

杨文海, 景博, 杨志莲, 等. 宁夏六盘山区汛期不同等级降水变化特征及其贡献度分析[J]. 陕西气象, 2024(5): 38-44.

文章编号: 1006-4354(2024)05-0038-07

宁夏六盘山区汛期不同等级降水变化特征及其贡献度分析

杨文海^{1,2,3}, 景博^{1,2,3}, 杨志莲³, 史海玲³

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室, 银川 750002;
2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002; 3. 固原市气象局, 宁夏固原 756000)

摘要: 利用 1971 以来宁夏六盘山区各地汛期(5—9 月)逐日降水观测数据, 分析了六盘山区汛期降水量的变化特征, 以及不同等级降水日数和强度对降水量增量的贡献。结果表明: (1) 六盘山区汛期降水量存在由东南向西北递减的特征, 六盘山南侧高海拔地区的降雨日数总体多于北侧的低海拔地区, 中雨雨量对汛期降水量的贡献最大, 小雨雨日对汛期降水日数贡献最大。(2) 大部地区小雨雨量和雨日均呈减少趋势; 六盘山与固原中雨雨量和雨日呈减少趋势, 其他地区均呈增加趋势; 大雨雨量和雨日均呈增加趋势; 隆德暴雨雨量和雨日呈减少趋势, 其他大部地区暴雨雨量和雨日均呈增加趋势。(3) 大部地区汛期降水量与降雨日数变化趋势在 1980 至 1990 年代发生突变, 由增加趋势变为减少趋势。(4) 降水强度变化引起的降水量增量均呈增加趋势, 降雨日数变化引起的降水量增加的区域主要位于六盘山南侧, 大部地区降水强度增量贡献大于降雨日数增量贡献。

关键词: 六盘山; 汛期; 降水量; 雨日; 变化趋势

中图分类号: P461.3

文献标识码: A

宁夏六盘山区位于宁夏南部的黄土高原之上, 北起海原, 南至泾源, 海拔 1 700 m 以上, 为近南北走向的狭长地带^[1], 是受青藏高原阻挡而形成的南北两支气流交汇区域, 同时也处于季风边缘及西风带中低层, 具有独一无二的气候条件, 在水源涵养、气候调节、生态平衡维持等方面起着重要作用^[2]。黄河支流清水河、泾河、葫芦河皆发源于六盘山, 六盘山气候的变化直接影响整个区域的地表径流流量; 因此, 深入研究六盘山区不同等级降水日数和强度的变化规律和贡献度, 能够更全面地了解六盘山区区域降水特征。

降水是水循环最为重要的要素之一, 在气候

变化及其区域响应中具有非常重要的地位。在全球变暖背景下, 西北地区降水的变化规律以及影响越来越受到关注^[3-5]。研究表明, 以夏季风北边缘线为界, 西北地区东部与西部汛期降水变化特征的差异很大, 其年际、年代际和总体趋势变化均表现出显著的跷跷板现象^[6], 但 21 世纪开始西部与东部同时进入增湿期^[7]。朱晓炜等^[8]分析了西北地区东部降水的时空分布, 指出西北地区东部降水主要集中在宁夏南部与青海东部。六盘山区属西北地区东部的半干旱半湿润过渡带, 目前针对六盘山气候开展了一些有意义的研究工作, 薛箐箐^[9]等研究指出, 六盘山周边地区的年代平均

收稿日期: 2023-10-23

作者简介: 杨文海(1986—), 男, 回族, 宁夏固原人, 学士, 高级工程师, 从事气象服务方面的研究。

通信作者: 景博(1979—), 女, 汉族, 宁夏固原人, 学士, 高级工程师, 从事地面观测、农业气象、决策气象服务方面的工作。

基金项目: 国家自然科学基金委员会区域创新发展联合资助项目(U20A2085); 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2021BEG02004)

