

# 1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水时空变化特征及其影响因素

李双双<sup>1,2</sup>, 杨赛霓<sup>1,2</sup>, 刘宪锋<sup>1,3</sup>

(1. 北京师范大学地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 3. 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

**摘 要:** 基于秦岭—淮河南北气象站点逐日降水数据和全国 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 逐月降水格网数据, 选取16个极端降水指数, 辅以趋势分析、Mann-Kendall检验和相关分析等气候诊断方法, 分析了1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水时空变化特征, 探讨了极端降水变化与ENSO事件的关系。结果表明: ①1960-2013年秦岭—淮河南北除长江下游降水呈增加趋势外, 其他区域降水均呈下降趋势; ②极端降水变化主要表现为: 降水日数减少, 降水强度上升, 突发性强降水事件增多, 连续性干旱事件增多; 在空间上, 秦巴山地、长江下游和黄河下游以极端降水强度上升为主, 关中平原、巫山山区和四川盆地以极端干旱强度上升为主; ③在影响因素方面, 秦岭—淮河南北极端降水与ENSO事件关系密切。在厄尔尼诺年, 秦岭—淮河南北春季极端降水偏多, 夏季和全年偏少; 在拉尼娜年, 春季极端降水偏少, 秋季和全年偏多。就各个区域而言, 在厄尔尼诺年, 黄河下游、关中平原、秦巴山地和四川盆地极端降水呈下降趋势, 淮河平原极端降水呈上升趋势, 长江下游和巫山山区响应并不明显。

**关 键 词:** 气候变化; 极端降水; 时空变化; 秦岭—淮河南北

## 1 引言

IPCC第五次评估报告指出, 气候系统变暖依然是毋庸置疑的事实。1951-2012年全球平均地表温度升温速率为 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ , 1980-2012年为工业革命以来最暖的30年(IPCC, 2013; 秦大河, 2014)。在气候变暖背景下, 全球多数区域极端降水呈现增加趋势, 但并未像极端气温具有全球一致性(Donat et al, 2013), 美国、南非和加勒比等区域研究亦发现上述规律(Sen et al, 2013; Monier et al, 2014; Stephenson et al, 2014)。IPCC“管理极端事件和灾害风险推进气候变化适应特别报告(SREX)”指出, 全球气候变化可能导致强降水等极端天气事件增加, 但是由于现阶段科学研究对此缺乏统一认识, 其结论可信度为中等(IPCC, 2012)。

近年来, 中国学者针对不同流域(李斌等,

2011; Du et al, 2014; Zhang et al, 2014; Zhao et al, 2014)、不同省域(Huang et al, 2014; Li et al, 2014; 慈晖等, 2014; 董旭光等, 2014)以及不同自然区域(Cao et al, 2014; Liu et al, 2014; 任正果等, 2014)的极端降水事件进行了探索性研究, 提高了对中国极端降水变化的认识。在已有研究中, 针对秦岭—淮河南北为整体的研究相对较少, 缺乏不同区域之间的综合对比研究, 多数研究关注点为区域内部关键流域或典型城市; 研究要素以气温、降水和径流等常规水文气象要素为主, 对极端降水事件关注相对较少(马建华等, 2004; 周旗等, 2011; 白红英等, 2012; 李双双等, 2012; 苏坤慧等, 2012; 蒋冲等, 2013)。秦岭—淮河南北位于中国东部季风区, 是中国重要的地理生态分界线, 生态环境脆弱, 是气候变化的敏感区, 也是南水北调中线水源区和中国最大连片贫困区, 区域环境和发展对中国当代和未

收稿日期: 2014-11; 修订日期: 2015-01。

基金项目: 地表过程模型与模拟创新研究群体科学基金项目(41321001); 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955402)。

作者简介: 李双双(1988-), 男, 陕西潼关人, 博士生, 主要研究方向为全球变化与区域灾害防治, E-mail: lss40609010@126.com。

通讯作者: 杨赛霓(1975-), 女, 江苏武进人, 副教授, 主要研究方向为交通应急与风险管理, E-mail: yangsaini@bnu.edu.cn。

引用格式: 李双双, 杨赛霓, 刘宪锋. 2015. 1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水时空变化特征及其影响因素[J]. 地理科学进展, 34(3): 354-363. [Li S S, Yang S N, Liu X F. 2015. Spatiotemporal variability of extreme precipitation in north and south of the Qinling-Huaihe region and influencing factors during 1960-2013[J]. Progress in Geography, 34(3): 354-363.]. DOI: 10.11820/dlkxjz.2015.03.010

来环境和发展具有重要的意义(延军平等, 2001)。

在极端降水变化原因上, ENSO 事件年际变化是引起中国降水异常的重要驱动因子。在厄尔尼诺发生次年夏季, 菲律宾附近对流活跃, 西北太平洋副热带高压偏北偏强, 长江流域和江南北部降水偏多, 江淮流域降水偏少(金祖辉等, 1999; 陈丽娟等, 2013)。但是, 东亚夏季风和 ENSO 之间的关系存在不稳定性, 这种不稳定性也是造成中国气候的季节—年际预测困难的主要因素之一(王会军等, 2013)。因此, 在区域尺度有针对性评估秦岭—淮南北极降水事件变化趋势, 验证 ENSO 事件与极端降水事件的关系, 对科学适应和应对气候变化具有重要的现实意义。基于此, 本文在前期研究基础上, 利用全国  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  逐月降水格网数据和秦岭—淮南北 135 个气象站点逐日实测数据, 选取 16 个极端降水指数, 辅以趋势分析、Mann-Kendall 检验及相关分析等气候诊断方法, 对近 54 年秦岭—淮南北极降水变化时空变化特征进行分析, 探讨 ENSO 事件与极端降水变化的关系, 以期为区域重大工程建设及政府应对极端气候变化决策提供参考。

2 研究区概况

秦岭—淮南北作为中国东部南北地理生态分界线, 范围介于  $103.0^{\circ} \sim 116.5^{\circ} \text{E}$ 、 $23.5^{\circ} \sim 35.8^{\circ} \text{N}$ 。以秦岭—淮河为界, 北部为暖温带, 南部为北亚热

