

# 1964—2017 年秦岭山地降水时空变化特征及其南北差异

刘 荷<sup>1</sup>, 邓晨晖<sup>3</sup>, 邵景安<sup>1,2</sup>, 郭 跃<sup>1,2</sup>

(1.重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331; 2.重庆师范大学 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331; 3.咸阳师范学院 资源环境与历史文化学院, 陕西 咸阳 712000)

**摘 要:**为了明确秦岭山地降水时空变化的特征,为秦岭生态环境保护提供气候依据,基于秦岭地区 1964—2017 年 32 个气象站的逐月降水数据资料并采用 AUSPLIN 插值法将其转为区域面上数据,结合小波分析、趋势分析等方法,研究了不同时空尺度下秦岭山地 1964—2017 年降水变化特征及其南北差异性。结果表明:(1)近 54 年秦岭全区年均降水量呈减少趋势,速率为  $-11.95 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,降水变化存在明显的周期性及显著的空间差异,降水主要集中在中南部。(2)季尺度上,近 54 年秦岭山地的降水变化存在显著的季节差异,空间上尤以春季在高海拔区的减少趋势最为显著。(3)秦岭山地降水变化存在着明显的南北差异,近 54 年北坡年均降水呈减少趋势,平均速率为  $-7.1 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,南坡则呈增加趋势,速率为  $35.1 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ;气温突变前,北坡降水变化趋势不明显而南坡以增加趋势为主;气温突变后,南北坡均以增加为主,而北坡全区均呈增加趋势。54 a 来,秦岭以南地区降水强度大,夏冬两季容易导致干旱、极端降水等自然灾害,进而对生命财产安全造成威胁,应增强旱涝灾害的预防。

**关键词:**降水变化; 南北差异; 气温突变前后; 秦岭山地

**中图分类号:**P426.6; S161.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2021)02-0210-07

## Spatiotemporal Variations of Precipitation and the North-South Differences in the Qinling Mountains from 1964 to 2017

LIU He<sup>1</sup>, DENG Chenhui<sup>3</sup>, SHAO Jingan<sup>1,2</sup>, GUO Yue<sup>1,2</sup>

(1.College of Geography and Tourism, Chongqing Normal University,

Chongqing 401331, China; 2.Key Laboratory of Surface Process and Environment Remote Sensing in the

Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 3.College of

Resources, Environment, History and Culture, Xianyang Normal University, Xianyang, Shaanxi 712000, China)

**Abstract:** In order to clarify the characteristics of the temporal and spatial changes of precipitation in the Qinling Mountains, provide a climate basis for the ecological environment, based on the monthly precipitation data of 32 meteorological stations in the Qinling area from 1964 to 2017, AUSPLIN interpolation method was used to convert those data to regional surface data. The characteristics of precipitation changes and the differences between North and South in the Qinling Mountainous area under different time and space scales from 1964 to 2017 were studied by using wavelet analysis and trend analysis methods. The results show that: (1) the average annual precipitation in the Qinling Mountains had decreased in the past 54 years, with a rate of  $-11.95 \text{ mm}/\text{decade}$ ; there is an obvious periodicity and significant spatial difference in precipitation changes. The precipitation is mainly concentrated in the central and southern regions. (2) on the seasonal scale, there had been a significant seasonal difference in precipitation changes in the Qinling Mountains in the past 54 years; the spatial reduction trend was particularly significant in spring at high altitudes. (3) the precipitation change in Qinling Mountain had obvious difference before and after the sudden temperature change; before the sudden temperature change, the decreasing trend was dominant, which reached the significance level in 82.21% of area; after the sudden change, the increasing trend was dominant, which accounted for 65.60% of the area; (4) there was a clear north-south difference in precipitation changes in the Qinling Mountains; in the past 54 years, the average annual precipitation on the northern slope had decreased, with

收稿日期:2020-05-18

修回日期:2020-06-10

资助项目:重庆市基础科学与前沿技术研究重点专项项目“三峡库区水土要素时空耦合效应与入地系统优化调控”(cstc2017jcyjB0317)

第一作者:刘荷(1996—),女,陕西汉中,人,硕士研究生,研究方向为土地利用与土地管理。E-mail:liuhe\_hh@163.com

通信作者:邵景安(1976—),男,安徽亳州人,博士,研究员,主要从事土地利用与生态过程研究。E-mail:shao\_ja2003@sohu.com

an average rate of  $-7.1$  mm/decade, and it had an increasing trend the southern slope, with a rate of  $35.1$  mm/decade; before the mutation, the change trend of precipitation on the north slope was not obvious and the increasing trend was mainly on the south slope. In the past 54 years, the south area of the Qinling Mountains had experienced high rainfall intensity. Natural disasters such as drought and extreme precipitation were likely to occur in the summer and winter, which threatened the safety of life and property. The prevention of droughts and floods should be strengthened.

**Keywords:** precipitation changes; north-south differences; before and after the abrupt temperature changes; Qinling Mountains

IPCC 第 5 次评估报告中指出<sup>[1]</sup>,近 60 年全球地表温度每 10 a 升高  $0.12^{\circ}\text{C}$  ( $0.08\sim 0.14^{\circ}\text{C}$ ),该报告也指出当今世界正处于相关经济体争相复苏的关键时期,未来  $\text{CO}_2$  排放量还将会持续不断上升<sup>[2]</sup>;全球变暖对大气降水格局影响也格外显著,使得降水的空间分布产生了相应地改变,进而导致干旱、极端降水等自然灾害频发、降水分布更加不均衡<sup>[3]</sup>,降水不均匀的空间分布和时间变化上的不稳定是导致旱涝灾害最直接的原因<sup>[4]</sup>。降水区域的时空分布特征规律直接影响着区域水资源演化过程,因而局部地区降水时空变化的研究也成为近年来学者关注的热点问题,国内对降水研究区域集中在东北<sup>[5]</sup>、西藏<sup>[6]</sup>、东疆<sup>[4]</sup>、青藏高原<sup>[7]</sup>、秦岭等地<sup>[8]</sup>。

