

秦岭气候分界指标时空变化特征及指示意义

李大伟, 段克勤, 李双双

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710119)

摘 要: 秦岭不仅是中国南北方地理—生态过渡带, 也是中国重要的自然、经济和农业区划界线。在当前秦岭气候增暖背景下, 再识别气候分界指标时空变化规律, 对科学进行自然区划实践具有重要指导意义。为了明确这一气候特征, 基于秦岭山地 1970—2020 年 126 个气象站点降水、气温观测资料, 选取年降水量、1 月和 7 月均温指标, 采用薄盘样条插值、趋势分析方法, 对研究区年降水量、1 月和 7 月均温时空特征进行分析, 进而选择秦岭太白山、伏牛山剖面探讨气候分界指标高度的趋势变化。结果表明: (1) 薄盘样条插值可获得精度较高的年降水量和 1 月均温序列, 相关系数为 0.712~0.919; 误差分析表明, 7 月均温插值较观测值偏差为 2~3℃, 得到秦岭山地 7 月均温校正系数为 0.893, 经校正插值结果显著改善 (误差缩小 3~6 倍); (2) 时空趋势上, 近 51 a 秦岭山地东部“暖干化”、西部“暖湿化”, 秦岭北部、西部增暖显著 ($p < 0.05$); (3) 年降水量 800 mm 高度变化呈“东西反向”, 1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 高度变化呈“东西同向”, 西部平均速率大于东部, 如年降水量 800 mm 高度 (西部: -166 m/10 a, 东部: 49 m/10 a) 和 1 月 0℃ 高度 (西部: 70 m/10 a, 东部: 37 m/10 a); (4) 1970—2020 年秦岭气候分界指标位置高度沿山地呈上升或下降变化, 但在 2010s (2010—2019 年) 时段, 气候分界指标位置高度北坡为 800~1 400 m、南坡为 800~1 300 m 均未越过秦岭主脊, 秦岭山地气候分界作用仍具有稳定性。

关键词: 秦岭; 气候分界指标; 年降水量; 1 月、7 月均温; 趋势变化

中图分类号: P426.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)05-0155-09

Spatial and Temporal Characteristics of Climate Boundary Indicators in the Qinling Mountains and Its Implications

LI Dawei, DUAN Keqin, LI Shuangshuang

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: The Qinling Mountains are not only a geographical-ecological transition zone between the southern and northern regions, but also an important natural, economic and agricultural zoning boundary in China. In the context of the current warming climate of the Qinling Mountains, the re-identification of the spatial and temporal patterns of climate boundary indicators is of great guidance for the scientific practice of natural zoning. In order to clarify this climate characteristic, we selected annual precipitation, January and July mean temperature indicators based on the precipitation and temperature observation data from 126 meteorological stations in the Qinling Mountains from 1970 to 2020, and analyzed the spatial and temporal characteristics of annual precipitation, January and July mean temperature in the study area by using the thin disk smooth strip interpolation and trend analysis methods, and then selected the profiles of Taibai Mountain and Funiu Mountain in the Qinling Mountains to explore the climate boundary indicators. The results show that: (1) the interpolation of the thin disk smooth strips can obtain the annual precipitation and January mean temperature series with high accuracy, and the correlation coefficients are 0.712~0.919; the error analysis shows that the deviation of the July mean temperature interpolation value from the observed value is 2~3℃, the obtained preliminary correction coefficient for the mean temperature in July in the Qinling Mountains is 0.893, and after correction, the interpolation results are significantly improved (error reduction of 3~6 times); (2) spatial and temporal trends show that the eastern part of the Qinling Mountains had become

收稿日期: 2021-08-12

修回日期: 2021-08-27

资助项目: 国家自然科学基金项目“秦岭高海拔山地降水变化及其对水资源的影响”(41771030)

第一作者: 李大伟 (1998—), 男, 陕西西安人, 硕士, 主要从事区域气候变化数值模拟研究。E-mail: lidw@snnu.edu.cn

通信作者: 段克勤 (1970—), 男, 甘肃平凉人, 博士, 教授, 主要从事全球变化研究。E-mail: kqduan@snnu.edu.cn

warm and dry and the western part of the Qinling Mountains has become warm and wet in the last 51 years, and the northern and western parts of the Qinling Mountains had warmed significantly ($p < 0.05$); (3) the height change of 800 mm annual precipitation was east-west reversed, and the height change of 0°C in January and 25°C in July was east-west same direction, and the average rate in the west was larger than that in the east, such as the height of 800 mm annual precipitation (West: -166 m/decade , East: 49 m/decade) and January 0°C height (West: 70 m/decade , East: 37 m/decade); (4) from 1970 to 2020, the height of the climate boundary indicator in the Qinling Mountains had been rising or falling along the mountains, but in the 2010s (2010—2019), the height of the climate boundary indicator on the north slope was $800\sim 1\,400\text{ m}$ and on the south slope was $800\sim 1\,300\text{ m}$ without crossing the main ridge of the Qinling Mountains, and the climate boundary role in the Qinling Mountains still had stability.

Keywords: Qinling Mountains; climate boundary indicators; annual precipitation; temperature in January and July; trend changes

秦岭山地是中国南北过渡带的主体^[1],对南北地区气候、水系、植被和土壤有明显的分界和分异作用。秦岭山地的强烈屏障作用,阻挡了南部海洋性暖湿气流翻越秦岭北上和北部大陆性冷干气流南下,造就其南北不同的气候类型^[2-3],使秦岭大致为年降水 800 mm,1 月 0°C ^[4]和 7 月 25°C 等值线所在区域,其对中国自然环境、生态系统及气候的分界作用是中国地理格局划分和理论研究的客观依据。

秦岭作为中国暖温带和亚热带的分界线,确定界线的划分指标和具体位置无疑是自然区划研究的核心科学问题之一^[5]。自 1950 年代以来,依据不同划分标准和原则提出了不同的区划方案。早在 1954 年罗开富在自然现象的区域组合差异和发展规律基础上,以 1 月 0°C 和年降水量 750 mm 等值线划分中国南北,界线大致为秦岭至淮河一带^[6]。竺可桢则选择 1 月 0°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,500^{\circ}\text{C}$ 及无霜期 250 d 指标,大致将秦岭—淮河一线确定为中国南北地理气候分界线^[7]。黄秉维认为热量是自然界最为稳定的因素,按照最冷月 0°C 和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 $4\,500^{\circ}\text{C}$ 指标划分中国暖温带和亚热带^[8]。此后几十年,学者们在气候分界指标(气温和降水量)基础上,添加了土壤^[9]、植被^[10-11]以及地貌等辅助因子,从多要素和整体性角度对中国南北方界线划分问题进行了探讨,且大多划分方案均采用 1 月 0°C 或年降水量 $700\sim 800\text{ mm}$ ^[12]作为基础性划分指标,划分结果大多以秦岭—淮河一带为界线位置。2010 年,中国气候区划最新方案中,秦岭仍然是秦巴山地北亚热带湿润区和汾渭平原山地暖温带半湿润区的界线^[13]。综观以上自然区划方案研究,存在以下几点问题:(1) 缺乏对用于区划的气候数据进行交叉验证;(2) 多以单一指标(如气温或降水量)为主,系统考察分界指标较少;(3) 秦岭南北盆地对比多,东西比较、山地研究少。

