

引用格式:何雪莉,李亚男,石天宇,周学文,刘德新. 1961—2018 年太行山东西侧降水变化[J]. 山地学报,2022,40(1):43-55.

HE Xueli, LI Yanan, SHI Tianyu, ZHOU Xuewen, LIU Dexin. Precipitation changes to the eastern and western sides of the Taihang Mountains from 1961 to 2018 [J]. Mountain Research, 2022, 40(1):43-55.

## 1961—2018 年太行山东西侧降水变化

何雪莉<sup>a</sup>,李亚男<sup>a,b</sup>,石天宇<sup>a</sup>,周学文<sup>a</sup>,刘德新<sup>a,b\*</sup>

(河南大学 a.地理与环境学院;b.黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室,河南 开封 475004)

**摘 要:**太行山年降水量较少,周边人口密集用水量较大,存在水资源短缺的问题。全球变暖影响太行山区水资源和生态环境,但现有研究并未涉及太行山脉两侧的降水变化的时空差异。本文基于 1961—2018 年太行山区 109 个气象站点的逐日降水数据,采用反距离权重插值法、线性趋势法、Mann-Kendall 突变检验和 Morlet 连续复小波,探究太行山东西侧降水时空变化特征。结果表明:(1)太行山年降水量呈减少趋势,其中西侧于 1973 年形成年降水量减少突变。东侧的小雨、暴雨、大暴雨及以上级别降水日数和西侧的小雨、中雨和暴雨日数呈减少趋势。(2)太行山年降水量由东南向西北递减。小雨日数的减少东西两侧基本持平,中雨日数的减少主要集中在西侧,暴雨、大暴雨及以上降水日数的减少主要集中在东侧。(3)太行山东西两侧年降水量的第一主周期均为 28 a;东侧和西侧小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨及以上级别降水日数的第一主周期分别为 22 a、21 a、22 a、28 a、28 a 和 22 a、22 a、28 a、28 a、6 a。研究结果可为太行山区防灾减灾和气候变化应对提供参考。

**关键词:**降水;降水日数;时空差异;太行山

**中图分类号:** P426.6

**文献标志码:** A

IPCC 第六次评估报告显示,目前全球地表平均温度较工业化前高出约 1℃。若以当前速度继续升温,全球温升预计在 2040 年达到或超过 1.5℃<sup>[1]</sup>。气候变暖导致全球水循环加剧,各地降水发生改变。除了北半球中高纬度陆地降水变多<sup>[2]</sup>和个别地区降水变少以外<sup>[3]</sup>,全球陆地的总降水量相对稳定,10.8%的陆地面积遵循“干越干,湿越湿”的降水变化规律<sup>[4]</sup>。在极端降水方面,全球中高纬地区极端降水普遍呈增加趋势,其中北美洲、欧洲、大洋洲和亚洲东部的极端降水强度和频率均有所增加<sup>[5]</sup>。

近 50 年来我国年均和季节性降水量均未发生明显变化,但区域性降水变化显著。西北地区、青藏高原、东南沿海和长江下游地区年降水量增加,西

南、华北和东北地区年降水量减少<sup>[6-7]</sup>。在极端降水方面,目前学术界通常利用 13 个极端降水指数<sup>[8-9]</sup>对极端降水事件进行研究,绝大部分研究认为我国极端降水事件变化趋势与全球变暖背景下极端降水事件增加的趋势保持一致<sup>[10-11]</sup>。就区域而言,我国南方极端降水普遍呈增加趋势,华北、东北和西北东部呈下降趋势<sup>[12]</sup>。但不同学者的研究结论存在一定差异,这可能与极端降水指标的选取、研究方法的选用、研究时段的长短以及降水资料类型有关<sup>[13-14]</sup>。总体而言,当前国内关于降水时空变化的研究范围选择多以大型流域、大型地理分区或省、地市等为主,对大型山脉,尤其是位于地理过渡区的山脉降水时空变化研究相对薄弱;在研究降水变化

收稿日期(Received date):2021-07-13; 改回日期(Accepted date):2022-01-12

基金项目(Foundation item):国家自然科学基金(41907382);中国博士后科学基金(2019M652520)[National Natural Science Foundation of China (41907382); China Postdoctoral Science Foundation (2019M652520)]

作者简介(Biography):何雪莉(1998-),女,河南信阳人,硕士研究生,主要研究方向:气候变化与环境演变。[HE Xueli (1998-), female, born in Xinyang, Henan province, M. Sc. candidate, research on climate change and environmental evolution] E-mail: hexl981@163.com

\* 通讯作者(Corresponding author):刘德新(1989-),男,博士,讲师,主要研究方向:气候变化与环境演变。[LIU Dexin (1989-), male, Ph. D., lecturer, research on climate change and environmental evolution] E-mail: dxliu@vip.henu.edu.cn

规律时,已有研究多集中在降水量的时空变化特征,对降水日数变化以及山脉两侧的对比分析关注较少。

太行山脉位于黄土高原与华北平原之间,地势西高东低,依次为亚高山、中山、低山、丘陵和岗梁,低山与丘陵之间有盆地和谷地分布<sup>[15-16]</sup>,气候属暖温带大陆性季风气候,具有雨热同期、气候分明和气象灾害频发的特征<sup>[17]</sup>。太行山脉是黄土高原与华北平原的分界线,也是京津冀地区的重要生态屏障。该区不仅为北京、天津、石家庄等其他大城市提供水源,还为华北平原提供农业生产用水<sup>[18]</sup>。由于太行山年降水量较少,周边人口密集用水量,所以持续存在水资源短缺的问题。目前关于该区域降水方面的研究多集中于地形与降水的关系<sup>[19-20]</sup>、降水与泥石流灾害<sup>[21-22]</sup>和降水产品<sup>[23-24]</sup>等方面,较少涉及时空变化特征,尤其是东西侧降水变化的时空差异研究。本文以 1961—2018 年为研究时段,采用 Mann-Kendall 突变检验和小波分析法,分析太行山东西两侧降水量和不同等级降水日数的时空变化特征及差异,以期对太行山区水资源合理配置和灾害事件预警提供科学依据。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

太行山区通常是指太行山地及其毗邻区域<sup>[16]</sup>(图 1),纵跨北京、河北、山西、河南四个省(市),山脉北起北京市西山,向南延伸至河南与山西交界地区的王屋山,西接山西高原,东临华北平原,呈东北—西南走向<sup>[25]</sup>。多年平均降雨量为 570 mm,多年平均气温为 10 ℃。本研究的太行山区范围指太行山地及其毗邻区域共涉及 106 个县市,面积约为 18 万 km<sup>2</sup>。区域内人多地少,土地垦殖率高,人地矛盾尖锐,土层薄且土壤贫瘠,水土流失面积广,生态环境脆弱<sup>[16]</sup>。

### 1.2 数据来源

数据来自中国气象科学共享服务网地面气象资料数据库的日值数据集(<http://data.cma.cn>),时间尺度为 1961—2018 年。考虑迁站因素、站点的区域代表性以及尽量保留最多站点且保证观测时间连续的原则,最终从太行山区 140 个气象站点中选出符合以上原则的 109 个国家地面气象观测站(图 1),

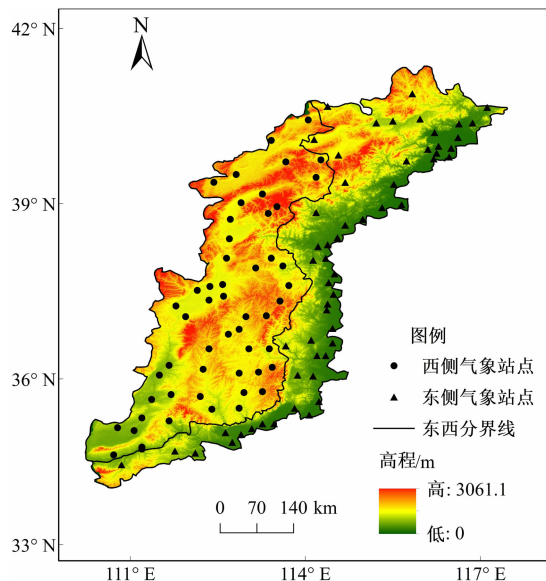


图 1 太行山地理位置及气象站点

Fig. 1 Geographic location and meteorological stations of the Taihang Mountains, China

其中太行山东侧 56 个气象站点,西侧 53 个气象站点(东西侧分界线为山西、河南和河北的省界线,该界限与太行山主山脊线基本吻合)。

### 1.3 研究方法

降水等级参照中国气象局颁布的“降水强度等级划分标准”的 24 h 降水量标准,划分为小雨(日降水量为 0.1 ~ 9.9 mm)、中雨(日降水量为 10 ~ 24.9 mm)、大雨(日降水量为 25 ~ 49.9 mm)、暴雨(日降水量为 50 ~ 99.9 mm)、大暴雨及以上(日降水量  $\geq 100$  mm);降水日数是指日降水量  $\geq 0.1$  mm 的日数。

