	2.83	强	0.4	-1.4	偏弱
2015	31	2.52	强	—	—	—
2016	27	2.32	强	-0.4	-0.5	偏弱
2017	29	2.31	强	1.4	3.8	显著偏强
2018	33	2.60	强	-0.5	-1.6	显著偏弱
2019	37	1.88	强	0.9	2.2	显著偏强
2020	21	0.80	轻	-0.6	-1.7	显著偏弱
2021	10	0.78	轻	2.8	4.2	显著偏强
相关系数	-0.593**	-0.496*	—	0.842**	0.780**	—

注: \* 代表达到 90% 的置信水平, \*\* 代表达到 95% 的置信水平。

### 3.4 覆盖范围

2009—2021 年平均区域性暴雨过程范围(暴雨占比)为 9.6%,覆盖范围呈减小趋势,暴雨站数占比平均每年减少 0.1%(图 4)。覆盖范围与综合强度指数高度相关,相关系数为 0.65,覆盖范围的减小说明,近 13 a 陕西区域性暴雨范围更加集中,以 2021 年区域性暴雨过程为例,其中 7 月 18 日、7 月 23 日、8 月 20 日出现局地性强降水,与周边降水量相差 3~10 倍。从季节来看,历年夏季区域性暴雨覆盖范围普遍大于秋季,且出现大暴雨的站数多于秋季,夏季出现较强等级以上的区域性暴雨过程也多于秋季,以 2021 年尤为显著。

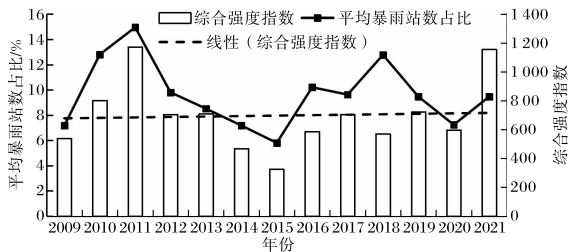


图 4 2009—2021 年陕西区域性暴雨过程强度指数及覆盖范围

### 3.5 持续时间

2009—2021 年区域性暴雨过程平均持续时间为 1.3 d,年际变化明显,持续 1 d 的暴雨过程最多,占 76.4%;持续 2 d 的占 17.9%,持续 3 d 的占 3.8%,最长持续 5 d,出现在 2021 年 9 月 24 日—9 月 28 日。夏季区域性暴雨过程持续 1 d 或 2 d,持续 1 d 的暴雨过程为 50 次。秋季区域性暴雨过程以持续 1 d 和 2 d 为主,最多为 5 d。由此可见,随着持续时间的增长,暴雨过程频次迅速减少。夏季区域性暴雨过程多,持续时间以 1 d 为主,表现出时间短强度大覆盖范围广的特点;秋季区域性暴雨过程较夏季略少,持续时间以 1~2 d 为主,表现出持续时间长的特点。

## 4 结论

(1) 采用 2009—2021 年陕西国家气象站以及区域气象观测站逐日降水资料,建立区域性暴雨过程客观识别技术,与传统方法相比识别区域暴雨过程和强度更符合暴雨实际情况。基于此方法共识别出近 13 a 区域性暴雨过程 106 个。陕西区域性暴雨过程出现在 4—10 月,5—9 月相对较多;59.4% 出现在夏季,最多发生在 7 月,占总频

次的 30.2%, 33.0% 出现在秋季, 最多发生在 9 月, 占总频次的 19.8%。

(2) 陕西首次区域性暴雨最早出现时间为 4 月 1 日, 最晚为 7 月 17 日, 最早和最晚出现时间相差 3 个多月。末次日期最早出现时间为 8 月 22 日, 最晚为 10 月 9 日, 最早和最晚出现时间相差 1 个多月。近 13 a 首次区域性暴雨出现日期呈提前趋势, 平均每年提前 1.5 d; 末次日期呈缓慢推后趋势, 平均每年推后 0.7 d。暴雨过程频次平均每年 8.2 次, 其中夏季 4.8 次, 秋季 2.7 次; 暴雨过程频次呈增加趋势, 平均每年增加 0.3 次, 夏季增加明显, 秋季不显著。区域性暴雨频次与陕西特色气候事件密切相关, 夏季区域性暴雨多对应初夏汛期强、伏旱弱, 秋季区域性暴雨多对应秋淋强。

(3) 平均区域性暴雨过程范围(暴雨占比)为 9.6%, 近 13 a 陕西年均区域性暴雨过程覆盖范围呈减小趋势, 暴雨站数占比平均每年减少 0.1%, 暴雨范围更加集中。区域性暴雨过程平均持续时间为 1.3 d, 76.4% 的区域性暴雨过程持续 1 d, 随着持续增长, 暴雨过程频次迅速减少。夏季区域性暴雨过程多, 持续时间以 1 d 为主; 秋季区域性暴雨过程较夏季略少, 持续时间以 1~2 d 为主。

#### 参考文献:

- [1] 刘引鸽, 葛永刚, 周旗. 秦岭以南地区降水量变化及其灾害效应研究[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 50-55.
- [2] 毕宝贵, 刘月巍, 李泽椿. 2002 年 6 月 8~9 日陕南大暴雨系统的中尺度分析[J]. 大气科学, 2004, 28(5): 747-761.
- [3] 彭艳, 王钊, 董妍, 等. 1960—2012 年陕西降水变化特征及可能成因分析[J]. 高原气象, 2016, 35(4): 1050-1059.
- [4] 冯蕾, 刘环, 庞菲菲, 等. 陕西一次特大暴雨决策气象服务思考[J]. 陕西气象, 2019(5): 50-52.
- [5] 马晓华, 马青, 屈丽玮, 等. 低涡影响下的西北地区东部暴雨两个例分析[J]. 陕西气象, 2021(4): 1-8.
- [6] 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.
- [7] 牛若芸, 刘凑华, 刘为一, 等. 1981—2015 年中国 95°E 以东区域性暴雨过程时空分布特征[J]. 气象学报, 2017, 76(2): 182-195.
- [8] 王春学, 马振峰, 秦宁生. 四川盆地区域性暴雨过程的识别及时空变化特征[J]. 气象科技, 2016, 44(5): 776-782.
- [9] 暴雨天气过程强度评估方法: DB 22/T 2727—2017 [S].
- [10] 暴雨过程危险性等级评估技术规范: DB 33/T 2025—2017 [S].
- [11] 区域性暴雨过程气象强度评估方法: DB 41/T 1976—2020 [S].
- [12] 贵州省区域性暴雨气象评估标准: DB 52/T 1181—2017 [S].
- [13] 陕西省气象局《陕西气候》编写组. 陕西气候[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 2009: 8-12.
- [14] 方建刚, 白爱娟, 肖科丽, 等. 陕西伏旱气候特征及成因分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 28-34.