

近 50 年来山东省极端降水指数变化特征分析

李胜利^{1,2}, 巩在武¹, 石振彬³

(1. 南京信息工程大学 公共管理学院, 南京 210044; 2. 济南市气象局, 济南 250102; 3. 山东省气象局, 济南 250031)

摘 要:利用山东省 117 个气象站 1961—2013 年逐日降水观测数据, 根据选取的 9 个极端降水指数, 分析了区域内各极端降水指数的时间变化趋势和空间分布规律, 并探讨了各极端降水指数与总降水量之间的关系。结果表明: 长时段(1961—2013 年)中一日最大降水量(RX_{1d})、最大连续五日降水量(RX_{5d})、降水强度($SDII$)、最长连续无雨日数(CDD)增大趋势不明显, 其他各指数均有减小趋势, 短时段(1991—2013 年)除 RX_{1d} , CDD 呈减小趋势, 其他各指数均有增大趋势。不同地区两时段各极端降水指数变化趋势并不相同, 短时段变幅更大同时变化显著的站点更多。除 CDD 和总降水量有近三分之一的站点为不显著的负相关外, 其他指数和总降水量多为显著正相关。

关键词:气候变化; 极端降水指数; 山东省

中图分类号: P333.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)04-0120-08

Characteristics of Change in Extreme Precipitation Indices in Shandong Province in Recent 50 Years

LI Shengli^{1,2}, GONG Zaiwu¹, SHI Zhenbin³

(1. School of Public Administration, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Ji'nan Meteorological Bureau, Ji'nan 250102, China; 3. Shandong Meteorological Bureau, Ji'nan 250031, China)

Abstract: Based on daily precipitation data recorded in 117 meteorological stations in Shandong Province during the period from 1961 to 2013, the temporal variability and spatial distributions of extreme precipitations were studied by using nine extreme precipitation indices. At the same time, the possible connections between extreme precipitation indices and annual total precipitation were analyzed. The main conclusions are as the followings. In the past 53 years (long period), an decreasing trend was observed in terms of the indices such as annual total precipitation extremes($R_{95}P_{TOT}$), annual count of days with $RR \geq 10$ mm(R_{10}), $RR \geq 20$ mm(R_{20}), and $RR \geq 50$ mm(R_{50}), maximum number of consecutive wet days(CWD), while an non-significantly enhanced trend was observed in terms of the indices such as the maximum 1-day precipitation amount(RX_{1d}), the maximum 5-day precipitation amount(RX_{5d}), maximum number of consecutive dry days(CDD) and the simply daily intensity index($SDII$). In the past 23 years (short period), an increasing trend was observed in terms of the indices except RX_{1d} , CDD . Each extreme precipitation index trend between long period and short period was not same in different regions. Amplitude in short period was greater and stations with significantly trend were more than long period. The correlation coefficients between most extreme precipitation indices and annual total precipitation were positive or even significant positive except one third of stations between CDD and annual total precipitation which had no significant negative correlations.

Keywords: climate change; extreme precipitation; Shandong Province

IPCC 第五次评估报告^[1]指出, 气候变化比原来认识的更加严重, 有 95% 以上的把握可认为气候变化是人类影响造成的。全球气候变暖是非常明确的, 将影响地球的水循环, 使地球更加干湿分明, 从而高

温、暴雨、干旱、洪涝、台风等极端气候事件频发, 造成的不利影响和危害越来越大。极端气候事件增多增强已经引起各国和社会各界的关注, 对极端气候事件的变化研究也越来越受到重视。Alexander 等^[2-3]研

收稿日期: 2015-12-29

修回日期: 2016-02-23

资助项目: 山东省气象局科技项目“山东省极端强降水变化特征及应用研究”(2015sdqxm05); 山东省颍县的天气学概念模型研究(2015sdqxm01)

第一作者: 李胜利(1978—), 男, 山东莱芜人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向为大气探测、人工影响天气等。E-mail: lishengli_1978@sina.cn

通信作者: 巩在武(1975—), 男, 山东临沂人, 博士后, 教授, 主要从事模糊决策理论、灰色系统理论研究。E-mail: zwgong26@163.com