带, 位置与 1 月  $0^{\circ} \text{C}$  等温线、800 mm 等降水量线和 2000 h 日照时数等值线一致; 为了比较不同地理单元极端降水变化特征, 以丁一汇等(2013)中国气候区划方案为依据, 将秦岭—淮河以北地区分为两个子区域: 关中平原(I)和黄河下游(II); 秦岭—淮河以南地区分为 5 个子区域: 秦巴山地(III)、淮河平原(IV)、四川盆地(V)、巫山山区(VI)和长江下游(VII), 空间分布如图 1 所示。

3 数据来源与研究方法

本文逐日降水站点数据和逐月降水格网数据均来源于中国气象科学数据共享服务网(<http://www.cdc.cma.gov.cn>), 以站点数据分析极端降水变化趋势特征, 以格网数据分析极端降水与 ENSO 事件的响应关系。其中, 中国地面降水月值  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  格点数据集(V2.0)由国家气象信息中心气象资料实验室建立, 该数据集基于中国 2474 个国家级地面气象站月降水量观测数据, 并利用 ANUSPLIN 软件的薄盘样条法和  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  的数字高程模型插值, 尽可能消除高程因素对降水空间分布的影响。厄尔尼诺指数(ONI)来源于美国国家航空航天局(<http://www.swpc.noaa.gov>), 并参照国家气候中心 ENSO 事件特征量综合表对厄尔尼诺和拉尼娜峰值年进行界定; 季节划分采用气象学标准: 春季为 3-5 月, 夏季 6-8 月, 秋季 9-11 月, 冬季为 12 月-次年 2 月。

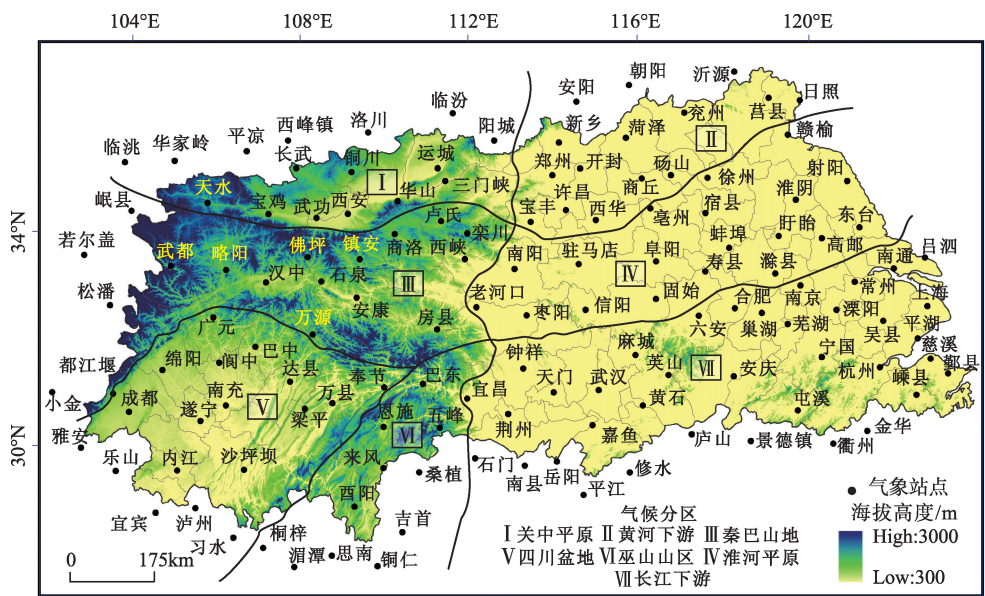


图1 研究区气候区划及气象站点分布图  
Fig.1 Climate regionalization and distribution of meteorological stations in the study area

极端降水指数定义是基于世界气象组织(WMO)气候委员会(CCI)、全球气候研究计划(WCRP)气候变化和可预测性计划(CLIVAR)气候变化检测、监测和指标专家组(ETCCDMI)确定的“气候变化检测和指标(Expert Team on Climate Change Detection and Indices)”,该方法已被广泛应用于极端气候事件研究中。本文定义16个极端降水指标,包括四大类:相对指数、绝对指数、强度指数和持续性指数(表1)。

由于线性回归要求时间序列符合正态分布,且易受异常值干扰,Sen趋势度逐渐被引入气候趋势变化分析(Sen, 1968)。Sen+Mann-Kendall趋势度通过计算气候要素序列中值进行趋势分析,并结合Mann-Kendall方法对趋势变化进行显著性检验,可以在一定程度上提高气候变化趋势判断的准确性。Sen趋势度计算公式为:

$$\beta = \text{mean} \left( \frac{x_j - x_i}{j - i} \right), \forall j > i$$

式中:  $\beta$  为极端降水序列的Sen趋势度,  $x_i, x_j$  为极端降水序列,  $i, j$  分别为极端降水序列年份。若  $\beta$  值为正,表示极端降水指数呈增加趋势;  $\beta$  值为负,则表示极端降水指数呈下降趋势。

4 结果分析

4.1 秦岭—淮河流域降水变化背景

1960-2013年,秦岭—淮河流域降水空间格局

呈现出“南多北少、东多西少”特征,秦岭—淮河以南年降水量分别为:秦巴山地(819.1 mm)<淮河平原(934.0 mm)<四川盆地(1068.0 mm)<长江下游(1237.5 mm)<巫山山区(1319.6 mm);秦岭—淮河以北年降水量分别为:关中平原(602.1 mm)<黄河下游(693.7 mm);在长期变化趋势上,长江下游地区降水呈增加的趋势,上升速率为15.7 mm/10 a,秦巴山地(-5.8 mm/10 a)、淮河平原(-8.0 mm/10 a)、关中平原(-16.0 mm/10 a)、黄河下游(-6.1 mm/10 a)、巫山山区(-28.1 mm/10 a)、四川盆地(-15.3 mm/10 a)降水均呈下降趋势(图2)。从降水年代变化特征看,20世纪70年代末,由于东亚夏季风偏弱,中国东部雨型由“北涝南旱”转为“南涝北旱”,黄河下游持续干旱和长江下游频发洪水均与此气候变化背景有关;2000年后东部雨带有北移趋势,黄河下游和淮河平原降水相对于前期呈增加趋势,长江下游降水则持续偏低(王艳姣等, 2014)。

