

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2023.03.006.

李理, 刘俊杰, 朱文博, 等. 秦巴山地气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 水土保持研究, 2023, 30(3): 318-326.

LI Li, LIU Junjie, ZHU Wenbo, et al. Climate Change Characteristics and Regional Response to Droughts and Floods in the Qinlin-Daba Mountains [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(3): 318-326.

秦巴山地气候变化特征与旱涝区域响应

李理¹, 刘俊杰², 朱文博³, 王丽园³, 朱连奇³, REGMI Balmukunda⁴

(1.北京师范大学 政府管理学院, 北京 100875;

2 中国科学院 地理资源与科学研究所, 北京 100101; 3.河南大学 地理与环境学院, 河南 开封 475004;

4. Department of Pharmacy, Institute of Medicine, Tribhuvan University, Maharajgunj, Kathmandu 44606, Nepal)

摘要: [目的] 气候变化对自然环境和人类活动产生重要影响, 厘清全球变化背景下极端气候灾害发生的频次和强度对于维护人民生命财产安全具有重要意义。[方法] 根据 1970—2017 年秦巴山地内 102 个气象站点的逐日数据, 运用线性回归、Mann-Kendall 非参数检验、反距离权重法 (IDW)、Z 指数法和 Morlet 小波变换等方法, 分析近 48 年秦巴山地气候变化特征及西部大起伏高山区、秦岭大起伏高中山区、大巴山大起伏中山区和豫西汉中中山谷地 4 个地貌单元上的区域旱涝灾害响应研究。[结果] 近 48 年来秦巴山地气温以 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 增加, 降水以 $0.87\text{ mm}/10\text{ a}$ 的速率增加, 全区气候朝暖湿化趋势发展。研究时段内, 不同地形区气温都呈上升趋势, 但增加速率不同, 大巴山大起伏中山区增速最大 ($0.7^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$)、豫西汉中中山谷地最低 ($0.2^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$), 从降水量及变化趋势来看, 大巴山大起伏中山区降水量明显高于其他地形区, 变化倾向率最大 ($13.45\text{ mm}/10\text{ a}$), 西部大起伏高山区变化倾向率最低为 $0.06\text{ mm}/10\text{ a}$ 。秦巴山地旱涝灾害发生的程度年际差异明显, 且 1970—2017 年有加剧的趋势, 4 个区域旱涝灾害对气候变化的响应存在差异: 大巴山大起伏中山区旱涝灾害对气候变化的响应表现为总体偏涝, 涝灾出现的频率与强度均有加剧态势; 豫西汉中中山谷地、秦岭大起伏高中山区及西部大起伏高山区总体表现为偏旱, 旱灾频率和强度明显高于涝灾。[结论] 1997—2017 年秦巴山地呈暖湿化现象, 极端气候事件的频率和强度呈增加趋势, 研究结论为不同区域分类、分级制定水土保持规划提供依据。

关键词: 气候变化; 旱涝灾害; 线性回归; 秦巴山地

中图分类号: P426.616

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2023)03-0318-09

Climate Change Characteristics and Regional Response to Droughts and Floods in the Qinlin-Daba Mountains

LI Li¹, LIU Junjie², ZHU Wenbo³, WANG Liyuan³, ZHU Lianqi³, REGMI Balmukunda⁴

(1. School of Government, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Research, CAS, Beijing 100101, China;

3. College of Geography and Environment Science, Henan University, Kaifeng, Henan 475004, China;

4. Department of Pharmacy, Institute of Medicine, Tribhuvan University, Maharajgunj, Kathmandu 44606, Nepal)

Abstract: [Objective] Climate change has had an important impact on the natural environment and human activities, and it is important to clarify the frequency and intensity of extreme climate disasters in the context of global change to maintain the safety of people's lives and property. [Methods] According to the daily data of 102 meteorological stations in Qinlin-Daba Mountains from 1970 to 2017, linear regression, inverse distance weighting (IDW) and Z-index method transform were used to analyze the climate change character-

收稿日期: 2022-01-22

修回日期: 2022-03-21

资助项目: 国家重点研发计划 (2021YFE0106700); 国家自然科学基金项目 (41671090); 科技基础资源调查专项 (2017FY100902)

第一作者: 李理 (1996—), 男, 湖南临湘人, 博士研究生, 主要从事土地利用政策评估与全球变化研究。E-mail: lili19960217@163.com

通信作者: 朱连奇 (1963—), 男, 河南郸城人, 教授, 博士生导师, 中国地理学会会员 (S110007014M), 主要从事山地地理环境及资源开发利用的研究。E-mail: lqzhu@henu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

istics of the Qinlin-Daba Mountains in the past 48 years. The responses of regional drought and flood disasters in the four highland areas of the great undulating high mountains in the western Qinling-Daba Mountains, the great undulating middle-high mountains in Qinling Mountains, the great undulating middle mountains in Daba Mountains, and the middle mountains and lower valleys of the Hanzhong in the west of Henan were examined, and the spatial difference of drought and flood disasters in the area was further analyzed. [Results] The temperature in Qinlin-Daba Mountains increased by $0.3^{\circ}\text{C}/\text{decade}$ in the past 48 years, and the precipitation increased at a rate of $0.87\text{ mm}/\text{decade}$. The climate of the whole area were warming and humidifying. In the past 48 years, the temperature in different terrains had been increasing, but the rates of increase were different. The growth rate of the great undulating middle mountains in the Daba Mountains was the largest ($0.7^{\circ}\text{C}/\text{decade}$), and the growth rate of lower valleys of the Hanzhong in the west of Henan was the least ($0.2^{\circ}\text{C}/\text{decade}$). In terms of the trend of the precipitation changes, the precipitation in the central and the great undulating middle mountains in Daba Mountains was significantly higher than that in other topographic areas, with the highest change tendency ($13.45\text{ mm}/\text{decade}$), and change tendency in lower valleys of the Hanzhong in the west of Henan was $0.06\text{ mm}/\text{decade}$. The inter-annual differences in the occurrence of droughts and floods in Qinlin-Daba Mountains were obvious, and there was an increasing trend from 1970 to 2017. The responses of four regional droughts and floods to climate change were different: the drought and flood disasters in the great undulating middle mountains in Daba Mountains compared were related to climate change. The response showed overall abundant precipitation, and the frequency and intensity of the disasters increased. The great undulating middle mountains in Daba Mountains and lower valleys of the Hanzhong in the west of Henan showed a general drought, and the frequency and intensity of the drought were significantly higher than the disaster. [Conclusion] From 1997 to 2017, the Qinlin-Daba Mountains area showed a warming and wetting phenomenon, and the frequency and intensity of extreme climate events showed an increasing trend. The conclusions of this study can provide a basis for the classification and grading of soil and water conservation planning in different regions.