究表明,1951—2003年全球与极端最低气温相关的气温指数变化更显著,降水则有增加的趋势,并指出了极端气候未来发展方向。翟盘茂等^[4]的研究结果表明,中国最低气温增暖趋势显著,北方地区白天温度极端偏高日数增多,夜间温度极端偏低日数减少,极端降水区域差异明显。任国玉等^[5]指出,1951年以来中国大陆地区极端气候事件频率和强度发生了一些变化,不同类型和不同区域极端气候变化存在明显差异。闵岫^[6]、王志福^[7]等分别对中国极端降水事件的区域性和持续性、频数和强度特征进行了研究,探讨了极端降水事件的区域差异性。另外,许多学者针对中国不同区域的极端降水事件展开了全面的研究^[8-11],得到一些有意义的结论。近年来,国内外广泛开展了极端降水指数的变化特征进行了研究,国外包括欧洲中西部^[12]、中东^[13]、北美^[14]、西印度洋国家^[15]、亚洲中南部^[16]、美洲中南部^[17]、印度^[18]、澳大利亚^[19]、非洲中西部^[20]等地。国内的许多学者也对中国不同区域^[10,21-25]进行了研究。这些研究结论主要是基于气候变化检测、检测和指标专家组(ETC-CDMI)确定的“气候变化检测和指标”的11个极端降水指数,这些指数能够较全面地反映出极端降水要素不同方面的变化,具有较好的指示意义。从整体上看,各地极端降水的变化趋势则不尽相同,但近年来极端强降水的发生概率多呈增加趋势。

山东地处中纬度地区,属暖温带季风气候区,雨热同季,下垫面特征复杂,形成了山东不同气候要素显著的时空差异,尤其是极端气候要素的时空分异复杂。同时山东年降水偏少且主要出现在雨季(6—9月),旱涝、高温等极端气候灾害事件频发,气象灾害带来的损失日益严重^[26]。而以往关于区域内降水方面的研究多集中在平均态^[27-28]或单一极端降水指数^[29-30]的分析,针对极端降水事件全面的分析则较少。因此有必要对区域内极端降水事件的时空变化特征进行深入的分析,从而掌握区域内极端气候事件发生频率和强度的演变规律,为区域内应对气候变化、水热资源的综合开发利用提供参考依据。因此,本文采用山东省信息化后的较完整的117个气象站1961—2013年日降水观测数据,结合具有代表性的极端降水指数来揭示区域极端气候的时空变化规律。

1 资料和方法

1.1 观测数据

选用山东省气象信息中心提供的经过质量控制的117个气象站1961—2013年逐日降水量观测数据,利用ETCCDMI定义的9个极端降水指数,研究

山东省极端降水指数的时空变化规律。山东大部分气象站自1961年已经有降水观测,对于建站晚于1961年,但降水数据缺失较少的站点,以实有整年降水数据进行统计分析。由于降水资料的时间序列对台站变迁等的影响没有气温、风速要素敏感,本文在降水资料的分析过程中对异常数据进行检验,尤其对降水极大值进行合理性判断。山东省地形特征和文中使用的117个气象站地理位置分布见图1。

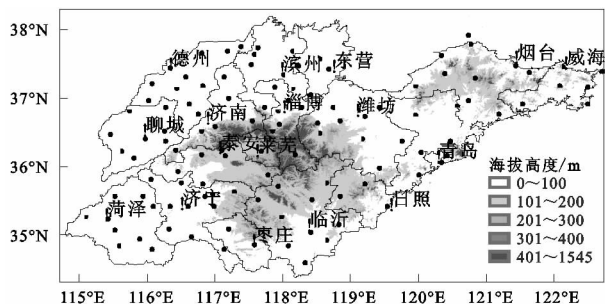


图1 山东省行政区划及使用的气象站点地理位置分布

1.2 方法

1.2.1 极端降水指数 在气候极值的研究中,国内外多采用阈值法,超过阈值的称为极值,该事件为极端气候事件。阈值分固定阈值和变化阈值,固定阈值常以超过某一确定值为基准,比如35℃为高温门限,50 mm为日暴雨门限,变化阈值分参数和非参数两种确定方法,参数法常以Gamma分布函数的边缘值来确定^[10],非参数法常根据资料序列的百分位值确定,其定义方法为将资料序列按升序排列,取第5百分位对应的数值为极端最低阈值,第95百分位对应的数值为极端最高阈值。文中使用1971—2000年降水观测数据确定各气候指数的阈值。