山地作为气候变化的前哨对气候变化具有高度敏感性<sup>[9]</sup>,山地降水的时空变化也因此引起了国内外诸多学者的高度关注。有学者研究表明近 60 a 太行山区年降水量和径流量均呈下降趋势,且年际变化剧烈不利于水资源开发利用<sup>[10]</sup>。李沁汶等<sup>[11]</sup>预测横断山未来 50 a 年平均降水量总体呈减少趋势,极端降水总体降水量变化波动较大可能增加地质灾害风险。秦岭作为横跨我国中部的东西走向山脉,中部地区生态环境的脆弱敏感区,全球气候变暖导致秦岭南北坡几乎同时趋于干旱趋势<sup>[12]</sup>,秦岭以南地区年降水量呈明显减少趋势<sup>[13]</sup>,同时南水北调工程、城市化进程的差异加剧了秦岭南北两侧气温变化的非均匀性<sup>[14]</sup>。目前有关秦岭山地气候变化的研究主要集中于单一季节或坡向的降水时空变化以及对极端气候的响应研究,而对于春夏秋冬四季秦岭山地降水变化特征及其南北坡差异性的研究为数不多,本文将针对气温与降水的相关性进行分析研究。

基于此,利用秦岭地区 1964—2017 年 32 个气象站的逐月降水数据资料,并采用 AUSPLIN 插值法将站点数据转为区域面上数据,结合小波分析、趋势分析等方法,探究秦岭山地降水在不同时间尺度上的空间变化规律。试图回答:气候变化背景下,近 54 a 来秦岭山地降水变化呈现怎样的特征? 气温突变前后降水变化有何

差异? 秦岭南北坡的降水又有何不同? 以期为应对秦岭南北日益增加的气候风险提供理论依据,为秦岭山地生态环境保护及早涝灾害预防具有重要作用。

## 1 研究区概况

### 1.1 地理位置及地形特征

秦岭地处陕西南部 ( $32^{\circ}40'\sim 34^{\circ}35'\text{N}$ ,  $105^{\circ}30'\sim 110^{\circ}05'\text{E}$ ),约占陕西总面积 30%,总面积  $6.19$  万  $\text{km}^2$ ,位于汉江以北渭河以南(图 1)。秦岭山势雄伟,山体高大,地形破碎,地表高差悬殊,海拔约  $2\,000$  m,高峰都为  $2\,000\sim 3\,000$  m。秦岭山脉入陇南境内后,为西北—东南走向,丛山之间形成一些小的盆地。秦岭北坡地形陡峭,南坡坡势较缓。

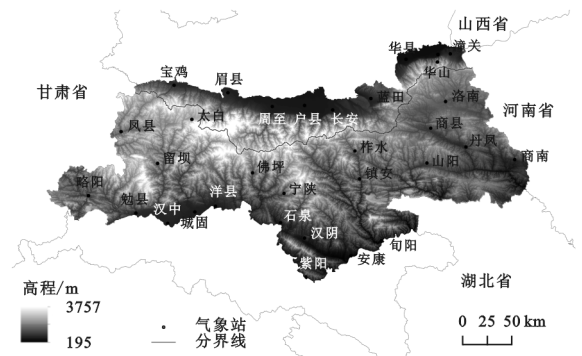


图 1 研究区范围及气象站位置

### 1.2 气候特征

秦岭山体高大因而对气流运。行有明显阻滞作用。夏季湿润的海洋气流不易深入西北,使北方气候干燥;冬季阻滞寒潮南侵,使汉中盆地、四川盆地少受冷空气侵袭,因此以秦岭—淮河为界,以南为亚热带,以北为暖温带<sup>[15]</sup>,也是湿润季风气候与半湿润季风气候的分界线,长江流域与黄河流域的分水岭<sup>[16]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究所采用的 1964—2017 年 32 个国家标准气象站的逐月、逐年的降水量、平均气温数据,其来源于中国气象数据科学共享服务网([www.geodata.cn](http://www.geodata.cn))和陕西省气象信息中心。DEM 数据分辨率为  $250\text{ m}\times$

250 m,数据来源于陕西省测绘地理信息局。

薄盘光滑样条函数法 TPS(thin plate smoothing splines),对一些限定的点值,利用特征节点,用多项式拟合的方法来产生平滑的插值曲线<sup>[17]</sup>。薄盘光滑样条函数的插值结果精度最优,特别是降水和气温的效果尤其的明显<sup>[18]</sup>。亦有学者指出,ANUSPLIN 法更适宜用于复杂山地环境下气候要素的空间插值<sup>[19]</sup>。因此,本研究选用 AUSPLIN 法进行空间插值。同时,为保证山地气象要素插值结果的准确性,在插值过程中将 DEM 作为协变量,从而获得秦岭山地近 54 a 降水栅格数据集,其空间分辨率为 250 m×250 m。

根据本研究数据的特点(时间序列较短仅 54 a),假设研究区间内只有一个转折点。中国气温突变时间的研究得到一致的转折时间发生于 1984 年<sup>[20-21]</sup>,且秦岭地区及其南北坡的气温突变时间均发生于 1984 年、1985 年气温开始呈稳定上升趋势温度发生<sup>[22]</sup>。本研究则以 1985 年作为秦岭气温突变点。

## 2.2 研究方法

2.2.1 空间趋势分析 一元线性回归趋势分析法,是运用最小二乘法逐像元拟合变量(气候因子)的斜率,可以模拟变量在每个栅格的变化率,分析区域变量的时空演变趋势<sup>[23]</sup>,其公式:

$$\text{slope} = \frac{n \sum_{i=1}^n i x_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

式中: $n$  为时间长度; $i$  为年序号; $x_i$  为第  $i$  年的  $x$  值

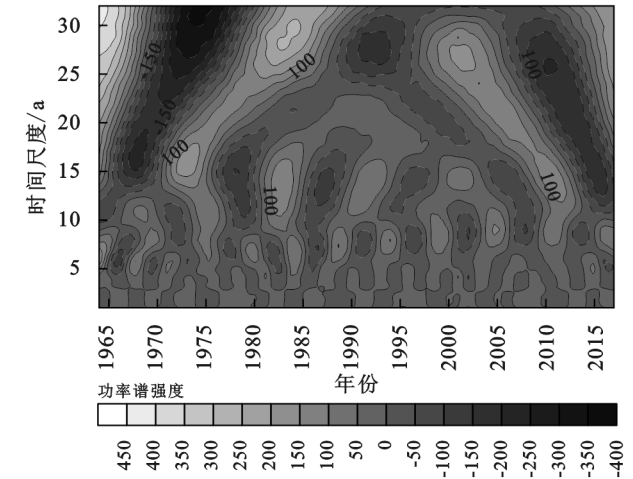


图 2 1964—2017 年 秦岭地区年均降水量变化的小波变换及方差

3.1.2 降水变化周期性的南北差异 对秦岭南北坡降水量分别进行小波分析的结果如图 3 所示。南北坡降水量与整个秦岭山地一致存在 3 个时间尺度规律,3 个明显的峰值分别对应 8,15,27 a 的时间尺度,表现出枯丰交替的周期性。但对南北坡小波变换图进行对比分析发现,南坡降水周期性较北坡更稳定,