Keywords: climate change; drought and flood disaster; linear regression; Qinlin-Daba Mountains

IPCC 第五次评估报告指出全球范围内过去一百年平均地表温度升高 0.85°C , 1983—2012 年是过去 1400 年中北半球最暖的 $30\text{ a}^{[1-2]}$, 在此背景下形成的旱涝灾害已成为全球经济损失最为严重的气象灾害, 每年直接经济损失达 (60~80) 亿美元^[3]。中国作为受旱涝灾害影响最为严重的国家之一, 每年损失的粮食经济价值损失高达 2 000 亿元^[4-6]。为应对全球变化导致的不确定性气象灾害, 对于气候灾害的形成机理及影响机制成为各国科学家研究的方向^[7-9]。国内学者如杜华明利用 1961—2012 年四川省 40 个气象站点的逐月气温和降水资料分析不同地貌单元旱涝区域的响应^[10]; 胡毅洪利用标准化降水指数和夏季旱涝直转指数分析洞庭湖近 65 年旱涝演变趋势及典型年份旱涝急转特征, 结果表明洞庭湖区旱涝现象严重, 季节尺度上存在显著差异, 且不同地域单元上旱涝灾害及急转特征不一致^[11]; 李丽娟等^[12]运用地统计学中克里格插值法对无定河流域 67 个雨量站数据进行了插值分析, 据此评判流域内旱涝灾害的空间变

异特征; 曹永强等^[13]利用标准化降雨指数(SPI)对黄淮海流域内干旱程度的时空特征进行分析, 研究结果证实流域内气候暖干化, 且黄河、海河旱涝变化现象呈现一致性; 杨金虎等^[14]通过对西南地区近 60 年旱涝灾害的持续性及强度特征进行分析, 显示区域内洪涝事件的持续时间、发生强度和季节性不存在显著变化特征, 且发生频率呈减少趋势。目前, 大多学者利用 Z 指数法和标准化降雨指数(SPI)计算区域内旱涝灾害等级, 揭示不同时段内旱涝灾害演变特征, 但对于不同地貌类型上旱涝灾害时空分布的差异性研究尚不多见, 此外, 秦巴山地是中国典型的南北过渡地区, 具有多样的地貌类型, 探究全球变化背景下不同地貌类型上旱涝灾害的时空特征及演变规律对于揭示北亚热带—南暖温带过渡情形下气象灾害具有显著意义, 为区域内气象灾害防治及制定水土保持规划提供科学依据。

秦巴山地位于中国南北地理过渡带、大尺度东西向的生态廊道, 更是我国级别最高的生态安全保障

区。研究秦巴山地气候变化特征对于理解山区气象灾害频率及程度有重要意义,对于遏制区内水土流失、提升生态环境质量具有参考作用。此外,分析区域内不同地貌类型旱涝灾害发生的频次和强度有助于分区制定区域发展政策,减少自然灾害直接引起的经济损失。因此,本文以秦巴山地为研究对象,利用 1970—2017 年逐日降水和气温为数据源,运用气候倾向率、Z 非参数统计检验、反距离插值法(IDW)分析秦巴山地近 48 年气候变化的时空特征,使用小波分析对区内气候变化和旱涝灾害的发生频次进行周期性分析,旨在维护秦巴山地内人类福祉、提升区内生态环境质量。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本研究采用的 1970—2017 年秦巴山地逐日气温和降水数据来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>),为提升数据研究的精度和可信度,对秦巴山地内 118 个气象站点进行筛选,剔除观测时间短、数据记录不完整的站点,最终选取秦巴山地 102 个气象站点的逐日气温和降雨量资料为研究的基础数据(图 1)。以 1970—2017 年为一个气候周期,对气温、降水要素进行季节、年均和年代平均形成相应的数据序列,以此研究秦巴山地近 48 a 气候变化特征。

1.2 研究方法

1.2.1 气候要素的变化倾向率 气候要素的变化倾向率在假设某站某气候要素时间序列为 $y_1, y_2, y_i, \dots, y_n$ 基础上,运用一元线性回归方程进行计算,表示某一种气候要素的长期变化趋势^[15],其计算公式如下:

$$y = b + at \quad (1)$$

表 1 秦巴山地旱涝等级标准

旱涝等级	1	2	3	4	5	6	7
Z 值范围	$Z \geq 1.625$	$1.025 \leq Z < 1.625$	$0.425 \leq Z < 1.025$	$-0.425 \leq Z < 0.425$	$-1.025 < Z \leq -0.425$	$-1.625 < Z \leq -1.025$	$Z \leq -1.625$
旱涝程度	重涝	大涝	偏涝	正常	偏旱	大旱	重旱

1.2.3 统计分析 采用非参数检验 Mann-Kendall 和小波分析从时间上分析秦巴山区气候变化趋势; Mann-Kendall 是检验气候突变常用的方法之一,主要用于检测长时间序列的变化趋势以及识别气候变化过程中的突变值。小波分析能够对长时间序列的气候变化时间和频率进行周期分析,优势在于能完整反映气候变化的周期性特征。运用 ArcGIS 软件中反距离权重法(IDW)将 102 个气象站点的气温和降水进行插值,得到秦巴山地气温和降水空间分布格局,并综合比对不同地形区上年旱涝指数的变

式中: a 为回归系数; b 为常数; t 为时间; 其中 $a > 0$ 时,表示要素 y 在计算时段内线性增加, $a < 0$ 时,反映要素 y 在计算时段内线性减少; $a \times 10$ 称做气候倾向率($^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$)^[11]。

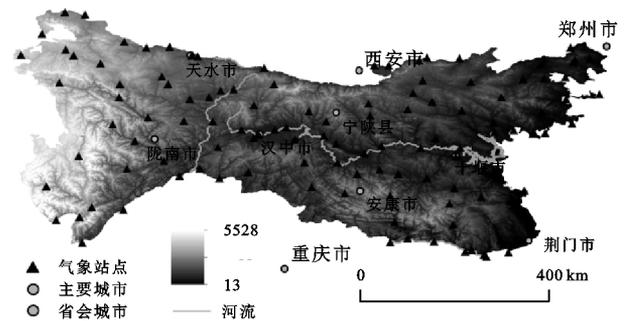


图 1 研究区气象站点分布

1.2.2 Z 指数法 Z 指数法是一种用来表示旱涝程度的数学方法。由于年降水量并不一定遵循正态分布,其核心是假定年降水量 R 不一定服从正态分布,对年降水量序列进行标准正态化处理,利用概率密度函数^[16]分布转换以 Z 为变量的标准正态分布^[17],公式如下:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right) \frac{1}{3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (2)$$