本文选取9个极端降水指数,详细定义见表1。山东的降水主要出现在6—9月,秋冬春季降水少且降水强度弱,因此最长连续有雨日数按照年内降水出现日数统计,最长连续无雨日数则跨年统计,比如某站1961年最长连续无雨日数以1961年8月1日至1962年7月31日时段为基准进行统计。山东各地最长连续无雨日数一般出现在冬季前后,因此1961年最长连续无雨日数包含了1962年降水较少的前几个月份。

1.2.2 其他方法 采用气候学上常用的气候倾向率^[31]方法对各极端降水指数的时间变化特征进行分析,气候倾向率为正值表示要素序列为上升趋势,负值表示下降趋势,结合气候趋势系数进行各极端降水指数的显著性检验。采用反距离加权(Inverse Distance Weighted,简称IDW)插值法^[32]对各极端降水指数统计结果进行插值,反距离加权插值法是一种常见而简便的空间插值方法,是基于相近相似的原理,即两个物体离得近,它们的性质就越相似,它以插值点与

样本点间的距离为权重进行加权平均,离插值点越近的样本点赋予的权重越大。使用不同的插值方法进行插值时均会产生一定的误差,观测站点密集区域差异

较小,站点稀疏的区域差异较大^[33]。文中使用了山东省分布较均匀的 117 个站点数据,尽可能保证了插值结果的可信度。

表 1 极端降水指数名称及其定义

| 类型 | 名称 | 代码 | 单位 | 定义 |
|------|-----------|-----------------|------|---------------------------|
| 相对指数 | 极端降水量 | $R_{95}P_{TOT}$ | mm | 年日降水量>第 95 百分位值的降水总量 |
| 极值指数 | 一日最大降水量 | RX_{1d} | mm | 年最大的一日降水量 |
| | 最大连续五日降水量 | RX_{5d} | mm | 年最大的连续五日降水量 |
| | 降水强度 | SD_{II} | mm/d | 年有雨日降水强度 |
| 绝对指数 | 强降水日数 | R_{10} | d | 年日降水量 ≥ 10 mm 的总日数 |
| | 强降水日数 | R_{20} | d | 年日降水量 ≥ 20 mm 的总日数 |
| | 强降水日数 | R_{50} | d | 年日降水量 ≥ 50 mm 的总日数 |
| | 最长连续无雨日数 | CDD | d | 年日降水量<1 mm 的最长连续日数 |
| | 最长连续有雨日数 | CWD | d | 年日降水量 ≥ 1 mm 的最长连续日数 |

2 结果与分析

2.1 极端降水指数的变化趋势

平均气温上升引起的气候变暖使得大气水汽含量增多,打破了原有的水汽平衡,从而改变了区域降水事件的发生频率和强度,根据胡桂芳等^[34]的研究结论,本文不仅分析长时段(1961—2013 年)山东省降水指数时空变化特征,也分析短时段(1991—2013 年)气候变暖显著期的极端降水指数时空变化特征。

山东省长时段和短时段各极端降水指数变化趋势不一致(表 2),除降水强度(SD_{II})和最长连续五日降水量(RX_{5d})在两时段内均呈上升的变化趋势,其他多数极端降水指数在长时段呈减小趋势,短时段呈增加趋势。

表 2 山东省长时段和短时段各极端气候指数变化趋势

| 指数 | 1961—2013 年 | 1991—2013 年 |
|-----------------------------|-------------|-------------|
| $R_{95}P_{TOT}/mm$ | -0.707 | 27.058 |
| RX_{1d}/mm | 0.238 | -0.024 |
| RX_{5d}/mm | 0.552 | 7.985 |
| $SD_{II}/(mm \cdot d^{-1})$ | 0.128 | 0.323 |
| R_{10}/d | -0.257 | 0.823 |
| R_{20}/d | -0.125 | 0.776 |
| R_{50}/d | -0.005 | 0.255 |
| CDD/d | 0.640 | -1.368 |
| CWD/d | -0.109 | 0.148 |