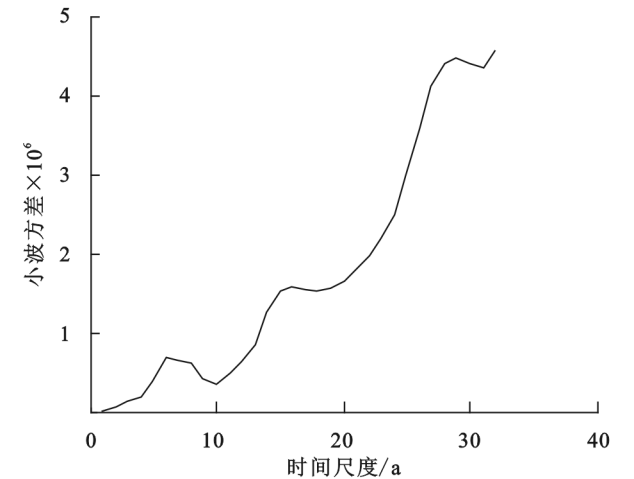
(气候因子);当  $\text{slope} > 0$ ,表明  $x$  值在  $n$  年间的变化趋势是增加;当  $\text{slope} < 0$ ,变化趋势则为减少。采用  $t$  检验确定变化趋势的显著性,并将结果划分为极显著( $p \leq 0.01$ )、显著( $0.01 < p \leq 0.05$ )、弱显著( $0.05 < p \leq 0.1$ )和不显著( $p > 0.1$ )变化 4 个等级。

2.2.2 小波分析 本研究对 1964—2017 年各时间序列数据选用 Morlet 连续复小波变换在 Matlab 中进行小波变换处理,再运用 suffer 8.0 绘制小波系数的实部等值线。小波方差则反映能量在时间尺度的分布情况,显示时间序列中该尺度周期波动的强度,其中峰值处对应的时间表示为该序列的主要时间尺度,反映了其主要周期<sup>[24]</sup>。

## 3 结果与分析

### 3.1 年降水变化的周期性

3.1.1 1964—2017 年降水变化的周期性 秦岭山地 54 a 降水量小波分析结果见图 2。秦岭山地在 54 a 间降水量存在着多时间尺度规律,在不同尺度上均出现了“枯—丰”交替的周期,图中反映出 3 个明显的峰值,分别对应 27,15,8 a 的时间尺度。其中,27 a 的时间尺度为最大峰值,为第一主周期,其降水的周期震荡最强;第二主周期对应着第二峰值的 15 a 时间尺度,从 15 a 和 27 a 大尺度的周期规律预测出,未来秦岭山地降水整体有逐渐增加的趋势;第三峰值对应着 8 a 的时间尺度,8 a 时间尺度上降水周期震荡一直存在,但能量小。



尤其在 2000 年后北坡在 27 a 大尺度上的降水周期震荡较不稳定。

### 3.2 年降水变化及其南北差异

通过空间插值得到秦岭山地 1964—2017 年降水的栅格数据集,利用 ArcGIS 软件计算 1964—2017 年秦岭山地 54 a 平均年降水量、倾向率及其显著性

的空间分布(图4)。

由图4可知,54 a间秦岭山地的年降水量范围为470.95~1 127 mm,地区降水分布不均衡,以中南部地区的降水较多;全区整体年降水的平均速率为

-11.95 mm/10 a,最快减少速率可达-41.40 mm/10 a;降水呈明显的减少趋势,其中以不显著减少为主(86.34%),而显著减少(2.28%)、弱显著减少(4.32%)和不显著增加(6.95%)的区域相对较少。

