

高维英. 1981—2020 年陕西省 6—9 月暴雨时空分布特征[J]. 陕西气象, 2025(3): 18–23.

文章编号: 1006-4354(2025)03-0018-06

# 1981—2020 年陕西省 6—9 月暴雨时空分布特征

高维英<sup>1,2</sup>

(1. 陕西省气象科学研究所, 西安 710016;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室, 西安 710016)

**摘要:** 利用 1981—2020 年 6—9 月陕西省 98 个国家气象站日降水量资料, 对陕西省日降雨量  $\geq 50$  mm 的暴雨进行了时空特征分析。结果表明: (1) 1981—2020 年陕西省 98 站共出现 3 995 站次暴雨, 陕南最多, 占全省的 48.9%; 暴雨主要出现在 7—8 月, 其次是 9 月, 6 月最少, 其中陕北 83.0% 的暴雨出现在 7—8 月, 暴雨月分布最为集中。(2) 1981—2020 年全省及陕北、关中暴雨频次和总降雨量呈增加趋势, 陕南呈减少趋势; 在多个时间段, 陕北和陕南暴雨发生频次呈反位相变化。(3) 全省各台站暴雨日为 12~176 d, 从南向北依次减少, 镇巴最多, 定边最少; 关中南至陕南暴雨日  $\geq 60$  d, 关中北部至陕北暴雨日为 20~40 d; 陕北北部为暴雨强度最大区域, 其次为陕南南部和关中陇县、太白山等地; 各台站暴雨日呈 4 个阶梯变化, 75 站暴雨日不超过 42 d, 20 站暴雨日为 49~84 d, 2 站暴雨日为 120~123 d, 1 站暴雨日为 176 d。(4) 陕南、关中、陕北暴雨频次呈增加趋势的站点占比分别为 43%、67%、84%, 从南向北呈增多趋势。(5) 陕西省暴雨主要有 1.0、4.0、6.0、31.0 a 等 4 个明显的周期变化, 震荡较为频繁, 陕北存在 3 个明显周期, 关中 2 个, 陕南 4 个, 短周期变化表现出一定的复杂性。

**关键词:** 陕西省; 6—9 月; 暴雨; 时空分布

**中图分类号:** P468.024

**文献标识码:** A

我国是多暴雨的国家, 受季风及地形等影响, 暴雨南多北少, 沿海多于内陆, 夏季多于冬季, 暴雨事件主要集中在 5—9 月<sup>[1-2]</sup>。暴雨会造成严重的洪涝灾害和水土流失, 导致防洪堤决口, 农作物被淹, 极易造成人员伤亡。暴雨洪涝灾害分布具有明显的地区差异, 西北地区在暴雨洪涝灾害受灾率、经济损失和伤亡人数等方面要远高于东南沿海地区<sup>[3]</sup>。陕西省位于西北地区内陆、青藏高原东北侧, 以北山、秦岭和大巴山为界, 形成陕北黄土高原、关中平原和陕南秦巴山地三个自然区, 除关中泾渭河流域及汉中川道地区平坦外, 多为山地和丘陵沟壑地区, 地形条件复杂, 特殊的环流及地形特征形成陕西暴雨强度大、落区分散、发生频率高等特点<sup>[4]</sup>。统计分析表明, 2013—2022 年

中, 2021 年西安暴雨日最多, 为 24 d<sup>[5]</sup>; 1992—2021 年秦巴山区暴雨日呈增加趋势, 暴雨日与年平均降水量自北向南有增加趋势, 而暴雨贡献率则有减少趋势<sup>[6]</sup>。近年来, 随着气候变暖, 全球的降水形式、分布格局都在发生着变化, 其中干旱区的降水变化尤为引人瞩目<sup>[7]</sup>。陕西从南向北跨越 8 个纬度, 分布有湿润、半湿润、半干旱甚至干旱等多种气候类型, 在全球变暖背景下, 研究陕西省暴雨时空分布特征, 不仅可更加全面地认识陕西的暴雨气候特征, 为预报预测提供背景, 而且对开发利用气候资源有科学意义。