使用 ArcGIS10.2 中的反距离权重法对太行山的降水量和降水日数进行插值,分析太行山降水的时空分布及变化;采用线性趋势法计算年降水量变化率;利用 Mann-Kendall 突变检验<sup>[26]</sup>和 Morlet 连续复小波<sup>[27]</sup>对太行山降水量、不同等级降水日数进行突变性检验和周期性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 年降水量和不同等级降水日数的时间特征分析

#### 2.1.1 年降水量的时间特征

太行山东西两侧降水量年际变化特征显示(图 2),太行山东侧年降水量减少速率略大于西侧。近 58 年来太行山东西两侧的年降水量最大值分别出

现在 1963 年、1964 年,最小值分别出现在 1965 年、1997 年;从年际距平值可以看出 20 世纪 80 年代以来降水偏少,其中西侧更为明显。这些与华北地区降水的相关研究<sup>[28-29]</sup>一致。

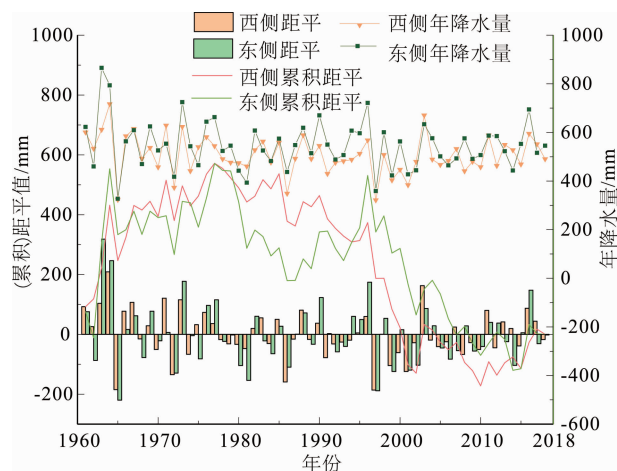


图 2 1961—2018 年太行山东侧降水年际变化趋势

Fig. 2 Interannual change trend of precipitation on the eastern and western sides of the Taihang Mountains from 1961 to 2018

1961—2018 年太行山东侧平均降水量为 547 mm, 且以  $8.67 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率减少 ( $p > 0.1$ )。其中 1963 年降水量最多, 达 865.47 mm; 1965 年降水量最少, 为 327.18 mm (图 2)。太行山东侧降水变化可分为四个阶段: 1961—1977 年累计距平呈上升趋势, 年降水量距平以正距平为主, 为降水偏多阶段; 1977—1986 年累计距平呈下降趋势, 年降水量距平以负距平为主, 为降水偏少阶段; 1986—1996 年为降水偏多阶段; 1996 年以后为降水偏少阶段。累积距平的绝对值在 1977 年达到最大, 因此 1977

年是可能发生突变的年份。从累积距平曲线还可以看出, 目前降水量呈减少趋势。

1961—2018 年太行山西侧年平均降水量为 508 mm, 且以  $8.58 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率减少 ( $p > 0.1$ )。其中 1964 年降水最多, 达 716.88 mm, 1997 年降水最少, 为 321.54 mm (图 2)。太行山西侧降水变化可分为两个阶段: 1961—1977 年累计距平曲线呈上升趋势, 年降水量距平以正距平为主, 为降水偏多阶段; 1977 年以后累计距平曲线呈下降趋势, 年降水量距平以负距平为主, 为降水偏少阶段。累积距平的绝对值在 1977 年达到最大, 因此 1977 年是可能发生突变的年份, 累积距平曲线也显示: 降水量呈持续减少的趋势。

从太行山东侧年降水量 M-K 突变检验图可以看出 (图 3a), 1963—1965 年间 UF 曲线在 0~1 波动, 表明该时段降水量较多; 其他时段 UF 曲线均在 0~2 波动, 变化较小。UF 和 UB 曲线之间存在多个交点, 但 UF 曲线的上升或下降趋势均未超过显著性水平的临界值, 所以太行山东侧的降水量不存在突变点。西侧 UF 曲线在 1961—1973 年在 -1~2 波动; 从 1973 年开始, UF 曲线呈下降趋势, 且在 1998 年超过了显著性水平临界值 (图 3b)。因此, 1973 年是太行山西侧年降水量发生突变的年份, 突变前后的年降水量相差 47.6 mm, 突变特征明显 ( $p < 0.05$ )。

### 2.1.2 不同等级降水日数的时间特征

太行山东、西侧不同等级降水日数的年代际变化趋势有所不同, 东侧小雨、暴雨、大暴雨及以上级别降水日数呈减少趋势; 西侧则是小雨、中雨、暴雨降水日数呈减少趋势 (表 1)。太行山东侧

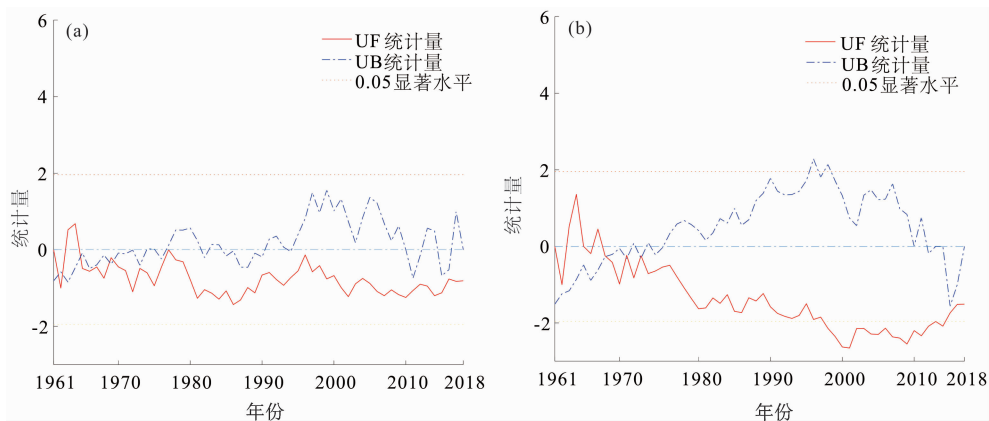


图 3 1961—2018 年太行山降水量年际变化趋势突变检验: (a) 东侧; (b) 西侧

Fig. 3 M-K statistical test of annual precipitation in the Taihang Mountains from 1961 to 2018: (a) the eastern side; (b) the western side

小雨日数年代际变化上呈减少趋势,减少速率达  $4.68 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $p < 0.01$ ),平均最大值在 1960—1969 年,达 98.14 d,平均最小值在 2010—2018 年,为 73.87 d,两者相差 24.27 d。东侧中雨日数呈增加趋势,趋势值为  $0.11 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,平均最大值在 2010—2018 年,达 10.62 d。东侧大雨日数的增加趋势为  $0.07 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,整体处于波动增加的状态。东侧暴雨和大暴雨及以上日数的减少速率分别为  $0.07 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  和  $0.02 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,平均降水日数最小值均出现在 2000—2009 年,分别为 0.95 d 和 0.01 d。

太行山西侧小雨日数的减少速率为  $7.29 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  ( $p < 0.01$ ),年代际降水日数的平均最大值与平均最小值相差 37.90 d。西侧中雨日数呈减少趋势,趋势值为  $0.09 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,平均最大值在 1960—1969 年,达 11.63 d。西侧大雨日数的增加速率和暴雨的减少速率均为  $0.02 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ,最小值均在 1990—1999 年,年代际降水日数平均值分别为 3.13 d 和 0.57 d。西侧大暴雨及以上降水日数的增加趋势并不明显,平均最大值在 2000—2009 年,为 0.08 d。

在 0.05 的显著性水平下,太行山东侧的暴雨日数和大暴雨日数分别在 1998 年和 2000 年发生突

变,突变前后分别相差 0.28 d 和 0.08 d;西侧的中雨日数和暴雨日数分别在 1975 年和 1967 年发生突变,突变前后分别相差 0.62 d 和 0.28 d。表 1 中不同等级降水日数占总降水日数的百分比显示,东侧小雨和中雨分别占比 85.43% 和 9.53%,西侧小雨和中雨分别占比 86.30% 和 9.98%,其余降水日数占比较小。可见太行山各等级降水日数中小雨日数的减少最为明显,其次是暴雨日数。这与已有研究结果相似,如中国东部降水日数的减少主要是由于小雨和微量降水日数显著下降造成的<sup>[30]</sup>、华北地区总雨日数的减少主要是由小雨日数的减少引起的<sup>[31-32]</sup>。

