

文章编号: 1008-2786-(2018)1-023-11

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000297

# 近 55 a 秦岭山区极端气温变化及其对区域变暖的影响

张 扬, 白红英\*, 黄晓月, 苏 凯

(西北大学 城市与环境学院, 西安 710127)

**摘 要:** 分析极端气温变化对气候变化研究具有重要意义。本文基于秦岭地区 31 个站点 1960—2013 年的逐日最高气温、最低气温和平均气温资料, 获得秦岭地区 16 种极端气温指数, 采用线性倾向估计法、M-K 检验和主成分分析法, 研究各指数变化特征, 以揭示极端气温变化规律及其对区域变暖的影响。结果表明: (1) 近 55 a 秦岭地区极端气温呈上升趋势, 且日最高气温的升幅大于日最低气温; 极端气温暖指数升高, 冷指数降低, 且暖指数的变化幅度大于冷指数。 (2) 日最高(低)气温极高值、日最高(低)气温极低值和气温日较差的升幅分别为 0.14(0.06)、0.38(0.11)、0.08 °C/10 a, 夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数、暖持续日数和生物生长季分别以 3.91、1.89、2.59、2.24、1.29、3.15 d/10 a 的趋势在增加, 而冰冻日数、霜冻日数、冷昼日数、冷夜日数和冷持续日数以 -0.7、-3.01、-1.79、-2.05、-0.45 d/10 a 的趋势在减小。 (3) 近 55 a 秦岭地区极端气温指数变化趋势与全球及全国基本相同, 但变化幅度相对偏小, 突变时间主要集中在 20 世纪 90 年代。 (4) 近 55 a 秦岭地区气候变暖与极端气温指数的变化关系密切, 其中夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数和冷昼日数是秦岭地区气候变暖的主要贡献者。

**关键词:** 秦岭; 气候变化; 极端气温; 突变检验

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

IPCC<sup>[1]</sup>第五次研究报告指出, 1880—2012 年间全球气温平均升高 0.85 °C, 而近百年(1909—2011)我国陆地区域平均增温 0.9 ~ 1.5 °C<sup>[2]</sup>, 高于全球平均水平。温度升高导致极端气候事件发生的概率和强度呈现增加趋势<sup>[3]</sup>, 进而严重影响着人民生活、社会生产和能源安全等多个方面。近年来, 极端气温已经成为国内外众多学者的重要研究方向。有研究表明, 20 世纪后 50 年全球大部分地区的暖昼(夜)增多、冷昼(夜)减少<sup>[4]</sup>, 且北半球<sup>[5]</sup>、美国<sup>[6]</sup>、欧洲<sup>[7]</sup>、亚太地区<sup>[8]</sup>等不同范围的极端气温变化多以低温和夜间温度为主, 翟盘茂<sup>[9]</sup>等也指出近 50 年我国北方极端气温的变化呈冷夜日数和霜冻日数减少、暖昼日数增多的特点。在这一背景下,

针对我国不同区域的极端气温研究表明<sup>[10-19]</sup>, 极端气温变化呈现非对称性, 且多以低温为主。

秦岭是亚热带和暖温带的过渡带, 黄河水系与长江水系的分水岭, 以及中国南北重要的地理分界线, 由于其地理条件形成了独特的山地气候。国内关于秦岭地区气候变化及其相关研究已有很多, 主要是应用遥感影像和气象数据进行分析, 且多以气候要素的时空变化、植被覆盖变化、植被对气候的响应等方面为主<sup>[20-23]</sup>, 而关于该区域极端气温的研究较少。已有的关于秦岭极端气温的研究侧重于分析日最高气温与日最低气温的变化趋势<sup>[24]</sup>, 涉及极端气温指数的部分偏少。本文在已有研究的基础上, 重点对秦岭地区极端气温指数的变化趋势及突变情

收稿日期(Received date): 2016-10-13; 改回日期(Accepted date): 2017-03-15

基金项目(Foundation item): 国家林业公益性行业科研专项(201304309)。[National Forestry Public Welfare Scientific Research Project (201304309)]

作者简介(Biography): 张扬(1991-), 男, 陕西西安人, 硕士, 主要从事极端气候与全球气候变化研究。[Zhang Yang (1991-), male, born in Xi'an, Shaanxi province, M. Sc. candidate, research on extreme climate and global climate change] E-mail: ZYang0724@126.com

\* 通讯作者(Corresponding author): 白红英(1962-), 女, 陕西凤翔人, 博士, 教授, 主要从事全球变化生态学、自然地理学等方面的科研与教学。[Bai Hongying (1962-), female, born in Fengxiang, Shaanxi province, Ph. D, professor, research on global change ecology and physical geography] E-mail: hongyingbai@163.com

况进行了探讨,并研究秦岭地区区域变暖的主要贡献指数,旨在揭示秦岭地区极端气温的变化特征及影响区域变暖的主要指数,为防灾减灾及生态预警提供依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

1960—2013 年秦岭地区 31 个站点的逐日平均气温、最高气温和最低气温,来自中国气象科学数据共享服务网和陕西省气象局的地面常规气象站点数据。本文对数据进行了严格的质量控制,包括时间一致性检验、均一性检验和极值检验,将个别缺测数据使用线性插值和平均值的方法进行差补。研究区分布图见图 1。

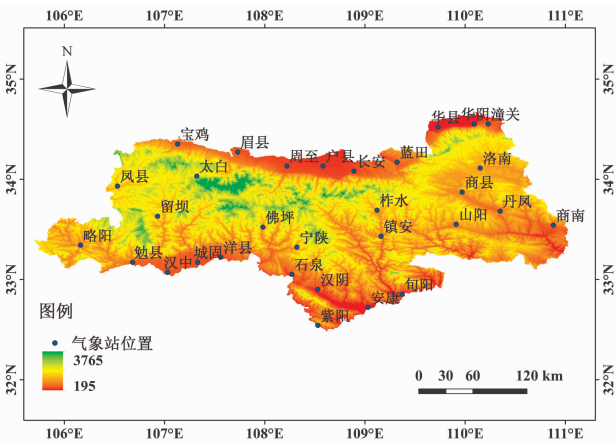


图 1 秦岭地区 31 个气象站点的位置

Fig. 1 Location of 31 meteorological stations in Qinling Mountains

1.2 研究方法

本文选取世界气象组织定义的极端气温指数<sup>[25]</sup>,指数定义详见表 1,研究区内各站点的极端气温指数利用 RClimDex<sup>[4]</sup>软件计算得到,秦岭地区极端气温指数为各站点的算术平均值,基准期定义为 1971—2000 年。