## 1 资料及方法

利用陕西省 1981—2020 年 6—9 月 98 个国家气象站(陕北 25 站、关中 45 站、陕南 28 站)日

收稿日期: 2024-05-05

作者简介: 高维英(1972—), 女, 陕西西安人, 硕士, 高工, 从事天气预报预警技术研究及气象期刊论文编审工作。

基金项目: 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2024G-9)

降水量(20:00—20:00)资料(来自中国气象局信息中心 CIMISS 数据库,资料均经过质量控制,杨凌站时间序列较短被剔除)。区域内只要有 1 站日降雨量 $\geq 50$  mm 即为 1 个暴雨日,单位为 d;某区域暴雨频次为该区域所有台站的暴雨日之和,单位为站次;暴雨强度为研究时段内某台站暴雨总降雨量与暴雨日的比值,单位为 mm/d。利用功率谱<sup>[8]</sup>进行暴雨的周期分析,利用趋势分析法<sup>[9]</sup>进行暴雨频次、降雨量等的趋势分析。

## 2 时间变化特征

### 2.1 暴雨频次年际变化

1981—2020 年 6—9 月陕西省 98 站共出现

暴雨 3 995 站次,平均每年每站暴雨日为 1.02 d,各台站年暴雨频次为 36~253 站次。从 1981—2020 年陕西省和陕北、关中、陕南 6—9 月暴雨的年变化(图 1)可以看出,暴雨频次呈波动增加的趋势,变化趋势率为 2.594 站次/10 a,暴雨频次与年份呈显著正相关(T 统计量为 0.458,通过了 0.05 显著性水平检验),其中 1985、1993、1999、2004、2008、2015 年为暴雨频次低值年份,2015 年暴雨频次最少;1981、1988、1998、2003、2006、2011、2018 年为暴雨频次高值年份,2011 年最多。

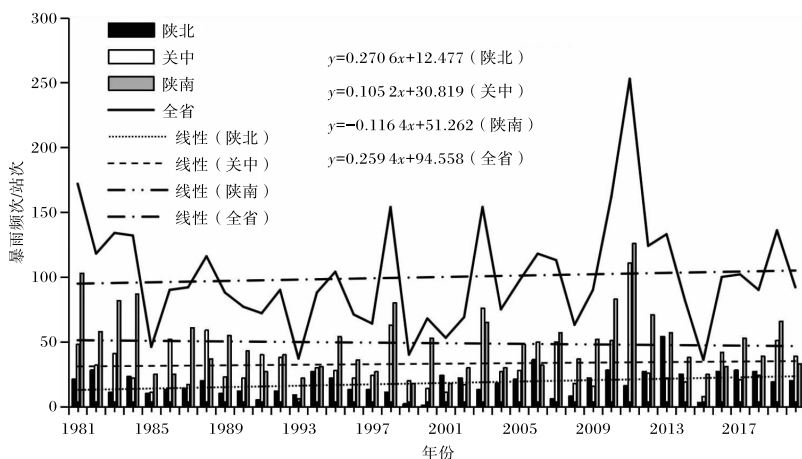


图 1 1981—2020 年 6—9 月陕北、关中、陕南及全省暴雨频次年变化

分区域来看,陕北 25 站共出现暴雨 721 站次,平均每年每站 0.72 d,年暴雨频次为 1~54 站次。暴雨频次呈增加趋势,变化趋势率为 2.706 站次/10 a,暴雨频次与年份呈显著正相关(T 统计量为 2.283,通过了 0.05 显著性水平检验)。2000 年最少,仅为 1 站次;2013 年最多,为 54 站次。关中 45 站出现暴雨 1 319 站次,平均每年每站 0.73 d,年暴雨频次为 6~111 站次。暴雨频次呈增加趋势,变化趋势率为 1.052 站次/10 a,暴雨频次与年份呈显著正相关(T 统计量为 0.378,通过了 0.05 显著性水平检验)。1993 年最少,为 6 站次;2011 年最多,为 111 站次。陕南 28 站共出现暴雨 1 955 站次,平均每年每站 1.75 d,年暴雨频次为 18~126 站次。暴雨频次呈减少趋势,变化趋势率为 -1.164 站次/10 a,暴雨频次与年