4.2 秦岭—淮河流域极端降水时空变化特征

(1) 持续性指标。1960-2013年,秦岭—淮河流域53.0%站点连续无雨日数(CDD)呈上升趋势,整体上升速率为0.5 d/10 a,远高于黄淮海流域变化速率0.05 d/10 a (Zhang et al, 2014)。在空间上,秦巴山地所有站点均呈上升趋势,黄河下游和四川盆地呈上升趋势站点比例分别为66.7%和50.0%,长江下游(85.7%)、关中平原(66.7%)和巫山山区(60.0%)CDD呈下降趋势站点比重均超过50.0%;81.0%站

表1 16个极端降水指数定义  
Tab.1 Definition of the 16 extreme precipitation indices

指标类型	极端降水指数	英文缩写	定义
绝对指标	雨日数	RD	年内日降水日数/d
	痕雨日数	Rr1	年内日降水量≥1 mm 日数/d
	小雨日数	Rr5	年内日降水量≥5 mm 日数/d
	中雨日数	Rr10	年内日降水量≥10 mm 日数/d
	大雨日数	Rr25	年内日降水量≥25 mm 日数/d
强度指标	1日最大降水量	Rx1day	月内1日降水量最大值/mm
	5日最大降水量	Rx5day	月内连续5日降水量最大值/mm
	年降水强度	SDII	年内降水量与日降水量≥1 mm 日数之比/(mm/d)
相对指标	异常降水日数	R95	年内日降水量高于95%阈值日数之和/d
	极端降水日数	R99	年内日降水量高于99%阈值日数之和/d
	异常降水总量	R95P	年内日降水量高于95%阈值降水量之和/mm
	极端降水总量	R99P	年内日降水量高于99%阈值降水量之和/mm
持续性指标	连续无雨日数	CDD	年内日降水量连续<1 mm 日数最大值/d
	连续降水日数	CWD	年内日降水量连续≥1 mm 日数最大值/d
	年降水量	PRCPTOT	年内日降水量≥1 mm 降水量之和/mm
	生长季降水量	GPRCP	年内4-9月(生长季)降水量之和/mm



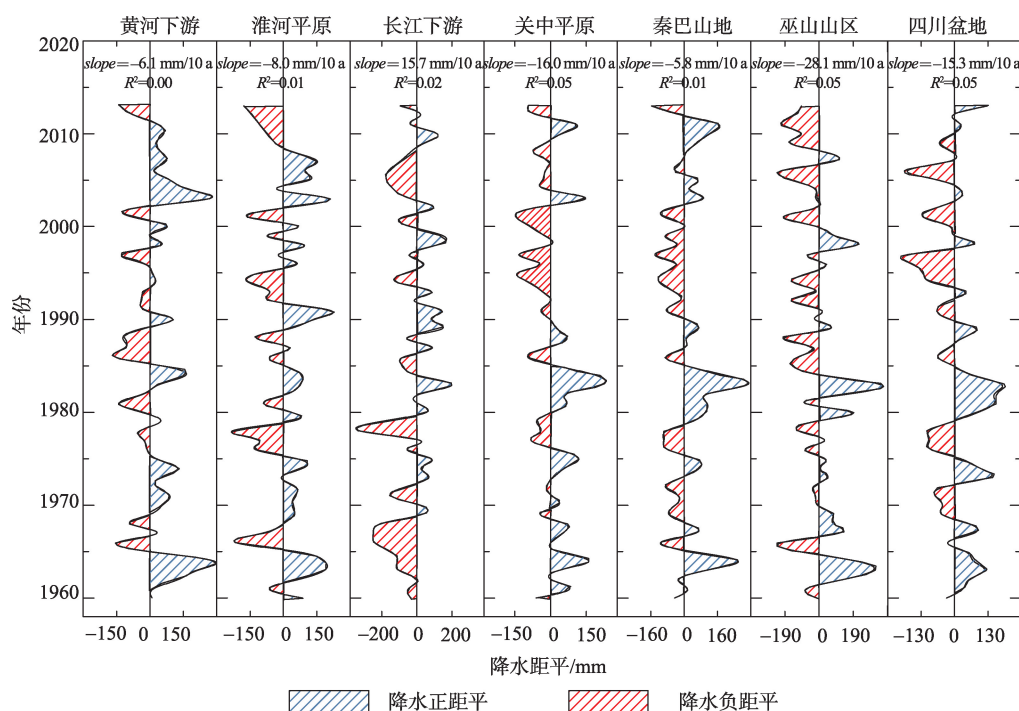


图2 1960-2013年秦岭—淮河南极降水变化特征

(图中蓝色阴影为降水偏多期,红色阴影为降水偏少期,降水距平时段为1971-2000年)

Fig.2 Variation of precipitation in north and south of the Qinling-Huaihe region, 1960-2013

(The blue shaded area shows positive precipitation anomaly; the red shaded area shows negative precipitation anomaly; the baseline period of precipitation is 1971-2000)

点连续降水日数(CWD)呈下降趋势,整体下降速率为0.2 d/10 a,高于黄淮海流域0.1 d/10 a(Zhang et al, 2014),但低于中国南方地区0.5 d/10 a的下降速率(任正果等, 2014)。空间上,除长江下游、黄河下游和淮河平原部分站点呈上升趋势外,其他各区均呈下降趋势;59.0%站点生长季降水(GPRCP)呈下降趋势(-7.8 mm/10 a),其中巫山山区所有站点均呈下降趋势,长江下游(75.0%)和秦巴山地(53.8%)GPRCP呈现上升趋势。可以看出,秦岭—淮河南北持续性降水日数在下降,持续性干旱日数在增加,生长季降水以下降趋势为主,区域面临干旱风险逐渐增大(图3,表2)。