近 50 a 来,秦岭山地降水和气温具有同步变化,气温逐渐上升,降水逐渐减少的特点,气候暖干化现象明显^[14]。在当前秦岭山地气候“暖干化”背景下,气候分界指标时空变化是否呈现新特征?气候分界指标在秦岭山地是否存在空间异质性?为明确和解答上述科学问题,有必要结合最新降水、气温资料进行分析。基于此,本文利用 1970—2020 年秦岭山地 126 个站点降水、气温数据,采用薄盘样条插值、趋势分析等方法,对区域年降水量、1 月和 7 月均温时空变化特征进行分析,探讨气候分界指标高度变化,以期认识中国南北过渡带气候特征、合理选取气候分界指标和科学进行自然地理区划提供理论依据。

1 研究区域与数据源

1.1 研究区概况

本文选取秦岭山地($32.5^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$, $104^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$)为研究区(图 1),区域地势西高东低,北陡南缓,水系纵横。气候变暖背景下,秦岭山地气候特征呈现区域性,为确保年降水量、1 月和 7 月均温时空变化分析的科学性,本文结合省级行政单位、地貌^[15]、水系、地形和气象站点分布,将研究区划分为 8 个子区域,分别为:Ⅰ秦岭西段(甘肃和四川北部西秦岭起伏较大的高山地区^[16]),Ⅱ嘉陵江河谷(嘉陵江上游谷地),Ⅲ关中平原(陕西境内 35°N 以南,秦岭北麓以北),Ⅳ汉江盆地(陕西境内 32.5°N 以北,秦岭南麓以南,丹江口水域东界以西),Ⅴ秦岭东段(河南西部秦岭山地),Ⅵ秦岭中段(陕西秦岭山地),Ⅶ黄淮平原西北部(114°E 以东, 33.9°N 以北,西边界为关中平原和秦岭东段)以及Ⅷ南阳盆地(114°E 以东, 33.9°N 以南,西边界为汉江盆地和秦岭东段)。为探讨该区域气候分界指标高度的垂直变化规律,选取秦岭中段—太白山和秦岭东段—伏牛山 2 个典型山地剖面(图 1,虚线),进行秦岭山地东西比较分析。

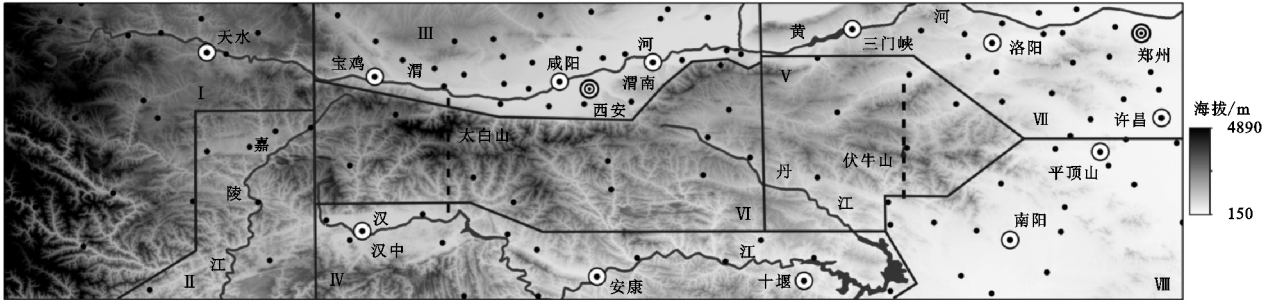


图1 秦岭山地、气象站点及剖面位置

1.2 数据来源

本文使用数据为秦岭山地 126 个气象站 1970—2020 年月降水量和 1 月、7 月气温资料,数据源自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>),对其进行了严格的质量控制和一致性检验。数字高程模型(DEM)作为本文获取降水和气温栅格表面的独立变量之一,空间分辨率为 30 m×30 m (<http://www.gscloud.cn>)。

2 研究方法

为获取秦岭山地气候栅格资料,以薄盘样条插值法^[3,17-18]来获取 1970—2020 年秦岭山地年降水量、1 月和 7 月均温栅格数据集,空间分辨率为 30 m×30 m,空间插值利用 ANUSPLIN 4.36 软件^[19-20]完成。

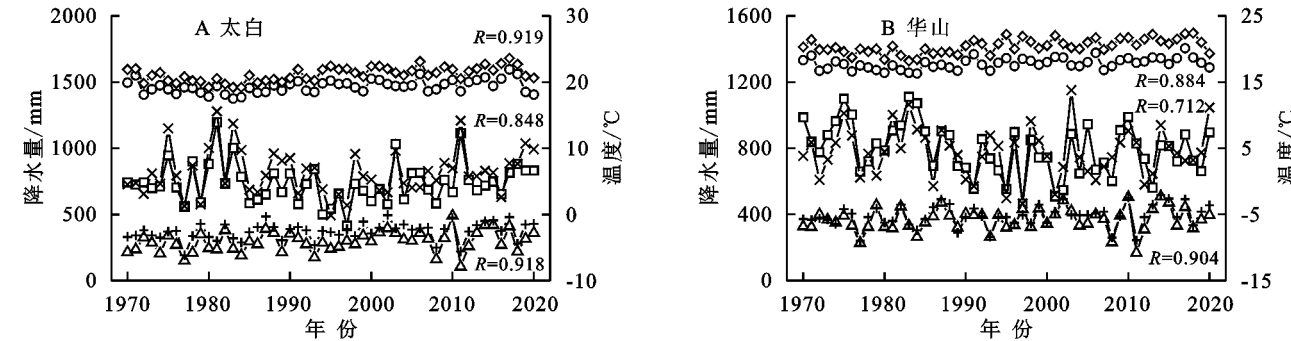
为分析气候分界指标(如,年降水量 800 mm,1 月 0℃和 7 月 25℃)高度的垂直变化,需要在秦岭山地进行插值结果的验证,选择秦岭山地海拔最高的太