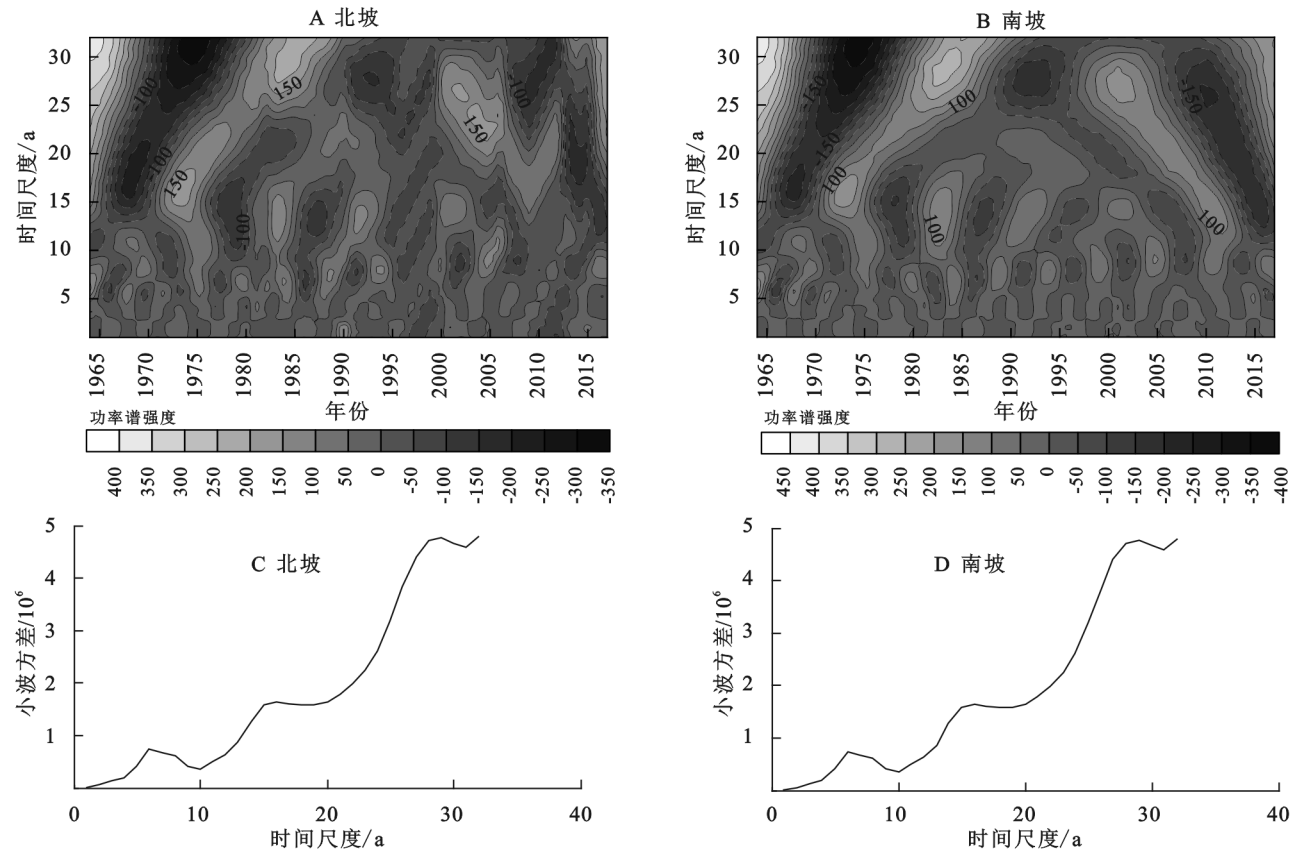


图3 秦岭南北坡年均降水量变化的小波及方差

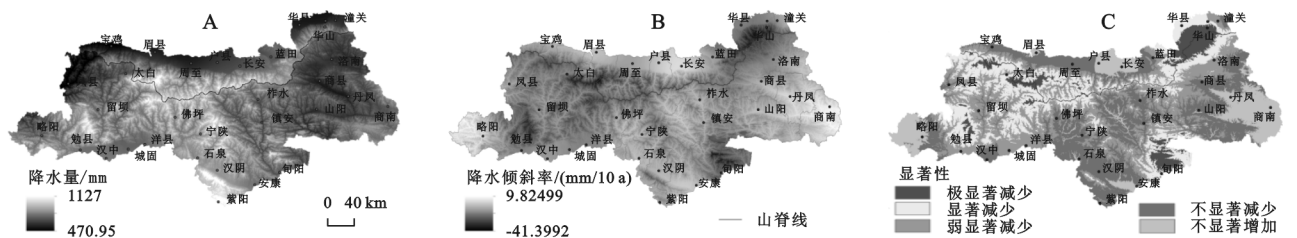


图4 1964—2017年年均降水量及其倾斜率与显著性的空间分布

就南北坡而言,北坡降水量范围为487.94~112.46 mm,平均降水729.44 mm,而南坡降水范围为613.35~1 171.82 mm,54 a平均降水量为845.08 mm,南坡平均降水量比北坡多115.64 mm。由倾斜率来看,北坡年降水平均速率为-13.58 mm/10 a,南坡为-11.54 mm/10 a,表明54 a间秦岭山地降水北坡减少速率较南坡快。从显著性变化来看,北坡和南坡均以不显著减少趋势为主,分别占全区17.04%,69.2%,北坡显著减少(1.14%)和弱显著减少(1.18%)区域较少;而南坡5.76%地区呈现不显著增加趋势,显著减少和弱显著减少占1.156%,2.98%。由此可以得出结论,1964—2017年北坡降水明显少于南坡降水,北坡较南坡干旱趋势更明显。

### 3.3 气温突变前后降水时空变化

(1) 气温突变前降水变化。秦岭山地气温突变前(1985年前)多年平均年降水量及其倾斜率与显著性的空间分布见图5。由图5A可知,气温突变前,秦岭山地的年降水量为496.12~1 259.25 mm,平均降水量为865.22 mm。由图5B统计知,秦岭山地全区年降水平均速率为26.40 mm/10 a,最大增加速率可达200.64 mm/10 a,由此可分析出气温突变前(1964—1985年)近20 a时间尺度上看,秦岭山地降水量呈现增长趋势。图5C的t检验结果显示,气温突变前,秦岭山地呈现增加趋势,其中50.94%的区域以不显著增加为主,12.17%的区域呈显著增加趋势,5.61%的区域呈弱显著增加趋势;不显著减少区域仅占31.27%。

就南北坡而言,气温突变前秦岭北坡降水量范围为 496.12~1 222.82 mm,平均年降水量为 777.06 mm,南坡年均降水量为 888.55 mm,可以看出南坡降水量明显较北坡多。北坡平均速率为 $-7.1\%$ ,南坡平均速率达到 $35.1\%$ ,说明气温突变前,北坡降水呈减少趋势,南坡则表现出明显的增加趋势。从显著性来看,北坡 $11.36\%$ 区域表现为不显著减少, $9.43\%$ 区域呈不显著增加;南坡总体呈现增长趋势,其中不显著增长( $51.42\%$ )为主,弱显著增长( $1.35\%$ )和显著增长( $3.28\%$ )次之,还存在少部分地区呈现不显著减少( $23.06\%$ )。

(2) 气温突变后降水变化。秦岭山地气温突变后(1985年后)多年平均年降水量及其倾斜率与显著性的空间分布如图 6 所示。气温突变后,秦岭山地的年降水量为 476.12~1 114.07 mm;气温突变后全区降水呈现增长趋势,平均增长速率为 $27.09\text{ mm}/10\text{ a}$ ;t 检验结果显示,降水以增加趋势为主,其中以不显著增加为主( $82.1\%$ ),以及部分弱显著减少( $0.11\%$ )和不显著减