2.2 年降水量和不同等级降水日数空间特征分析

2.2.1 年降水量的空间特征

1961—2018 年太行山年降水量呈东多西少的分布特点,具体来说东南、东北降水多,西北部降水少(图 4a)。值得注意的是,太行山中部部分地区降水量偏多,此处为山西五台山,海拔高且位于山地迎风坡,降水量受地形影响显著。仅看年降水量的空间分布,本文与已有研究结果<sup>[33]</sup>一致,表现为东南方向(夏季迎风坡)降雨量显著高于西北方向(背风坡)。从太行山年降水量变化趋势可以看出(图 4b),太行山降水量整体呈减少趋势,西北部降水量的减少比较微弱,其余地区降水减少都较为明

表 1 太行山不同等级降水日数年代际平均值及其趋势值

Tab. 1 Interdecadal mean value and trend value of precipitation days at different levels in the Taihang Mountains

地形区	降水等级	降水日数/d						1961—2018 年降水日数	
		1960	1970	1980	1990	2000	2010	变化趋势/ ( $\text{d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ )	占总降水日数 比重/%
		— 1969 年	— 1979 年	— 1989 年	— 1999 年	— 2009 年	— 2018 年		
东侧	小雨	98.14	97.77	97.38	89.11	86.41	73.87	-4.68	85.43
	中雨	10.20	9.81	9.76	9.81	10.33	10.62	0.11	9.53
	大雨	3.69	3.99	3.98	3.62	3.98	4.25	0.07	3.70
	暴雨	1.30	1.38	1.15	1.34	0.95	1.06	-0.07	1.13
	大暴雨及以上	0.33	0.18	0.22	0.28	0.11	0.23	-0.02	0.21
西侧	小雨	109.45	108.60	104.77	91.17	91.26	71.55	-7.29	86.30
	中雨	11.63	11.31	11.13	10.51	10.56	11.56	-0.09	9.98
	大雨	3.42	3.45	3.51	3.13	3.17	3.78	0.02	3.06
	暴雨	0.77	0.72	0.63	0.57	0.60	0.75	-0.02	0.60
	大暴雨及以上	0.06	0.06	0.04	0.05	0.08	0.06	+0.00	0.05



显。西侧 53 个气象站点中仅有 10 个站点的年降水量呈增加趋势,增加幅度为  $0 \sim 7.2 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ ; 东侧 56 个气象站点中仅有 7 个站点年降水量呈增加趋势,增加幅度为  $3 \sim 28.3 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。此外,东西两侧分别有 32% 和 25% 的气象站点年降水量以大于  $10 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率减少。

### 2.2.2 不同等级降水日数的空间特征

1961—2018 年太行山东侧的小雨和中雨日数

少于西侧,而大雨、暴雨、大暴雨及以上降水日数多于西侧。太行山小雨日整体呈现西多东少的空间分布特征,其中东侧北段的小雨日明显偏少,为  $65 \sim 85 \text{ d}$ (图 5a)。太行山中雨日呈现西多东少的空间分布特征(图 5b),西侧中雨日数为  $12 \sim 13 \text{ d}$ ,东侧中雨日数为  $8 \sim 11 \text{ d}$ 。太行山大雨日呈现东多西少的空间分布特征,具体来说是东南和东北多、西北少(图 5c),其中西北部的大雨日少于  $3 \text{ d}$ 。太行山暴

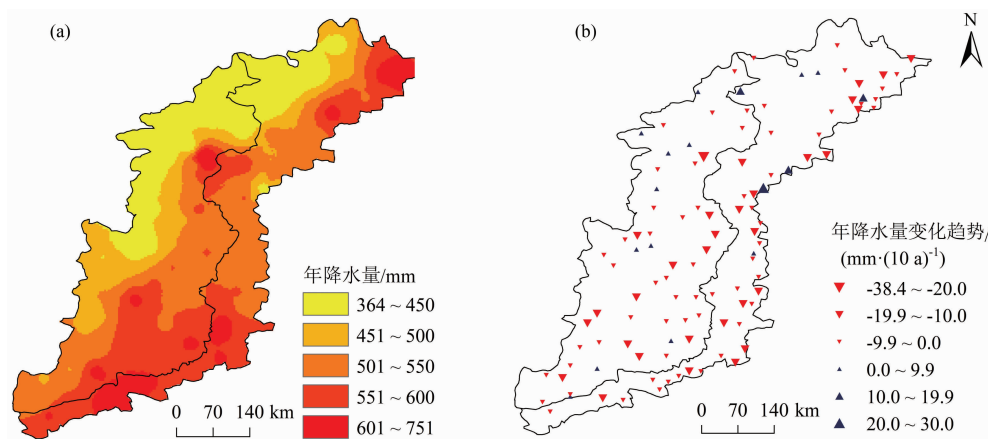


图 4 1961—2018 年太行山降水空间分布:(a) 年降水量;(b) 变化趋势

Fig. 4 Spatial distribution of precipitation in the Taihang Mountains from 1961 to 2018: (a) annual precipitation; (b) change trend

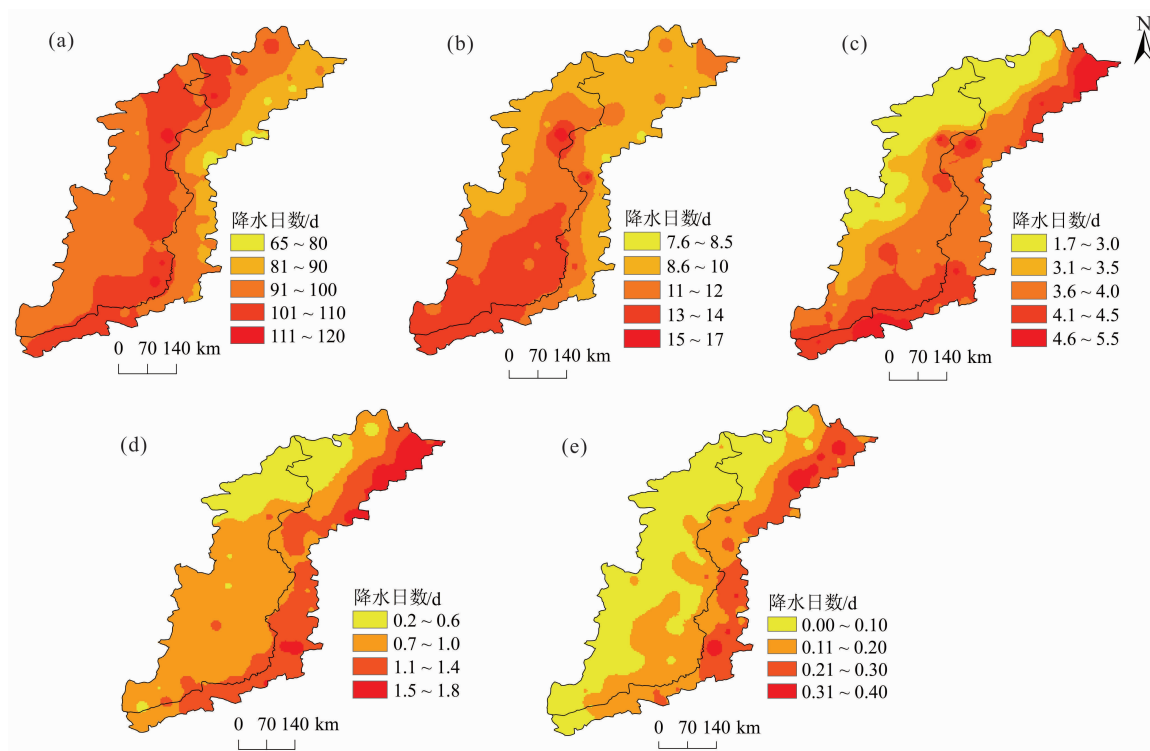


图 5 1961—2018 年太行山各等级降水日数的空间分布:(a) 小雨;(b) 中雨;(c) 大雨;(d) 暴雨;(e) 大暴雨及以上

Fig. 5 Spatial distribution of precipitation days at different levels in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

雨日和大暴雨及以上降水日数日空间分布特征基本一致,都呈现东多西少的特点(图 5d、5e),西侧的暴雨日为  $0.2 \sim 1$  d,东侧的暴雨日为  $1.1 \sim 1.8$  d;西侧的大暴雨及以上降水日数为  $0 \sim 0.15$  d,东侧的大暴雨及以上降水日数  $0.16 \sim 0.41$  d。