白县(1 576 m)和华山(2 065.9 m)2 个站为验证站点,由另外 124 个站为插值站点获得研究区近 51 a 逐年降水和气温数据,与实测值交叉检验来分析薄盘样条插值法的可靠性。

3 结果与分析

3.1 插值结果检验及校正

图 2 是由 124 个站插值得到的太白和华山站近 51 a 年降水量、1 月和 7 月均温与观测值的对比。插值的年降水量、1 月和 7 月均温与观测值之间显著相关($R>0.71, p<0.01$)。其中,1 月均温插值与观测在趋势和量值上一致性最好,相关系数 $R>0.9$,达到了 99% 的信度水平;年降水量较 1 月均温趋势略差(R 分别为 0.848,0.712),但年降水量插值与观测值时间趋势一致,能捕捉到年降水量峰值;7 月均温插值与观测时间趋势高度一致($R>0.88, p<0.01$),但与观测存在 2~3℃ 的偏差。



注:◇为 7 月均温插值;○为 7 月均温观测值;×为年降水量插值;□为年降水量观测值;+为 1 月均温插值;△为 1 月均温观测值。

图2 秦岭山地太白、华山站降水量和气温插值与观测值比较

为探究秦岭太白山、伏牛山气候分界指标高度的时间趋势,结合上述分析结果,在秦岭山地对 7 月均温插值结果进行了偏差校正。采用经验性系数校正方法,计算太白、华山站 7 月均温多年相对偏差平均值,获得秦岭山地 7 月均温校正系数为 0.893。经偏差校正,选取绝对偏差、相对偏差和均方根误差 3 个指标,以太白、华山 7 月均温观测值为参考对校正结果进行评估,结果见表 1。校正后相比校正前误差缩小了 3~6 倍,误差值均接近于 0。校正后,太白、华山站插值结果与观测值的绝

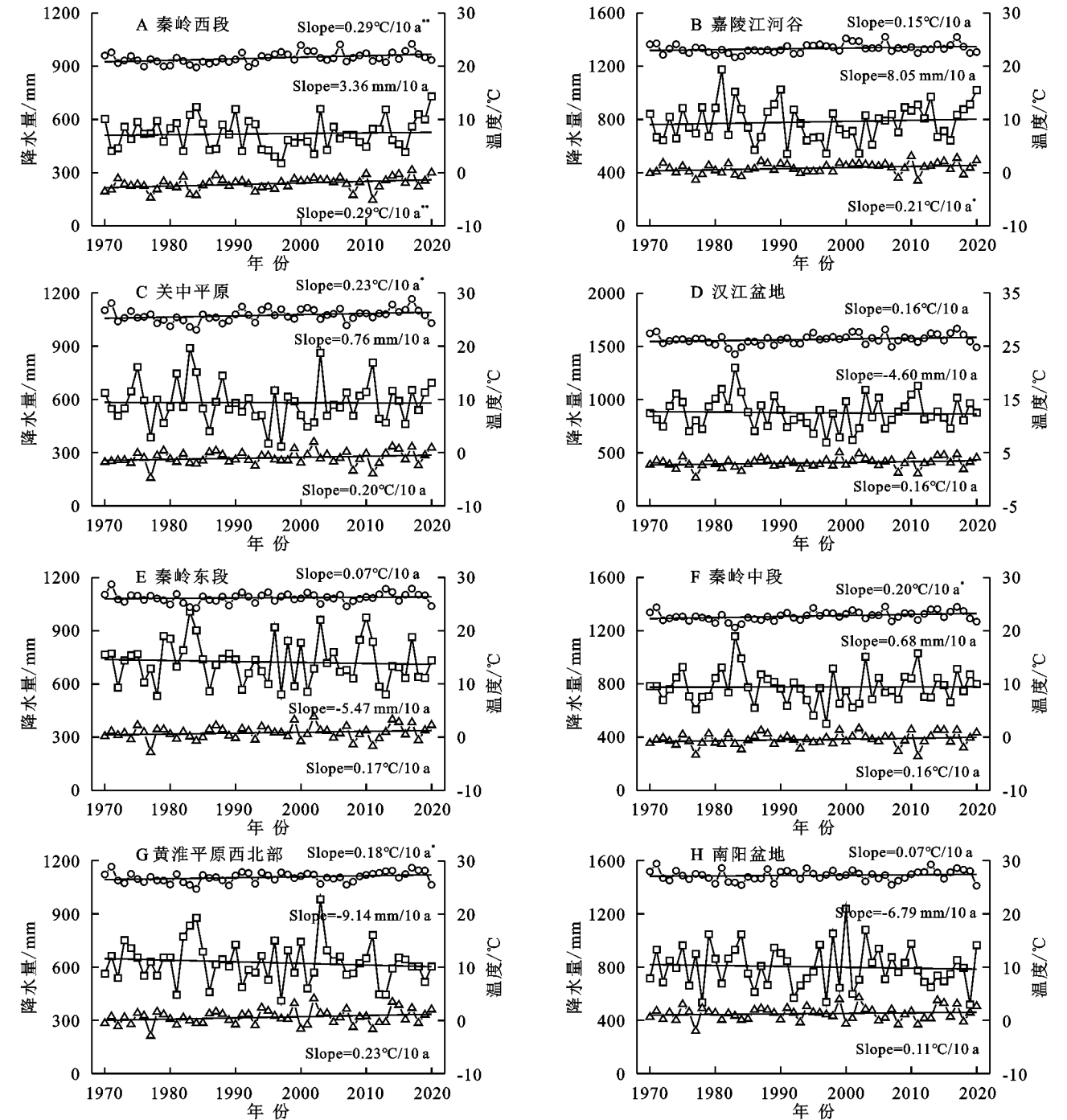
对偏差在 0.5℃ 以内,故校正后的 7 月均温可用于气候分界指标高度趋势变化的分析。

表1 太白、华山站 7 月均温校正前后评估结果

站点	校正前后	绝对偏差/℃	相对偏差/%	均方根误差/℃
太白	校正前	1.825	9.435	1.873
	校正后	-0.445	-2.303	0.591
华山	校正前	2.635	14.812	2.685
	校正后	0.444	2.497	0.631

3.2 年降水量、1 月和 7 月均温时空演变特征

3.2.1 年降水量、1 月和 7 月均温年际变化 按秦岭各子区域和站点位置,计算降水量、气温区域平均值,绘制 1970—2020 年秦岭山地 8 个子区域年降水量、1 月和 7 月均温时间序列和线性趋势线(图 3)。近 51 a 来秦岭不同地区年降水量呈剧烈振荡上升和下降趋势,但 1 月、7 月均温均呈轻微波动上升趋势。