极端气温指数变化趋势采用线性倾向估计法进行分析,并检验趋势的显著性<sup>[26]</sup>;突变点的检验使用 Mann-Kendall (M-K) 方法<sup>[27]</sup>。

2 结果与分析

2.1 近 55 a 秦岭地区极端气温指数变化特征

表 2 为依据 1960—2013 年秦岭地区 31 个站点逐日平均气温、最高气温和最低气温资料,以及极端

表 1 极端气温指标定义

Tab. 1 Definition of extreme temperature indices

类别	名称	缩写/单位	定义
绝对指数	夏季日数	SU/d	日最高温度高于 25 ℃ 的天数
	冰冻日数	ID/d	日最高温度低于 0 ℃ 的天数
	热夜日数	TR/d	日最低温度高于 20 ℃ 的天数
	霜冻日数	FD/d	日最低温度低于 0 ℃ 的天数
相对指数	冷昼日数	TX10/d	年日最高温低于 1960—2013 年 10% 分位数天数
	冷夜日数	TN10/d	年日最低温低于 1960—2013 年 10% 分位数天数
	暖昼日数	TX90/d	年日最高温高于 1960—2013 年 90% 分位数天数
	暖夜日数	TN90/d	年日最低温高于 1960—2013 年 90% 分位数天数
极值指数	日最高气温极高值	TXx/℃	每个月日最高温度的最大值
	日最高气温极低值	TXn/℃	每个月日最高温度的最小值
	日最低气温极高值	TNx/℃	每个月日最低温度的最大值
	日最低气温极低值	TNn/℃	每个月日最低温度的最小值
持续指数	暖持续日数	WSDI/d	日最高温高于 1960—2013 年 90% 分位数连续 6 d 天数
	冷持续日数	CSDI/d	日最低温低于 1960—2013 年 10% 分位数连续 6 d 天数
	生物生长季	GSL/d	年内平均温度连续 6 d 高于 5 ℃ 的天数
	气温日较差	DTR/℃	年内日最高温与最低温的差值

表 2 1960—2013 年秦岭地区极端气温指数年际变化趋势

Tab. 2 Variation tendency of extreme temperature indices in Qinling Mountains during 1960—2013

指数/单位	变化率	指数/单位	变化率
TXx/(℃/10 a)	0.14	TXn/(℃/10 a)	0.38 **
TNx/(℃/10 a)	0.06	TNn/(℃/10 a)	0.11
SU/(d/10 a)	3.91 **	ID/(d/10 a)	-0.7 **
TR/(d/10 a)	1.89 **	FD/(d/10 a)	-3.01 **
TX90/(d/10 a)	2.59 **	TX10/(d/10 a)	-1.79 **
TN90/(d/10 a)	2.24 **	TN10/(d/10 a)	-2.05 **
WSDI/(d/10 a)	1.29 *	CSDI/(d/10 a)	-0.45 **
GSL/(d/10 a)	3.15 **	DTR/(℃/10 a)	0.08

注: \*, \*\* 分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性检验水平。

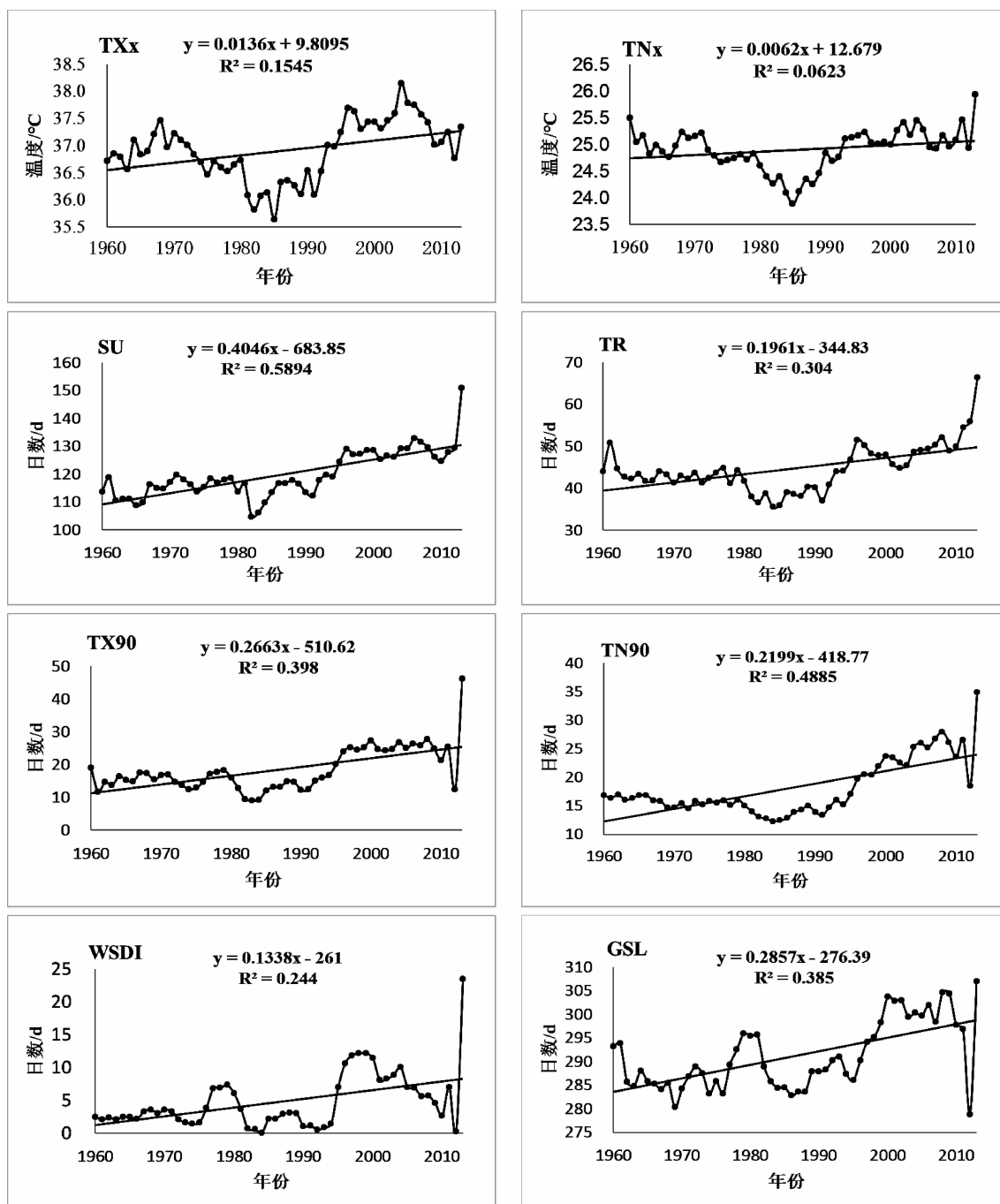
气温指数定义得到的近 55 a 秦岭地区 16 种极端气温指数变化趋势。由表 2 可知,日最高气温极高值、日最高气温极低值、日最低气温极高值和日最低气温极低值均呈上升趋势,且日最高气温的升温幅度大于日最低气温;极端气温暖指数呈上升趋势,极端气温冷指数呈下降趋势,且暖指数的变化幅度更大;极端气温暖指数与极端气温冷指数之间、日最高气