1961—2018 年太行山各等级降水日数以减少趋势为主,其中小雨日数的减少东西两侧基本持平,中雨日数的减少主要集中在西侧,大雨日数的增加和暴雨、大暴雨及以上降水日数的减少主要集中在东侧。太行山东西两侧所有站点的小雨日数均呈减少趋势(图 6a),其中以大于  $6 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率减少的气象站点东西两侧分别有 38% 和 34%。太行山中雨日数的变化以减少为主,呈减少趋势的站点占总站点的 58.7%,其中西侧站点中有 72% 的气象站点呈减少趋势(图 6b)。太行山大雨日数呈增加趋势,东西两侧大雨日呈增加趋势的气象站点分别有 64% 和 53%,以大于  $0.15 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的速率增加的分别有 44% 和 18% (图 6c)。太行山暴雨日数变化以减少趋势为主,东西两侧分别有 84% 和 55% 的气象站点呈减少趋势,减少速率超过  $0.2 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  的气象站点共 6 个且全部出现在东侧(图 6d)。太行山大暴雨及以上降水日数变化

以减少为主,东西两侧分别有 77% 和 36% 的气象站点呈减少趋势,减少速率大于  $0.07 \text{ d} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$  气象站点共 5 个且全部位于东侧(图 6e)。

## 2.3 年降水量和不同等级降水日数周期变化分析

### 2.3.1 年降水量的周期变化分析

从 1961—2018 年年降水量小波实部等值线图和小波方差图可以看出(图 7、图 8),太行山东西两侧均存在四种尺度的周期变化,并且两侧的第一主周期均为 28 a。太行山东侧年降水量的四种尺度周期变化为(图 7a、图 8a):  $4 \sim 8$  a、 $8 \sim 15$  a、 $15 \sim 25$  a、 $25 \sim 32$  a,其中  $8 \sim 15$  a、 $15 \sim 25$  a 和  $25 \sim 32$  a 尺度分别出现了“枯—丰”交替的准 9 次、准 4 次和准 3 次振荡,这三种尺度的周期变化在整个研究时段内表现稳定;而  $4 \sim 8$  a 尺度的周期变化,仅在 1975 年之前和 1995 年之后表现稳定。东侧年降水量小波方差图中存在四个较为明显的峰值,分别对应着 7 a、13 a、22 a、28 a 的时间尺度。其中,最大峰值对应着 28 a 的时间尺度,表明 28 a 左右的周期振荡最强,28 a 为第一主周期;22 a、7 a 和 13 a 依次为第二、第三和第四主周期。

太行山西侧年降水量的四种尺度周期变化为(图 7b、图 8b):  $4 \sim 8$  a、 $8 \sim 15$  a、 $15 \sim 25$  a、 $25 \sim 32$  a,

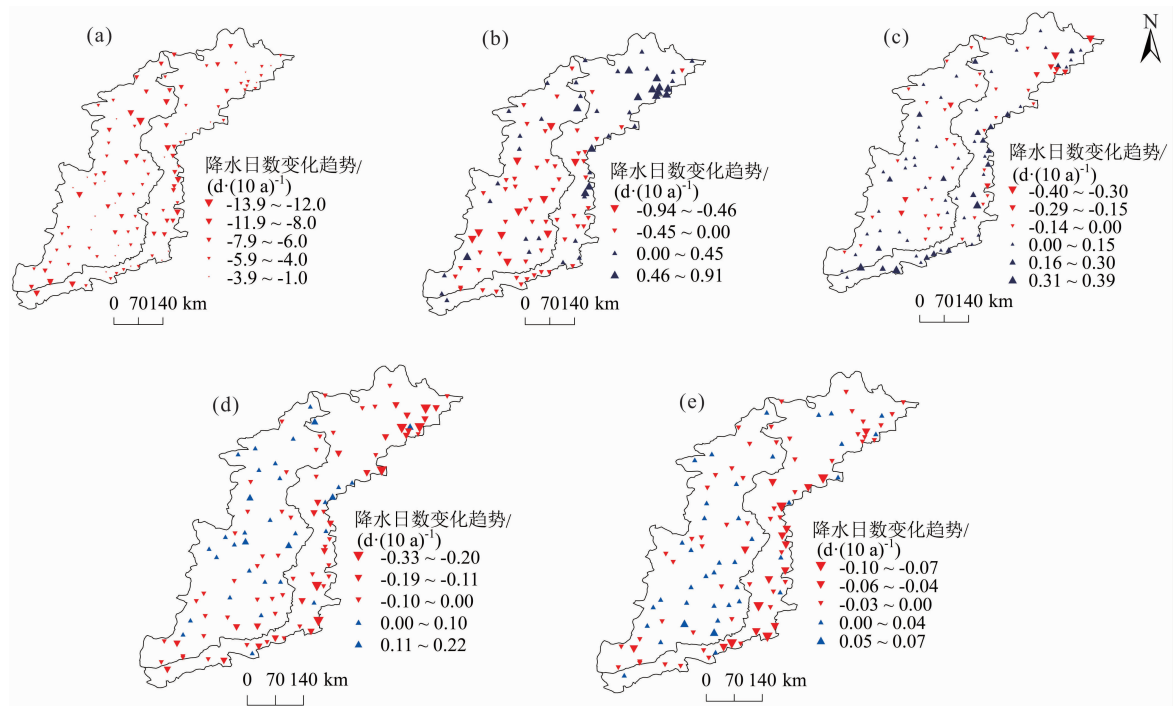


图 6 1961—2018 年太行山各等级降水日数的变化趋势空间分布:(a)小雨;(b)中雨;(c)大雨;(d)暴雨;(e)大暴雨及以上

Fig. 6 Spatial distribution of variation trend of precipitation days at different levels in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

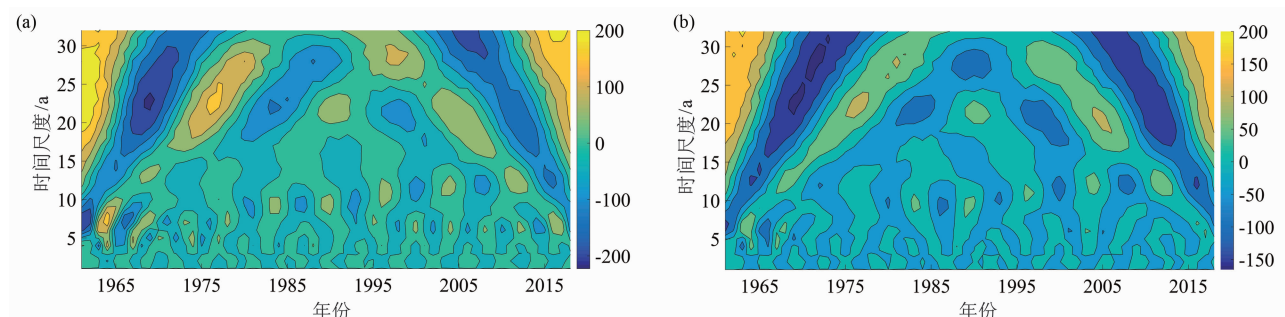


图 7 1961—2018 年太行山年降水量变化的小波系数实部等值线图:(a) 东侧;(b) 西侧

Fig. 7 Contour map of the wavelet coefficient real part of the annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018: (a) the eastern side; (b) the western side

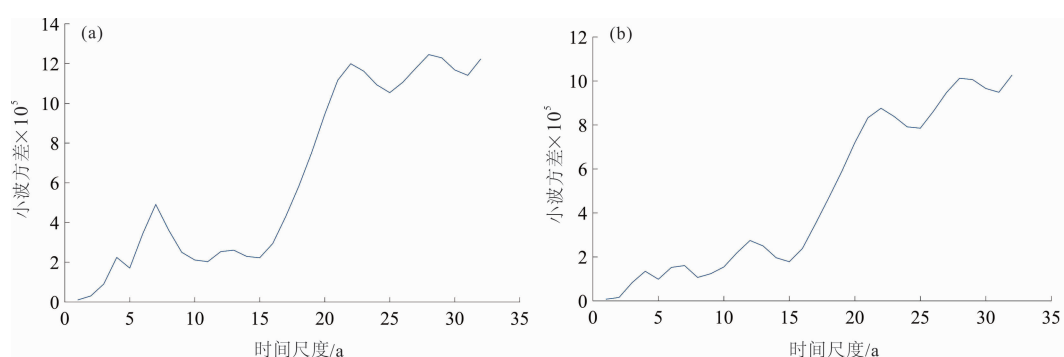


图 8 1961—2018 年太行山年降水量变化的小波方差图:(a) 东侧;(b) 西侧

Fig. 8 Wavelet variances of annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) the eastern side; (b) the western side