份呈显著负相关(T 统计量为 -0.336,通过了 0.05 显著性水平检验)。1999 年最少,为 18 站次;2011 年最多,为 126 站次。对比 1981—2020 年陕北、陕南暴雨频次年际变化发现,有多个时间段(1981—1983、1988—1990、1994—1995、1997—1998、1999—2004、2005—2008、2010—2014、2016—2017、2018—2020 年)陕北和陕南暴雨频次呈现反位相变化特点,即陕北暴雨发生频次增多(减少)时,陕南减少(增多),这一特征与文献[10]的研究结果一致。关中和陕南呈反位相变化的时间段明显偏少。

### 2.2 暴雨频次月分布

从暴雨频次月分布(表 1)可以看出,陕西省暴雨主要出现在 7—8 月,其次是 9 月,6 月最少。陕北、陕南 7 月暴雨频次最多,关中 8 月最多;陕

北暴雨频次月分布最为集中,83.0%出现在7—8月,陕南7—8月的暴雨频次仅占6—9月的62.6%。值得注意的是,9月关中暴雨频次占6—9月的比例高于陕北和陕南,此时正值华西秋雨,关中地区易出现连阴雨中的暴雨,是关中地区防洪抗涝的重要时段。

表 1 1981—2020 年 6—9 月陕北、关中、陕南及全省暴雨频次及占比

| 区域 | 暴雨频次/站次 |       |       |     | 占比/% |      |      |      |
|----|---------|-------|-------|-----|------|------|------|------|
|    | 6 月     | 7 月   | 8 月   | 9 月 | 6 月  | 7 月  | 8 月  | 9 月  |
| 陕北 | 59      | 335   | 263   | 64  | 8.2  | 46.5 | 36.5 | 8.9  |
| 关中 | 117     | 417   | 484   | 301 | 8.9  | 31.6 | 36.7 | 22.8 |
| 陕南 | 314     | 741   | 482   | 418 | 16.1 | 37.9 | 24.7 | 21.4 |
| 全省 | 490     | 1 493 | 1 229 | 783 | 12.3 | 37.4 | 30.8 | 19.6 |

2.3 暴雨降雨量年际变化

1981—2020 年陕西省各台站 6—9 月暴雨总降雨量为 275.0~495.3 mm(图 2),平均每年每站 70.3 mm,全省年暴雨降雨量为 2 436.8~16 590.7 mm。年暴雨总降雨量呈波动增加趋势,变化趋势率为 236.4 mm/10 a,年暴雨降雨量最多年份(1993 年)为最少年份(2011 年)的 6.81 倍。

分区域(图 2)来看,陕北暴雨总降雨量为 50 335.2 mm,平均每年每站 50.3 mm,年暴雨降雨量为 57.5~4 201.1 mm。年暴雨总降雨量呈波动增加趋势,年际差异较大,其变化趋势为 236.1 mm/10 a。暴雨降雨量明显偏多的年份为 2013、2006、2017、2016 年,其中 2013 年最多,为 4 201.1 mm;明显偏少的年份为 2000、1999、2015、2007 年,其中 2000 年最少,为 57.5 mm;最多年份为最少年份的 73.1 倍。关中暴雨总降雨

量为 90 180.0 mm,平均每年每站 50.1 mm,年暴雨降雨量为 372.2~6 728.5 mm。年暴雨总降雨量呈波动增加趋势,变化趋势率为 60.8 mm/10 a。暴雨降雨量明显偏多的年份为 2011、2003、1998、2010 年,其中 2011 年最多,为 6 728.5 mm;明显偏少的年份为 1993、2015、2001、1985 年,其中 1993 年最少,为 372.2 mm;暴雨最多年份为最少年份的 18.1 倍。陕南暴雨总降雨量为 136 638.2 mm,平均每年每站 122.0 mm,年暴雨总降雨量为 1 178.5~8 669.6 mm。年暴雨总降雨量呈波动减少趋势,其变化趋势为 -60.5 mm/10 a,暴雨降雨量明显偏多的年份为 2011、1981、2010、1998 年,其中 2011 年最多,为 8 669.6 mm;明显偏少的年份为 2001、1999、1993、1985 年,其中 2001 年最少,为 1 178.5 mm;暴雨最多年份为最少年份的 7.4 倍。可以看出,从关中到陕北降雨量增加趋势趋于明显,降雨量的极端性也增强。