少( $7.30\%$ )区域。就南北坡而言,气温突变后北坡年均降水量为 696.17 mm,南坡年均降水量为 815.82 mm,可以看出气温突变后南坡降水量多于北坡,南坡平均降水在气温突变后秦岭山地的降水时空变化并不明显,仍以中南部和低海拔区降水居多,北坡降水明显少于南坡,且北坡增长速率明显较南坡快。气温突变后,秦岭北坡几乎整体呈增加趋势,分别表现为不显著增加( $12.23\%$ )、弱显著增加( $5.03\%$ )和显著增加( $3.53\%$ );南坡也以增加趋势为主,其中不显著增加( $69.84\%$ )和弱显著增加( $1.87\%$ )区域为主,以及部分弱显著减少( $0.11\%$ )和不显著减少( $7.30\%$ )区域。可见,秦岭山地降水变化在气温突变前后存在明显差异,气温突变前,以减少趋势为主, $82.21\%$ 区域达显著性水平;突变后,以增加趋势为主,占 $65.60\%$ 的区域。且南北差异明显,突变前,北坡降水呈不明显减少趋势而南坡以增加趋势为主;突变后,南北坡均以增加为主,北坡全区均呈增加趋势。

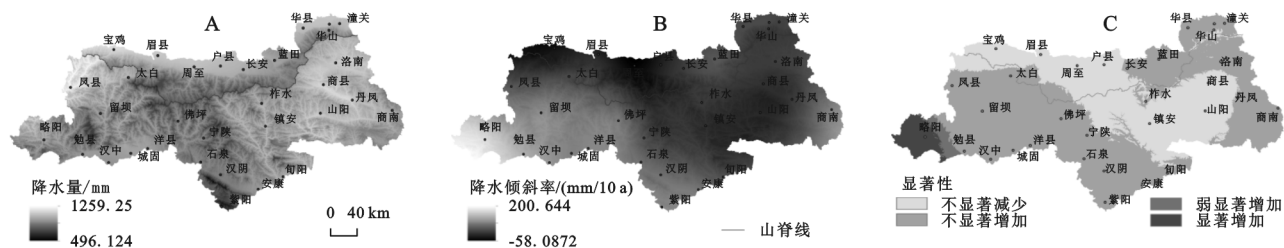


图 5 1964—1985 年年均降水量及其倾斜率与显著性的空间分布

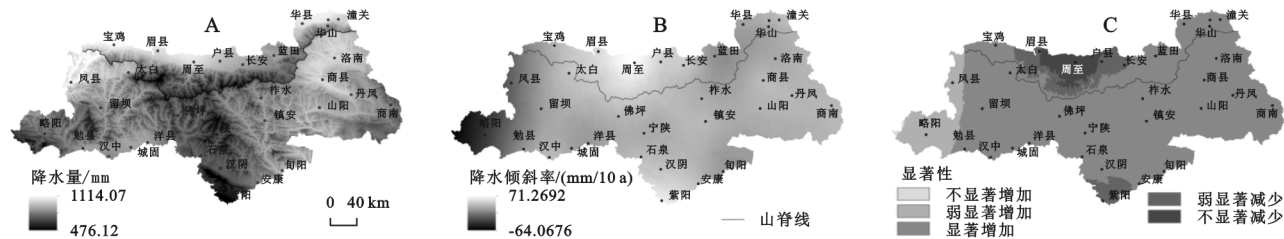


图 6 1985—2017 年年均降水量及其倾斜率与显著性的空间分布

### 3.4 季降水变化及其南北差异

3.4.1 季降水的空间分布 秦岭山地 1964—2017 年四季平均降水量空间分布见图 7。由图 7 可知,春季降水范围为 $39.96\sim 85.99\text{ mm}$ ,年均降水量 $58.50\text{ mm}$ ;夏季降水量最大范围为 $76.41\sim 185.96\text{ mm}$ ,年均降水量为 $129.18\text{ mm}$ ;秋季降水量范围为 $57.90\sim 117.95\text{ mm}$ ,年均降水量为 $79.35\text{ mm}$ ;冬季降水量最少为 $3.84\sim 20.63\text{ mm}$ ,年均降水量为 $9.55\text{ mm}$ ,四季均以中南部降水居多。表明,54 a 间降水量存在着显著的季节差异,以夏季降水量最为丰富,春季和秋季次之,冬季降水量极少。

就南北坡而言,春季北坡年均降水量为 $55.20\text{ mm}$ ,南坡为 $59.38\text{ mm}$ ,说明春季南北坡降水量差异不明显;夏季北坡年均降水量为 $110.15\text{ mm}$ ,而南坡达到 $134.21\text{ mm}$ ,夏季降水量南坡明显较北坡多;秋季北坡年均降水量为 $73.76\text{ mm}$ ,而南坡为 $80.82$

mm,秋季降水量同样较丰富且南坡较北坡多;冬季的南北坡降水量均极少,北坡年均降水量只有 $9.27\text{ mm}$ ,而南坡的也仅有 $9.63\text{ mm}$ 。

由此可知,秦岭地区夏季为丰水期,南坡降水量显著多于北坡;秦岭山地春秋降水较多,且南北坡差异不明显;冬季为枯水期,南北坡降水量均很少。综合来看,54 a 来秦岭山地降水在季节上存在着明显的差异,夏冬两季容易导致干旱、极端降水等自然灾害,进而对生命财产安全造成威胁,应增强旱涝灾害的预防。

3.4.2 季降水的变化趋势 秦岭山地 1964—2017 年四季平均季降水量倾斜率见图 8。近 54 a 来,秦岭山地 54 a 四季降水的速率总体呈现减少趋势,春季平均速率为 $-2.96\text{ mm}/10\text{ a}$ ,秋季为 $-1.91\text{ mm}/10\text{ a}$ ;夏季和冬季则表现出不明显的增长趋势,平均速率分别为 $1.44, 0.05\text{ mm}/10\text{ a}$ 。由图 8 可知,春季降水速率存在显著海拔差

异,由低海拔到高海拔逐渐减少;冬季降水速率表现出明显东西差异,由东向西逐渐增加。

就南北坡而言,季度间降水变化率存在着明显差异。春季秦岭山地北坡平均速率为 $-3.3\text{ mm}/10\text{ a}$ ,南坡则为 $-2.87\text{ mm}/10\text{ a}$ ,春季南北坡均呈现出减少趋势,且北坡减少速率更快;夏季北坡平均速率为 $1.87$

$\text{mm}/10\text{ a}$ ,南坡则为 $1.32\text{ mm}/10\text{ a}$ ;夏季南北坡均呈现出增加趋势,然而夏季北坡增长速率较南坡快;秋季秦岭山地又整体呈现减少趋势,北坡平均速率为 $-2.39\text{ mm}/10\text{ a}$ ,南坡则为 $-1.79\text{ mm}/10\text{ a}$ ;秦岭山地冬季北坡平均速率为 $0.084\text{ mm}/10\text{ a}$ ,南坡速率则为 $0.04\text{ mm}/10\text{ a}$ ,由此看出冬季南北坡呈现微弱的增长趋势。