注:○表示 7 月均温、□表示年降水量、△表示 1 月均温;实线为对应变量的线性趋势线;*,* 分别表示达到了 0.01,0.05 显著性水平。

图 3 1970—2020 年秦岭山地各子区域年降水量、1 月、7 月均温时间序列

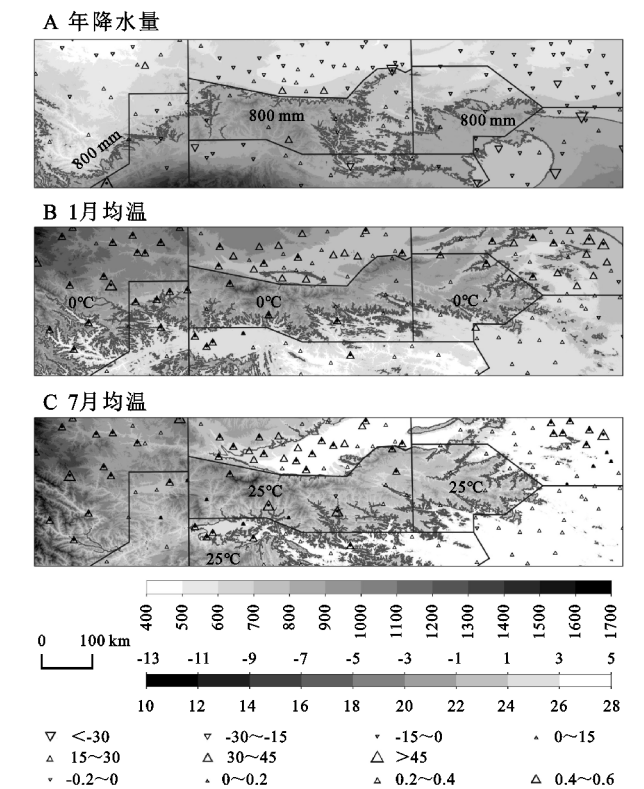
3.2.2 年降水量、1 月和 7 月均温空间分布 由插值获取研究区 1970—2020 年 30 m×30 m 年降水量、1 月和 7 月均温栅格数据,计算并绘制 3 个变量多年均

8 个子区域近 51 a 降水量峰值主要出现在 1980 年、2000 年、2010 年前后,2015 年来除秦岭西段和嘉陵江河谷年降水量出现陡增现象外,其余各子区域年降水量呈波动下降趋势。近 51 a 秦岭山地 1 月、7 月均温均呈现上升趋势,但 1 月均温升温速率较 7 月均温高(除关中平原和秦岭中段),特别地近 3 a 秦岭山地 1 月均温呈现上升趋势,而 7 月均温呈现下降趋势。

值和趋势变化的空间分布,见图 4。在空间上,秦岭山地年降水量、1 月和 7 月均温多年均值变化范围分别为 408.2~1 662.2 mm,−13~4.6℃和 7.9~28.4℃。

从图4可见,秦岭山地为降水高值区、气温低值区,受秦岭地形、水汽来源影响,气候分界指标等值线(包括:800 mm 等降水量线、1月 0℃ 和 7月 25℃ 等温线)空间走向复杂。

近 51 a 来,秦岭山地年降水量、1 月和 7 月均温趋势变化空间格局差异明显。从气象站点年降水量、1 月和 7 月均温趋势变化统计情况看,126 个站点中有 82 个(65%)站点年降水量呈减少趋势,有 123, 124 个站点(97.6%,98.4%)1 月和 7 月均温呈增加趋势。从空间分布上看,年降水量增加区域位于秦岭西段、中段和关中平原南部,其他地区为减少区域,如嘉陵江河谷和秦岭东段的青川、华山年降水量变化最为显著($p<0.05$),青川增加速率为 51.1 mm/10 a,而华山减少速率为-33.2 mm/10 a。1 月和 7 月均温,秦岭山地整体呈增加趋势,气温显著增加区域位于山地北部和西部地区。



注:黑点为变化趋势通过 0.05 显著性检验。

图4 1970—2020 年秦岭山地各气候分界指标空间分布及趋势变化

3.3 秦岭山地年降水量 800 mm, 1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 位置高度随时间的变化

秦岭山地气候“暖干化”背景下,气候分界指标(包括年降水量 800 mm,1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 等值线)位置高度的变化分析,对确定地理区划有重要的参考价值。结合分界指标等值线位置、走向及地形因子(如海拔高度、坡向等),选择秦岭中段—太白山(3 767 m)和秦岭

东段—伏牛山(2 219 m),分别提取年降水量 800 mm,1 月 0℃ 以及 7 月 25℃ 对应的海拔高度,绘制近 51 a 秦岭山地太白山、伏牛山剖面气候分界指标高度时间变化曲线(图 5)。

近 51 a 秦岭山地年降水量 800 mm,1 月 0℃ 以及 7 月 25℃ 高度年际变化呈现“西部大于东部,南北坡异速”的特征。东西剖面对比表明,西部太白山年降水量 800 mm,1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 高度平均速率分别为-166 m/10 a,70 m/10 a 以及 46 m/10 a 均大于东部伏牛山,东部伏牛山年降水量 800 mm,1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 高度平均速率分别为 49 m/10 a,37 m/10 a 和 20 m/10 a,西部太白山呈显著变化($p<0.01$ 或 0.05)、东部伏牛山呈不显著变化;同一剖面南北坡比较揭示,除西部太白山年降水量 800 mm 高度北坡速率(-183 m/10 a)大于南坡(-149 m/10 a)外,其余各指标高度均表现为南坡大于北坡,如西部太白山 1 月 25℃ 高度南坡速率为 47 m/10 a($p<0.01$)大于北坡速率 44 m/10 a($p<0.05$)。