降水量增加趋势明显大于六盘山地区。王素艳^[10]等分析了宁夏降水资源格局演变特征,发现潜在蒸散量增加,降水量减少,两者之差增加,宁夏南部山区秋季增加最多。然而,针对六盘山区汛期不同等级降水的分布、变化和贡献度方面的研究较少。已有研究表明,我国不同地区降水量和降水日数的变化在不同等级上并不具有同步性,且在不同季节内的变化特征也不一致^[11-13]。降水日数和降水强度变化对不同区域生态环境产生的影响不同^[14],曾颖婷等^[15]研究指出,全国不同流域降水频次和强度对夏季总降水量和极端降水量长期变化的贡献不同。六盘山区地形复杂,降水主要集中在汛期5—9月,汛期降水量占全年总降水量的近70%以上;因此,研究六盘山区汛期不同等级降水的变化特征,分析汛期不同等级降水时空分布规律及贡献度,可为六盘山区防灾减灾提供基础信息,进一步提升防汛减灾的科学性和高效性,同时为进一步提升该地区生态气象服务保障能力提供一定的参考依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源与处理

所用资料为宁夏六盘山区的六盘山、固原、海原、西吉、隆德、泾源6个国家气象站1971—2020年汛期(5—9月)的逐日降水数据,数据来源于宁夏回族自治区气象局数据库,均通过严格的质量控制,数据无缺失,且连续性、代表性强。根据中国气象局降水等级划分标准,将降水量大于0.0 mm的日数称为降雨日,日降水量划分为4个等级,其中:0.1~9.9 mm为小雨,10.0~24.9 mm为中雨,25.0~49.9 mm为大雨, ≥ 50.0 mm为暴雨。文中日降水量指的是前日20时—当日20时的降水总量。

1.2 研究方法

Karl等^[16]指出降水量变化由降水日数和降水强度变化共同引起,由降水日数变化引起的降水量变化部分 b_c 可由降水日数的趋势值 b_i 和研究时段内平均降水量 $\overline{P_e}$ 得到,该方法在中国部分地区^[14,17-19]降水特征研究中均得到很好的应用,其公式为:

$$b_c = \overline{P_e}(b_i) \quad (1)$$

降水强度变化引起的降水量变化的趋势 b_i 可由降水总趋势 b 与降水日数引起的降水量趋势之差得到:

$$b_i = b - b_c \quad (2)$$

为比较降水强度对降水日数变化趋势在降水增量中的贡献大小,计算 b_i 与 b_c 绝对值差值占 $\overline{P_e}$ 的比例 r :

$$r = \frac{|b_i| - |b_c|}{\overline{P_e}} \times 100\% \quad (3)$$

r 为正值表示降水强度变化趋势引起的降水增量大于降水日数增量变化,负值则相反。

采用一元线性回归分析法对降水时间序列进行趋势拟合。通过Mann-Kendall(简称M-K)统计方法对降水时间序列进行突变分析。

2 结果与分析

2.1 六盘山区不同等级降水多年平均状况

表1为1971—2020年六盘山区汛期年平均降水量及不同等级降水占汛期降水量的比例。可以看出,六盘山区各地汛期年平均降水量为325.5~516.9 mm,以中雨为主,占汛期降水量的35.3%~40.5%,其次为小雨、大雨,暴雨占比最少。对比来看,六盘山区降水分布存在由东南向西北递减的特征。泾源位于六盘山东南麓,地处东南季风的迎风坡,小雨、中雨、大雨和暴雨年均降水量明显大于六盘山西侧和北侧的地区,其中大雨和暴雨雨量占比均大于其他地区。

表1 1971—2020年六盘山区各站汛期年平均降水量及不同等级降水占汛期降水量的比例

站名	汛期年平均 降水量/mm	占汛期降水量比例/%			
		小雨	中雨	大雨	暴雨
六盘山	511.8	30.2	40.0	24.7	5.1
海原	307.6	32.9	37.7	22.6	6.8
固原	362.7	31.2	40.5	21.0	7.3
西吉	325.5	38.2	40.4	17.8	3.6
隆德	412.2	33.0	39.5	21.7	5.8
泾源	516.9	28.3	35.3	26.8	9.6