(2) 强度指数。在1日最大降水量(Rx1day)变化趋势上,秦岭—淮河南北有67.0%站点呈上升趋势,整体上升速率为0.6 mm/10 a,与黄淮海流域-0.6 mm/10 a下降趋势形成鲜明对比(Zhang et al, 2014),而且上升区集中于长江下游、秦巴山地和四川盆地;连续5日最大降水量(Rx5day)有54.0%站点呈上升趋势,整体上升速率为0.2 mm/10 a,低于南方地区1.7 mm/10 a上升速率(任正果等, 2014),高于黄淮海流域1.9 mm/10 a的下降趋势(Zhang et al, 2014)。就降水强度(SDII)而言,秦岭—淮河南北

有74.0%站点呈上升趋势,长江下游和秦巴山地降水强度增加趋势尤为明显,上升趋势站点比重分别为92.9%和92.3%(图3,表2)。

(3) 绝对指数。1960-2013年,秦岭—淮河南北除大雨日数(Rr25)无明显变化趋势外,绝对指数整体呈下降趋势,下降速率分别为:Rr10(-0.3 d/10 a) < Rr5(-0.7 d/10 a) < Rr1(-1.4 d/10 a) < RD(-8.0 d/10 a),雨日(RD)、痕雨日数(Rr1)和小雨日数(Rr5)变化趋势通过0.05显著水平检验。在空间上,相对于东部平原区降水日数呈零散上升趋势,西部山区则整体呈现下降趋势,其中关中平原、巫山山区和四川盆地所有站点均呈下降趋势(图3,表2)。

(4) 相对指数。在异常降水日数(R95)变化趋势上,秦岭—淮河南北有59.0%站点呈下降趋势,下降速率为0.3 d/10 a;极端降水日数(R99)则有63.0%站点呈上升趋势,但其变化趋势并不显著;异常降水总量(R95P)有45.0%的站点呈下降趋势,下降速率为-4.3 mm/10 a,极端降水总量(R99P)有72.0%站点呈上升趋势,上升速率为2.2 mm/10 a。在空间上,极端降水上升区主要集中于长江下游和秦巴山地,极端降水下降区主要集中于关中平原和巫山山区(图3,表2)。



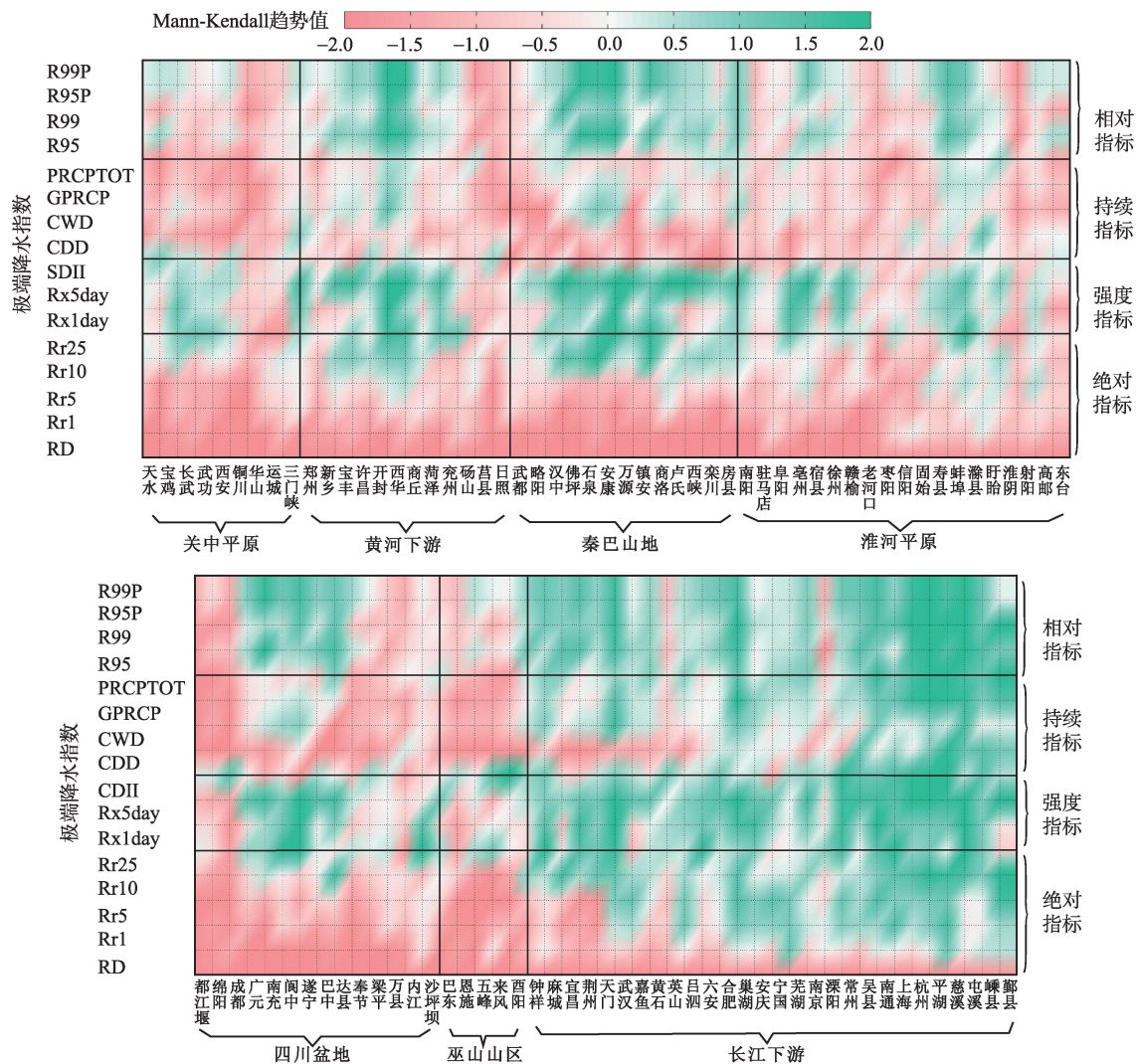


图3 秦岭—淮河南北极端降水变化时空分布特征  
(为了统一图中颜色指示意义,将连续无雨日数(CDD)变化趋势取反向,图中红色渲染表示极端降水指标呈下降趋势,区域趋于干旱;绿色渲染表示极端指标呈上升趋势,区域趋于湿润)