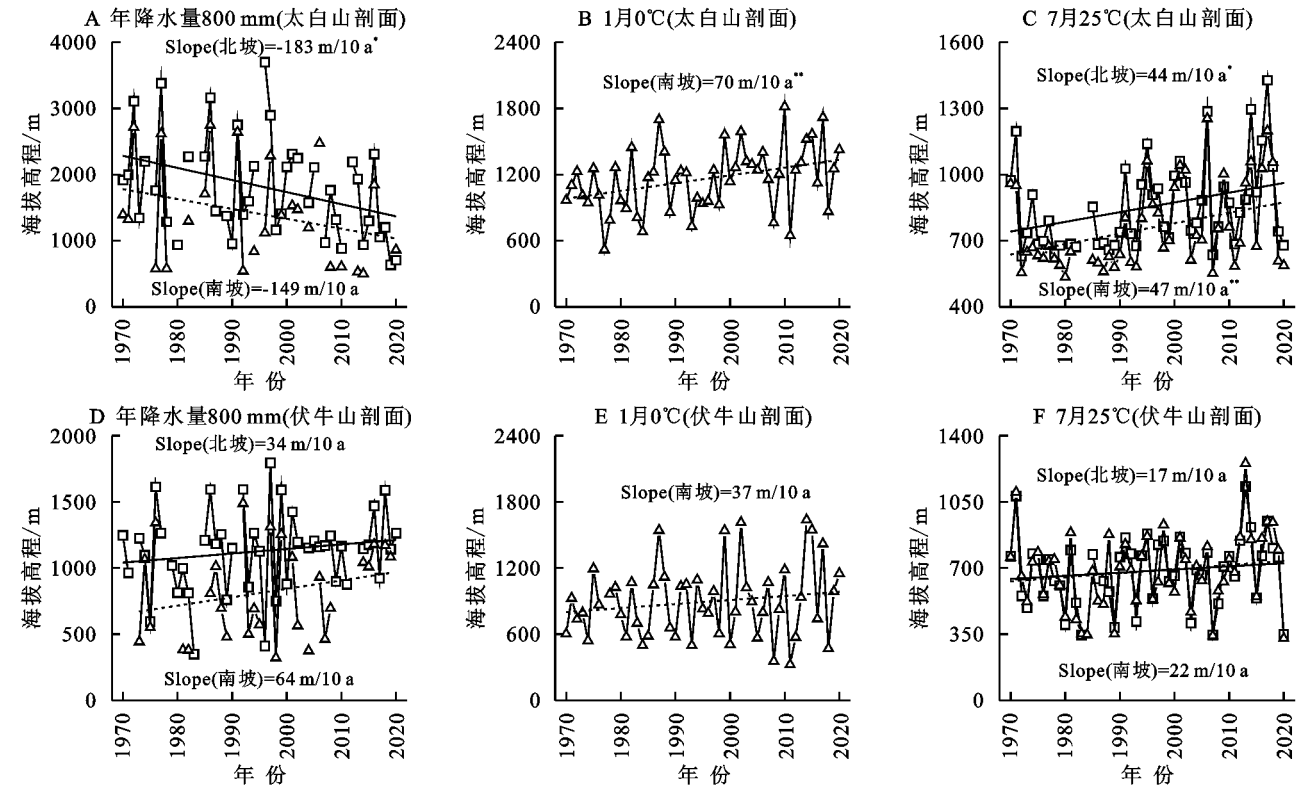
3.4 秦岭山地气候分界指标高度对盆地站点降水和气温变化的响应

秦岭山地气候分界指标高度时间变化显示,某些年份序列存在间断现象,尤其是年降水量 800 mm 高度。为初步分析可能原因,结合降水、气温随海拔高度变化的基本规律,分别选择太白山、伏牛山剖面两端 2 个盆地气象站点,绘制近 51 a 年降水量、1 月和 7 月均温时间变化曲线,并标出 800 mm,0℃ 以及 25℃ 线(图 6)。秦岭南部的洋县(西部)、西峡(东部)站多个年份年降水量均大于 800 mm,趋势呈现强烈波动性,存在降水量极大(小)值年,如洋县站 1983 年、1998 年、2011 年、2019 年降水量分别为 1 376 mm,1 055 mm,1 179 mm 和 1 186 mm,均大于 800 mm;1 月和 7 月均温整体上高于 0℃,25℃,除 1977 年西峡站 1 月均温低至-1.5℃(小于 0℃),当年 0℃ 等温线南移。秦岭北坡眉县(西部)、洛宁(东部)站也具有同样结论,如 1984 年眉县、洛宁站 7 月均温分别为 22.8℃,23.9℃(均小于 25℃)。结合随海拔升高降水会增加、气温降低的规律,造成近 51 a 秦岭山地年降水量 800 mm,1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 高度时间变化曲线不连续。

3.5 秦岭山地气候分界线的稳定性

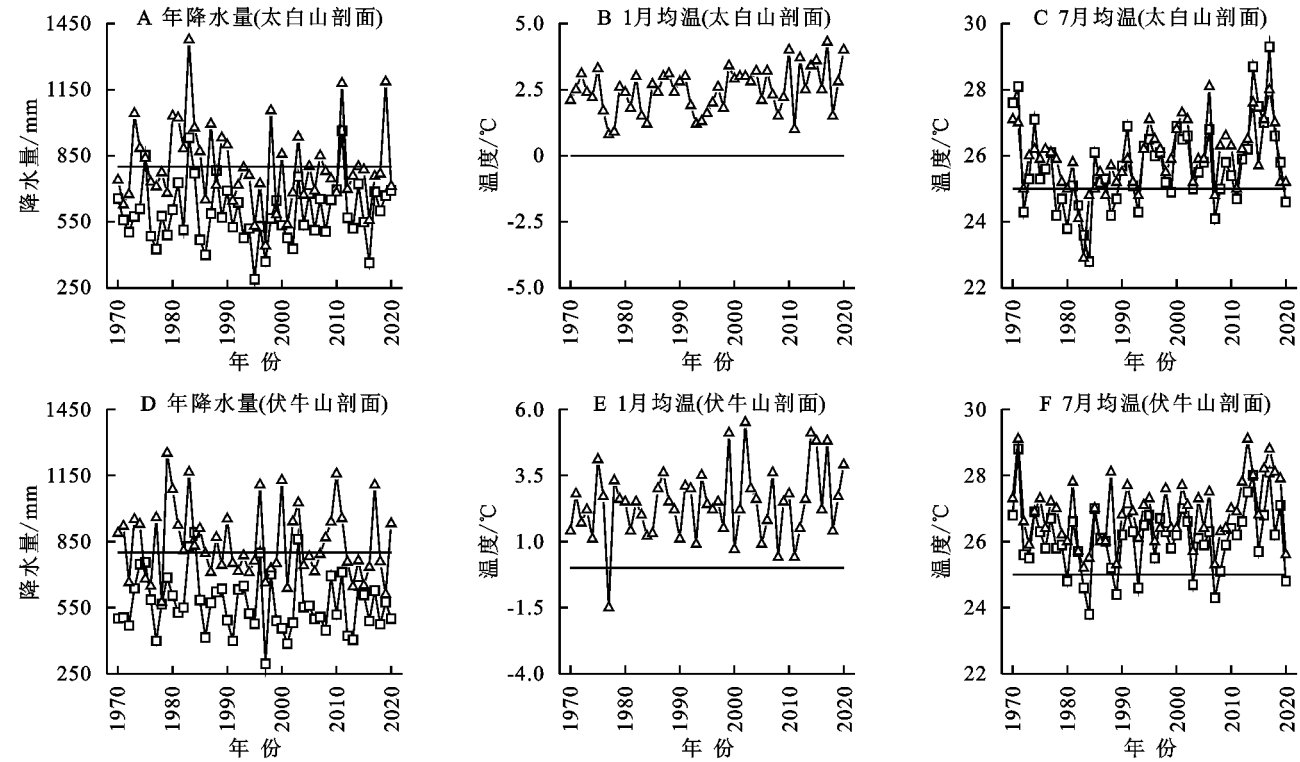
在秦岭山地近 51 a 年降水量呈减少、气温呈上升变化背景下,年降水量 800 mm,1 月 0℃ 及 7 月 25℃ 位置高度沿山地上升或下降,但均未越过秦岭山脊向北、南推进。通过比较 1970s(1970—1979 年)和 2010s(2010—2019 年)两个时段太白山(3 767 m)、