式中: φ_i 为研究区降水的标准化变量; C_s 为偏态系数, $\varphi_i C_s$ 均由降水量资料序列计算得到^[16],计算步骤如下:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_{\text{mean}})^3}{n \delta^3} \quad (3)$$

$$\varphi_i = \frac{R_i - R_{\text{mean}}}{\delta} \quad (4)$$

式中: R_i 为年降水量; n 为研究区样本个数; R_{mean} 为多年平均降雨量; δ 为样本标准差。利用公式(1)对秦巴山地不同地貌单元的降水量进行计算,参照表 1 确定研究区内不同地形区旱涝等级及频次。

化特征,判别年旱涝灾害区域分布上的差异性及其空间演变规律。

2 结果与分析

2.1 秦巴山地气温变化特征

2.1.1 秦巴山地年均气温时间序列变化 根据 1970—2017 年秦巴山地逐日气温数据计算历年平均气温及不同地形区年均气温变化趋势(图 2)。秦巴山地多年平均气温为 13.8°C ,气温倾向率为 $0.3^{\circ}\text{C}/10 \text{ a}$ ($r = 0.655, p < 0.01$),增温速率低于我国北方地区^[18],但高于

四川省气温增长速率^[10],表明气候变化存在区域差异性。区内增温过程总体上存在两个阶段,分别是 1970—1984 年存在缓慢变冷的趋势以及 1984—2017 年增温趋势明显,表明 20 世纪 80 年代存在低值中心,最低气温为 12.27℃,从 20 世纪 90 年代中期开始,气温呈显著上升态势,2016 年气温达到最高值(14.30℃)。

利用 M-K 检验对 1970—2017 年近 48 a 年代气温进行突变检验,结果显示 1997 年出现突变点(图 3),与杜华明发现四川省气温于 1996 年出现突变点^[10],证实全球气候变暖存在同步性^[19-21]。参考北京大学城市与环境学院地理数据平台(<http://geo-data.pku.edu.cn>),结合中国地貌区划图,将秦巴山

地分为豫西汉中中山谷地(海拔 < 2 000 m,起伏度 < 500 m)、大巴山大起伏中山(海拔 < 2 500 m,起伏度 500~2 500 m)、秦岭大起伏高中山(海拔 2 000~4 000 m,起伏度 1 000~2 500)和西部大起伏高山区(海拔 4 000~6 000 m,起伏度 1 000~2 500 m)等地形区。近 48 a 来,西部大起伏高山区、秦岭大起伏高中山区、豫西汉中中山谷地和大巴山大起伏中山区年平均气温分别为 9.70℃,12.09℃,15.04℃和 17.24℃,不同地形区年均气温均呈现上升趋势,其中大巴山大起伏中山区气温增速 0.7℃/10 a($r=0.806, p<0.01$)远高于其他地形区,豫西汉中中山谷地气温增速最低为 0.2℃/10 a($r=0.601, p<0.01$)。

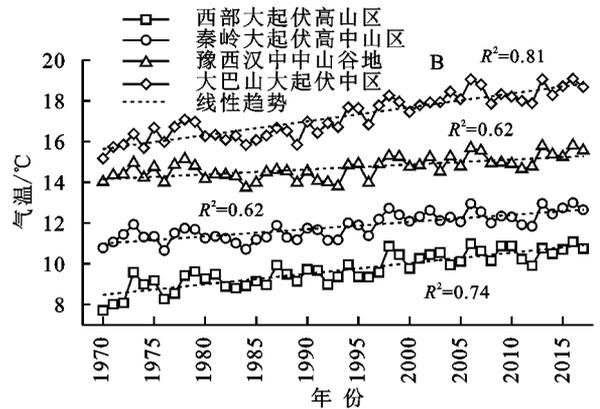
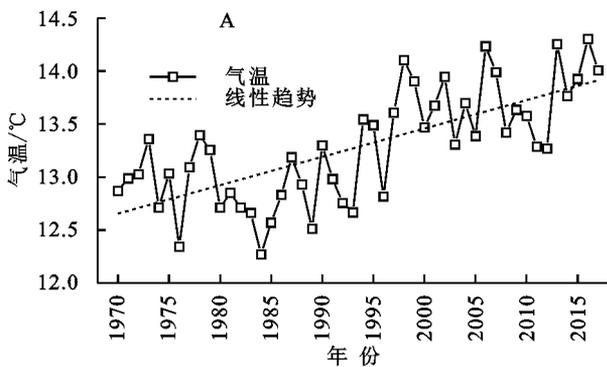


图 2 1970—2017 年秦巴山区年均气温(A)及不同地形区年均气温(B)趋势分布

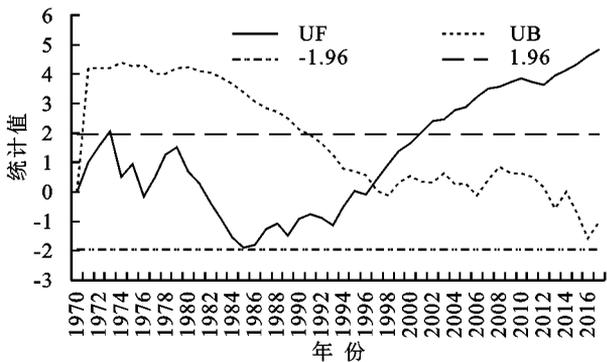


图 3 秦巴山地气温 Mann-Kendall 突变检测曲线

2.1.2 秦巴山地年平均气温空间格局分析 秦巴山地年平均气温呈东南高、西北低,年均气温介于 2.66~17.54℃,空间上呈显著的异质性。其中,豫西汉中中山谷地和大巴山大起伏中山区年均气温明显高于秦岭大起伏高中山区和西部大起伏高山区,其主要原因为气温受地形因素影响较大,而秦巴山地西接青藏高原东部,地势呈西北高、东南低,这与周梦甜对重庆市气温时空变化研究相一致,发现重庆市西部、主城区以及中部的气温普遍比东北部、东南部和西南部高,显示地形显著影响气温分布^[22]。不同地形区内气温空间变化趋势也存在明显的空间差异,西部大起伏高山区和秦岭大起伏高中山区气温分布呈北高南

低,而豫西汉中中山谷地和大巴山大起伏中山区区内气温空间变化不显著。秦巴山地气温变化倾向率与气温的空间格局上存在差别,表现为西北高、东南低和小范围集聚分布的空间特征,且变化倾向率值介于 -0.35~0.64℃/10 a 范围内,秦岭大起伏高中山区中气温存显著上升趋势,而大巴山大起伏中山区气温呈显著下降态势,综合来看,增温趋势对于区内不同的地貌单元呈显著的差异性,其中高海拔地区增温最明显、低海拔地区增温最小,表明地形起伏特征是影响气温增速的主要因素(图 4)。