温与日最低气温之间均表现为非对称性变化。

### 2.1.1 近55 a 秦岭地区极端气温暖指数变化趋势

图2是近55 a 秦岭地区极端气温暖指数的5 a 滑动平均线性变化趋势,分析发现,极端气温暖指数均表现为上升趋势,除日最高气温极高值和日最低气温极高值外,其他6个指数均通过0.05以上的显

著性检验。日最高气温极高值和日最低气温极高值的变化呈明显的波动性,近55 a 分别以  $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  和  $0.06\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$  的变化率上升;夏季日数、热夜日数、暖昼日数和暖夜日数近55 a 均表现出先缓慢下降后迅速上升的变化趋势,变化率分别为  $3.91\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $1.89\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $2.59\text{ d}/10\text{ a}$  和  $2.24\text{ d}/10\text{ a}$ ;近



(折线为5 a 滑动平均趋势,直线为一元线性趋势)

图2 1960—2013年秦岭地区极端气温暖指数变化趋势

Fig. 2 Variation tendency of extreme warm indexes in Qinling Mountains during 1960—2013

55 a 暖持续日数平均每 10 a 增加 1.29 d, 生物生长季每 10 a 增加 3.15 d。

### 2.1.2 近 55 a 秦岭地区极端气温冷指数变化趋势

图 3 为近 55 a 秦岭地区极端气温冷指数 5 a 滑动平均线性变化趋势, 分析发现, 日最高气温极低值和日最低气温极低值呈上升趋势, 其他极端气温冷

指数呈下降趋势, 除日最低气温极低值外, 其他 6 个指数均通过 0.01 以上显著性检验。日最高气温极低值在 20 世纪 60 年代呈下降趋势, 70 年代后波动上升, 近 55 a 的变化率为  $0.38^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ ; 日最低气温极低值近 55 a 呈波动变化, 平均每 10 a 上升  $0.11^{\circ}\text{C}$ ; 冰冻日数、霜冻日数、冷昼日数和冷夜日数

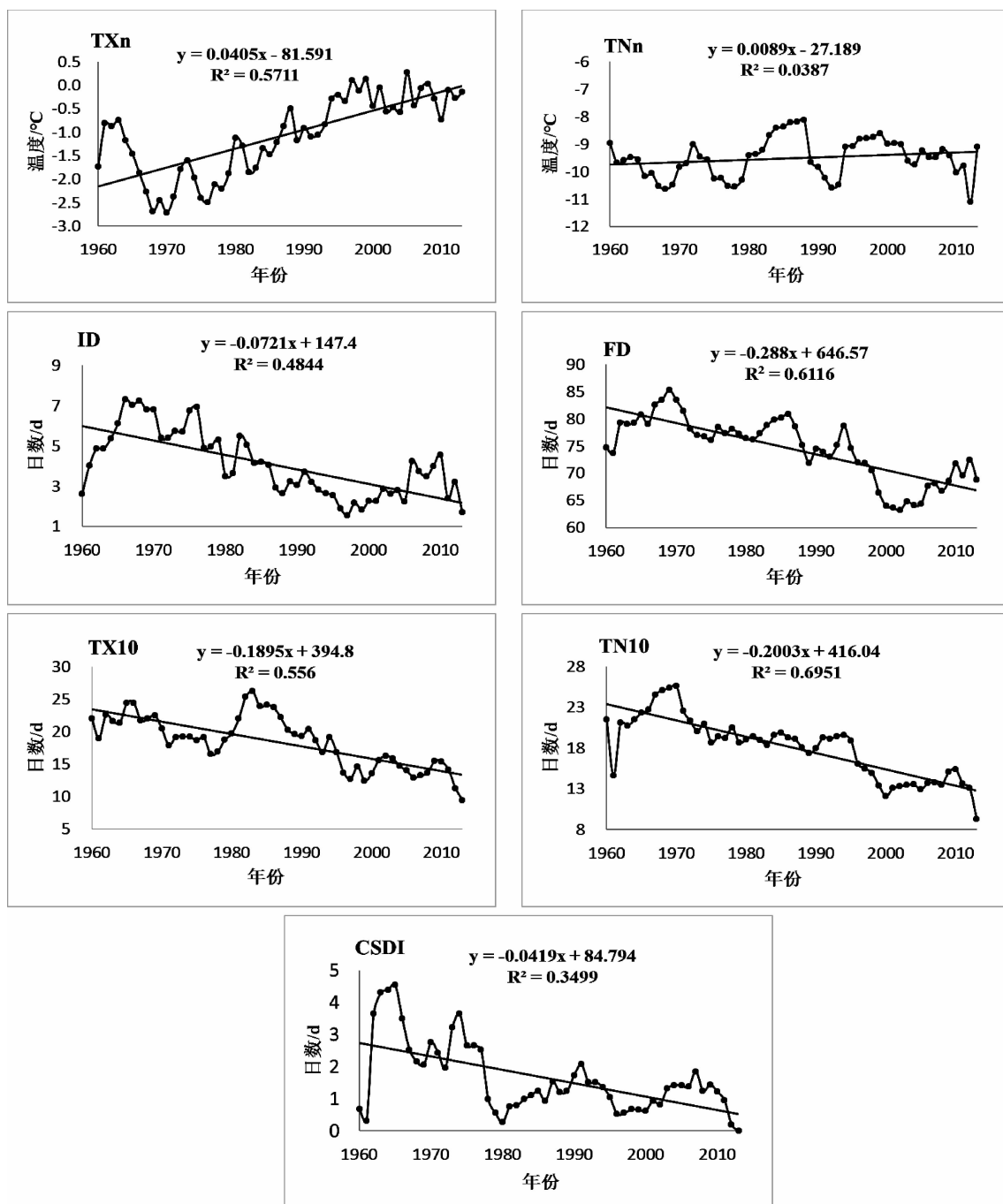


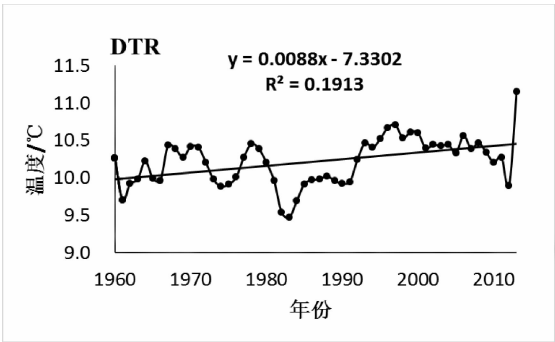
图 3 1960—2013 年秦岭地区极端气温冷指数变化趋势

Fig. 3 Variation tendency of extreme cold indexes in Qinling Mountains during 1960–2013