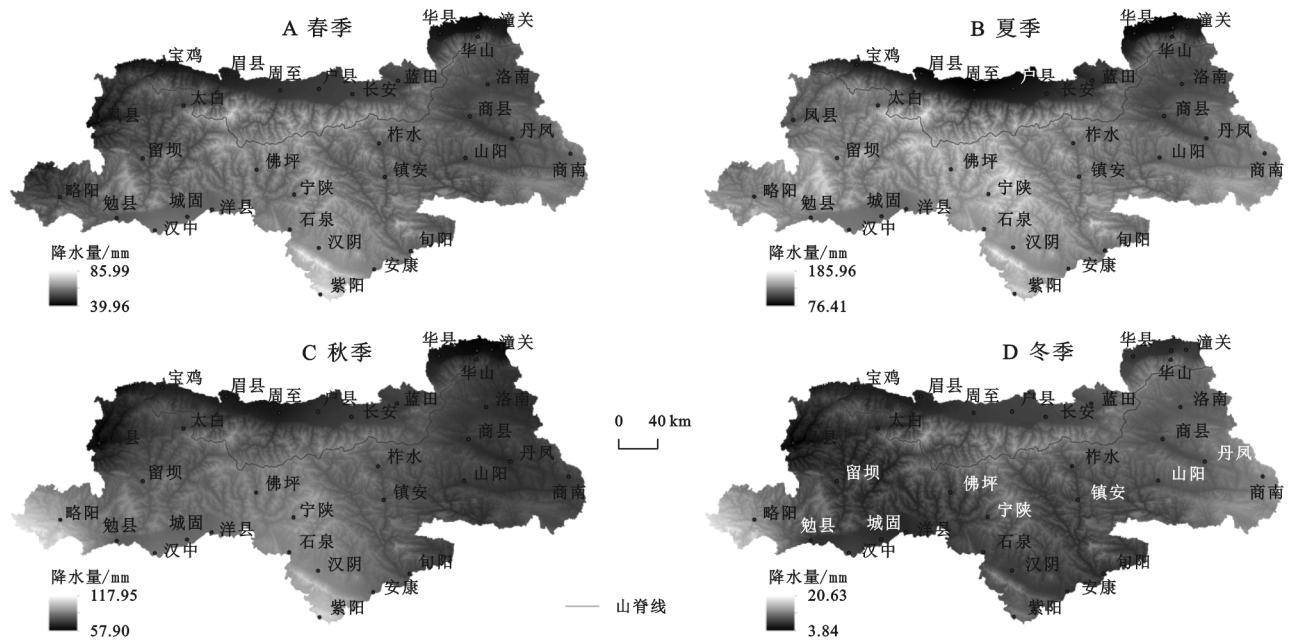


图 7 1964—2017 年季均降水量的空间分布

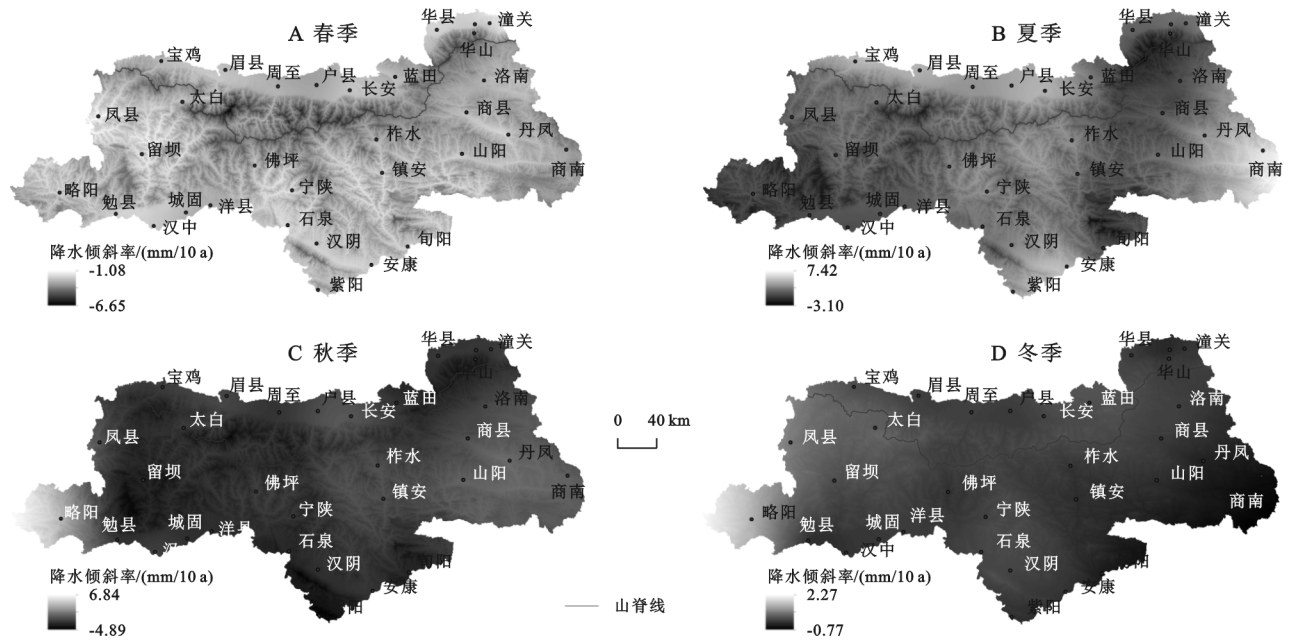


图 8 1964—2017 年季均降水量倾向率的空间分布

3.4.3 季降水的趋势显著性 秦岭山地 1964—2017 年四季平均降水量显著性的空间分布见图 9。由  $t$  检验结果显示,54 a 间秦岭山地季度间降水显著性存在着差异,春季和秋季则呈减少趋势,春季秦岭山地 100% 的区域呈减少趋势,其中显著减少和弱显著减少的区域为主,分别占 37.41% 和 30%,极显著减少 (13.57%) 和不显著减少 (20%) 所占区域较少;秋季