2.2 秦巴山地降水变化特征

2.2.1 秦巴山地年均降水量时间变化趋势 秦巴山地多年平均降水量 756.91 mm,降水主要集中在夏季和秋季,降水量分别为 362.14 mm 和 206.45 mm,比重之和占全年降水量的 71%,而冬季降水量仅为 17.32 mm,其主要原因为冬季降雪较多,但本文未考虑降雪。秦巴山地年际降水呈动态变化特征,1983 年区内降水量达到峰值(1 011.36 mm)、最低值为 532.38 mm 出现在 1997 年,其年际降水量差异最大值为 478.98 mm,年际降水量分配不均匀成为区域旱涝灾害形成的主导因素。区域内降水量呈增加趋势,增速为 0.87 mm/10 a,强于区内气温增温速率,证实同一区域内气候变化具有非同步性。

研究时段内,不同地形区降水量存在明显差别,其中大巴山大起伏中山区年均降水量高于其他地形区,为1 155.80 mm,以3.45 mm/10 a的速率增加,且高于秦巴山地降水增加速率,其主要原因为大巴山大起伏中山区受亚热带季风性气候影响强度和频率明显高于区内其他地区。西部大起伏高山区、秦岭大起伏高中山区和豫西汉中中山谷地地区年际降水量差异不

明显,其中降水量最高值分别为749.28 mm,847.68 mm和1 076.68 mm,变化速率分别为0.06 mm/10 a,0.15 mm/10 a和0.17 mm/10 a(图5)。

秦巴山地降水 Mann-Kendall 突变检测曲线显示,UF 与 UB 虽然存在多个交点,只在1982年超出临界检验值1.96,表明1983年是降水的突变点,其他相交点均没有达到突变水平(图6)。

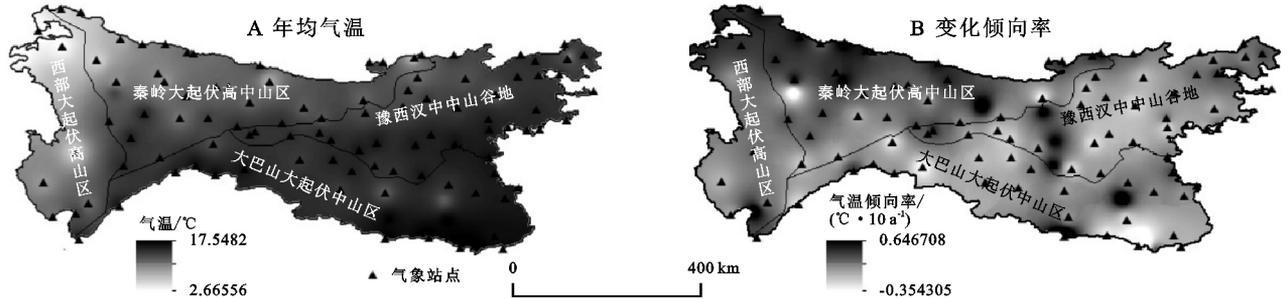


图4 秦巴山地年均气温(A)及变化倾向率(B)空间分布

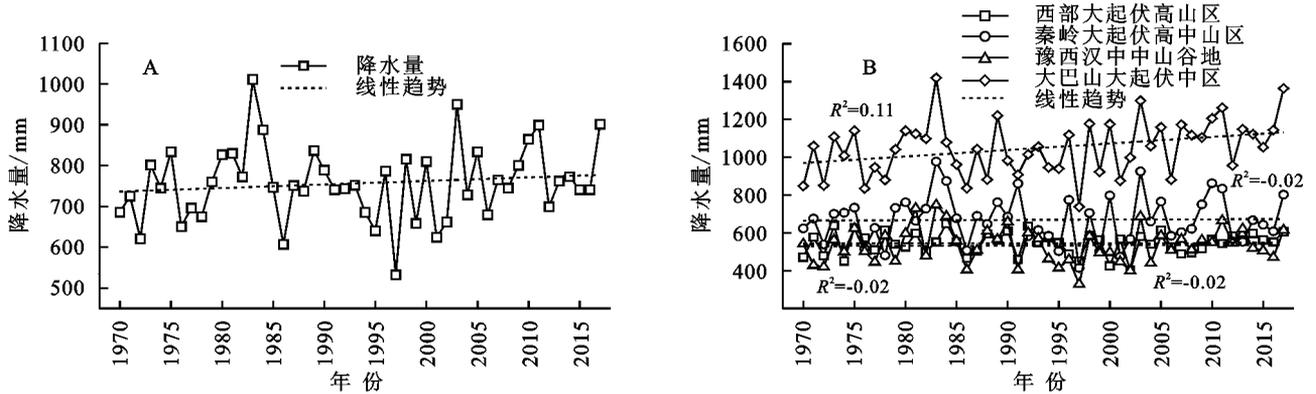


图5 秦巴山地年均降水量(A)及不同地形区年均降水量变化趋势(B)

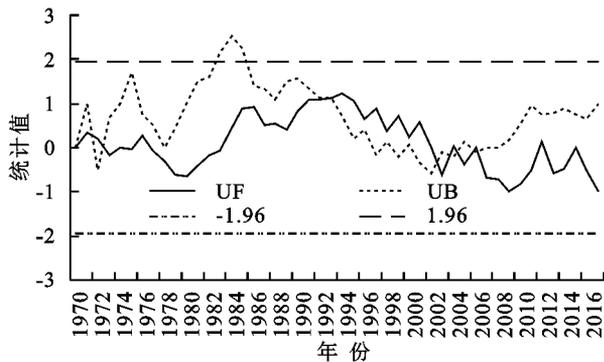


图6 秦巴山地降水 Mann-Kendall 突变检测

2.2.2 不同区域年均降水量空间格局分析 由图7可知,秦巴山地年平均降水量的变化范围419.92~1 815.38 mm,呈东南高、西北低。不同地形区年均降水量空间分布存在差异,大巴山大起伏中山区受西南季风影响明显,同其他地形区相比年均降水量较多,介于819.51~1 267.13 mm,年均降雨量为1 028.94 mm,年际差异较小,呈由南向北递减的变化态势。豫西汉中中山谷地东部降水量明显高于西部地区,其主要原因为东部地形平坦,受季风影响强于西部地

区。秦岭大起伏高中山区降水量空间变化由东南向西北减少,而西部大起伏高山区降水普遍较少。秦巴山地降水倾向率总体变化明显,东部及与宜昌—广义一线为增加态势、西部及四川盆地为减少趋势,范围介于-57.75~77.05°C/10 a,增减幅度明显,表明秦巴山地降水量呈现不均匀分布、极端发展的变化趋势。

2.3 气候变化背景下旱涝灾害响应

2.3.1 区域Z指数趋势变化分析 由图8发现大巴山大起伏中山区年旱涝指数明显上升趋势,朝湿润化方向发展,总体呈先增后减再增的三阶段特征:1970—1983年呈增长趋势、1983—1998年呈减少态势和1998—2017年呈增加态势。其中,大巴山大起伏中山区年际差异较大,旱涝现象交替出现,其中1970—1983年、1998—2017年表现为干旱化现象,1983—1998年朝着湿润化趋势发展。西部大起伏高山区、豫西汉中中山谷地和秦岭大起伏高中山区年旱涝Z指数增加趋势不明显,主要原因为复杂的地形地貌类型及气候变化的不确定性。