Fig.3 Spatiotemporal variation of extreme precipitation in north and south of the Qinling-Huaihe region  
(In order to use a consistent color scheme, the trend of CDD was multiplied by -1; red color indicates a decreeing trend of extreme precipitation index values; green color indicates a increasing trend of extreme precipitation index values)

表2 1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水变化趋势及其站点比重  
Tab.2 Trend of extreme precipitation and proportion of stations that showed the same trend in north and south of the Qingling-Huaihe region, 1960-2013

极端降水指标		变化趋势	站点比重/%	极端降水指标		变化趋势	站点比重/%
相对指标	R99P	2.2 mm/10 a	72.0 ↑	强度指标	SDII	0.1 mm/d	74.0 ↑
	R95P	-4.3 mm/10 a	45.0 ↓		Rx5day	0.2 mm/10 a	54.0 ↑
	R99	0.0 d/10 a	63.0 ↑		Rx1day	0.6 mm/10 a	67.0 ↑
	R95	-0.3 d/10 a	59.0 ↓				
绝对指标	Rr25	0.0 d/10 a	57.0 ↑	持续性指标	PRCPTOT	-7.7 mm/10 a	64.0 ↓
	Rr10	-0.3 d/10 a	70.0 ↓		GPRCP	-7.8 d/10 a	59.0 ↓
	Rr5	-0.7 d/10 a*	80.0 ↓		CWD	-0.2 d/10 a*	81.0 ↓
	Rr1	-1.4 d/10 a**	88.0 ↓		CDD	0.5 d/10 a	53.0 ↑
	RD	-8.0 d/10 a**	100.0 ↓				

注: \*、\*\*分别为通过0.10、0.05的显著性水平检验,下同; ↑表示增加, ↓表示降低。

4.3 ENSO事件对秦岭—淮河南北极端降水变化的影响

表3为1960-2013年秦岭—淮河南北各区极端降水指标与ENSO相关性分析。从表中可以看出,①秦岭—淮河南北7个分区140个极端指标中,有100个指标与厄尔尼诺指数(ONI)呈负相关,40个指标呈正相关,极端降水指标以负相关为主。当发生厄尔尼诺事件时,秦岭—淮河南北降水普遍偏少,降水强度和持续时间呈下降趋势,拉尼娜事件与之相反;②不同区域极端降水指标对ENSO事件响应具有差异,关中平原和秦巴山区相关性显著性高于其他区域。③不同极端降水指标对ENSO的响应存在一致性,除绝对指标正负相关区大致相当外,相对指标、强度指标、持续性指标和季节指标均以负相关为主;④结合显著性检验结果,就各个区域而言,当发生厄尔尼诺时,黄河下游、关中平原、秦巴山地和四川盆地分别有17、19、19、18项极端降水指标呈下降趋势,淮河平原有16项极端降水指标呈上升趋势,而长江下游和巫山山区极端降水响应并

无明显差异。

相关分析主要表达ENSO与降水线性关系,往往会低估其非线性信息,利用合成分析进一步揭示秦岭—淮河南北降水对ENSO变化的响应特征。由于极端降水指标相对较多,受文章篇幅限制,无法逐一展示各个极端指标与ENSO年代变化。通过构建极端指数相关矩阵,发现年降水量具有很好的代表性,除连续无雨日数(CDD)、秋季、冬季降水相关性较低外,年降水变化与其他极端降水指标均高度相关( $P<0.001$ ),年降水量可作为典型指标,较好地反映多数极端降水指标变化特征。

依据国家气候中心ENSO事件特征量综合表,1960-2013年厄尔尼诺峰值年有:1963、1965、1969、1972、1982、1983、1987、1992、1994、1997、2002、2006和2009;拉尼娜峰值年有:1961、1962、1964、1967、1970、1975、1984、1988、1995、2000、2007、2010和2011年。以1971-2000年降水量作为气候平均态,分别统计厄尔尼诺和拉尼娜峰值年四季和年降水正距平栅格数(表4)。可以看出,在厄尔尼诺

表3 1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水与ENSO相关性分析

Tab.3 Correlation coefficients between extreme precipitation indices and ENSO in north and south of the Qingling-Huaihe region, 1960-2013

类别	指标	黄河下游	淮河平原	长江下游	关中平原	秦巴山地	巫山山区	四川盆地	正相关区	负相关区
绝对 指标	RD	-0.02	0.06	0.09	-0.10	-0.15	0.11	-0.08	3	4
	Rr1	-0.06	0.02	0.06	-0.29**	-0.27**	-0.01	-0.27**	2	5
	Rr5	-0.09	0.00	0.08	-0.25*	-0.18	0.01	-0.24*	3	4
	Rr10	-0.16	0.02	0.09	-0.31**	-0.21	0.05	-0.13	3	4
	Rr25	-0.20	0.06	-0.06	-0.36**	-0.28**	-0.06	-0.15	1	6
强度 指标	Rx1day	-0.31**	0.14	-0.12	-0.08	-0.07	0.05	-0.06	2	5
	Rx5day	-0.30**	0.16	-0.04	-0.23*	-0.20	0.03	-0.10	2	5
	SDII	-0.26*	0.09	-0.05	-0.18	-0.18	-0.02	0.00	1	6
相对 指标	R75	-0.14	0.00	-0.02	-0.35**	-0.20	-0.04	-0.19	0	7
	R95	-0.20	0.13	-0.16	-0.27**	-0.28**	-0.03	-0.14	1	6
	R95P	-0.22	0.06	-0.06	-0.37**	-0.23*	-0.03	-0.19	1	6
	R99P	-0.28**	0.14	-0.17	-0.24*	-0.23*	0.02	-0.12	2	5
	CDD	0.02	-0.03	0.07	-0.06	-0.06	-0.10	0.09	3	4
持续 指标	CWD	0.03	-0.03	0.13	-0.21	-0.30**	-0.09	-0.29**	2	5
	年降水	-0.22	0.03	-0.07	-0.26*	-0.20	0.00	-0.24*	1	6
	GPRCP	-0.22	0.06	-0.02	-0.34**	-0.24*	0.01	-0.21	2	5
	春季	0.14	0.17	0.17	0.05	-0.12	0.05	0.01	6	1
季节 指标	夏季	-0.19	0.11	0.00	-0.12	-0.04	-0.04	-0.17	1	6
	秋季	-0.13	-0.23*	-0.16	-0.31**	-0.23*	-0.22	-0.17	0	7
	冬季	-0.14	0.01	0.03	-0.27**	0.15	0.12	-0.09	4	3
正相关指标数		3	16	8	1	1	9	2	40	-
负相关指标数		17	4	12	19	19	11	18	-	100