表2为1971—2020年六盘山区汛期年平均降雨日数及不同等级降水占汛期降雨日数的比

例。可以看出,六盘山区各地年平均降雨日数为 54.0~71.0 d,以小雨雨日为主,占汛期降雨日数的 75.4%~81.5%,其次为中雨日数,大雨日数和暴雨日数占比均低于 6%。将各地的海拔高度与降雨日数进行对比分析,发现汛期降雨日数与当地的海拔高度有大致的匹配关系,位于南侧高

海拔地区的降雨日数总体多于北侧的低海拔地区,六盘山站降雨日数、小雨日数和中雨日数均偏多。泾源位于六盘山东南麓,地处东南季风的迎风坡,受地形和海拔高度等因素影响,大雨日数和暴雨日数均高于其他站。

表 2 1971—2020 年六盘山区各站汛期年平均降雨日数及不同等级降水占汛期降雨日数的比例

站名	海拔高度/m	汛期年平均降雨日数/d	占汛期降雨日数比例/%			
			小雨	中雨	大雨	暴雨
六盘山	2 842.8	71.0	75.4	18.7	5.3	0.6
海原	1 854.0	48.0	79.4	15.4	4.4	0.8
固原	1 835.5	54.0	77.4	17.6	4.3	0.7
西吉	1 916.5	57.3	81.5	15.2	3.0	0.3
隆德	2 078.6	62.7	78.0	17.1	4.3	0.6
泾源	1 984.7	67.7	75.8	17.1	5.9	1.2

2.2 六盘山区不同等级降水量和降雨日数的变化特征

表 3 为 1971—2020 年六盘山区汛期不同等级降水量变化趋势。可以看出,近 50 a 六盘山区各地降水量均呈增加趋势,气候倾向率为 3.9~20.7 mm/(10 a),最大与最小之间相差 16.8 mm/(10 a),增加趋势排名为:泾源>海原>固原>西吉>六盘山>隆德。近 50 a 小雨雨

量均呈减少趋势;六盘山与固原中雨雨量呈减少趋势,其他地区呈增加趋势;大雨雨量均呈增加趋势,其中固原通过 0.05 的显著性检验;暴雨雨量除六盘山与隆德呈减少趋势外,其他地区呈增加趋势。无论是六盘山东侧、西侧还是北侧,小雨雨量变化趋势与其他等级降水变化趋势有明显差异,气候倾向率均为负值;大雨雨量气候倾向率均为正值。

表 3 1971—2020 年六盘山区各站汛期不同等级降水量气候倾向率 单位:mm/(10 a)

降水量级	六盘山	海原	固原	西吉	隆德	泾源
小雨	-3.0	-1.5	-3.6	-3.6	-3.9	-5.0
中雨	-5.6	2.5	-0.3	2.0	4.6	8.0
大雨	15.5	7.4	9.3*	6.7	9.0	14.1
暴雨	-1.6	4.7	4.4	3.7	-5.7	3.6
汛期降水量	5.3	13.1	9.8	8.9	3.9	20.7

注:*表示通过 0.05 的显著性检验。

表 4 列出了 1971—2020 年六盘山区汛期不同等级降水突变前后平均降水量差异。利用 Mann-Kendall 检验法和滑动 t 检验法,对 1971—2020 年六盘山区汛期不同等级降水量突变年份进行检验,结果表明:海原汛期降水量未发

生突变,其他 5 站汛期降水量在 1980 至 1990 年代发生突变,突变前降水量为 328.2~526.3 mm,突变后降水量为 320.4~518.4 mm,突变前降水量均呈增加趋势,突变后至 2000 年代呈减少趋势,2010 年代以来六盘山区汛期降水量

虽呈增加趋势,但检验结果表明未再次发生突变;各地暴雨雨量均未发生突变;固原大雨雨量在2000年发生突变,突变前大雨雨量呈缓慢增加趋势,突变后呈明显增加趋势,其他地区大雨雨量未发生突变;海原和隆德中雨雨量未发生突变,固原、六盘山和西吉中雨雨量分别在1991年和2001年发生突变,突变前中雨雨量呈增加趋势,突变后呈减少趋势,泾源中雨雨量在2004年发生