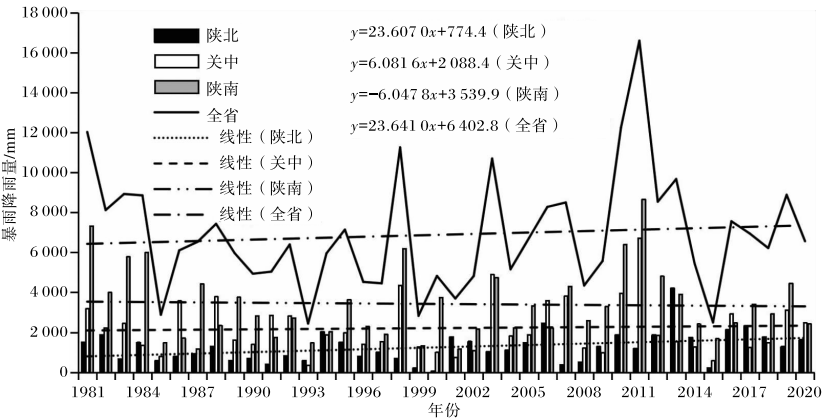


图 2 1981—2020 年 6—9 月陕北、关中、陕南及全省暴雨降雨量年变化

### 3 空间变化特征

#### 3.1 暴雨日及暴雨强度

从陕西省各站暴雨日空间分布(图 3a)可以看出,从南向北暴雨日依次减少。陕南最南端的镇巴暴雨日最多,陕北西北部的定边最少。关中南部至陕南暴雨日 $\geq 60$  d,关中北部至陕北暴雨日为 20~40 d。图 3b 为暴雨强度的空间分布。可以看出,陕北北部为暴雨强度最大区域,陕南南部和关中陇县、太白山等地为暴雨强度次大区。陕北北部神木、佳县、吴堡和定边以西等地暴雨强度大于 86 mm/d,陕南南部以略阳、镇巴为中心,以及岚皋、平利和镇坪的部分区域,暴雨强度大部分在 74~82 mm/d,关中最西部的陇县和太白山局部的暴雨强度也高达 74~82 mm/d。高暴雨强度对预报预警及防灾减灾提出了较大挑战。将陕西省 98 站按照暴雨日和暴雨降雨量由少到多进行排序,探究陕西省暴雨日和暴雨降雨量的数

据特征(图 4)。可以看出,陕西省台站的暴雨日为 12~176 d,最多为最少的 14.7 倍,最少、最多暴雨日对应的暴雨总降雨量分别为 759.0、14 542.4 mm,最大为最小的 19.2 倍,分布极为不均。从数据序列可以看出陕西省的暴雨日和降雨量呈现明显的阶梯变化。第一阶梯为 75 站,暴雨日不超过 42 d,年平均不超过 1.05 d,总降雨量不超过 2 827.0 mm,年平均暴雨降雨量不超过 70.7 mm;第二阶梯为 20 站,暴雨日为 49~84 d,年平均 1.2~2.1 d,暴雨总降雨量在 3 158.2~5 989.4 mm,年平均暴雨降雨量为 79.0~149.7 mm;第三阶梯为紫阳、宁强 2 站,暴雨日分别为 120、123 d,年平均 3.0、3.1 d,暴雨总降雨量在 8 523.4、8 769.9 mm,年平均暴雨降雨量为 213.1、219.2 mm;第 4 阶梯为镇巴站,暴雨日为 176 d,年平均 4.4 d,远大于其他站的暴雨日数。