近 55 a 均表现为波动下降,变化率分别为  $-0.7\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $-3.01\text{ d}/10\text{ a}$ 、 $-1.79\text{ d}/10\text{ a}$  和  $-2.05\text{ d}/10\text{ a}$ ;冷持续日数在 60 年代中期之前呈短暂的上升阶段,以后波动性下降,近 55 a 变化率为  $-0.45\text{ d}/10\text{ a}$ 。

2.1.3 近 55 a 秦岭地区极端气温指数变化区域性

图 4 为近 55 a 秦岭地区气温日较差 5 a 滑动平均线性变化趋势,结果表明,气温日较差的变化呈现波动性,整体表现为微弱的上升趋势,平均每 10 a 增加  $0.08\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,说明秦岭地区日最高气温的上升速度大于日最低气温。



(折线为 5 a 滑动平均趋势,直线为一元线性趋势)

图 4 1960—2013 年秦岭地区气温日较差变化趋势

Fig. 4 Variation tendency of diurnal temperature range in Qinling Mountains during 1960—2013

IPCC<sup>[1]</sup>第五次评估报告指出,全球尺度上冷昼(夜)日数已经减少,暖昼(夜)日数增加,大部分陆地地区的极端暖事件增多,极端冷事件减少。对比了秦岭地区与全球、全国<sup>[28]</sup>相同时段内极端气温指数的变化趋势(表 3),由表 3 可知,除气温日较差外,秦岭地区其他极端气温指数的变化趋势均与全球和全国相同,但大部分极端气温指数的变化幅度比全球和全国偏小,尤其是日最低气温极高值的变幅最小,约为全国的 1/8。其中,变化幅度比全国偏大的指数有夏季日数、霜冻日数和日最高气温极低值,而变化幅度大于全球的指数为生物生长季。这说明多数情况下,秦岭地区极端气温的变化小于全球和全国。

2.2 近 55 a 秦岭地区极端气温指数突变前后变化规律

2.2.1 秦岭地区极端气温指数突变分析

图 5 为近 55 a 秦岭地区 16 个极端气温指数的 M-K 检验结果,结合各极端气温指数的累积距平值分析可知,除日最低气温极高值和日最低气温极低值外,秦岭地区其他指数均发生明显突变,主要集中在

表 3 秦岭地区与其他区域的极端气温指数变化率对比

Tab. 3 Comparison of variation tendency of extreme temperature indices between Qinling Mountains and other regions

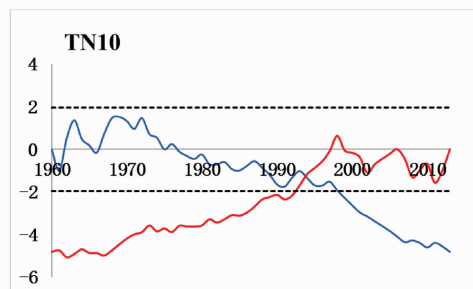
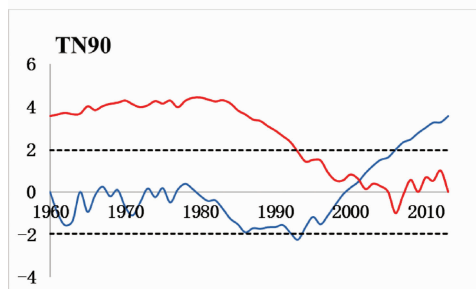
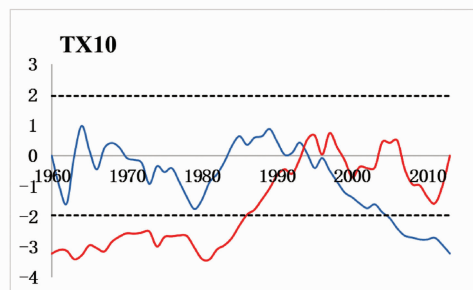
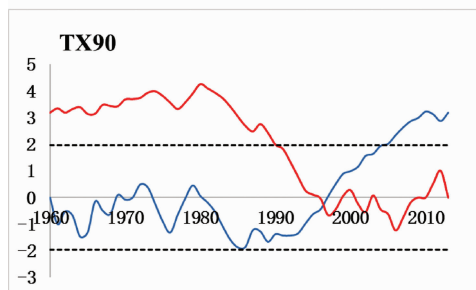
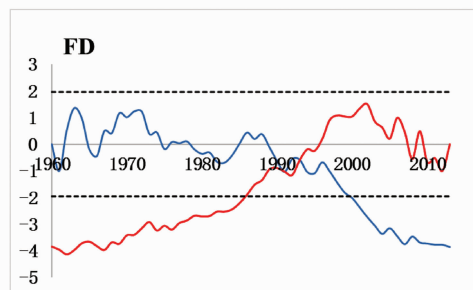
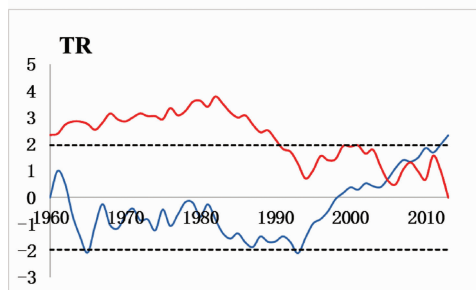
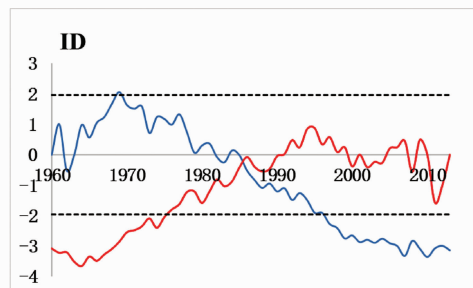
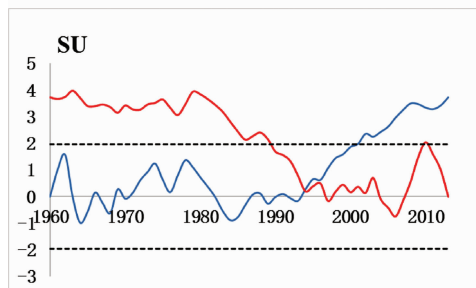
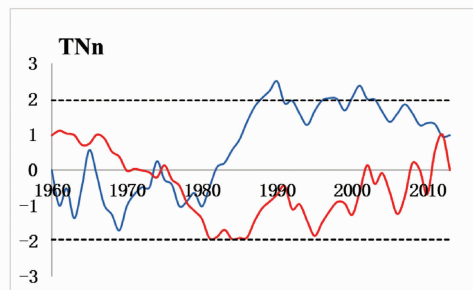
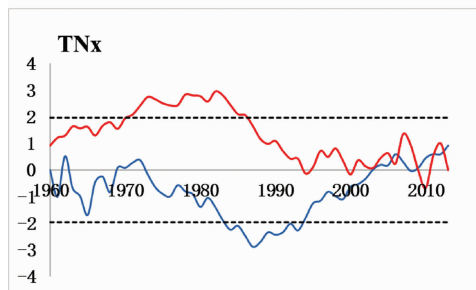
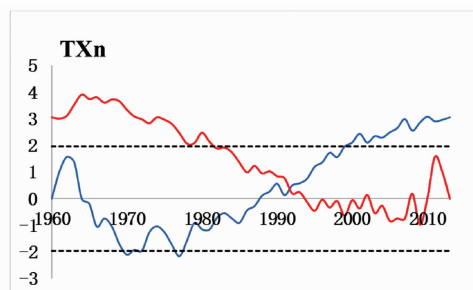
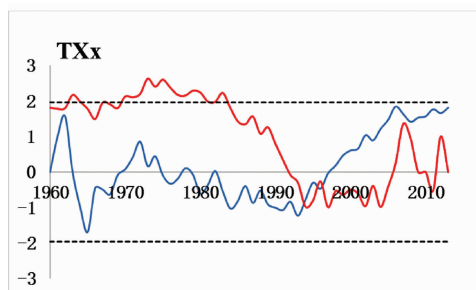
极端气温 指数/单位	1961—2008		1961—2003	
	全国	秦岭	全球	秦岭
TXx/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	0.15 *	0.14	0.27 **	0.05
TXn/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	0.35 *	0.39 *	—	0.41 *
TNx/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	0.25 *	0.03	—	0.02
TNn/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	0.58 *	0.21	0.5 **	0.29
SU/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	2.69 *	4.13 **	—	3.15 *
ID/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	-2.32 *	-0.79 *	-2.63 **	-1.11 **
TR/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	2.47 *	1.2	—	0.58
FD/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	-3.48 *	-3.55 **	-3.78 **	-3.61 **
TX10/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	-3.26 *	-1.81 **	-2.89 **	-1.45
TX90/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	5.22 *	2.66 **	3.87 **	2.05 *
TN10/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	-8.23 *	-2.16 **	-5.22 **	-2.12 **
TN90/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	8.16 *	1.94 **	6.86 **	1.25 *
GSL/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	—	3.72 **	2.71 **	3.06 *
WSDI/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	—	1.40 *	—	1.54
CSDI/( $\text{d}/10\text{ a}$ )	—	-0.55 **	—	-0.69 **
DTR/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	-0.15 *	0.1	-0.07 **	0.08