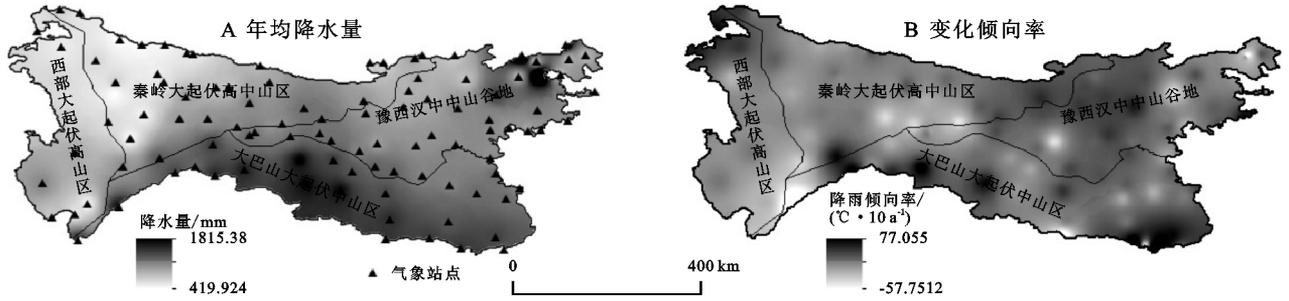


图 7 秦巴山地年均降水量(A)及变化倾向率(B)空间分布

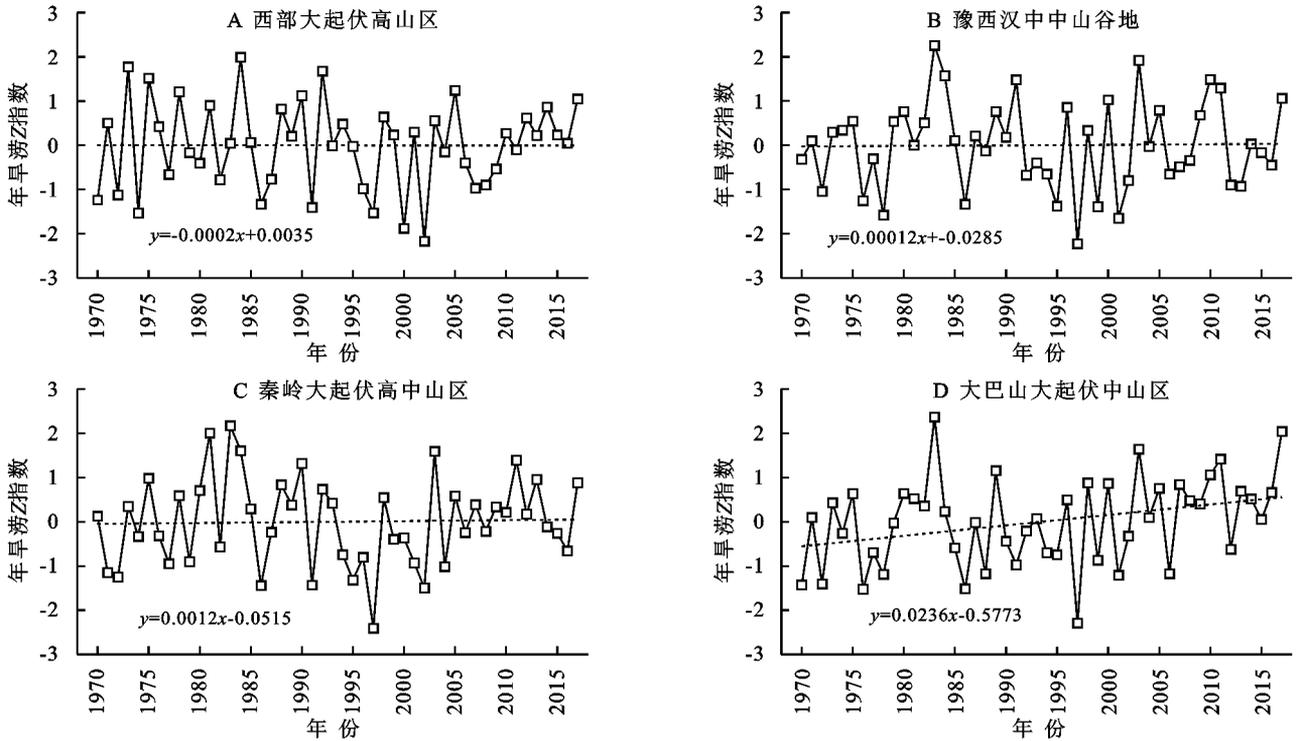


图 8 1970—2017 年秦巴山地区域年旱涝 Z 指数线性趋势

2.3.2 区域旱涝灾害频次分析 根据不同地貌单元的年旱涝 Z 指数,参照旱涝等级标准统计区内旱涝等级程度并绘制旱涝灾害频次分布图(图 9)。西部大起伏高山区近 48 a 出现重旱 1 次、大旱 10 次,所占比例为 22.91%;重涝 4 次、大涝 4 次,重、大涝占 16.67%,表明区域内旱灾现象高于涝灾。1970—2017 年西部大起伏高山区每隔 10 a 出现大旱(指重旱、大旱)年次数呈减少趋势,19 世纪 70 年代 3 次、80 年代 1 次、90 年代 2 次、2000 年以来出现 1 次且旱灾现象最严重;西部大起伏高山区每隔 10 a 出现的大涝(指重涝、大涝)次数变化不明显,19 世纪 70 年代、80 年代各两次、90 年代 1 次、2000—2017 年大涝年 3 次。从西部大起伏高山区旱涝灾害频率分布直方图来看,自 2000 年开始,区内旱涝灾害现象呈下降趋势,但极端气象灾害影响强度增大,近 48 a 区内唯一一次重旱现象出现在 2000 年、重涝出现在 2002 年,表明自千禧年以来,极端气象灾害对人类活动的影响日益明显。豫西汉中中山谷地近 48 a 发生重旱 1 次、大旱 6 次,所占