表4 秦岭—淮南北厄尔尼诺和拉尼娜峰值年  
降水异常偏多面积对比/%

Tab.4 Comparison of the spatial coverage of positive  
precipitation anomaly between El Niño and La Niña years  
in north and south of the Qingling-Huaihe region/%

降水偏多栅格比重	春季	夏季	秋季	冬季	全年
厄尔尼诺年	66.3	28.3	38.2	54.3	36.7
拉尼娜年	16.6	57.8	87.6	36.0	64.0
厄尔尼诺年—拉尼娜年	82.6	36.2	85.9	55.8	33.7

峰值年,秦岭—淮南北春季降水偏多,夏季降水明显偏少,秋季降水偏少,冬季降水微弱增加,全年以降水偏少为主;在拉尼娜峰值年,秦岭—淮南北春季降水偏少,夏季降水微弱增加,秋季偏多,冬季降水偏少,全年以降水偏多为主。

为了更清楚展示 ENSO 事件对秦岭—淮南北降水影响的空间特征,以厄尔尼诺峰值年降水减去拉尼娜年,绘制中国厄尔尼诺峰值年降水异常分布图(图4)。从图4可更清楚看出:在厄尔尼诺峰值

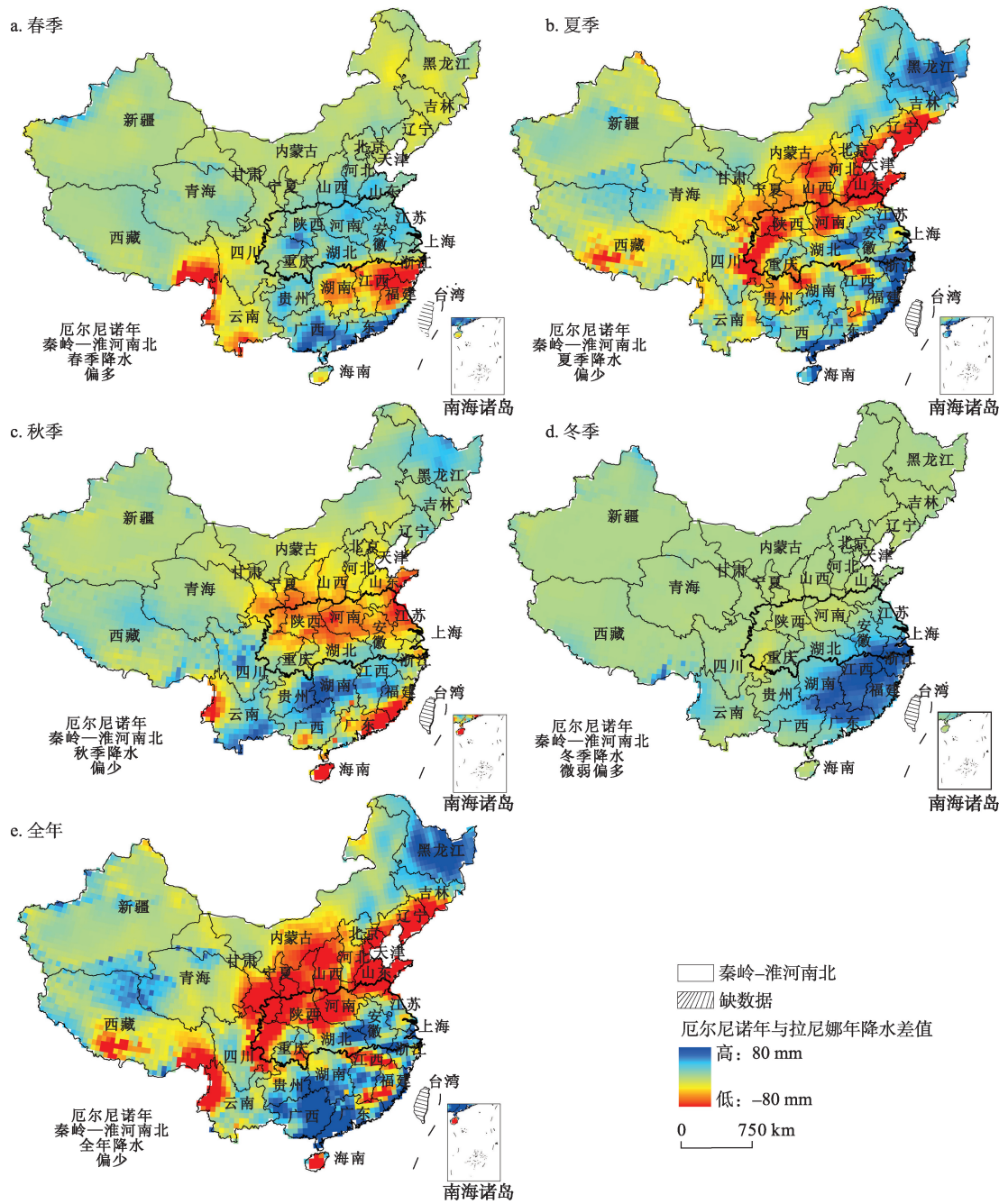


图4 1960-2013年中国厄尔尼诺年四季和全年降水异常空间分布图

Fig.4 Spatial pattern of seasonal and annual precipitation anomalies in El Niño years in China, 1960-2013



年,秦岭—淮河南北春季降水偏多,夏季、秋季,冬季降水微弱偏多。其中,全年和夏季降水偏多的区域主要分布四川盆地东部和长江下游。

## 5 结论

基于秦岭—淮河南北逐日站点降水数据以及全国 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ 逐月降水格网数据,选取16项极端降水指标,本文分析了1960-2013年秦岭—淮河南北极端降水变化时空变化特征,探讨了ENSO事件与极端降水变化的关系,得到初步结论如下:

(1) 在降水时空变化特征上,1960-2013年秦岭—淮河南北降水空间格局呈现出“南多北少、东多西少”特征,在长期变化趋势上,黄河下游和长江下游降水呈增加趋势,秦巴山地、淮河平原、关中平原、巫山山区和四川盆地呈下降趋势。20世纪70年代末,由于东亚夏季风偏弱,黄河下游和淮河平原持续干旱、长江下游降水增多;2000年后中国东部雨带有北移趋势,黄河下游、秦巴山地和淮河平原降水相对于前期呈增加趋势,长江下游降水则持续偏低。

(2) 在极端降水变化特征上,1960-2013年秦岭—淮河南北绝对指标整体均呈下降趋势,降水等级越低,下降趋势越显著;强度指标以上升趋势为主,东部平原区极端降水强度高于西部山地区;在持续性指标中,持续性降水(CWD)以下降趋势为主,连续无雨日数(CDD)呈上升趋势;亦即秦岭—淮河南北降水变化更加极端,弱降水日数下降,强降水日数上升,突发性强降水事件增多,连续性干旱事件亦在增多;在空间上,秦巴山地、长江下游和黄河下游为极端降水强度上升,关中平原、巫山山区和四川盆地为极端干旱强度上升。

(3) 在极端降水影响因素上,秦岭—淮河南北极端降水与ENSO关系密切。当发生厄尔尼诺事件时,秦岭—淮河南北降水普遍偏少,降水强度和持续性均呈现下降趋势,拉尼娜事件与之相反。就不同季节而言,在厄尔尼诺峰值年,秦岭—淮河南北春季降水偏多,夏季和秋季降水异常偏少,冬季降水小幅增加;在拉尼娜峰值年,秦岭—淮河南北春季降水异常偏少,秋季降水异常偏多,夏季小幅增加,冬季降水偏少。就不同区域而言,在厄尔尼诺年,黄河下游、关中平原、秦巴山地和四川盆地极端降水呈下降趋势,淮河平原极端降水呈上升趋势,长江下游和巫山山区响应并不明显。

## 参考文献(References)

- 白红英, 马新萍, 高翔, 等. 2012. 基于DEM的秦岭山地1月气温及 $0^{\circ}\text{C}$ 等温线变化[J]. 地理学报, 67(11): 1443-1450. [Bai H Y, Ma X P, Gao X, et al. 2012. Variations in January temperature and  $0^{\circ}\text{C}$  isothermal curve in Qinling Mountains based on DEM[J]. Acta Geographica Sinica, 67(11): 1443-1450.]
- 陈丽娟, 袁媛, 杨明珠, 等. 2013. 海温异常对东亚夏季风影响机理的研究进展[J]. 应用气象学报, 24(5): 521-532. [Chen L J, Yuan Y, Yang M Z, et al. 2013. A review of physical mechanisms of the global SSTa impact on EASM[J]. Journal of Applied Meteorological Science, 24(5): 521-532.]
- 慈晖, 张强, 张江辉, 等. 2014. 1961-2010年新疆极端降水过程时空特征[J]. 地理研究, 33(10): 1881-1891. [Ci H, Zhang Q, Zhang J H, et al. 2014. Spatiotemporal variations of extreme precipitation events within Xinjiang during 1961-2010[J]. Geographical Research, 33(10): 1881-1891.]
- 丁一汇, 王绍武, 郑景云, 等. 2013. 中国气候[M]. 北京: 科学出版社. [Ding Y H, Wang S W, Zheng J Y, et al. 2013. Climate in China[M]. Beijing, China: Science Press.]
- 董旭光, 顾伟宗, 孟祥新, 等. 2014. 山东省近50年来降水事件变化特征[J]. 地理学报, 69(5): 661-671. [Dong X G, Gu W Z, Meng X X, et al. 2014. Change features of precipitation events in Shandong Province from 1961 to 2010[J]. Acta Geographica Sinica, 69(5): 661-671.]
- 金祖辉, 陶诗言. 1999. ENSO循环与中国东部地区夏季和冬季降水关系的研究[J]. 大气科学, 23(6): 663-672. [Jin Z H, Tao S Y. 1999. A study on the relationships between ENSO cycle and rainfalls during summer and winter in eastern China[J]. Chinese Journal of Atmospheric Science, 23(6): 663-672.]
- 蒋冲, 朱枫, 杨陈, 等. 2013. 秦岭南北地区光合有效辐射时空变化及突变特征[J]. 地理科学进展, 32(3): 435-446. [Jiang C, Zhu F, Yang C, et al. Distribution and change of photosynthetically active radiation (PAR) in the northern and southern regions of Qinling Mountains, China[J]. Progress in Geography, 32(3): 435-446.]
- 李斌, 李丽娟, 李海滨, 等. 2011. 1960-2005年澜沧江流域极端降水变化特征[J]. 地理科学进展, 30(3): 290-298. [Li B, Li L J, Li H B, et al. 2011. Changes in precipitation extremes in Lancang River Basin during 1960-2005[J]. Progress in Geography, 30(3): 290-298.]
- 李双双, 延军平, 万佳. 2012. 全球气候变化下秦岭南北气温变化特征[J]. 地理科学, 32(7): 853-858. [Li S S, Yan J P, Wan J. 2012. The characteristics of temperature change in Qinling Mountains[J]. Scientia Geographica Sinica, 32(7): 853-858.]