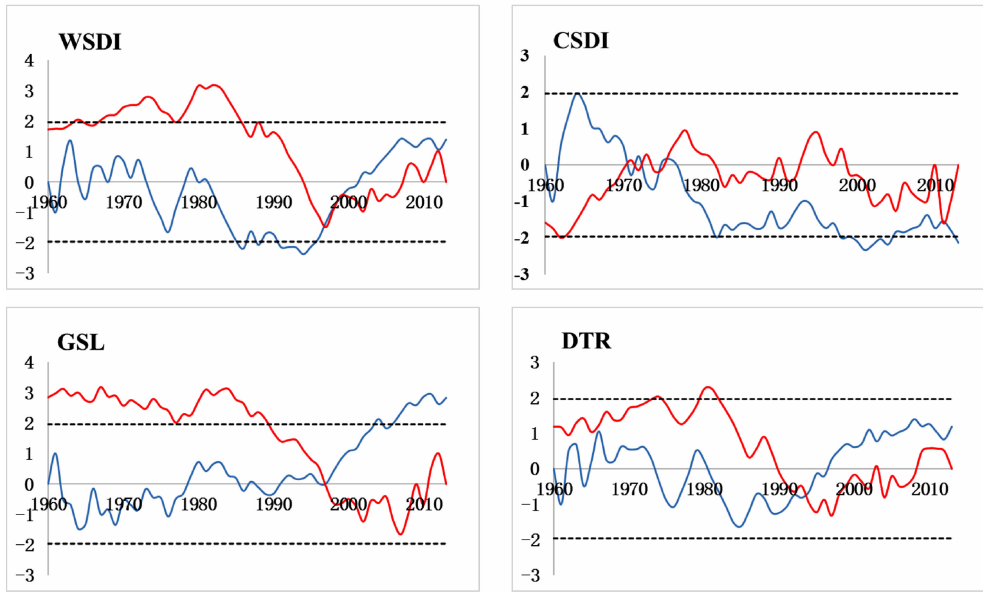
注:\*,\*\*分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性检验水平;—表示无法获得数据。

在 20 世纪 90 年代。日最高气温极高值和日最高气温极低值均在 20 世纪 90 年代突变,分别为 1994 年和 1992 年,表现为由相对偏冷期突变为相对偏暖期;夏季日数和热夜日数的突变年份分别为 1994 年和 2005 年,突变后两者均呈上升趋势;冰冻日数在 1985 年发生突变,霜冻日数在 1992 年发生突变,突变后两者均呈下降趋势;暖昼日数的突变年份为 1996 年,暖夜日数的突变年份为 2001 年,突变后两指数增加;冷昼日数和冷夜日数的突变发生在 20 世纪 90 年代,分别为在 1993 年和 1994 年,突变后两指数减少;暖持续日数在 1997 年发生明显突变,冷持续日数在 1972 年发生明显突变,前者由一个相对偏少期跃变为一个相对偏多期,后者由一个相对偏多期跃变为相对偏少期;生物生长季的突变点出现在 1997 年,由一个相对偏短期跃变为一个相对偏长期;气温日较差的突变点出现在 1994 年,由一个相对偏小期跃变为一个相对偏长期。

2.2.2 秦岭地区极端气温指数突变前后变化比较

表 4 为近 55 a 秦岭地区极端气温指数突变前后的变化趋势,由表 4 可知,日最高气温极高值、日最高气温极低值和气温日较差突变后呈上升趋势,其中日最高气温极高值和气温日较差由下降趋势突变为上升趋势,日最高气温极低值突变后的变化率