突变,突变前为减少趋势,突变后呈增加趋势,突变前后中雨平均降水量相差达40.9 mm;六盘山、西吉、隆德和泾源4地小雨雨量突变发生在20世纪90年代中期,海原小雨雨量突变发生在1977年,固原小雨雨量突变发生在2006年,突变前各地小雨雨量均呈增加趋势,突变前后小雨平均降水量相差6.5~16.4 mm。

表4 1971—2020年六盘山区各站汛期不同等级降水突变前后平均降水量差异 单位:mm

站名	小雨		中雨		汛期降水量	
	突变前(突变年)	突变后	突变前(突变年)	突变后	突变前(突变年)	突变后
六盘山	160.0(1995)	153.5	227.4(1991)	192.7	526.3(1980)	508.0
海原	114.6(1977)	99.2	—	—	—	—
固原	118.3(2006)	101.9	158.6(1991)	140.1	368.0(1986)	362.5
西吉	131.9(1994)	118.3	135.0(2001)	126.8	328.2(1995)	320.4
隆德	142.9(1996)	130.0	—	—	419.0(1993)	405.2
泾源	155.3(1997)	139.7	168.6(2004)	209.5	509.6(1985)	518.4

注:—表示未出现突变。

表5列出了1971—2020年六盘山区汛期不同等级降雨日数气候倾向率。可以看出,近50a六盘山区汛期降雨日数变化趋势空间差异大,其中位于六盘山南侧的隆德和泾源呈增加趋势,六盘山站降雨日数则呈缓慢减少趋势,位于六盘山北侧的海原、固原和西吉呈减少趋势。近50a小雨雨日除隆德呈增加趋势外,其他地区均呈减少

趋势,其中固原和西吉减少趋势通过0.01的显著性检验;六盘山与固原中雨雨日以0.08~0.23 d/(10 a)的趋势减少,其他地区呈增加趋势;大雨雨日均呈增加趋势,其中固原增加趋势通过0.05的显著性检验;六盘山暴雨雨日变化趋势不明显,隆德暴雨雨日呈缓慢减少趋势,其他地区呈缓慢增加趋势。

表5 1971—2020年六盘山区各站汛期不同等级降雨日数气候倾向率 单位:mm/(10 a)

降水量级	六盘山	海原	固原	西吉	隆德	泾源
小雨	-0.23	-1.19	-1.59*	-1.73**	0.58	-0.60
中雨	-0.23	0.02	-0.08	0.05	0.19	0.55
大雨	0.44	0.24	0.27*	0.23	0.23	0.42
暴雨	0.00	0.08	0.06	0.05	-0.07	0.03
总降雨日数	-0.03	-0.86	-1.35	-1.40	0.92	0.40

注:*表示通过0.05的显著性检验;**表示通过0.01的显著性检验。

表6为1971—2020年六盘山区汛期不同等级降雨突变前后平均日数差异。检验结果表明:隆德降雨日数未发生突变,其他地区降雨日数在

1980至1990年代初发生突变,突变前呈增加趋势;突变后至2000年代呈减少趋势,2010年代以来六盘山区降雨日数虽呈增加趋势,但检验结果

表明未再次发生突变;各地大雨和暴雨雨日均未发生突变;六盘山与固原中雨雨日在1990年代初发生突变,海原、西吉和泾源中雨雨日在2000年代发生突变,突变前为增加趋势,突变后呈减少趋

势;六盘山小雨雨日突变发生在1978年,海原和西吉小雨雨日突变发生在1980年代,固原和泾源小雨雨日突变发生在1990年代,突变前为增加趋势,突变后呈减少趋势。

表6 1971—2020年六盘山区各站汛期不同等级降雨突变前后平均日数差异 单位:d

站名	小雨雨日		中雨雨日		汛期降雨日数	
	突变前(突变年)	突变后	突变前(突变年)	突变后	突变前(突变年)	突变后
六盘山	56.0(1978)	53.2	14.0(1994)	12.7	72.1(1980)	70.7
海原	41.5(1986)	36.5	7.6(2003)	7.1	51.3(1986)	46.4
固原	44.7(1992)	39.8	10.4(1993)	8.9	58.6(1990)	51.4
西吉	51.3(1989)	44.1	8.9(2006)	8.5	61.4(1990)	54.9
隆德	—	—	—	—	—	—
泾源	53.4(1993)	49.3	10.6(2001)	13.3	68.9(1985)	67.2