比例为 14.58%;重涝 2 次、大涝 6 次,所占比例为 16.67%。旱灾(指旱涝等级 ≥ 6)在 1992—2012 年出现较为集中、程度较大,占豫西汉中中山谷地大旱次数的 57.19%且重旱出现一次。研究时段内秦岭大起伏高山区出现重旱 1 次、大旱 6 次,所占比例为 14.58%,与豫西汉中中山谷地重旱所占比例一致;重涝 2 次、大涝 4 次,占秦岭大起伏高山区比例为 12.5%。1970—2000 年区内干旱现象分布次数较多且重旱出现一次,占区域内干旱总次数 74.44%,重涝及大涝在 19 世纪 80 年代出现较为集中,占区内重涝及大涝次数之和的 66.67%,且研究时段内涝灾等级呈上升趋势、程度逐渐降低。大巴山大起伏中山区近 48 年出现重旱 1 次、大旱 6 次,所占比例为 14.59%;重涝 3 次、大涝 3 次,所占比例为 12.5%,与秦岭大起伏高山区重涝及大涝所占比例一致。近 48 年大巴山大起伏中山区重旱及大旱次数呈减少状态,2000 年为重旱及大旱频次及等级变化的主要时间节点,20 世纪以前区内干旱次数较频繁,这与西部大起伏高山区干旱现象变

化趋势相一致。同样,2000年也是区内重涝及大涝变化的主要分割点,重涝及大涝分别在1970—2000

年出现1次、0次,在20世纪后出现2次、2次,重涝和大涝的频次分别增加1次和2次。

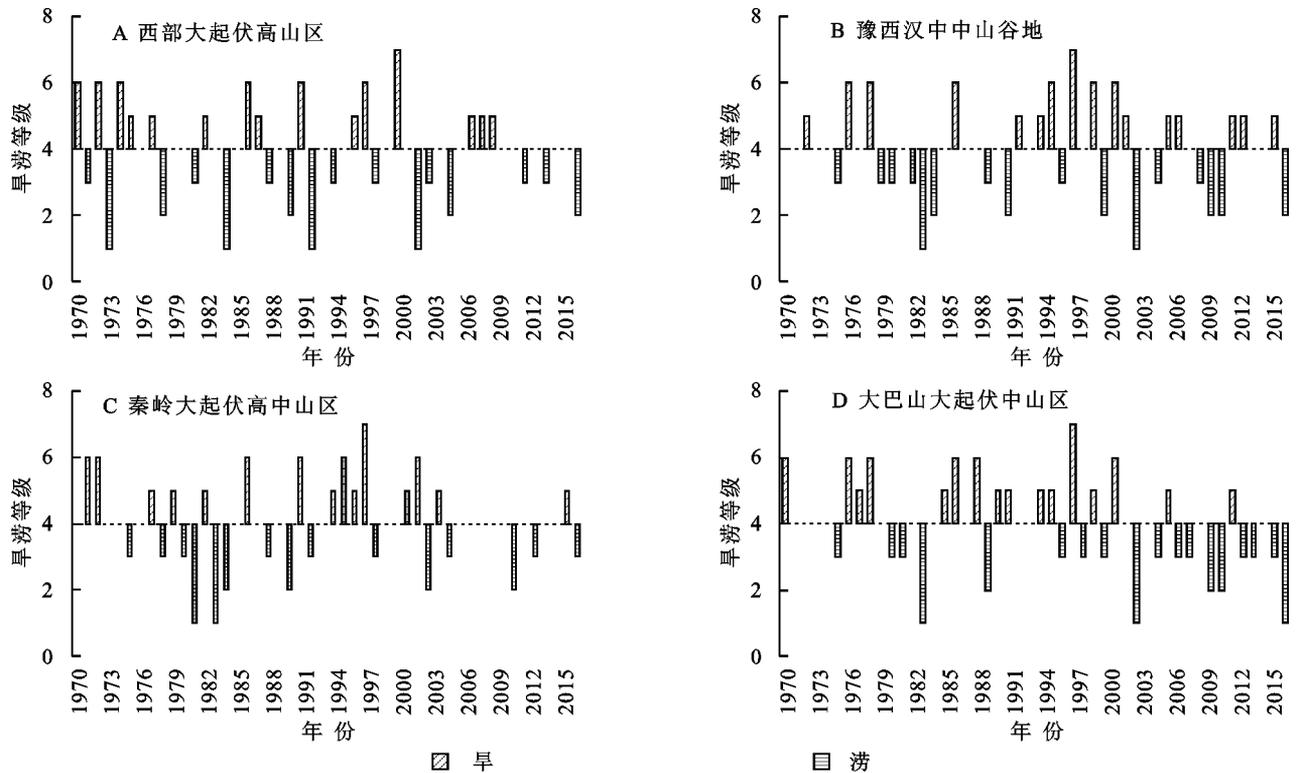


图9 1970—2017年秦巴山地区旱涝频次及等级变化

2.3.3 年旱涝Z指数空间特征分析 本文将研究时段划分为1970—1979年、1980—1989年、1990—1999年、2000—2009年以及2010—2017年等5个区间,结合反距离加权法(IDW)将102个气象站点的年旱涝Z指数插值,得到秦巴山地近48年旱涝区域空间变化特征(图10)。1970—1979年,秦巴山地以偏涝为主,集中分布大巴山大起伏中山区、豫西汉中中山谷地以及秦岭大起伏高中山区,重旱现象尚未出现,大旱零星分布于西部大起伏高山区和秦岭大起伏高中山区;1980—1989年,重旱和大旱主要分布于秦巴山地西北部,重涝和大涝集中分布在大巴山大起伏中山区,这主要与区域内的气候类型相关,区内自东南向西北由亚热带季风性气候向温带大陆性气候过渡,形成了旱涝分布的空间格局;1990—1999年,重旱分布的面积显著增加,分布于西部大起伏高山区和秦岭大起伏高中山区,而重涝显著减少,偏旱、偏涝和正常分布较广,表明区域内气候呈暖干化趋势;2000—2009年,秦巴山地自东南向西北年旱涝指数呈带状分布,依次为偏涝、正常以及偏旱,大旱和大涝分布于东南和西北部,重涝零星分布,重旱现象尚未出现;2000—2017年,洪涝灾害分布的面积显著增加,重涝、大涝和偏涝面积占一半以上,正常现象的分布面积较少,偏旱、大旱和重旱集聚分布于西北部,表明该时段内旱涝灾害严重,极端气候灾害发生频率增加。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本文利用1970—2017年102个站点的气候资料,运用线性回归、Mann-Kendall非参数检验、反距离权重法(IDW)分析秦巴山地气温和降水时空变化特征及区域差异,结果表明气温以 $0.3^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 增加,降水以 $0.87\text{mm}/10\text{a}$ 的速率增加,气候朝暖湿化方向发展,这与郭超发现新疆北疆地区气候由冷干朝向暖湿方向发展,气温增长速率为 $0.34^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ 相一致^[23],证实全球气候朝暖湿化方向发展。从不同地形区来看,增温速率存在差别,其中大巴山大起伏中山区增温速率最高($0.7^{\circ}\text{C}/10\text{a}$)、豫西汉中中山谷地最低($0.2^{\circ}\text{C}/10\text{a}$),其主要是气候类型和地形共同对气候变化施加影响,大巴山大起伏中山区地形平坦、属于季风性气候,故而区域增温速率相对较高,而其他地形区区域内地形复杂,增加了气候变化的不确定性。在降水方面,大巴山大起伏中山区变化倾向率明显高于其他地形区,其气候类型为北亚热带季风性气候,降水丰富。为进一步研究区域旱涝灾害对气候变化的响应特征,利用Z指数法计算秦巴山地及不同地形区旱涝灾害频次与空间特征,其中Z指数法具备在计算过程中考虑了蒸散、土壤有效含水量以及径流等,应用范围更广泛等优势^[24],结果表明秦巴山地年旱涝Z指数总体呈增加趋势,朝湿润化方向发展。大巴山