(红线为 UBk, 蓝线为 UFk, 点线为  $\pm 1.96$ )

图 5 秦岭地区极端气温指数的 M-K 检验

Fig. 5 M-K tests of extreme temperature indices in Qinling Mountains during 1960—2013

增长为突变前的 5.86 倍。极端气温暖指数突变后均呈上升趋势,其中夏季日数、暖昼日数和暖持续日数由下降趋势突变为上升趋势,热夜日数、暖夜日数、和生物生长季突变前后的变化趋势相同,但变化率发生明显的增长,生物生长季的变化率增长最大,增长了 13.6 倍。极端气温冷指数突变后均呈下降趋势,其中冰冻日数、冷昼日数和冷持续日数由上升趋势突变为下降趋势,霜冻日数和冷夜日数突变前后的变化趋势相同,但变化率发生明显的增长。

表 4 秦岭地区极端气温指数突变前后变化趋势

Tab. 4 Linear trends of extreme temperature indices before and after mutation years in Qinling Mountains					
指数/单位	突变前	突变后	指数/单位	突变前	突变后
TXx/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	-0.35	0.09	TXn/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	0.05	0.29
SU/(d/10 a)	-0.15	3.04	ID/(d/10 a)	0.2	-0.32
TR/(d/10 a)	0.67	9.2	FD/(d/10 a)	-1.39	-3.93
TX90/(d/10 a)	-0.35	1.49	TX10/(d/10 a)	0.12	-1.86
TN90/(d/10 a)	0.64	3.89	TN10/(d/10 a)	-1.15	-1.28
WSDI/(d/10 a)	-0.39	0.58	CSDI/(d/10 a)	0.51	-0.35
GSL/(d/10 a)	0.22	3.16	DTR/( $^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ )	-0.08	0.07

2.3 极端气温对秦岭地区气候变暖的影响效应

表 5 为秦岭地区极端气温指数与年均温的相关关系,由表 5 可知,除日最低气温极低值外,秦岭地区其他极端气温指数与年均温的相关性均很好,表

明秦岭地区极端气温指数与区域增暖的关系密切。

表 5 秦岭地区极端气温指数与年均温的相关系数

Tab. 5 Correlation coefficients between extreme temperature indices and annual mean temperature in Qinling Mountains							
TXx	TXn	TNx	TNn	SU	ID	TR	FD
0.53 **	0.41 **	0.42 **	0.07	0.78 **	-0.42 **	0.72 **	-0.67 **
TX90	TX10	TN90	TN10	WSDI	CSDI	GSL	DTR
0.85 **	-0.8 **	0.85 **	-0.69 **	0.62 **	-0.32 *	0.64 **	0.58 **

注: \*, \*\* 分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性检验水平。

进一步探讨极端气温对区域增暖的影响,对秦岭地区极端气温指数进行主成分分析,得到载荷矩阵(表 6)。由表 6 看出,5 个主成分的累计贡献率为 80.3%,可以很好的揭示原各变量。第一主成分占方差贡献率的 42.9%,除日最低气温极低值外,各指数的载荷值都比较高,以夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数和冷昼日数的载荷值最为突出,都到达 0.7 以上,其中以极端气温暖指数为主,说明近 55 a 秦岭地区气候变暖与极端气温暖指数的变化密切相关,且夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数和冷昼日数是秦岭地区气候变暖的主要贡献者。第二主成分中冰冻日数、日最高气温极低值和日最低气温极低值的载荷值较高,达到 0.5 以上,占方差贡献率的 12.9%。气温日较差在第三主成分中载荷值最高,方差贡献率为 9.3%。剩下两个主



成分中高载荷的因子分别为日最低气温极高值和冷持续日数,载荷值分别达到 0.56 和 0.72。

表 6 1960—2013 年秦岭地区极端气温指数的因子分析

Tab. 6 Analysis of factors involved in extreme temperature indices of Qinling Mountains from 1960 to 2013

主成分	1	2	3	4	5
SU	0.83	0.21	0.18	-0.04	-0.19
ID	-0.52	0.57	-0.26	-0.25	-0.31
TR	0.73	0.26	-0.33	0.28	-0.02
FD	-0.67	0.37	0.40	0.30	-0.04
GSL	0.65	-0.15	-0.06	-0.50	0.00
TXx	0.61	0.43	0.07	0.46	-0.08
TXn	0.47	-0.62	0.07	0.40	0.34
TNx	0.46	0.49	-0.22	0.56	-0.04
TNn	0.11	-0.56	0.17	0.42	-0.22
TX10	-0.83	0.06	-0.17	0.06	-0.08
TX90	0.89	0.20	0.11	-0.19	0.07
TN10	-0.64	0.35	0.53	0.03	0.29
TN90	0.80	0.11	-0.42	-0.06	0.17
WSDI	0.68	0.19	0.20	-0.22	0.18
CSDI	-0.45	0.28	-0.27	0.02	0.72
DTR	0.68	0.21	0.65	-0.14	0.05
方差百分比	42.9	12.9	9.30	9.1	6.1

### 3 结论与讨论

#### 3.1 讨论

本文在研究极端气温指数变化的区域性特点时发现,近 55 a 秦岭地区极端气温变化的特点为冷、暖指数呈非对称性变化,且暖指数的变化更为显著,这一特点与全国极端气温变化主要表现在冷事件减少不同<sup>[29,30]</sup>。除此之外,秦岭地区极端气温指数变化的区域性特点还表现在其变化幅度偏小,考虑到秦岭地区独特的地理条件,可能由于以下原因:首先,秦岭地形区主要包括山区、盆地和平原,而地形对气温变化存在影响,其中高山地区的变暖幅度相比偏小<sup>[31]</sup>,这证明秦岭地区极端气温指数的变化受到地形的影响;其次,秦岭地区的植被种类丰富,且植被覆盖度高,而良好的植被状况对极端气温存在一定的缓冲作用,这也是秦岭地区成为我国气候缓冲区的重要原因<sup>[32]</sup>;再次,对比秦岭山地与天山山脉<sup>[15]</sup>、珠穆朗玛峰<sup>[33]</sup>的极端气温指数可以发现,秦岭地区极端气温指数的变化幅度介于天山山脉和珠穆朗玛峰之间,说明经度、纬度和海拔也可能对极端

气温指数的变化产生影响。

秦岭地区极端气温指数的区域性特点还体现在各指数的突变时间上。中国大陆极端气温指数的突变时间主要集中在 20 世纪 80 年代中后期<sup>[24]</sup>,而近 55 a 秦岭地区极端气温指数突变时间主要集中在 20 世纪 90 年代,比我国其他区域偏晚,这也证明了 33°N 左右的秦岭-淮河一线是中国气温突变时间最晚的地带<sup>[34]</sup>。