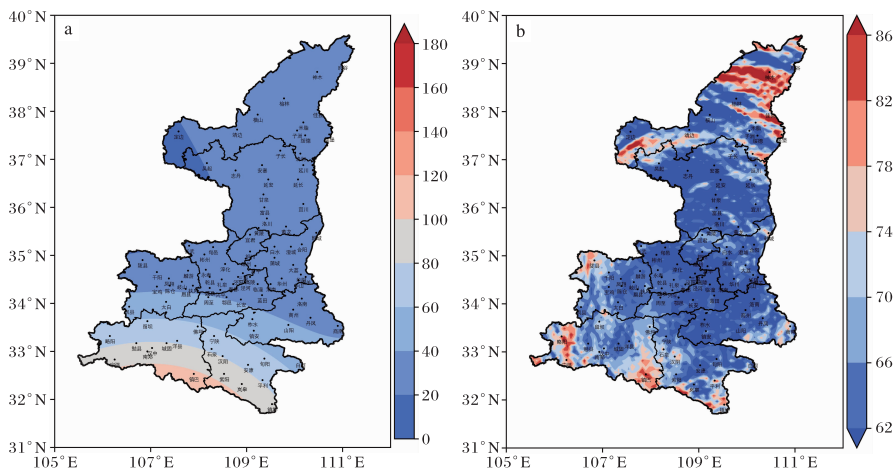


图 3 1981—2020 年 6—9 月陕西省各站暴雨日(a,单位为 d)和暴雨强度(b,单位为 mm/d)空间分布(审图号为 GS(2020)4619 号,下同)

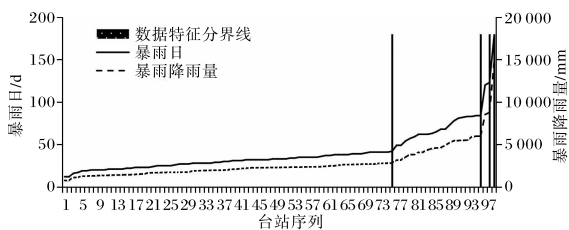


图 4 陕西省 1981—2020 年 6—9 月暴雨日和暴雨总降雨量数据序列特征

#### 3.2 暴雨总降雨量

从陕西省各站暴雨总降雨量空间分布(图 5)可以看出,陕西省暴雨总降雨量从南向北依次减少。陕南到关中南部分布梯度较大,降雨量锐减,关中北部至陕北变化相对较小。陕北黄河沿线出现 2 400 mm 的大值中心,为陕北暴雨预报的重点关注区域;陕北西部和关中北部虽然出现 1 600 mm 的小值中心,但仍需关注极端暴雨带来的各种灾害。