2.2 极端降水相对指数变化

山东省长时段逐年 $R_{95}P_{TOT}$ 波动较大(图 2A),减幅为-0.707 mm/10 a($p>0.05$),不显著,而短时段增幅为 27.058 mm/10 a($p>0.05$),表明近 20 a 来 $R_{95}P_{TOT}$ 有增加趋势。20 世纪 60 年代前期 $R_{95}P_{TOT}$ 在平均水平以上,1964 年最大,距平百分率达到 86.4%,极端降水严重偏多,60 年代中后期多在平均水平以下,1968 年距平百分率为-51.9%,极端降水严重偏少,为长时段内第二少的年份。70 年代初至 80 年代末期 $R_{95}P_{TOT}$ 逐年减少,从 70 年代中期以后多数年份 $R_{95}P_{TOT}$ 多在平均水平以下。90 年代至 21 世纪初逐年 $R_{95}P_{TOT}$ 变化较大,2002 年最少,距平百分率为-63.3%,2003 年以来 $R_{95}P_{TOT}$ 多在平均水平以上。

长时段和短时段 $R_{95}P_{TOT}$ 空间分布差异明显(图 2B, 2C),长时段气候倾向率为-27.63~29.18 mm/10 a,呈增加趋势的站点有 62 个,仅长清、曲阜站增幅显著($p<0.05$),其他站的减幅均不显著($p>0.05$)。鲁中山区、鲁西南和鲁南等地增幅较大,超过 8.01 mm/10 a,鲁东南、鲁西北和半岛中部等地减幅较大,减幅超过-10.25 mm/10 a。短时段 $R_{95}P_{TOT}$ 气候倾向率为-72.80~144.02 mm/10 a,变幅远大于长时段,呈增加趋势的站点有 84 个,其中 30 站的增幅、3 站的减幅显著($p<0.05$),其他站的减幅均不显著($p>0.05$)。鲁南、半岛南部和东部增幅最大,部分地区超过 87.68 mm/10 a,鲁中山区东部、西部一带减幅最大。

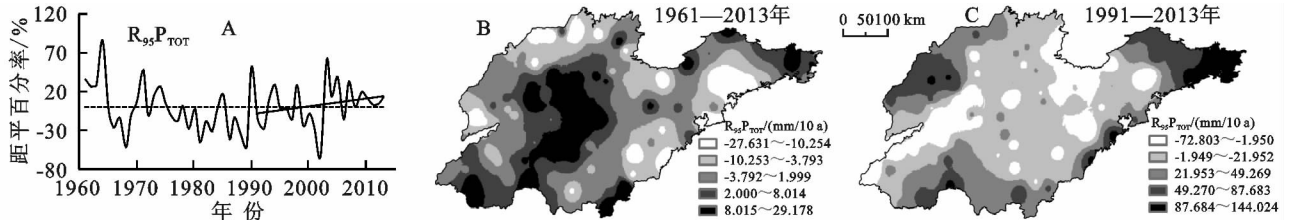


图 2 山东省长时段、短时段 $R_{95}P_{TOT}$ 的时空变化

2.3 极端降水极值指数变化

山东省长时段逐年 RX_{1d} , RX_{5d} 变化与 $R_{95}P_{TOT}$ 类似(图3A),长时段 RX_{1d} 增幅为 $0.238 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ($p > 0.05$),短时段减幅为 $-0.024 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ($p > 0.05$)。长、短时段 RX_{5d} 增幅分别为 $0.552, 7.985 \text{ mm}/10 \text{ a}$ ($p > 0.05$),近20 a来 RX_{5d} 呈增大的趋势,尤其是2003年以来 RX_{5d} 多在平均水平以上。虽然近20 a来 RX_{1d} 略有减少,但从其时间变化图可看出,大多数年份 RX_{1d} 高于平均水平,2002年为 RX_{1d} 最小年,距平百分率为 -35.5% 。