其中 15 ~ 25 a 和 25 ~ 32 a 尺度的周期变化占据了整个研究时段,且分别出现了“枯—丰”交替准 4 次和准 3 次振荡;而 4 ~ 8 a 尺度的周期仅在 1970 年之前稳定;8 ~ 15 a 尺度的周期仅在 1980s 后稳定且出现了准 5 次振荡。西侧年降水量小波方差图存在 5 个峰值,分别对应着 4 a、7 a、12 a、22 a、28 a 的时间尺度。28 a 左右为最大峰值,为西侧年降水量变化的第一主周期;22 a、12 a、7 a 和 4 a 依次为第二、第三、第四和第五主周期。

### 2.3.2 不同等级降水日数的周期变化分析

1961—2018 年太行山东侧小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨及以上降水日数的第一主周期分别为 22 a、21 a、22 a、28 a 和 28 a,西侧小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨及以上降水日数的第一主周期分别为 22 a、22 a、28 a、28 a 和 3 a,两侧第一主周期集中在 22 a 和 28 a。

太行山东侧小雨日数存在五种尺度的周期变化(图 9a、图 10a):3 ~ 6 a、7 ~ 11 a、12 ~ 16 a、17 ~ 25 a、25 ~ 32 a,对应的小波方差峰值分别是 4 a、

9 a、13 a、22 a、29 a,最大峰值对应着 22 a,表明 22 a 左右的周期振荡最强,为第一主周期。其中 25 ~ 32 a 和 17 ~ 25 a 尺度上分别出现了“少—多”交替的准 3 次和准 4 次振荡,在整个时间序列上表现稳定。中雨日数存在四种尺度的周期变化(图 9b、图 10b):3 ~ 6 a、7 ~ 10 a、11 ~ 16 a、16 ~ 26 a,对应的小波方差峰值分别是 5 a、8 a、13 a、21 a,21 a 为第一主周期。其中,16 ~ 26 a 尺度的周期出现了准 4 次振荡并且占据了整个研究时段。大雨日数存在四种尺度的周期变化(图 9c、图 10c):3 ~ 5 a、6 ~ 9 a、10 ~ 16 a、17 ~ 27 a,对应的小波方差峰值分别是 4 a、7 a、12 a、22 a,22 a 为第一主周期。其中,17 ~ 27 a 和 10 ~ 16 a 尺度上分别出现了“少—多”交替的准 4 次和准 6 次振荡,贯穿始终。暴雨日数主要存在两种尺度的周期变化(图 9d、图 10d):5 ~ 13 a、20 ~ 32 a,对应的小波方差峰值分别是 7 a 和 28 a,28 a 为第一主周期。20 ~ 32 a 和 5 ~ 13 a 尺度上分别出现了“少—多”交替的准 3 次和准 12 次振荡,表现稳定且具有全域性。大暴雨及以上日数主要存

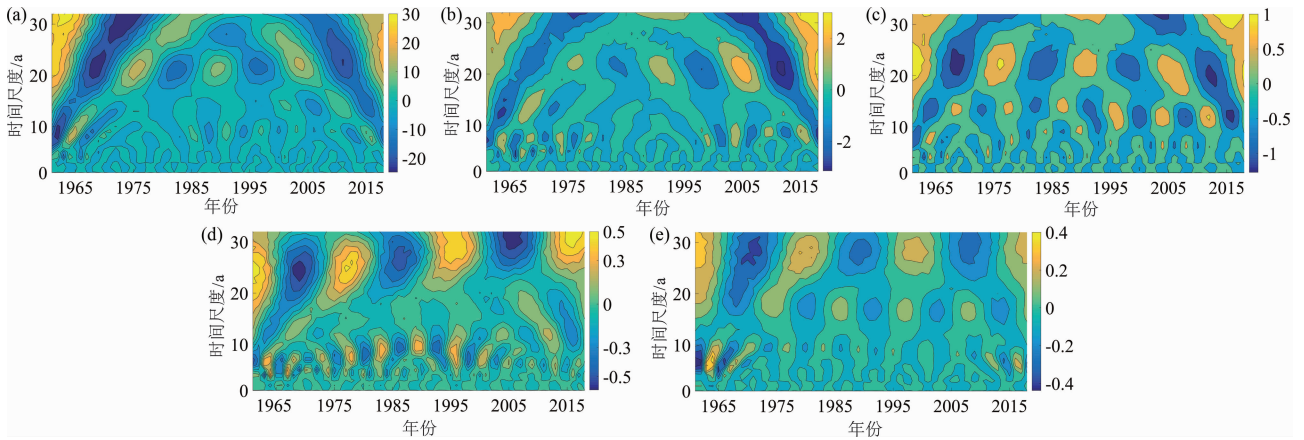


图 9 1961—2018 年太行山东侧降水日数变化的小波系数实部等值线图:

(a) 小雨; (b) 中雨; (c) 大雨; (d) 暴雨; (e) 大暴雨及以上

Fig. 9 Contour map of the wavelet coefficient real part of the annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

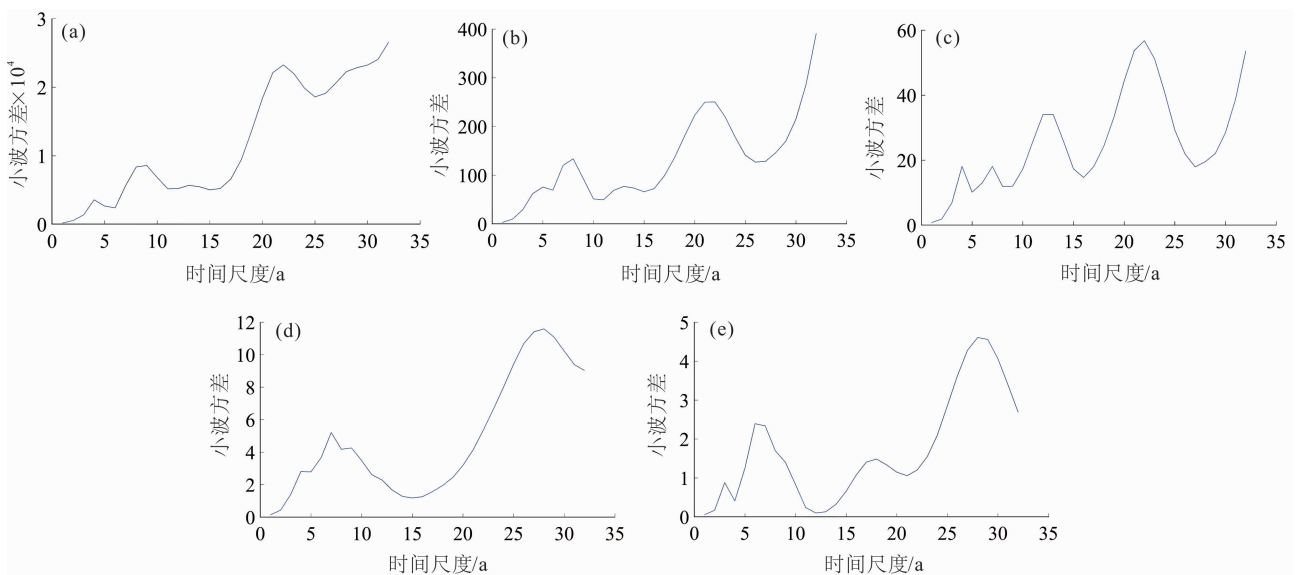


图 10 1961—2018 年太行山东侧降水日数变化的小波方差图: (a) 小雨; (b) 中雨; (c) 大雨; (d) 暴雨; (e) 大暴雨及以上

Fig. 10 Wavelet variances of annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

在三种尺度的周期变化(图 9e、图 10e): 5 ~ 10 a、11 ~ 22 a、23 ~ 32 a, 对应的小波方差峰值分别是 6 a、18 a、28 a, 28 a 为第一主周期。23 ~ 32 a 和 11 ~ 22 a 尺度上分别出现了准 3 次和准 5 次振荡, 在整个时间序列上表现稳定。

太行山西侧小雨日数存在一种尺度的周期变化(图 11a、图 12a), 即 16 ~ 25 a, 对应的小波方差峰值是 22 a, 22 a 周期振荡最强, 为第一主周期。16 ~ 25 a 尺度上出现了“少—多”交替的准 4 次振荡, 在