伏牛山(2 219 m)3 个气候分界指标位置高度与山顶 海拔的关系,来验证秦岭山地气候分界线的稳定性。



注:□表示北坡、△表示南坡;线性趋势线:实线表示北坡、虚线表示南坡。

图 5 太白山、伏牛山剖面年降水、1 月和 7 月均温分界指标高度时间序列



注:△表示洋县(A,B,C)、西峡(D,E,F),□表示眉县(A,B,C)、洛宁(D,E,F);水平线:800 mm(A,D),0℃(B,E),25℃(C,F)。

图 6 太白山、伏牛山剖面两端站点年降水量、1 月和 7 月均温时间变化

图 7 是秦岭太白山、伏牛山 3 个气候分界指标位置高度变化与山顶高度关系示意图,旨在揭示秦岭山地气候分界线的稳定性。除太白山 2010s 年降水量 800 mm 位置高度较 1970s 北坡下降 740 m、南坡下降 662 m 外,其余各指标高度均呈上升趋势;太白山气候分界指标位置高度变化量远大于伏牛山,如 1 月 0℃ 高度变化量:太

白山南坡为 297 m,伏牛山南坡为 132 m。在 2010s 时段,太白山年降水量 800 mm 高度北坡为 1 385 m、南坡为 872 m,1 月 0℃ 高度南坡为 1 306 m 以及 7 月 25℃ 高度北坡为 985 m、南坡为 862 m 均低于其山顶高度

3 767 m,同样伏牛山 2010s 各气候指标高度也都未越过其绝顶(2 219 m)。因此,在 1970—2020 年秦岭山地气候变化呈暖干化背景下,秦岭山地作为划分中国南北方的分界线仍具有稳定性。

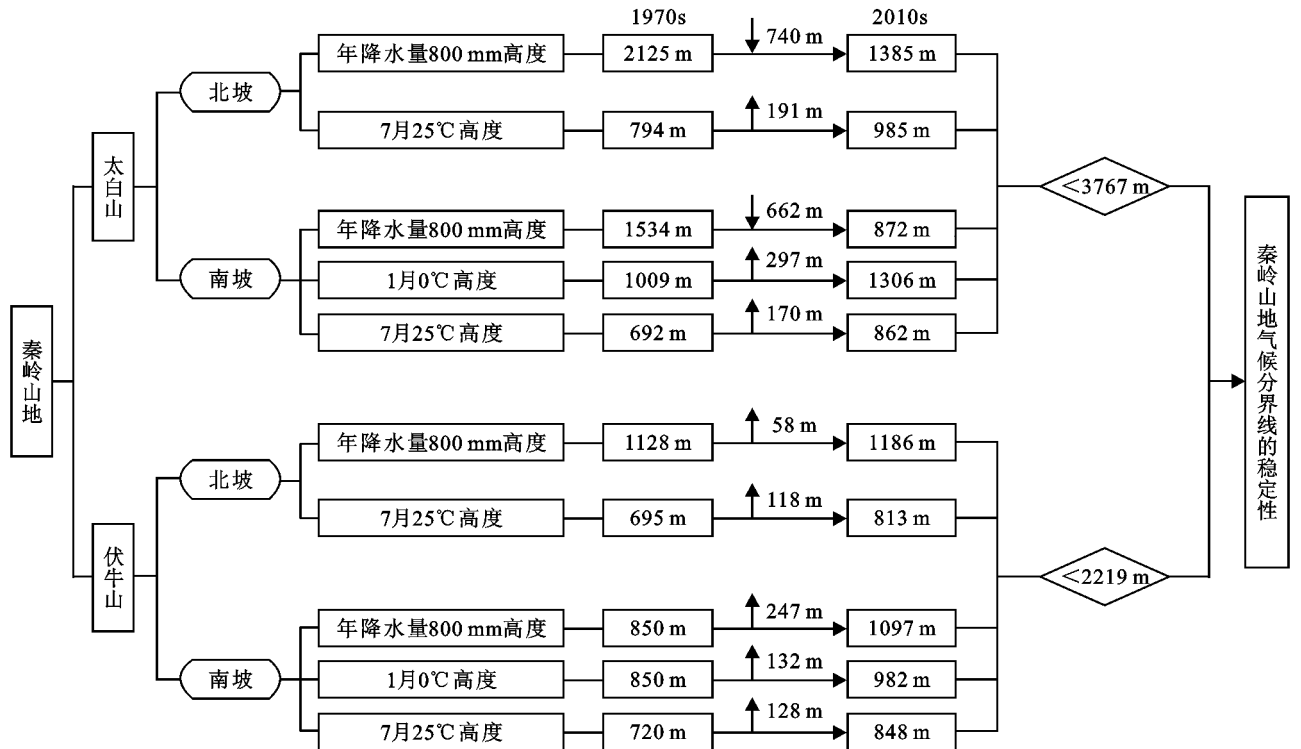


图 7 秦岭山地气候分界线稳定性的逻辑示意图

4 讨论

4.1 气候分界指标时空变化对区域植被和水文的影响

本文选取具有气候分界意义的年降水量、1 月均温和 7 月均温指标,分析了 1970—2020 年秦岭山地 3 个指标的时空变化特征,结果表明近 51 a 区域气候整体呈显著增暖趋势,干湿变化呈空间异质性,如秦岭西段、中段和嘉陵江河谷呈湿化状态,其余各子区域呈干化状态。在此气候背景下,叠加秦岭山地复杂的地形效应,势必会放大气候变化对区域植被和水文的影响。随着秦岭山地气候逐渐增暖,区域植被覆盖变化呈现区域性^[21]、植物物候表现为生长期延长^[22];除此之外,山地因在较小的空间范围内具有高度的环境梯度和空间异质性,对气候变化的敏感程度仅次于两极地区,故高山树种对气候变化的响应更加敏感,如 2000—2015 年秦岭太白山林线树种——太白红杉受气候增暖生长期平均延长幅度达 0.99 d/10 a^[23]。气候变化除对区域植被生长过程影响外,还直接或间接的影响着局地水循环过程和水资源时空分配,秦岭山地作为长江、黄河一级支流汉江和渭河的水源地、南水北调中线工程的产水区,区域气候增暖已经