对应时段的 RX_{1d} , RX_{5d} 空间分布类似,长时段大

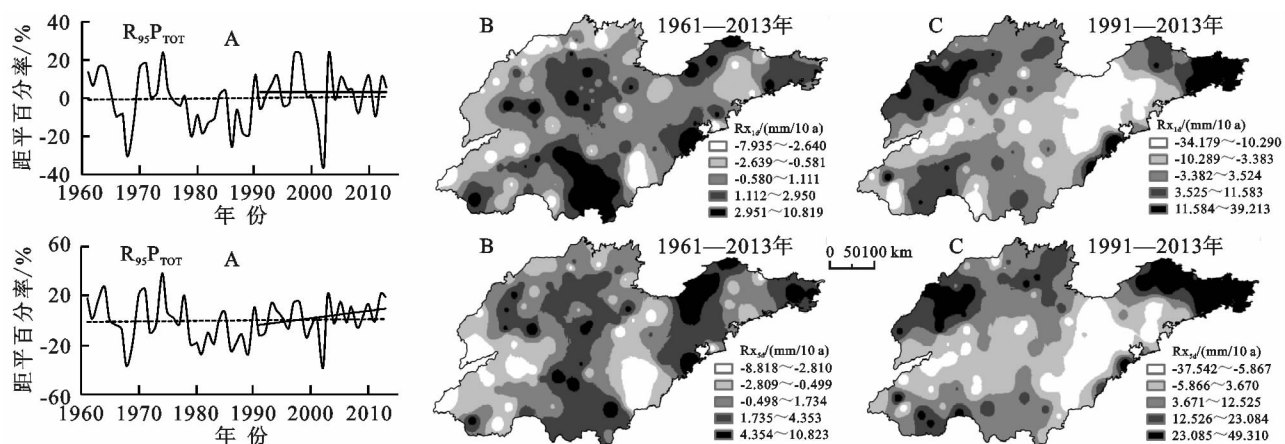


图3 山东省长时段、短时段 RX_{1d} , RX_{5d} 的时空变化

2.4 极端降水绝对指数变化

山东省长时段各极端降水绝对指数逐年变化差异明显(图4A、表2),长时段各极端降水绝对指数除 SD_{II} , CDD 呈增加的变化趋势,其他绝对指数均为减少趋势,短时段各绝对指数除了 CDD 呈减少的变化趋势,其他绝对指数均呈增加的变化趋势且变幅比长时段更大,但各时段各极端降水绝对指数变化趋势均不显著($p > 0.05$)。近20 a来,山东省降水强度(SD_{II})增强,各等级降水日数(R_{10} , R_{20} , R_{50})增加,最长连续有雨日数(CWD)略增加,最长连续无雨日数(CDD)减少。 CDD 逐年变幅较大,距平百分率呈正负交替出现,但2000年以来 CDD 多在平均水平以下,其他各绝对指数逐年变化规律与 $R_{95}P_{TOT}$ 逐年变化类似,但变幅不同。长时段和短时段 SD_{II} 的气候倾向率空间分布与 $R_{95}P_{TOT}$ 类似,气候倾向率分别为 $-0.37 \sim 0.50 \text{ mm}/10 \text{ a}$, $-0.87 \sim 1.76 \text{ mm}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点分别有98, 82个,分别有4, 12个站的增幅显著($p < 0.05$),其他站的减幅均不显著($p > 0.05$)。长时段 SD_{II} 在鲁中山区、鲁西南和鲁南等地增幅较大,超过 $0.24 \text{ mm}/10 \text{ a}$,鲁西等地 SD_{II} 减幅较明显。短时段 SD_{II} 在鲁西、鲁南、东南沿海、半岛东部等地增幅较大,超过 $0.83 \text{ mm}/10 \text{ a}$,鲁北、鲁中西部等地减幅较明显。