整个时间序列上表现稳定。中雨日数存在四种尺度的周期变化(图 11b、图 12b): 2 ~ 5 a、6 ~ 10 a、11 ~ 15 a、16 ~ 25 a, 对应的小波方差峰值分别是 4 a、8 a、13 a、22 a, 22 a 为第一主周期。其中 16 ~ 25 a 尺度的周期在整个研究时段内稳定出现, 存在准 4 次振荡。大雨日数存在三种尺度的周期变化(图 11c、图 12c): 3 ~ 7 a、8 ~ 15 a、20 ~ 32 a, 对应的小波方差峰值分别是 4 a、12 a、28 a, 28 a 为第一主周期。20 ~ 32 a 尺度的周期一直稳定, 研究时段内共



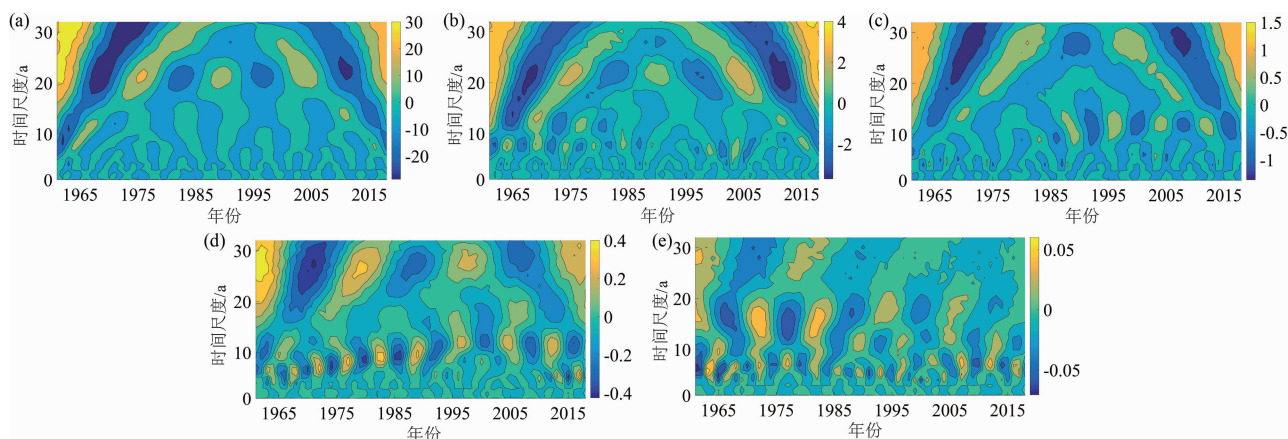


图 11 1961—2018 年太行山西侧降水日数变化的小波系数实部等值线图:

(a) 小雨; (b) 中雨; (c) 大雨; (d) 暴雨; (e) 大暴雨及以上

Fig. 11 Contour map of the wavelet coefficient real part of the annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

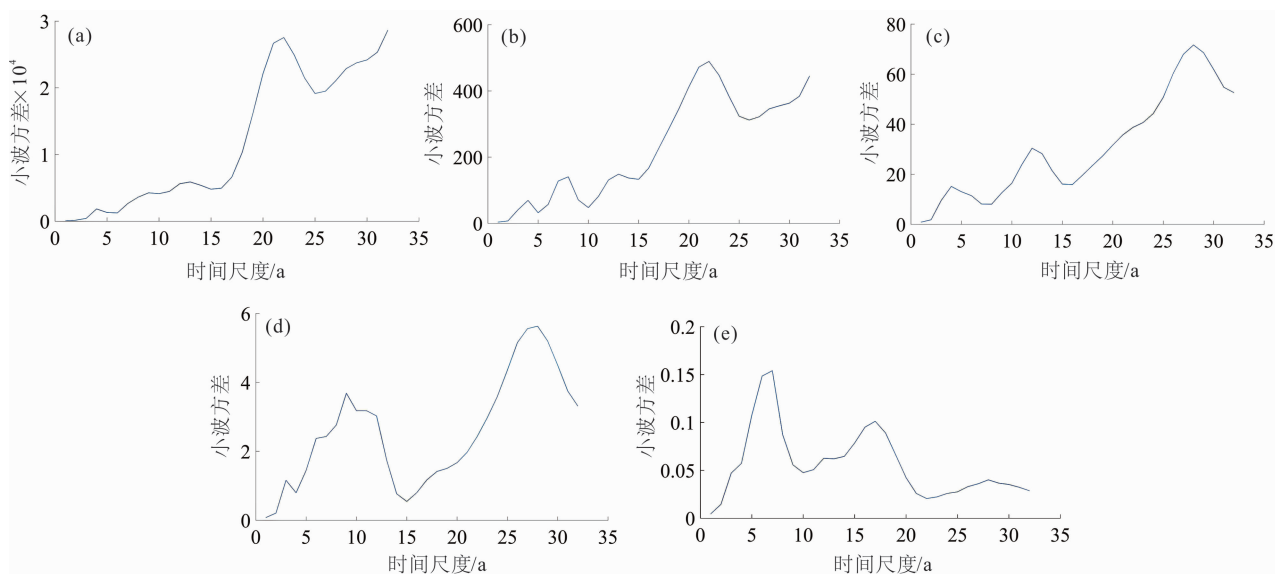


图 12 1961—2018 年太行山西侧降水日数变化的小波方差图: (a) 小雨; (b) 中雨; (c) 大雨; (d) 暴雨; (e) 大暴雨及以上

Fig. 12 Wavelet variances of annual precipitation change in the Taihang Mountains from 1961 to 2018:

(a) light rain; (b) moderate rain; (c) heavy rain; (d) rainstorm; (e) heavy storm rain and above precipitation intensity

出现准 3 次振荡。暴雨日数主要存在两种尺度的周期变化(图 11d、图 12d):  $5 \sim 15$  a、 $20 \sim 32$  a, 对应的小波方差峰值分别是 9 a、28 a, 28 a 为第一主周期。 $20 \sim 32$  a 和  $5 \sim 15$  a 尺度的周期均具有全域性, 分别出现了准 3 次和准 8 次振荡。大暴雨及以上日数主要存在四种尺度的周期变化(图 11e、图 12e):  $3 \sim 10$  a、 $11 \sim 14$  a、 $15 \sim 22$  a、 $23 \sim 32$  a, 对应的小波方差峰值分别是 6 a、12 a、18 a、28 a, 6 a 为第一主周期。其中  $3 \sim 10$  a 和  $15 \sim 22$  a 尺度的周期一直稳定, 在研究时段内分别出现准 13 次和准 5 次振荡。

### 3 讨论

本文根据太行山的地形特征将太行山区划分为东西两侧, 揭示了 1961—2018 年太行山东西侧降水量和不同等级降水日数的时空变化特征及差异, 在一定程度上能为太行山区水资源合理配置和灾害事件预警提供理论依据。研究表明 20 世纪 80 年代以来太行山年降水量呈减少趋势, 这与张书萍有关华北地区降水的研究结论一致<sup>[29]</sup>。目前华北地



区水资源短缺问题依然存在,太行山作为华北地区的重要水源地,其年降水量的减少将加剧华北地区的水资源供需矛盾。同时,研究结果表明太行山东侧的大雨、暴雨和大暴雨及以上降水日数均多于西侧。由于东侧连接平原,地势落差大,夏季降水集中易发生地质灾害,并且已有研究表明太行山东麓的中低山区域是河北省泥石流灾害的主要发生区,其分布与暴雨等值线的中心部位基本吻合<sup>[22]</sup>,因此东侧应是地质灾害的重点关注区域。太行山东西两侧年降水量和不同等级降水日数所对应的振荡周期主要集中在 3 a、4 a、7 a、9 a、13 a、22 a、28 a 左右。相关研究表明,东亚夏季风存在 2 a 左右的周期振荡<sup>[34]</sup>、中国东部夏季降水存在准 2 a 周期振荡<sup>[35]</sup>、ENSO 循环周期大约在 2~7 a 之间<sup>[36]</sup>、太阳黑子活动周期大约 10.6 a<sup>[37]</sup>、地球海洋温度变化广泛盛行着 22 a 尺度的年代际周期变化<sup>[38]</sup>。太行山不同等级降水日数的周期变化可能与东亚季风、ENSO 循环、太阳黑子活动、海洋温度变化有关。

此外,本研究中目前还可能存在一些局限性,文中在分析太行山整个区域不同等级降水时仅是将所有站点对应的该等级降水进行了平均,无法保证区域内所有地区均发生该等级降水事件<sup>[39]</sup>,并且山区降水受海拔、坡向、坡度和水汽来源等多方面的影响。因此,在未来的研究中,应引入更多合适的解释变量,以准确再现山区降水的空间格局。

## 4 结论

利用 1961—2018 年太行山 109 个地面气象站逐日降水资料,分析了太行山东西侧年降水量和不同等级降水日数的时空变化规律,得出如下结论:

(1) 时间上,太行山年降水量呈减少趋势,其中西侧于 1973 年形成年降水量减少突变。不同等级降水日数总体上以减少趋势为主,贡献最大的是小雨日数的减少( $p < 0.01$ )。东侧的小雨、暴雨、大暴雨及以上级别降水日数呈减少趋势;西侧则是小雨、中雨和暴雨日数呈减少趋势。

(2) 空间上,太行山年降水量由东南向西北递减。小雨日数的减少东西两侧基本持平,中雨日数的减少主要集中在西侧,大雨日数的增加和暴雨、大暴雨及以上降水日数的减少主要集中在东侧。

(3) 周期上,太行山东西两侧年降水量的第一

主周期均为 28 a;东西两侧小雨、中雨、大雨、暴雨和大暴雨及以上降水日数的第一主周期分别为 22 a、21 a、22 a、28 a、28 a 和 22 a、22 a、28 a、28 a、6 a。

## 参考文献 (References)

- [1] 苏勃,高学杰,效存德. IPCC《全球 1.5℃ 增暖特别报告》冰冻圈变化及其影响解读[J]. 气候变化研究进展, 2019, **15**(4): 395 - 404. [SU Bo, GAO Xuejie, XIAO Cunde. Interpretation of IPCC SR1.5 on cryosphere change and its impacts [J]. Climate Change Research, 2019, **15**(4): 395 - 404 DOI: 10.12006/j.issn.1673-1719.2019.139]
- [2] TRENBERTH K E. Changes in precipitation with climate change [J]. Climate Research, 2011, **47**(47): 123 - 138. DOI: 10.3354/cr00953
- [3] DONAT M G, ALEXANDER L V, YANG H, et al. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset [J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2013, **118**(5): 2098 - 2118. DOI: 10.1002/jgrd.50150
- [4] GREVE P, ORLOWSKY B, MUELLER B, et al. Global assessment of trends in wetting and drying over land [J]. Nature Geoscience, 2014, **7**(11): 848 - 853. DOI: 10.1038/NGEO2247
- [5] 孙颖. 人类活动对气候系统的影响——解读 IPCC 第六次评估报告第一工作组报告第三章[J]. 大气科学学报, 2021, **44**(5): 654 - 657. [SUN Ying. Impact of human activities on climate system: An interpretation of Chapter III of WGI report of IPCC AR6 [J]. Transactions of Atmospheric Science, 2021, **44**(5): 654 - 657 DOI: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20210816009]
- [6] 任国玉,任玉玉,战云健,等. 中国大陆降水时空变异规律—II. 现代变化趋势[J]. 水科学进展, 2015, **26**(4): 451 - 465. [REN Guoyu, REN Yuyu, ZHAN Yunjian, et al. Spatial and temporal patterns of precipitation variability over mainland China: II: Recent trends [J]. Advances in Water Science, 2015, **26**(4): 451 - 465 DOI: 10.14042/j.cnki.32.1309.2015.04.001]
- [7] 丁一汇,任国玉,赵宗慈,等. 中国气候变化的检测及预估[J]. 沙漠与绿洲气象, 2007, **1**(1): 1 - 10. [DING Yihui, REN Guoyu, ZHAO Zongci, et al. Detection, attribution and projection of climate change over China [J]. Desert and Oasis Meteorology, 2007, **1**(1): 1 - 10]
- [8] HAN Longfei, XU Youpeng, YANG Liu, et al. Changing structure of precipitation evolution during 1957—2013 in Yangtze River Delta, China [J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2015, **29**(8): 2201 - 2212. DOI: 10.1007/s00477-015-1034-4
- [9] HUO Ran, LI Lu, CHEN Hua, et al. Extreme precipitation changes in Europe from the last millennium to the end of the twenty-first century [J]. Journal of Climate, 2021, **34**(2): 567 - 588. DOI: 10.1175/JCLI-D-19-0879.1

- [10] 卢珊,胡泽勇,王百朋,等.近56年中国极端降水事件的时空变化格局[J].高原气象,2020,39(4):683-693. [LU Shan, HU Zeyong, WANG Baipeng, et al. Spatio-temporal patterns of extreme precipitation events over China in recent 56 years [J]. Plateau Meteorology, 2020, 39(4):683-693] DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2019.00058
- [11] 顾西辉,张强,孔冬冬.中国极端降水事件时空特征及其对夏季温度响应[J].地理学报,2016,71(5):718-730. [GU Xihui, ZHANG Qiang, KONG Dongdong. Spatiotemporal patterns of extreme precipitation with their responses to summer temperature [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5):718-730] DOI: 10.11821/dlxb201605002
- [12] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等.近40年中国平均气候与极值气候变化的概述[J].地球科学进展,2007,22(7):673-684. [QIAN Weihong, FU Jiaolan, ZHANG Weiwei, et al. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years [J]. Advance in Earth Sciences, 2007, 22(7):673-684]
- [13] 高涛,谢立安.近50年来中国极端降水趋势与物理成因研究综述[J].地球科学进展,2014,29(5):577-589. [GAO Tao, XIE Li'an. Study on progress of the trends and physical causes of extreme precipitation in China during the last 50 years [J]. Advance in Earth Sciences, 2014, 29(5):577-589] DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2014.05.0577
- [14] WANG Huailiang, GAO Tao, XIE Lian. Correction to: Extreme precipitation events during 1960-2011 for the northwest China: Space-time changes and possible causes [J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 137(1-2):997-999. DOI: 10.1007/s00704-018-2668-1
- [15] 葛京凤,黄志英,梁彦庆,等.河北太行山区土地利用/覆被变化及其环境效应[J].地理与地理信息科学,2005,21(2):62-65. [GE Jingfeng, HUANG Zhiying, LIANG Yanqing, et al. Land use change and its environmental effects in the Taihang Mountain areas in Hebei province [J]. Geography and Geo-Information Science, 2005, 21(2):62-65]
- [16] 薛朝浪,赵宇鸾,魏小芳,等.基于CCA的太行山区土地利用变化驱动机制分析[J].贵州师范大学学报(自然科学版),2019,37(1):93-103. [XUE Chaolang, ZHAO Yuluan, WEI Xiaofang, et al. Analysis of driving mechanism of land-use change in Taihang mountainous areas based on CCA [J]. Journal of Guizhou Normal University (Natural Sciences), 2019, 37(1):93-103] DOI: 10.16614/j.gznzj.zrb.2019.01.016
- [17] 高会,刘金铜,朱建佳,等.基于可持续发展的太行山区生态系统服务垂直分类管理[J].自然杂志,2018,40(1):47-54. [GAO Hui, LIU Jintong, ZHU Jianjia, et al. Ecosystem services management based on vertical variation for sustainable development of Taihang Mountain areas [J]. Chinese Journal of Nature, 2018, 40(1):47-54] DOI: 10.3969/j.issn.0253-9608.2018.01.007
- [18] 宋献方,李发东,刘昌明,等.太行山区水循环及其对华北平原地下水的补给[J].自然资源学报,2007,22(3):398-408. [SONG Xianfang, LI Fadong, LIU Changming, et al. Water cycle in Taihang Mountain and its recharge to groundwater in north China Plain [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(3):398-408]
- [19] XIA Rudi, ZHANG Dalin. An observational analysis of three extreme rainfall episodes of 19-20 July 2016 along the Taihang Mountains in north China [J]. Monthly Weather Review, 2019, 147(11):4199-4220. DOI: 10.1175/MWR-D-18-0402.1
- [20] 王坚红,张萌,任淑媛,等.太行山脉地形坡度对下山锋面气旋暴雨影响模拟研究[J].地球科学进展,2019,34(7):717-730. [WANG Jianhong, ZHANG Meng, REN Shuyuan, et al. Simulation study on the impact of Taihang Mountain slopes on downhill front cyclone rainstorm [J]. Advances in Earth Science, 2019, 34(7):717-730] DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2019.07.0717
- [21] 王滨,张发旺,陈立,等.太行山区泥石流暴发的临界雨量判别式研究[J].水土保持研究,2009,16(5):213-215. [WANG Bin, ZHANG Fawang, CHEN Li, et al. Study on critical activating rainfall discriminant of debris flow in Taihang Mountain area [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(5):213-215]
- [22] 柴艳,祁颖辉.太行山区泥石流灾害降雨触发条件的研究[J].地下水,2011,33(3):165-176. [CHAI Yan, QI Yinghui. Study on the rainfall trigger conditions of debris flow in Taihang Mountains area [J]. Ground Water, 2011, 33(3):165-176]
- [23] 俞琳飞,张永强,张佳华,等.卫星降水产品在太行山区的适用性初步评估[J].高原气象,2020,39(4):819-829. [YU Linfei, ZHANG Yongqiang, ZHANG Jiahua, et al. Preliminarily evaluate the applicability of satellite precipitation products over the Taihang Mountains [J]. Plateau Meteorology, 2020, 39(4):819-829] DOI: 10.7522/j.issn.1000-0534.2020.00007
- [24] 俞琳飞,杨永辉,周新尧,等.中国融合降水产品在太行山区的质量评估[J].水资源与水工程学报,2020,31(1):33-43. [YU Linfei, YANG Yonghui, ZHOU Xinyao, et al. Quality assessment of Chinese merged precipitation product over Taihang Mountains [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2020, 31(1):33-43] DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2020.01.06
- [25] 宋安安,王慧敏,郑艳东,等.太行山区耕地整理适宜性评价及障碍因子诊断—以河北省涞源县为例[J].中国农业资源与区划,2017,38(10):45-53. [SONG Anan, WANG Huimin, ZHENG Yandong, et al. Suitability evaluation of arable land consolidation and diagnosis of obstacle indicators in Taihang Mountainous area: A case study in Laiyuan county of Hebei [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(10):45-53] DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20171007
- [26] 符淙斌,王强.气候突变的定义和检测方法[J].大气科学,