注:—表示未出现突变。

2.3 降水强度与降雨日数对降水增量的贡献

由表7可看出,对汛期降水量而言,降水强度变化引起的降水量增量均呈增加趋势;降雨日数变化引起的降水量增加的区域主要位于六盘山南

侧,六盘山北侧降水日数变化趋势引起的降水量变化呈下降趋势。除隆德降雨日数增量贡献大于降水强度增量贡献外,其他地区降水强度增量贡献大于降雨日数增量贡献。

表7 1971—2020年六盘山区各站汛期不同等级降水日数增量与降水强度增量贡献度分析

	降水量级	六盘山	海原	固原	西吉	隆德	泾源
降水强度变化对降水量增量贡献	小雨	—	—	—	—	—	—
	中雨	—	+	—	+	+	+
	大雨	+	+	+	+	+	+
	暴雨	—	+	+	+	—	+
	总降水量	+	+	+	+	+	+
降水日数变化对降水量增量贡献	小雨	—	—	—	—	+	—
	中雨	—	+	—	+	+	+
	大雨	+	+	+	+	+	+
	暴雨	+	+	+	+	—	+
	总降雨日数	—	—	—	—	+	+
r/%	小雨	0.16	-0.01	0.11	0.06	0.29	0.26
	中雨	0.24	0.21	0.01	0.14	0.26	0.36
	大雨	1.18	1.04	1.18	1.13	0.98	0.97
	暴雨	0.61	2.23	1.65	3.07	2.38	0.72
	总降水量	0.10	0.43	0.27	0.27	-0.02	0.35

注: +表示降水强度(日数)变化引起的降水量增量增大; -表示降水强度(日数)变化引起的降水量增量减小。

张强等^[6]研究发现,不同等级降水对西北地区汛期降水增加的影响不同。从不同等级降水量增量中降水强度与降雨日数引起的降水量趋势贡献可以看出:除隆德外,其他地区小雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为负贡献;六盘山与固原中雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为负贡献,其他地区均为正贡献;大雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为正贡献;隆德暴雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为负贡献,六盘山暴雨雨日增量贡献为负,强度增量贡献为正,其他地区暴雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为正贡献;除海原县小雨日数增量贡献大于小雨强度增量贡献外,六盘山区不同等级降水强度增量贡献均大于降水日数增量贡献。

3 结论

(1)六盘山区汛期降水量分布存在由东南向西北递减的特征,中雨对汛期降水量的贡献最大,其次为小雨和大雨。小雨雨日对汛期降水日数贡献最大,其次为中雨和大雨,各地降雨日数与当地的海拔高度有大致的匹配关系,位于南侧高海拔地区的降雨日数总体多于北侧的低海拔地区,六盘山站降雨日数、小雨日数和中雨日数均偏多。泾源受地形和海拔高度等因素影响,大雨和暴雨雨量占比及日数均高于其他站。

(2)六盘山区汛期降水量与降雨日数变化趋势空间差异大,降水量气候倾向率最大值与最小值之间相差 16.8 mm/(10 a);位于六盘山南侧的隆德和泾源降水日数呈增加趋势,位于六盘山北侧的海原、固原和西吉降水日数则呈减少趋势。除隆德外,其他地区小雨雨量和雨日均呈减少趋势;六盘山与固原中雨雨量和雨日呈减少趋势,其他地区均呈增加趋势;各地大雨雨量和雨日均呈增加趋势;隆德暴雨雨量和雨日呈减少趋势,其他地区暴雨雨量和雨日均呈增加趋势。

(3)六盘山大部地区汛期降水量与降雨日数变化趋势在 1980 至 1990 年代发生突变,由增加趋势突变为减少趋势,2010 年代以来六盘山区汛期降水量与降水日数虽呈增加趋势,但均未再次发生突变。隆德各等级降雨雨日变化趋势均未发生突变;除固原大雨雨量在 2000 年发生突变外,