#### 3.2 结论

(1) 近 55 a 秦岭地区极端气温呈增温趋势,且日最高气温的上升趋势更为显著,日最高(低)气温极高值、日最高(低)气温极低值和气温日较差的升幅分别为 0.14(0.06)、0.38(0.11)、0.08 °C/10 a。极端气温暖指数(夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数、暖持续日数和生物生长季)呈上升趋势,变化率分别为 3.91、1.89、2.59、2.24、1.29、3.15 d/10 a,极端气温冷指数(冰冻日数、霜冻日数、冷昼日数、冷夜日数、冷持续日数)呈下降趋势,变化率分别为 -0.7、-3.01、-1.79、-2.05、-0.45 d/10 a,极端气温暖指数的变化幅度大于冷指数。日最高气温与日最低气温之间、极端气温暖指数与极端气温冷指数之间均表现为非对称性变化。

(2) 除气温日较差外,秦岭地区其他极端气温指数的变化趋势均与全球和全国相同,但大部分极端气温指数的变化幅度比全球和全国偏小。

(3) 在时间转折上,除日最低气温极高值和日最低气温极低值外,秦岭地区其他指数均发生明显突变,主要集中在 20 世纪 90 年代。

(4) 主成分分析结果表明,近 55 a 秦岭地区气候变暖与极端气温指数的变化密切相关,其中夏季日数、热夜日数、暖昼日数、暖夜日数和冷昼日数是秦岭地区气候变暖的主要贡献者。

**致谢:**感谢西北大学城市与环境学院白红英教授及课题组同学在研究过程中提出的建议和给予的帮助。

#### 参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis, the summary for policymakers of the working group I contribution to the fifth assessment report [M]. New York: Cambridge University Press, 2013: 1-13
- [2] 气候变化国家评估报告编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告 [M]. 北京: 科学出版社, 2015: 1-21 [The Editorial



- Committee of China's National Assessment Report on Climate Change [M]. The China's national assessment report on climate change. Beijing: Science Press, 2015:1-21]
- [3] 王琼, 张明军, 王圣杰, 等. 1962—2011 年长江流域极端气温事件分析[J]. 地理学报, 2013, **68**(5): 611-625 [WANG Qiong, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Extreme temperature events in Yangtze River basin during 1962-2011 [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, **68**(5): 611-625]
- [4] ALEXANDER L V, ZHANG X, PETERSON T C, et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation[J]. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, **111**(D5): 1042-1063
- [5] KARL T R, KULDA G, RAZUVAYEV V N, et al. Global warming: evidence for asymmetric diurnal temperature change [J]. Geophysical Research Letters, 1991, **18**: 2253-2256
- [6] EASTERLING D R, MEEHL G A, PARMESAN C, et al. Climate extremes: observations, modeling, and impacts [J]. Science, 2000, **289**(5487): 2068-2074
- [7] TANK A, KONNEN G P. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99 [J]. Journal of Climate, 2003, **16**(22): 3665-3680
- [8] CHOI G, COLLINS D, REN G Y, et al. Changes in means and extreme events of temperature and precipitation in the Asia-Pacific Network Region, 1955-2007 [J]. International Journal of Climatology, 2009, **29**(13): 1906-1925
- [9] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 年温度和降水极端事件变化[J]. 地理学报, 2003, **58**(增): 1-9 [ZHAI Panmao, PAN Xiaohua. Change in extreme temperature and precipitation over northern China during the second half of the 20th century [J]. Acta Geographica Sinica, 2003, **58**(Suppl): 1-9]
- [10] 杜军, 路亚红, 建军. 1961—2010 年西藏极端气温事件的时空变化[J]. 地理学报, 2013, **68**(9): 1269-1280 [DU Jun, LU Hongya, JIAN Jun. Variations of extreme air temperature events over Tibet from 1961 to 2010 [J]. Acta Geographica Sinica, 2013, **68**(9): 1269-1280]
- [11] 杨志刚, 杜军, 林志强. 1961—2012 年西藏色林错流域极端气温事件变化趋势[J]. 生态学报, 2015, **35**(3): 613-621 [YANG Zhigang, DU Jun, LIN Zhiqiang. Extreme air temperature changes in Selin Co basin, Tibet (1961-2012) [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, **35**(3): 613-621]
- [12] 申红艳, 马明亮, 王冀, 等. 青海省极端气温事件的气候变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2012, **34**(6): 1371-1379 [SHEN Hongyan, MA Mingliang, WANG Ji, et al. Variation characteristics of extreme air temperature events in Qinghai Province [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, **34**(6): 1371-1379]
- [13] 李双双, 杨赛霓. 1960—2014 年北京极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2015, **35**(12): 1640-1647 [LI Shuangshuang, YANG Saini. Changes of extreme temperature events in Beijing during 1960 to 2014 [J]. Scientia Geographica Sinica, 2015, **35**(12): 1640-1647]
- [14] 贾文雄. 近 50 年来祁连山及河西走廊极端气温的季节变化特征[J]. 地理科学, 2012, **32**(11): 1377-1383 [JIA Wenxiong. Seasonal characteristics of extreme temperature changes in Qilian Mountains and Hexi Corridor during last fifty Years [J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, **32**(11): 1377-1383]
- [15] 赵培培, 张明军, 王圣杰, 等. 1960—2012 年中国天山山区极端气温的变化特征[J]. 水土保持研究, 2015, **22**(6): 190-197 [ZHAO Peipei, ZHANG Mingjun, WANG Shengjie, et al. Changes of extreme temperature events in the Chinese Tianshan Mountains during the period from 1960 to 2012 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, **22**(6): 190-197]
- [16] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近 40 年气候变化特征[J]. 地理科学, 2007, **27**(4): 499-505 [HE Yunling, ZHANG Yiping, YANG Xiaobo. Climate change in tropical area of Southwestern China since 1950s [J]. Scientia Geographica Sinica, 2007, **27**(4): 499-505]
- [17] 孙风华, 袁健, 关颖. 东北地区最高、最低温度非对称变化的季节演变特征[J]. 地理科学, 2008, **28**(4): 532-536 [SUN Fenghua, YUAN Jian, GUAN Ying. Asymmetric change of maximum and minimum temperature in the Northeast China from 1959-2002 [J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, **28**(4): 532-536]
- [18] 白美兰, 郝润全, 李喜仓, 等. 1961—2010 年内蒙古地区极端气候事件变化特征[J]. 干旱气象, 2014, **32**(2): 189-193 [BAI Meilan, HAO Runquan, LI Xicang, et al. Variable characteristics of extreme climate events during 1961-2010 in Inner Mongolia [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, **32**(2): 189-193]
- [19] 马晓华, 赵景波. 1958—2013 年豫南地区极端气温变化特征及周期分析[J]. 资源科学, 2014, **36**(9): 1825-1833 [MA Xiaohua, ZHAO Jingbo. Analysis on characteristics of extreme temperature change and cycle of Southern Henan from 1958 to 2013 [J]. Resources Science, 2014, **36**(9): 1825-1833]
- [20] 白红英, 马新萍, 高翔, 等. 基于 DEM 的秦岭山地 1 月气温及 0℃等温线变化[J]. 地理学报, 2012, **67**(12): 1443-1450 [BAI Hongying, MA Xinping, GAO Xiang, et al. Variations in January temperature and 0℃ isothermal curve in Qinling Mountains based on DEM [J]. Acta Geographica Sinica, 2012, **67**(12): 1443-1450]
- [21] 冯林林. 秦岭中高山区植被对气候变化时空响应研究[D]. 西安: 西北大学, 2016 [FENG Linlin. Spati-temporal responses of vegetation to climate change in the mid-high altitude region of Qinling Mountains [D]. Xi'an: Northwest University, 2016]
- [22] 高翔. 五十年来秦巴山地气候变化趋势及空间分布研究[D]. 西安: 西北大学, 2011 [GAO Xiang. The research of climate trends and spatial distribution about Qin-Ba mountain in 50 a [D]. Xi'an: Northwest University, 2011]
- [23] 张立伟, 宋春英, 延军平. 秦岭南北年极端气温的时空变化趋势研究[J]. 地理科学, 2011, **31**(8): 1007-2011 [ZHANG Liwei, SONG Chunying, YAN Junping. Spatio-temporal trends of annual