- 1992, **16**(4): 482 – 493. [FU Congbin, WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, **16**(4): 482 – 493]
- [27] 张楠, 苗春生, 邵海燕. 1951—2007 年华北地区夏季气温变化特征[J]. *气象与环境学报*, 2009, **25**(6): 23 – 28. [ZHANG Nan, MIAO Chunsheng, SHAO Haiyan. Summer air temperature variation from 1951 to 2007 in northern China [J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2009, **25**(6): 23 – 28]
- [28] 杨修群, 谢倩, 朱益民, 等. 华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J]. *地球物理学报*, 2005, **48**(4): 789 – 797. [YANG Xiuqun, XIE Qian, ZHU Yimin, et al. Decadal-to-interdecadal variability of precipitation in north China and associated atmospheric and oceanic anomaly patterns [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, **48**(4): 789 – 797]
- [29] 张书萍, 祝从文, 周秀骥. 华北水资源年代际变化及其与全球变暖之间的关联[J]. *大气科学*, 2014, **38**(5): 1005 – 1016. [ZHANG Shuping, ZHU Congwen, ZHOU Xiuji. Decadal variability of water resources in north China and its linkage to global warming [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2014, **38**(5): 1005 – 1016] DOI: 10.3878/j.issn.1006-9895.1401.13231
- [30] 任国玉, 封国林, 严中伟. 中国极端气候变化观测研究回顾与展望[J]. *气候与环境研究*, 2010, **15**(4): 337 – 353. [REN Guoyu, FENG Guolin, YAN Zhongwei. Progresses in observation studies of climate extremes and changes in mainland China [J]. *Climate and Environment Research*, 2010, **15**(4): 337 – 353]
- [31] 杨若子, 邢佩, 杜吴鹏, 等. 1961 – 2017 年华北地区降水气候特征分析[J]. *地理科学*, 2020, **40**(9): 1573 – 1583. [YANG Ruozhi, XING Pei, DU Wupeng, et al. Climatic characteristics of precipitation in north China from 1961 to 2017 [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, **40**(9): 1573 – 1583] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2020.09.019
- [32] 艾卉, 张耀存, 卢伟. 我国东部地区夏季不同等级降水日数年际变化特征分析[J]. *气象科学*, 2009, **29**(3): 299 – 306. [AI Hui, ZHANG Yaocun, LU Wei. Characteristics of the interannual variations of summer precipitation days with different class intervals over eastern China [J]. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2009, **29**(3): 299 – 306]
- [33] 胡实, 韩建, 占车生, 等. 太行山区遥感卫星反演降雨产品降尺度研究[J]. *地理研究*, 2020, **39**(7): 1680 – 1690. [HU Shi, HAN Jian, ZHAN Chesheng, et al. Spatial downscaling of remotely sensed precipitation in Taihang Mountains [J]. *Geographical Research*, 2020, **39**(7): 1680 – 1690] DOI: 10.11821/dlyj020190545
- [34] 黄荣辉, 顾雷, 陈际龙, 等. 东亚季风系统的时空变化及其对我国气候异常影响的最近研究进展[J]. *大气科学*, 2008, **32**(4): 691 – 719. [HUANG Ronghui, GU Lei, CHEN Jilong, et al. Recent progresses in studies of the temporal-spatial variations of the east Asian monsoon system and their impacts on climate anomalies in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, **32**(4): 691 – 719]
- [35] 黄荣辉, 陈际龙, 黄刚, 等. 中国东部夏季降水的准两年周期振荡及其成因[J]. *大气科学*, 2006, **30**(4): 545 – 560. [HUANG Ronghui, CHEN Jilong, HUANG Gang, et al. The quasi-biennial oscillation of summer monsoon rainfall in China and its cause [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2006, **30**(4): 545 – 560]
- [36] REN Hongli, ZHANG Fei, LUO Jingjia, et al. A review of research on tropical air-sea interaction, ENSO dynamics, and ENSO prediction in China [J]. *Journal of Meteorological Research*, 2020, **34**(1): 43 – 62. DOI: 10.1007/s13351-020-9155-1
- [37] 李可军, 苏同卫, 梁红飞. 现代黑子观测的太阳黑子活动的周期性[J]. *科学通报*, 2004, **49**(24): 2511 – 2516. [LI Kejun, SU Tongwei, LIANG Hongfei. Periodicity of sunspot activity in modern sunspot observation [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, **49**(24): 2511 – 2516]
- [38] 曲维政, 邓声贵, 黄菲, 等. 深海温度变化对太阳活动的响应[J]. *第四纪研究*, 2004, **24**(3): 285 – 292. [QU Weizheng, DENG Shenggui, HUANG Fei, et al. Response of change of deep sea temperature to sun activity [J]. *Quaternary Sciences*, 2004, **24**(3): 285 – 292]
- [39] 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. [WANG Yanji, SHEN Xiangjin, JIANG Ming. Spatial-temporal variation characteristics of different grades of precipitation in Changbai Mountain from 1961 to 2018 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2021, **26**(2): 227 – 238] DOI: 10.3878/j.issn.1006-9585.2020.20093

## Precipitation Changes to the Eastern and Western Sides of the Taihang Mountains from 1961 to 2018

HE Xueli<sup>a</sup>, LI Yanan<sup>a,b</sup>, SHI Tianyu<sup>a</sup>, ZHOU Xuewen<sup>a</sup>, LIU Dexin<sup>a,b\*</sup>

(*a. College of Geography and Environment; b. Key Laboratory of Geospatial Technology for Middle and Lower Yellow River Region, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China*)

**Abstract:** Inadequate annual precipitation, dense population and huge water demand lead to shortage of water resources in the Taihang mountains area of China, and ecological environment and water resources in the area are highly susceptible to the change in precipitation due to global warming. Most research concerned about the geographical correlation between rainfall and topographical features in the area, but little attention was paid to the differentiation of temporal and spatial variation of precipitation from the eastern Taihang Mountains to the western Taihang Mountains, which is of important to provide scientific evidence for allocation of water resources and warning of disaster events.

In this study, based on the daily precipitation data collected by 109 meteorological stations from 1961 to 2018, it studied temporal and spatial characteristics and differences of precipitation on the eastern and western sides of the Taihang Mountains, by the inverse distance weight interpolation method, linear trend method, Mann-Kendall mutation test and Morlet continuous complex wavelet.

The results showed that: (1) The annual precipitation of the Taihang Mountains had a tendency of decreasing, and a sudden decrease occurred in 1973 for the western Taihang Mountains. It was decreasing for the days of light rain, rainstorm, heavy storm rain and above precipitation intensity in the eastern side, as well as light rain, moderate rain and rainstorm days in the western side. (2) The annual precipitation of the Taihang Mountains decreased from southeast to northwest. The reduction of light rain days was about the same on the eastern side and western side. The reduction of moderate rain days was mainly concentrated in the western side, and the reduction days of rainstorm, heavy storm rain and above precipitation intensity was mainly concentrated in the eastern side. (3) The first major cycle of annual precipitation on the eastern and western sides of the Taihang Mountains was 28 a. The first major cycles of light rain, moderate rain, heavy rain, rainstorm, heavy storm rain and above precipitation intensity were 22 a, 21 a, 22 a, 28 a, 28 a and 22 a, 22 a, 28 a, 28 a, 6 a for the eastern and western sides, respectively. The research results provide references for disaster prevention and mitigation and climate change response in the region.

**Key words:** precipitation; precipitation days; temporal and spatial differences; the Taihang Mountains