各地大雨和暴雨雨量与雨日均未发生突变;大部地区中雨雨量和雨日在 1990 年代至 2000 年代发生突变,其中泾源中雨雨量突变前后的变化趋势与固原、六盘山和西吉三地突变前后的变化趋势相反;六盘山区小雨雨量与雨日在 1970 年代末到 2000 年代陆续发生突变,突变前各地小雨雨量和雨日均呈增加趋势,突变后呈减少趋势。

(4)对汛期降水量而言,降水强度变化引起的降水量增量均呈增加趋势;降雨日数变化引起的降水量增加的区域主要位于六盘山南侧,六盘山北侧降水日数变化趋势引起的降水量变化呈下降趋势。除隆德降雨日数增量贡献大于降水强度增量贡献外,其他地区降水强度增量贡献大于降雨日数增量贡献。

(5)不同等级降水对六盘山区汛期降水增加的影响不同,大部地区小雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为负贡献;六盘山与固原中雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为负贡献,其他地区均为正贡献;各地大雨雨日增量贡献和强度增量贡献均为正贡献;隆德与六盘山两地暴雨雨日和雨强增量贡献与其他地区有明显差异;除海原县外,其他地区不同等级降水强度增量贡献均大于降水日数增量贡献。

参考文献:

- [1] 孙银川,王素艳,李浩,等. 宁夏六盘山区夏季避暑旅游气候舒适度分析[J]. 干旱气象,2018,36(6): 1035-1042.
- [2] 马思敏,穆建华,舒志亮,等. 六盘山区一次典型暴雨过程的地形敏感性模拟试验[J]. 干旱气象,2022,40(3):476-468.
- [3] 陈亚宁,杨青,罗毅,等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理,2012,35(1):1-9.
- [4] 张娟,李剑萍,王誉陶,等. 西北干旱地区气候变化及其对草地生产潜力的影响[J]. 生态科学,2020,39(3):182-192.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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,2021,66:3757-3771.
- [8] 朱晓炜,杨建玲,崔洋,等. 1961—2009年西北地区东部降水时空分布及成因[J]. 干旱区研究,2013,30(6):1094-1099.
- [9] 薛笋笋,肖建辉,高英育,等. 宁夏六盘山和周边地区1980—2017年降水变化特征[J]. 宁夏大学学报(自然科学版),2022,43(3):411-416.
- [10] 王素艳,李欣,王璠,等. 宁夏降水资源格局演变特征[J]. 干旱区研究,2021,38(3):733-746.
- [11] 王延吉,神祥金,姜明. 1961~2018年长白山区不同等级降水时空变化特征[J]. 气候与环境研究,2021,26(2):227-238.
- [12] 卢珊,王百朋,张宏芳,等. 基于中国降水格点数据集的陕西夏季不同等级降水时空变化特征分析[J]. 陕西气象,2022(2):18-23.
- [13] 张天圣,蔡英纓,符曦. 海南岛汛期降水变化特征及其与旱涝的关系[J]. 陕西气象,2022(1):47-52.
- [14] 杨昭明,张调风. 1961—2017年青藏高原东北部雨季降水量变化及其贡献度分析[J]. 干旱区研究,2021,38(1):22-28.
- [15] 曾颖婷,陆尔. 1961—2010年我国夏季总降水和极端降水的变化[J]. 气候变化研究进展,2015,11(2):131-138.
- [16] KARL T R,KNIGHT R W. Secular trends of precipitation amount, frequency, and intensity in the United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(2): 231-241.
- [17] 王腾,孙晓光,李白萍. 昌都市近36 a暴雨气候特征分析[J]. 暴雨灾害,2017, 36(1):75-80.
- [18] 徐新创,张学珍,戴尔阜,等. 1961—2010年中国降水强度变化趋势及其对降水量影响分析[J]. 地理研究,2014, 33(7): 1335-1347.
- [19] 安彬,肖薇薇,张淑兰,等. 1960—2017年黄土高原不同等级降水日数和强度时空变化特征[J]. 干旱区研究,2021, 38(3):714-734.