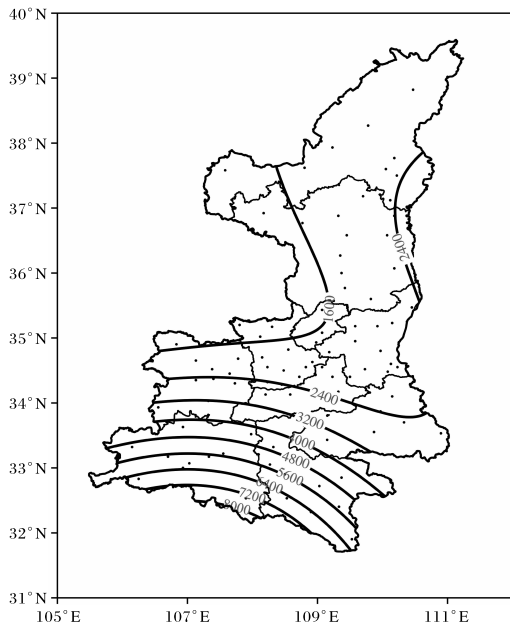


图5 1981—2020年6—9月陕西省各台站暴雨总降雨量(单位为mm)空间分布

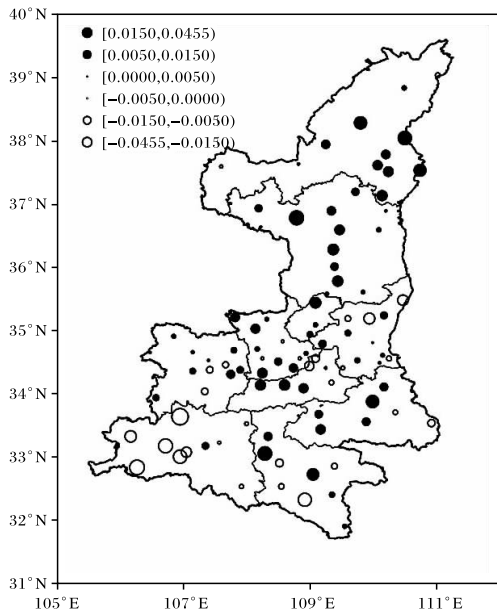


图6 1981—2020年6—9月陕西省各站暴雨日数线性变化趋势率(单位为d/10 a)空间分布

### 3.3 暴雨变化趋势

图6为1981—2020年陕西省各站暴雨日数线性变化趋势空间分布。可以看出,从南向北陕西暴雨日呈增加趋势的站点明显增多。陕南25站中仅12站暴雨日为增多趋势,占比为43%,其中线性变化倾向率 $\geq 0.015$  d/10 a的有3站(石泉、商州、安康),线性变化倾向率 $\leq -0.015$  d/10 a的有7站(留坝、宁强、勉县、南郑、岚皋、略阳、汉中)。关中45站中30站暴雨日为增多趋势,占比为67%,其中线性变化倾向率 $\geq 0.015$  d/10 a的有17站,线性变化倾向率 $\leq -0.015$  d/10 a的有2站(韩城、澄城)。陕北25站中有21站暴雨日呈增多趋势,占比高达84%,明显偏大,其中线性变化倾向率 $\geq 0.015$  d/10 a的有8站(志丹、佳县、榆林、吴堡、甘泉、洛川、清涧、绥德),无明显减少趋势的站点。可以看出,陕西暴雨雨带北移明显。

### 4 暴雨的周期变化特征

从功率谱时间变化(图7)来看,陕西省暴雨变化主要有1.0、4.0、6.0、31.0 a等4个明显周期,振荡较为频繁。分区域来看,陕北暴雨的周期性最为明显,明显周期分别为3.5、7.5、31.0 a;关中只存在2.5、5.0 a等2个明显周期;陕南存在

2.0、6.0、12.0、31.0 a等4个明显周期。可以看出陕西省暴雨及关中、陕南暴雨的短周期变化均表现出一定的复杂性。

### 5 结论与讨论

利用1981—2020年陕西省98个国家气象站日降水量资料,对陕西省6—9月暴雨进行了时空特征分析,主要结论如下。

(1)陕西省1981—2020年6—9月暴雨频次共有3995站次,年平均36~253站次,2015年最少,2011年最多。暴雨频次年际变化呈波动增多趋势,变化趋势率为2.594站次/10 a;陕北、关中暴雨频次年际变化呈增多趋势,其变化趋势率分别为2.706、1.052站次/10 a,但陕南呈减少趋势,其变化趋势率为-1.164站次/10 a。陕北和陕南在多个时段内暴雨频次呈现反位相变化特点。

(2)全省暴雨主要出现在7—8月,其次是9月,6月出现最少。陕北、陕南7月暴雨最多,关中8月最多;陕北暴雨月分布最为集中,83.0%的暴雨出现在7—8月;9月关中暴雨频次占6—9月的比例高于陕北和陕南。

(3)暴雨总降雨量为275495.3 mm,年平均暴雨降雨量为2436.8~16590.7 mm。降雨量随年份波动增加,其变化趋势率为236.4 mm/10 a,