大起伏变化趋势较其他地形区更为显著,呈阶段性变化特征,其主要原因是季风性气候具备不稳定性特征,亟需加强区域内水土保持规划,合理安排作物轮作制度,减少气候变化带来的经济损失。

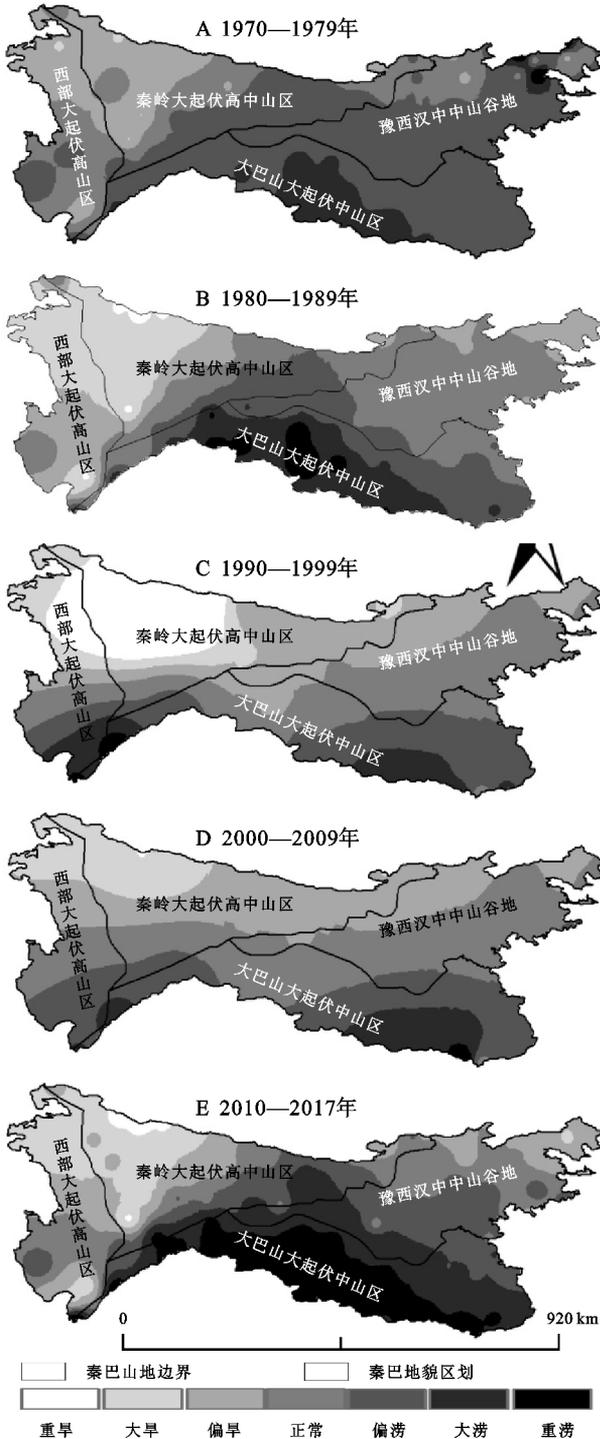


图 10 1970—2017 年秦巴山地旱涝程度空间变化趋势

从旱涝频次方面来看,大巴山大起伏中山区、秦岭大起伏高中山区和西部大起伏高山区重旱和大旱发生的频次高于重涝和大涝发生的频次,而豫西汉中中山谷地相反,其中重涝发生的频次显著高于重旱,表明丰沛的降水极易形成洪涝灾害,因此亟需建设水利工程疏通河道,增强对洪水的容纳能力,对于不同

地形区应因地制宜、提高区域抵御外界风险的能力,此外,对于山区城市应加强海绵城市的建设、提高城市绿化率,防范极端天气所带来的消极影响。在 2000 年以后,秦巴山地上涝灾出现的频次高于旱灾,政府部门应关注洪涝灾害发生的概率,建立极端气候变化的监测与预警机制,制定极端气候变化背景下快速应对体系,从而降低极端气候变化对人类生产生活的不利影响。不同地形区年旱涝 Z 指数周期性特征存在差别,表现为多重时间尺度周期上的嵌套结构现象,与水文变量的固有特性及其驱动因素密切相关,如太阳活动具有显著的 22 a 周期特征^[25-26]。

3.2 结论

(1) 1970—2017 年,秦巴山地多年平均气温为 13.8℃,气温总体呈上升趋势,增温倾向率为 0.3℃/10 a,表现为显著的长期增温趋势。区域内气温表现显著的空间差异,呈东南高、西北低的分布格局,气温变化倾向率呈西北高、东南低的变化趋势,随海拔的升高而增加,高海拔地区气温增加速率高于低海拔地区。

(2) 近 48 a 秦巴山地降水量呈增加趋势,年降水量以 0.87 mm/10 a 速率增加。空间上由东南向西北递减,大巴山大起伏中山区降水最多、豫西汉中中山区次之、西部大起伏高山区最少。气候倾向率增减趋势呈显著的差异性,不同地形区上降水量的变化幅度存在差别。

(3) 秦巴山地气候朝暖湿化发展。大巴山大起伏中山区总体表现偏涝,且频率与强度均呈加剧态势,豫西汉中中山谷地、秦岭大起伏高山区及西部大起伏高中山区总体表现为偏旱特征。研究时段内,秦巴山地旱涝灾害空间格局呈东南湿润化、西北干旱化趋势,与区域内总体呈湿润化存在差异,主要是湿润化分布面积较高、强度较大。

参考文献:

- [1] 秦大河, Thomas Stocker. IPCC 第五次评估报告第一工作组报告的亮点结论[J]. 气候变化研究进展, 2014, 10(1): 1-6.
- [2] Zheng P N, Li Z Q, Bai Z P, et al. Influence of climate change to drought and flood [J]. Disaster Advances, 2012, 5(4): 1331-1334.
- [3] Keyantash J, Dracup J A. The quantification of drought: An evaluation of drought indices [J]. Bull Amer Meteorol Soc, 2002, 83: 1167-1180.
- [4] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究[J]. 大气科学, 2003, 27(4): 770-787.
- [5] 符淙斌, 安芷生, 郭维栋. 中国生存环境演变和北方干旱化趋势预测研究[J]. 地球科学进展, 2005, 20(11): 1157-1167.
- [6] 李烁阳, 刘小燕, 杨贵羽, 等. 湖北省降水及早涝时空分布特征分析[J]. 水土保持研究, 2019, 26(2): 202-207.
- [7] Gillson J, Suthers I, Scandol J. Effects of flood and