- 马建华, 千怀遂, 管华, 等. 2004. 秦岭—黄淮平原交界带自然地理若干特征分析[J]. 地理科学, 24(6): 666-673.
- [Ma J H, Qian H S, Guan H, et al. 2004. Some features of physical geography in transitional region between Qinling Mountains and Huanghuai Plain[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 24(6): 666-673.]
- 秦大河. 2014. 气候变化科学与人类可持续发展[J]. 地理科学进展, 33(7): 874-883. [Qin D H. 2014. Climate change science and sustainable development[J]. *Progress in Geography*, 33(7): 874-883.]
- 任正果, 张明军, 王圣杰, 等. 2014. 1961-2011年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报, 69(5): 640-649. [Ren Z G, Zhang M J, Wang S J, et al. 2014. Changes in precipitation extremes in south China during 1961-2011[J]. *Acta Geographica Sinica*, 69(5): 640-649.]
- 苏坤慧, 延军平, 白晶, 等. 2012. 河南省境内淮南北气候变化的小麦适应性比较[J]. 地理科学进展, 31(1): 63-71. [Su K H, Yan J P, Bai J, et al. 2012. Comparative studies on degree of adaption of wheat under climate change between areas south and north of Huaihe River in Henan Province[J]. *Progress in Geography*, 31(1): 63-71.]
- 王会军, 范可. 2013. 东亚季风近几十年来的主要变化特征[J]. 大气科学, 37(2): 313-318. [Wang H J, Fan K. 2013. Recent changes in the East Asian monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 37(2): 313-318.]
- 王艳皎, 闫峰. 2014. 1960-2010年中国降水区域分异及年代际变化特征[J]. 地理科学进展, 33(10): 1354-1363. [Wang Y J, Yan F. 2014. Regional differentiation and decadal change of precipitation in China in 1960-2010[J]. *Progress in Geography*, 33(10): 1354-1363.]
- 延军平, 郑宇. 2001. 秦岭南北地区环境变化响应比较研究[J]. 地理研究, 20(5): 576-582. [Yan J P, Zheng Y. 2001. A comparative study on environmental change response over the northern and the southern regions of the Qinling Mountains[J]. *Geographical Research*, 20(5): 576-582.]
- 周旗, 卞娟娟, 郑景云. 2011. 秦岭南北1951-2009年的气温与热量资源变化[J]. 地理学报, 66(9): 1211-1218. [Zhou Q, Bian J J, Zheng J Y. 2011. Variation of air temperature and thermal resources in the northern and southern regions of the Qinling Mountains from 1951 to 2009[J]. *Acta Geographica Sinica*, 66(9): 1211-1218.]
- Cao L G, Pan S M. 2014. Changes in precipitation extremes over the "Three-River Headwaters" region, hinterland of the Tibetan Plateau, during 1960-2012[J]. *Quaternary International*, 321: 105-115.
- Donat M G, Alexander L V, Yang H. 2013. Global land-based datasets for monitoring climatic extremes[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(7): 997-1006.
- Du H, Xia J, Zeng S D. 2014. Regional frequency analysis of extreme precipitation and its spatial-temporal characteristics in the Huai River Basin, China[J]. *Natural Hazards*, 70(1): 195-215.
- Huang J, Sun S L, Xue Y, et al. 2014. Spatial and temporal variability of precipitation indices during 1961-2010 in Hunan Province, central south China[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 118(3): 581-595.
- IPCC. 2012. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation (SREX) [R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- IPCC. 2013. Climate change 2013: the physical science basis: the summary for policymakers of the working group I contribution to the fifth assessment report[R]. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Li Y G, He D M, Hu J M, et al. 2014. Variability of extreme precipitation over Yunnan Province, China 1960-2012[J]. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.3977.
- Liu M X, Xu X L, Sun A Y, et al. 2014. Is Southwestern China experiencing more frequent precipitation extremes[J]. *Environmental Research Letters*, 9(6): 1-14.
- Monier E, Gao X. 2014. Climate change impacts on extreme events in the United States: an uncertainty analysis[J]. *Climatic Change*, doi: 10.1007/s10584-013-1048-1.
- Sen R S, Rouault M. 2013. Spatial patterns of seasonal scale trends in extreme hourly precipitation in South Africa[J]. *Applied Geography*, 39: 151-157.
- Sen P K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau[J]. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- Stephenson T S, Vincent L A, Allen T, et al. 2014. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961-2010[J]. *International Journal of Climatology*, 34(9): 2957-2971.
- Zhang D D, Yan D H, Wang Y C, et al. 2014. Changes in extreme precipitation in the Huang-Huai-Hai River Basin of China during 1960-2010[J]. *Theoretical and Applied Climatology*, doi: 10.1007/s00704-014-1159-2.
- Zhao Y F, Zou X Q, Cao L G, et al. 2014. Changes in precipitation extremes over the Pearl River Basin, Southern China during 1960-2012[J]. *Quaternary International*, 333: 26-39.

## Spatiotemporal variability of extreme precipitation in north and south of the Qinling–Huaihe region and influencing factors during 1960–2013

LI Shuangshuang<sup>1,2</sup>, YANG Saini<sup>1,2</sup>, LIU Xianfeng<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. College of Resource Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract:** Based on the monthly precipitation of a  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  grid dataset and the daily precipitation observations of 135 meteorological stations released by the National Meteorological Information Center of China, this study analyzed the spatiotemporal variation of extreme precipitation in north and south of the Qinling-Huaihe region during 1960-2013, using the methods of trend analysis, Sen+Mann-Kendall model, and correlation analysis. More specifically, we analyzed the relationship between ENSO and the observed extreme precipitation. The results are as follows: (1) the precipitation showed an increasing trend in the lower reach of the Yangtze River and a decreasing tendency in the other regions; (2) extreme precipitation analysis indicates a declining trend in rainy days and an increasing trend in precipitation intensity. The number of continuous drought events increased. Spatially, the regions with increasing intensity of extreme precipitation were mainly distributed in the Qinling-Bashan Mountains and the lower reaches of the Yangtze River and Yellow River, whereas there were more drought events in the Guanzhong Plain, Wushan Mountains, and Sichuan Basin; (3) Extreme precipitation had a close relationship with ENSO in the study region. In El Niño years, more precipitation was found in the spring but there was less precipitation in the summer and the whole year. In La Niña years, there was less precipitation in the spring and more precipitation in the autumn and the whole year. The responses of extreme precipitation events to El Niño exhibited spatial differences. Most of the regions with decreasing extreme precipitation in El Niño years were distributed in the lower reach of the Yellow River, the Guanzhong Plain and Qinling-Bashan Mountains, as well as the Sichuan Basin, while the region with increasing extreme precipitation was the Huaihe Plain. The lower reach of the Yangtze River and the Wushan Mountains showed no clear response to ENSO.

**Key words:** climate change; extreme precipitation; spatiotemporal change; north and south of the Qinling - Huaihe region