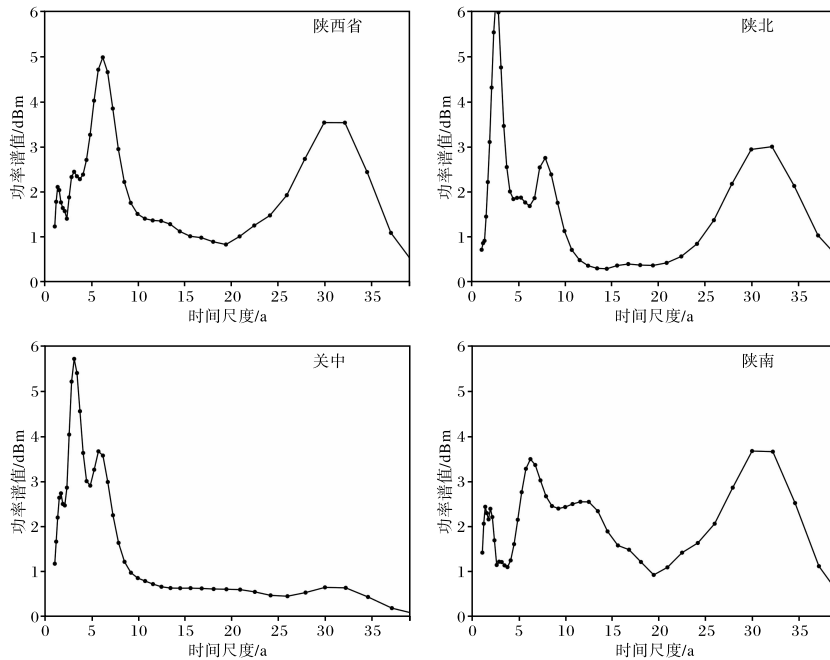


图7 1981—2020 年 6—9 月陕西省及其不同区域暴雨的功率谱变化

其中 1993 年最少,2011 年最多。陕北、关中暴雨总降雨量随年份均呈增加趋势,其变化趋势率分别为 236.1、60.8 mm/10 a;陕南暴雨随年份呈减少趋势,其变化趋势率为-60.5 mm/10 a。

(4)陕西省各站的暴雨日数为 12~176 d,从南向北暴雨日依次减少,陕南最南端的镇巴暴雨日最多,陕北西北部的定边最少,关中南至陕南暴雨日 $\geq 60$  d,关中北部至陕北暴雨日为 20~40 d;陕北北部为暴雨强度最大区域,其次为陕南南部和关中陇县、太白山等地;陕西省 75 站暴雨日不超过 42 d,20 站暴雨日为 49~84 d,2 站暴雨日为 120~123 d,1 站暴雨日为 176 d。从陕西省各站暴雨日线性变化率可以看出,从南向北陕西暴雨日呈增加趋势的站点明显增多。

(5)陕西省暴雨主要有 1.0、4.0、6.0、31.0 a 等 4 个明显周期变化,振荡较为频繁;分区域来看,陕北暴雨的周期性最为明显,存在 3 个明显周期,关中只存在 2 个明显周期,陕南存在 4 个明显周期。陕西省及关中、陕南暴雨的短周期变化均表现出一定的复杂性。

#### 参考文献:

- [1] 丁一汇. 中国暴雨理论的发展历程与重要进展[J]. 暴雨灾害, 2019, 38(5): 395-406.
- [2] 赵子惜, 陈志和. 基于 CMORPH 融合降水的中国暴雨时空分布特征分析[J]. 人民珠江, 2020, 41(8): 41-52.
- [3] 胡畔, 陈波, 史培军. 中国暴雨洪涝灾情时空格局及影响因素[J]. 地理学报, 2021, 76(5): 1148-1162.
- [4] 杜继稳, 侯明全, 梁生俊, 等. 陕西省短期天气预报技术手册[M]. 北京: 气象出版社, 2007: 11-30.
- [5] 高宇星, 刘峰, 刘瑞芳, 等. 基于稠密资料观测的近 10 a 西安地区暴雨特征[J]. 陕西气象, 2024(1): 29-36.
- [6] 肖貽青, 郭莉, 汪媛媛, 等. 秦巴山区近 30 年暴雨和短时强降水时空特征分析[J]. 陕西气象, 2023(5): 31-36.
- [7] 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.
- [8] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 2 版. 北京: 气象出版社, 2007: 71-75.
- [9] 李明, 高维英. 陕北黄土高原中部生态修复对局地气候的影响[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(2): 155-162.
- [10] 肖科丽, 赵国令, 方建刚, 等. 影响陕西汛期降水空间分布的强信号[J]. 气象科技, 2008, 36(4): 400-403.