- drought fisheries in eastern Australia [J]. Fisheries Management and Ecology, 2012, 19(1): 54-68.
- [8] Chaparro G, Marinone M C, Lombardo R J, et al. Zooplankton succession during extraordinary drought-flood cycles: A case study in a South American floodplain lake [J]. Limnologia, 2011, 41(4): 371-381.
- [9] 祝香, 杨雪艳, 刘玉汐, 等. 松辽流域 1961—2017 年极端降水变化特征[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 199-203, 212.
- [10] 杜华明, 延军平. 四川省气候变化特征与旱涝区域响应[J]. 资源科学, 2013, 35(12): 2491-2500.
- [11] 胡毅鸿, 李景保. 1951—2015 年洞庭湖区旱涝演变及典型年份旱涝急转特征分析[J]. 农业工程学报, 2017, 33(7): 107-115.
- [12] 李丽娟, 王娟, 李海滨. 无定河流域降雨量空间变异性研究[J]. 地理研究, 2002, 21(4): 434-440.
- [13] 曹永强, 曹阳, 徐丹. 1961—2010 年黄淮海流域旱涝时空变化特征[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 2068-2077.
- [14] 杨金虎, 张强, 王劲松, 等. 近 60 年来西南地区旱涝变化及极端和持续性特征认识[J]. 地理科学, 2015, 35(10): 1333-1340.
- [15] 王祥荣, 王愿. 全球气候变化与河口城市脆弱性评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [16] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26-33.
- [17] 刘剑刚. 基于 Z 指数的辽宁省洪涝灾害时空分析[J]. 沈阳师范大学学报: 自然科学版, 2012, 30(3): 409-413.
- [18] 尚可政, 董光荣, 王式功, 等. 我国北方沙区气候变化对全球变暖的响应[J]. 中国沙漠, 2001, 21(4): 387-392.
- [19] 延军平. 时间地理学[M]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1994.
- [20] 阮楚雯, 杨鑑斌, 李少远. 1954—2017 年连州市高温热浪的特征[J]. 广东气象, 2019, 41(1): 10-13.
- [21] 高艳红. 近 50 年黄河上游流域年均降水与极端降水变化分析[J]. 高原气象, 2019, 38(1): 124-135.
- [22] 周梦甜, 李军, 何君, 等. 起伏地形对气温时空分布的影响: 以重庆市为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(5): 346-351.
- [23] 郭超, 楚新正, 张扬, 等. 新疆北疆地区旱涝灾害对气候变化的响应[J]. 西南农业学报, 2019, 32(4): 929-935.
- [24] 唐红玉, 王志伟, 史津梅, 等. PDSI 和 Z 指数在西北干旱监测应用中差异性分析[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(5): 6-11.
- [25] 王俊杰, 拾兵, 巴彦斌. 近 70 年黄河入海沙通量演变特征[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 57-68.
- [26] 王俊杰, 拾兵, 卢仲翰. 黄河入海径流量周期变化与东亚夏季季风的关系研究[J]. 海洋通报, 2020, 39(3): 316-324.

(上接第 317 页)

- [17] 王伟伟, 杨海龙, 贺康宁, 等. 青海高寒区不同人工林配置下草本群落生态位研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 156-160, 165.
- [18] 靳茗茗, 徐增让, 成升魁. 藏北高寒草地植被和土壤对不同放牧强度的响应[J]. 生态学报, 2020, 40(23): 1-10.
- [19] 张永旺, 王俊, 屈亚潭, 等. 黄土高原植被恢复过程中土壤水分有效性评价[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(6): 79-85.
- [20] 周萍, 刘国彬, 侯喜禄. 黄土丘陵区不同坡向及坡位草本群落生物量及多样性研究[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(1): 67-73.
- [21] 张鑫, 谷会岩, 刘强. 植被自然恢复对表层土壤磷有效性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2020, 48(7): 75-80.
- [22] 丁威, 王玉冰, 向官海. 小叶锦鸡儿灌丛化对典型草原群落结构与生态系统功能的影响[J]. 植物生态学报, 2020, 44(1): 33-43.
- [23] 郑江坤, 宫渊波, 刘金鑫. 岷江上游山地牧道对林下草本群落分布特征的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(2): 1-10.
- [24] Zhang Q, Jia X, Zhao C, et al. Vegetation with artificial plants improves topsoil hydrological properties but intensifies deep-soil drying in northern Loess Plateau, China[J]. Journal of Arid Land, 2018, 10(3): 335-346.
- [25] 李松阳, 余杭, 罗清虎, 等. 灾害干扰受损区自然恢复初期土壤物理性质的变化特征[J]. 水土保持学报, 2020, 34(5): 162-168.
- [26] 王博, 段玉玺, 王伟峰, 等. 人工固沙区植被演替过程中土壤水分时空分异特征[J]. 干旱区研究, 2020, 37(4): 881-889.
- [27] 王晶, 赵文武, 刘月, 等. 植物功能性状对土壤保持的影响研究述评[J]. 生态学报, 2019, 39(9): 3355-3364.
- [28] 万芳, 蒙仲举, 党晓宏, 等. 封育措施下荒漠草原针茅植物—土壤 C, N, P 化学计量特征[J]. 草业学报, 2020, 29(9): 49-55.
- [29] 汝海丽, 张海东, 焦峰, 等. 黄土丘陵区微地形条件下草本群落特征与土壤水分及养分关系分析[J]. 草地学报, 2016, 24(4): 776-782.
- [30] 郑颖, 温仲明, 宋光, 等. 延河流域森林草原区不同植物功能型适应策略及功能型物种数量随退耕年限的变化[J]. 生态学报, 2015, 35(17): 5834-5845.
- [31] 刘敏, 张潇月, 李晓丽, 等. 黄土高原林下草地对模拟增温的短期响应[J]. 生态学报, 2020, 40(17): 6009-6024.
- [32] 杨玉婷, 石玉林, 李战刚, 等. 陕北“三北”防护林下草本群落特征及其与林分结构和土壤养分的关系[J]. 生态学报, 2020, 40(18): 6542-6551.
- [33] 海龙, 曾楠, 刘洋, 等. 不同造林模式林下草本植物群落和土壤养分特征[J]. 生态环境学报, 2019, 28(11): 2141-2148.
- [34] 郝宝宝, 艾宁, 刘广全, 等. 陕北风沙区不同植被类型土壤养分特征与肥力评价[J]. 福建农林大学学报: 自然科学版, 2020, 49(5): 678-682.