秦岭山地 95.4% 区域降水量表现出减少趋势,其中几乎全部为不显著减少 (95.3%),仅 4.59% 区域呈不显著增加趋势。夏季秦岭山地 82.6% 地区表现出增加趋势,其中不显著增加为主占全区 79%,弱显著增加较少,只占 3.6%,仅 17.31% 地区呈不显著减少趋势。冬季秦岭山地呈减少趋势和增加趋势的地区较均衡,减少地区占 50.45%,增加地区占 45.55%。

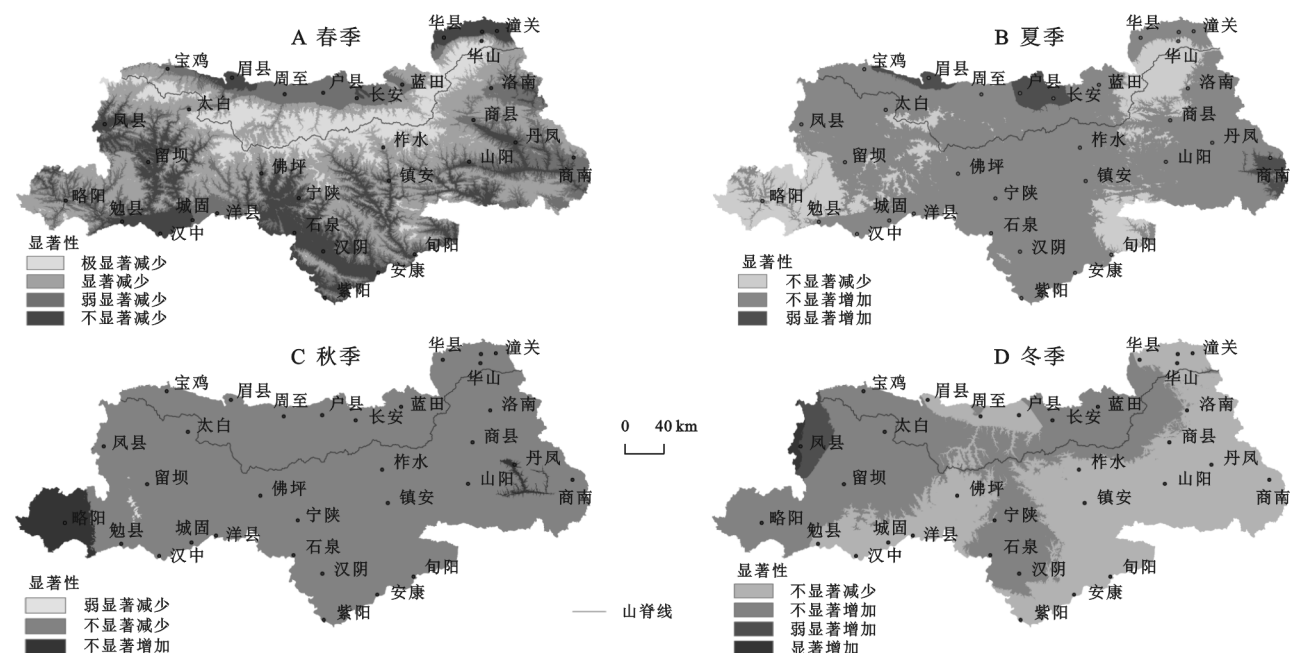


图 9 1964—2017 年季均降雨量显著性的空间分布

季度间降水显著性存在着明显南北差异,春季北坡以极显著减少(6.89%)、显著减少(6.49%)和弱显著减少(5.57%)为主,不显著减少(2.32%)次之,南坡则以显著减少(31.69%)、弱显著减少(25.03%)和不显著减少(17.02%)的区域所占比重较大,少部分区域为极显著减少(7.08%)。夏季北坡以不显著增加(6.89%)为主,弱显著增加(2.48%)次之,存在较少不显著减少(2.50%)区域;南坡主要地区呈现不显著增加(63.19%)和弱显著增加(1.12%),部分地区呈现不显著减少(14.8%)。秋季北坡全区呈现不显著减少(20.79%),南坡主要为不显著减少(74.44%),弱显著减少(0.1%)占比较少,但南坡存在不显著增加(4.57%)区域。冬季北坡以增加趋势,其中不显著增加(14.99%)为主,弱显著增加占比极少,有 5.76%地区呈不显著减少;南坡地区不显著减少(44.58%)占比较大,其余地区呈现增加趋势,其中不显著增加(31.91%)为主,弱显著增加(2.16%)和显著增加(0.45%)次之。

得出结论,1964—2017 年季度降水时空变化明显且存在南北差异,春秋季基本整体呈现减少趋势,春季呈明显海拔差异,随海拔升高,降水显著性减少;秋季以不显著减少为主;而夏季和冬季则表现出增长趋势,夏季增长趋势更为显著,南坡增长趋势较北坡更明显。

## 4 结论

(1) 54 a 来,秦岭山地全区降水呈减少趋势,周期性特征明显。年降水的平均速率达到 $-11.95 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 呈现明显的减少趋势,北坡为 $-13.58 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,南坡为 $-11.54 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ,即北坡减少速率较南坡快;1964—2017 年来秦岭山地降水以不显著减少为主,且北坡

较南坡干旱趋势更明显。

(2) 54 a 来,季度降水量未见显著趋势性变化,南北坡降水量差异也并不明显,只有夏季南坡降水量显著多于北坡;但季度间降水存在明显差异,降水主要集中在夏季和秋季,冬季为枯水期,需增强夏冬两季旱涝灾害的预防。受秦岭山地复杂地形影响,春季呈明显海拔差异,随海拔升高,降水显著性减少。

(3) 气温突变对降水趋势变化产生显著影响,气温突变前,南坡降水量明显较北坡多,北坡降水呈不明显的减少趋势,南坡则表现出明显的增加趋势;气温突变后,仍以中南部和低海拔区降水居多,南北坡降水均呈现增加的趋势,尤其北坡几乎呈整体增加趋势,南坡降水以不显著增加为主。

## 参考文献:

- [1] Chen Y, Li B, Fan Y, et al. Hydrological and water cycle processes of inland river basins in the arid region of Northwest China[J]. Journal of Arid Land, 2019, 11 (2):161-179.
- [2] 邹骥,滕飞,傅莎.减缓气候变化社会经济评价研究的最新进展:对 IPCC 第五次评估报告第三工作组报告的评述[J].气候变化研究进展,2014,10(5):313-322.
- [3] 常军,王永光,赵宇,等.近 50 年黄河流域降水量及雨日的气候变化特征[J].高原气象,2014,33(1):43-54.
- [4] 苗运玲,张云惠,卓世新,等.东疆地区汛期降水集中度和集中期的时空变化特征[J].干旱气象,2017,35(6):949-956.
- [5] 王冀,赵春雨,娄德君.东北地区冬季降雪的集中度和集中期变化特征[J].地理学报,2010,65(9):1069-1078.
- [6] 张悟颖,孙维君,张玉伦.1960—2012 年西藏林芝气温和降水变化[J].中国沙漠,2018,38(5):1086-1092.