- extreme temperature in Northern and Southern Qinling Mountains [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, **31**(8): 1007–2011]
- [24] 王钊, 彭艳, 魏娜. 近 52a 秦岭南北极端温度变化及其与区域增暖的关系[J]. 干旱气象, 2016, **34**(2): 269–275 [WANG Zhao, PENG Yan, WEI Na. Variation trends of the extreme temperature and its relationship with regional warming in the south and north sides of the Qinling Mountain during 1961–2012 [J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2016, **34**(2): 269–275]
- [25] PETERSON T C, FOLLAND C, GRUZA G, et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998–2001 [J]. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organisation Rep. 2001: 143
- [26] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 43–47 [WEI Fengying. *Modern climatic statistical diagnosis and forecasting technology* [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 43–47]
- [27] 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]
- [28] ZHOU Y, REN G. Change in extreme temperature event frequency over Mainland China during 1961–2008 [J]. *Climate Research*, 2011, **50**(1–2): 125–139
- [29] 周雅清, 任国玉. 中国大陆 1956—2008 年极端气温时间变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2010, **15**(4): 405–417 [ZHOU Yaqing, REN Guoyu. Variation characteristics of extreme temperature indices in mainland China during 1956–2008 [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2010, **15**(4): 405–417]
- [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]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2010, **15**(4): 337–353]
- [31] PEPIN N C, SEIDEL D J. A global comparison of surface and free-air temperatures at high elevations [J]. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2005, **110**(D3): 480–496
- [32] 白红英. 秦巴山区森林植被对环境变化的响应[M]. 北京: 科学出版社, 2014: 100–118 [BAI Hongying, *The response of forest vegetation to environment changes in Qin-Ba mountain* [M]. Beijing: Science Press, 2014: 100–118]
- [33] 杜军, 路红亚, 袁雷, 等. 近 42a 珠穆朗玛峰地区极端气温事件的时空变化[J]. 干旱区研究, 2016, **33**(1): 20–27 [DU Jun, LU Hongya, YUAN Lei, et al. Spatio-temporal change of extreme temperature events in Mt. Qomolangma region of Tibet from 1971 to 2012 [J]. *Arid Zone Research*, 2016, **33**(1): 20–27]
- [34] 卢爱刚, 康世昌, 庞德谦, 等. 全球生温下中国各地气温变化不同步性研究[J]. 干旱区地理, 2009, **32**(4): 506–511 [LU Aigang, KANG Shichang, PANG Deqian, et al. Asynchronous temperature variation across China under the background of global warming [J]. *Arid Land Geography*, 2009, **32**(4): 506–511]

## Variation of Extreme Temperature and Its Impact on Regional Warming in Qinling Mountains During Recent 55 a

ZHANG Yang, BAI Hongying\*, HUANG Xiaoyue, SU Kai

(College of Urban and Environment Science, Northwest University, Xi'an 710127, Shaanxi, China)

**Abstract:** Research on extreme temperature is of great significance to the study of climate change. Based on the data which were daily maximum temperature, the minimum temperature and the mean temperature observed from 31 meteorological stations in Qinling Mountains from 1960 to 2013, sixteen extreme temperature indices were obtained. Linear regression, M-K test and factor loading analysis were used to study the variation of each index, therefore to reveal the variation of extreme temperature and its impact on regional warming. The results showed that: (1) The extreme temperature in Qinling Mountains had increased remarkably in past 55 years and increasing amplitude of daily maximum temperature was more intense than that of daily minimum temperature. The extreme warm indices showed an upward trend, while the extreme cold indices showed a downward trend more importantly, the amplitude of warm indices were relatively larger. (2) The tendency rate of monthly maximum value of daily maximum (minimum) temperature, monthly minimum value of daily maximum (minimum) and diurnal temperature range

were 0.14 (0.06), 0.38 (0.11) and 0.08 °C/10 a, respectively. The occurrence of summer days, tropical nights, warm days, warm nights, warm spell duration days and growing season length showed a significantly increasing trends at the rates of 3.91, 1.89, 2.59, 2.24, 1.29 and 3.15 d/10 a, respectively. while the occurrence of ice days, frost days, cold days, cold nights and cold spell duration days had significantly decreased by -0.7, -3.01, -1.79, -2.05 and -0.45 d/10 a, respectively. (3) The variation trend of extreme temperature indices in Qinling Mountains were as same as the global and the national trends, but the amplitude of them were relatively smaller. The mutation years were mainly concentrated in the 1990 s. (4) In recent 55 years, the climate warming in Qinling Mountains was closely related to the change of extreme temperature indices. Among all the indices, only summer days, tropical nights, warm days, warm nights and cold days were the major contributors to climate warming over the Qinling Mountains.

**Key words:** Qinling Mountains; climate change; extreme temperature; mutation test