造成其南北不同流域径流有不同程度的减少趋势。研究表明秦岭南麓汉江上游流域 1961—2013 年降水量缓慢减少,气温显著上升,年径流量显著减少^[24];秦岭北麓渭河流域近 50 a 气候增暖对径流影响非常明显,气温每升高 0.9℃,径流量减少 31.82%^[25]。在当前秦岭山地气候整体增暖、部分地区存在水资源短缺的背景下,定量预估未来气候变化对区域水资源时空格局的影响至关重要,田晶等^[26]采用 CMIP5 气候模式的 2 套资料,结合 SWAT 模型模拟了汉江流域未来的径流过程,发现在 RCP4.5 和 RCP8.5 情景下,未来汉江流域年降水量增加 4.0%,3.7%,年平均径流量增加 5.1%,2.7%,这一研究结果表明未来秦岭山地气候存在微弱湿化趋势,这将对地区水资源短缺有缓解作用。综上,秦岭气候变化对区域植被物候、水文过程和水资源时空格局均有重要的影响,气候指标时空规律的历史评价和未来预估对区域可持续发展影响深远。

4.2 气候分界指标高度变化对区域气候变化的响应

年降水量 800 mm,1 月 0℃ 和 7 月 25℃ 是中国南北地理分界线划定的重要气候指标^[5,11],受秦岭山地气候变暖的影响,造成气候分界指标等值线位置、走向

发生一定程度地变化。本文秦岭伏牛山、太白山气候分界指标高度时间变化序列显示,年降水量 800 mm 等值线分布于秦岭山地南北两侧,年降水量 800 mm 高度西部太白山平均以 $-166\text{ m}/10\text{ a}$ 的速率下降、东部伏牛山则以 $49\text{ m}/10\text{ a}$ 的速率上升,等值线在西部垂直下降、东部垂直上升;1 月 0°C 等值线分布于秦岭山地南麓,7 月 25°C 等值线分布于秦岭南北坡麓,1 月 0°C 高度西部太白山显著升高,平均以 $70\text{ m}/10\text{ a}$ 的速率升高,7 月 25°C 高度平均以 $46\text{ m}/10\text{ a}$ 的速率显著上升,秦岭山地气温分界指标等值线存在沿山地垂向上升现象,这一结果与全球变暖下亚热带明显北移的研究结论是一致的^[27]。假定未来秦岭山地气候变化仍呈增暖趋势下,1 月 0°C 等温线是否会翻越秦岭主脊到达秦岭北麓? 年降水量 800 mm 等值线在秦岭西段是否会北移至黄土高原? 秦岭北部 0°C 等温线“飞地式”^[14] 和“热岛”^[3] 特征是否会发生延展? 在未来区域气候增暖背景下关中平原地区居民是否会暴露于更强烈、更频繁的高温热浪事件之中? 这些问题的解答需要结合模式预测数据进行气候分界线位置的三维立体化监测。

5 结论

(1) 相较观测,薄盘样条插值方法可获得较准确的年降水量和 1 月均温序列, R 均在 0.7 以上, $p < 0.01$;7 月均温插值结果与观测趋势高度一致,却存在 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$ 的偏差,初步得到秦岭山地 7 月均温经验性校正系数为 0.893,经校正后,插值结果较校正前误差缩小了 $3\sim 6$ 倍。

(2) 近 51 a 秦岭山地气候东部呈“暖干化”、西部“暖湿化”。时间上,年降水量减少、1 月和 7 月均温升高,特别近 3 a 区域 1 月均温升高、7 月均温降低。空间上,除秦岭中段、西段和关中平原南部年降水量呈增加趋势外,其他各子区域年降水量均呈减少趋势;区域 1 月和 7 月均温整体呈上升趋势,北部、西部呈显著上升趋势($p < 0.05$)。

(3) 秦岭山地年降水量 800 mm 高度变化呈“东西反向”,东部速率大于西部的特征,南北坡速率不同的特征。西部太白山年降水量 800 mm 高度平均降低速率($-166\text{ m}/10\text{ a}$)大于东部伏牛山升高速率($49\text{ m}/10\text{ a}$),西部太白山北坡降低速率($-183\text{ m}/10\text{ a}$)大于南坡($-149\text{ m}/10\text{ a}$),东部伏牛山南坡升高速率 $>$ 北坡;1 月 0°C 和 7 月 25°C 高度东西部趋势相同,西部速率大于东部,如太白山 1 月 0°C 高度升高速率

($70\text{ m}/10\text{ a}$) 大于伏牛山($37\text{ m}/10\text{ a}$)。

(4) 年降水量 800 mm,1 月 0°C 和 7 月 25°C 是中国南、北方地区重要的气候分界指标,其海拔高度用于量化秦岭气候分界线的位置。2010s (2010—2019 年) 相较 1970s (1970—1979 年) 秦岭山地 3 个气候指标均表现为不同程度沿山地上升或下降变化,但秦岭山地 2010s 时段年降水量 800 mm 高度北坡为 $1\ 100\sim 1\ 400\text{ m}$ 、南坡为 $800\sim 1\ 100\text{ m}$,1 月 0°C 高度南坡为 $900\sim 1\ 300\text{ m}$ 以及 7 月 25°C 高度北坡为 $800\sim 1\ 000\text{ m}$ 、南坡为 $800\sim 900\text{ m}$ 均未越过秦岭主脊,故秦岭山地的气候分界作用仍具有稳定性。

参考文献:

- [1] 张百平.中国南北过渡带研究的十大科学问题[J].地理科学进展,2019,38(3):305-311.
- [2] 辛蕊,段克勤.2017 年夏季秦岭降水的数值模拟及其空间分布[J].地理学报,2019,74(11):2329-2341.
- [3] 陆福志,鹿化煜.秦岭—大巴山高分辨率气温和降水格点数据集的建立及其对区域气候的指示[J].地理学报,2019,74(5):875-888.
- [4] 白红英,马新萍,高翔,等.基于 DEM 的秦岭山地 1 月气温及 0°C 等温线变化[J].地理学报,2012,67(11):1443-1450.
- [5] 寇志翔,姚永慧,胡宇凡.基于地理探测器的中国亚热带北界探讨[J].地理研究,2020,39(12):2821-2832.
- [6] 罗开富.中国自然地理分区草案[J].地理学报,1954,20(4):379-394.
- [7] 竺可桢.中国的亚热带[J].科学通报,1958,9(17):524-528.
- [8] 黄秉维.中国综合自然区划草案[J].科学通报,1959,10(18):594-602.
- [9] 赵松乔.中国综合自然地理区划的一个新方案[J].地理学报,1983,38(1):1-10.
- [10] 王菁兰,刘全儒,孟世勇,等.从秦岭蕨类植物区系地理成分论秦岭山地生态分界线的划分[J].地理研究,2010,29(9):1629-1638.
- [11] 姚永慧,寇志翔,胡宇凡,等.秦巴山区马尾松林和油松林的空间分布及亚热带与暖温带界线划分[J].地理学报,2020,75(11):2298-2306.
- [12] 毛明策,蔡新玲,高茂盛.基于植被分区的秦岭年降水分区验证及其年际变化[J].地理研究,2020,39(12):2833-2841.
- [13] 郑景云,尹云鹤,李炳元.中国气候区划新方案[J].地理学报,2010,65(1):3-12.
- [14] 李双双,芦佳玉,延军平,等.1970—2015 年秦岭南北气温时空变化及其气候分界意义[J].地理学报,2018,73(1):13-24.
- [15] 刘迪,陈海,耿甜伟,等.基于地貌分区的陕西省区域生态风险时空演变[J].地理科学进展,2020,39(2):243-254.

[16]

刘俊杰,潘自武,秦奋,等.基于 MODIS 的秦巴山地气温估算与山体效应分析[J].地理研究,2020,39(3):735-748.

[17]

刘荷,邓晨晖,邵景安,等.1964—2017 年秦岭山地降水时空变化特征及其南北差异[J].水土保持研究,2021,28(2):210-216,223.

[18]

齐贵增,白红英,孟清,等.1959—2018 年秦岭南北春季气候时空变化特征[J].干旱区研究,2019,36(5):1079-1091.

[19]

Hutchinson M. Interpolating mean rainfall using thin plate smoothing splines[J]. International Journal of Geographical Information Systems, 1995,9(4):385-403.

[20]

Hutchinson M. ANUSPLIN version 4,36 user guide [Z]. Canberra:Australian National University, 2006.

[21]

赵芳,张久阳,刘思远,等.秦巴山地 NPP 及对气候变化响应的多维地带性与暖温带—亚热带界线[J].生态学报,2021,41(1):57-68.

[22]

邓晨晖,白红英,高山,等.1964—2015 年气候因子对秦岭山地植物物候的综合影响效应[J].地理学报,2018,73(5):917-931.

[23]

郭少壮,白红英,黄晓月,等.秦岭太白红杉林遥感物候提取及对气候变化的响应[J].生态学杂志,2019,38(4):1123-1132.

[24]

陈婷,夏军,邹磊.汉江上游流域水文循环过程对气候变化的响应[J].中国农村水利水电,2019(9):1-7.

[25]

牛最荣,张芮,陈学林,等.1970—2016 年气候变化对渭河源头清源河流域降水和地表径流的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):9-14.

[26]

田晶,郭生练,刘德地,等.气候与土地利用变化对汉江流域径流的影响[J].地理学报,2020,75(11):2307-2318.

[27]

卞娟娟,郝志新,郑景云,等.1951—2010 年中国主要气候区划界线的移动[J].地理研究,2013,32(7):1179-1187.



(上接第 148 页)

[13]

周卓丽,张卓栋,罗建勇,等.河北坝上地区草地坡面尺度土壤容重空间变异特征[J].土壤通报,2020,51(1):9-17.

[14]

刘宇,张洪江,张友焱,等.晋西黄土丘陵区主要人工林土壤饱和和导水率研究[J].水土保持通报,2013,33(4):131-135.

[15]

毛娜,黄来明,邵明安.黄土区坡面尺度不同植被类型土壤饱和和导水率剖面分布及影响因素[J].土壤,2019,51(2):381-389.

[16]

张锐.垄作沟灌土壤水分入渗规律的试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2016.

[17]

郑纪勇,邵明安,张兴昌.黄土区坡面表层土壤容重和饱和导水率空间变异特征[J].水土保持学报,2004,18(3):53-56.

[18]

吴强.川西北高山/亚高山主要森林土壤水土保持功能研究[D].成都:四川农业大学,2017.

[19]

马思文,张洪江,程金花,等.三峡库区典型城郊防护林土壤饱和和导水率特征研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2018,42(5):99-106.

[20]

迟春明,王志春.碱化盐土饱和和导水率特征与影响因素研究[J].土壤通报,2014,45(3):601-607.

[21]

Wang Y, Shao M A, Liu Z, et al. Regional-scale variation and distribution patterns of soil saturated hydraulic conductivities in surface and subsurface layers in the loessial soils of China[J]. Journal of Hydrology, 2013, 487:13-23.



(上接第 154 页)

[23]

郭子武,俞文仙,陈双林,等.林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响[J].生态学报,2013,33(18):5623-5630.

[24]

李建兴,何丙辉,梅雪梅,等.紫色土区坡耕地不同种植模式对土壤渗透性的影响[J].应用生态学报,2013,24(3):725-731.

[25]

王清奎,田鹏,孙兆林,等.森林土壤有机质研究的现状与挑战[J].生态学杂志,2020,39(11):3829-3843.

[26]

林代杰,郑子成,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤入渗特征及其影响因素[J].水土保持学报,2010,24(1):33-36.

[27]

王纪杰,俞元春,陈容,等.不同栽培代次、林龄的桉树人工林土壤渗透性研究[J].水土保持学报,2011,25(2):78-82,103.

[28]

李文凤,张晓平,梁爱珍,等.不同耕作方式下黑土的渗透特性和优先流特征[J].应用生态学报,2008,19(7):1506-1510.

[29]

丁奠元,冯浩,赵英,等.氮化秸秆还田对土壤孔隙结构的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(3):650-658.