(下转第 223 页)

气温与 NDVI 之间的正相关性大于负相关性,气温与 NDVI 呈正相关的区域主要分布于渝东北北部以及渝东南大部分地区,而气温与 NDVI 呈负相关性的区域主要分布于渝东北三峡库区以及渝中岭谷地区。

参考文献:

[1] 马士彬,安裕伦,杨广斌,等.喀斯特不同植被类型 NDVI 变化及驱动因素分析:以贵州为例[J].生态环境学报,2016,25(7):1106-1114.

[2] 熊康宁,李晋,龙明忠.典型喀斯特石漠化治理区水土流失特征与关键问题[J].地理学报,2012,67(7):878-888.

[3] Wu X Q, Liu H M, Huang X L, et al. Human driving forces: Analysis of rocky desertification in karst region in Guanling County, Guizhou Province[J].Chinese Geographical Science, 2011, 21(5): 600-608.

[4] 李学梅,任志远.近十年来重庆市 NDVI 变化及对气温降水的旬响应特征分析[J].长江流域资源与环境,2014,23(1):101-108.

[5] 罗敏,古丽·加帕尔,郭浩,等.2000—2013 年塔里木河流域生长季 NDVI 时空变化特征及其影响因素分析[J].自然资源学报,2017,32(1):50-63.

[6] 朴世龙,方精云.最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化[J].第四纪研究,2001,21(4):294-302.

[7] 汪言在,苟诗薇.重庆市降雨侵蚀力空间格局及其变化[J].地理科学,2013,33(1):116-122.

[8] 周梦甜,李军,朱康文.近 15 a 新疆不同类型植被 NDVI 时空动态变化及对气候变化的响应[J].干旱区地理,2015,38(4):779-787.

[9] 孟丹,李小娟,宫辉力,等.京津冀地区 NDVI 变化及气候因子驱动分析[J].地球信息科学学报,2015,17(8):1001-1007.

[10] 李辉霞,刘国华,傅伯杰.基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究[J].生态学报,2011,31(19):5495-5504.

[11] 张艳楠,牛建明,张庆,等.植被指数在典型草原生物量遥感估测应用中的问题探讨[J].草业学报,2012,21(1):229-238.

[12] 宫攀,陈仲新.基于 MODIS 数据的东北地区植被物候参数提取[J].土壤通报,2009,40(2):213-217.

[13] 张戈丽,徐兴良,周才平,等.近 30 年来呼伦贝尔地区草地植被变化对气候变化的响应[J].地理学报,2011,66(1):47-58.

[14] 张宝庆,吴普特,赵西宁.近 30 a 黄土高原植被覆盖时空演变监测与分析[J].农业工程学报,2011,27(4):287-293,400.

[15] 甘春英,王兮之,李保生,等.连江流域近 18 年来植被盖度变化分析[J].地理科学,2011,31(8):1019-1024.



(上接第 216 页)

[7] 朱艳欣,桑燕芳.青藏高原降水季节分配的空间变化特征[J].地理科学进展,2018,37(11):1533-1544.

[8] 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.

[9] 王根绪,程根伟,刘巧,等.全球变化下的山地表生环境过程:认知与挑战:中国科学院贡嘎山高山生态系统观测试验站建站 30 周年回顾与展望[J].山地学报,2017,35(5):605-621.

[10] 贾仰文,郝春沣,牛存稳,等.典型山地降水径流时空演变及“水—热—人—地”匹配性分析[J].地理学报,2019,74(11):1-15.

[11] 李沁汶,王玉宽,徐佩,等.未来气候变化情景下横断山北部灾害易发区极端降水时空特征[J].山地学报,2019,37(3):400-408.

[12] 周旗,卞娟娟,郑景云.秦岭南北 1951—2009 年的气温与热量资源变化[J].地理学报,2011,66(9):1211-1218.

[13] 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.

[14] 王钊,罗慧,李亚丽,等.近 50 年秦岭南北不均匀增温及对城市化响应[J].应用气象学报,2016,27(1):85-94.

[15] 邓晨晖,白红英,高山,等.秦岭植被覆盖时空变化及其对气候变化与人类活动的双重响应[J].自然资源学

报,2018,33(3):425-438.

[16] 赵芳,张百平,朱连奇,等.秦巴山地垂直带谱结构的空  
间分异与暖温带—亚热带界线问题[J].地理学报,  
2019,74(5):889-901.

[17] 李军,游松财,黄敬峰.中国 1961—2000 年月平均气温  
空间插值方法与空间分布[J].生态环境,2006,15(1):  
109-114.

[18] 郑小波,罗宇翔,于飞,等.西南复杂山地农业气候要素  
空间插值方法比较[J].中国农业气象,2008,29(4):  
458-462.

[19] 徐翔,许瑶,孙青青,等.复杂山地环境下气候要素的空  
间插值方法比较研究[J].华中师范大学学报:自然科  
学版,2018,52(1):122-129.

[20] 王少鹏,王志恒,朴世龙,等.我国 40 年来增温时间存在显  
著的区域差异[J].科学通报,2010,55(16):1538-1543.

[21] 丁一汇,柳艳菊,梁苏洁,等.东亚冬季风的年代际变化  
及其与全球气候变化的可能联系[J].气象学报,2014,  
72(5):835-852.

[22] 邓晨晖.气候变化背景下秦岭山地物候时空变化及其  
响应[D].西安:西北大学,2018.

[23] 马佳宁,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.

[24] 李森,夏军,陈社明,等.北京地区近 300 年降水变化  
的小波分析[J].自然资源学报,2011,26(6):1001-1011.