长时段 R_{10} , R_{20} , R_{50} 气候倾向率空间分布差异明显,

值区主要在鲁中山区、鲁南和半岛中部,部分地区分别超过 $2.95, 4.35 \text{ mm}/10 \text{ a}$,增加趋势的站点均为68个,仅3站的 RX_{1d} 和1站 RX_{5d} 增加趋势显著($p < 0.05$),其他各站变化均不显著($p > 0.05$)。短时段 RX_{1d} , RX_{5d} 的空间分布明显与长时段不同, RX_{1d} 和 RX_{5d} 大值区主要在鲁西南、鲁西、半岛东部和南部, RX_{1d} 部分地区超过 $11.58 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 。小值区主要在半岛东部至鲁东南内陆一带, RX_{1d} 和 RX_{5d} 最大减幅分别可达 $-10.29, -5.87 \text{ mm}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点分别有59, 80个,有4站的 RX_{1d} 及8站 RX_{5d} 的增加趋势显著($p < 0.05$),其他各站变化均不显著($p > 0.05$)。

分别为 $-1.07 \sim 0.51 \text{ d}/10 \text{ a}$, $-0.59 \sim 0.54 \text{ d}/10 \text{ a}$, $-0.32 \sim 0.36 \text{ d}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点分别有27, 38, 64个,仅 R_{50} 有3个站的增幅显著($p < 0.05$), R_{10} , R_{20} , R_{50d} 数分别有2, 0, 1个站减幅显著($p < 0.05$),其他各站减幅均不显著($p > 0.05$)。山东省大部分地区长时段 R_{10} 呈减少的变化趋势,东南沿海和半岛西部减幅最显著,超过 $-0.57 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁南等地增幅较显著,但最大不超过 $0.51 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。鲁中山区、鲁西南和鲁南部分地区长时段 R_{20} 增幅最显著,部分地区超过 $0.09 \text{ d}/10 \text{ a}$,半岛地区尤其是半岛中部一带长时段 R_{20} 减幅最显著,达 $-0.30 \text{ mm}/10 \text{ a}$ 以上。鲁中山区及以南的大部分地区 R_{50} 增幅最显著,超过 $0.11 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁西北、鲁东南和半岛中部一带减幅最显著,低于 $-0.13 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。短时段 R_{10} , R_{20} , R_{50d} 绝对指数气候倾向率空间分布与长时段对应指数结果明显不同,变化率比长时段大,气候倾向率分别为 $-1.38 \sim 3.29 \text{ d}/10 \text{ a}$, $-0.89 \sim 2.82 \text{ d}/10 \text{ a}$, $-0.81 \sim 1.52 \text{ d}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点分别有92, 101, 81个,其中增幅显著($p < 0.05$)的站点分别有15, 16, 16,除 R_{50} 出现天数有2个站减幅显著外($p < 0.05$),其他各站 R_{10} , R_{20} , R_{50d} 数减幅均不显著($p > 0.05$)。山东省大部分地区短时段 R_{10} 呈增加的变化趋势,鲁中山区至东南沿海、半岛北部沿海增幅最显著,可达 $1.73 \text{ d}/10 \text{ a}$

以上,其他各地减幅不显著。鲁中山区、鲁南、半岛沿海一带短时段 R_{20} 增幅最显著,超过 $1.47 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁西南、鲁北等地的减幅最明显。鲁南、半岛南部沿海一带短时段增幅最显著,达到 $0.79 \text{ d}/10 \text{ a}$ 以上,鲁中、鲁北、半岛西部内陆减幅最明显,超过 $-0.10 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。

长时段和短时段 CDD 气候倾向率空间分布差异较大,长时段 CDD 气候倾向率为 $-2.71 \sim 5.05 \text{ d}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点有 73 个,除平阴、广饶站增加趋势显著 ($p < 0.05$) 外,其他各站的变化均不显著 ($p > 0.05$)。鲁西和半岛东部一带增幅最明显,超过 $1.05 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁北、半岛西部、鲁南一带减幅较明显,低于 $-0.66 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。短时段 CDD 气候倾向率为 $-14.90 \sim 14.09 \text{ d}/10 \text{ a}$,呈减少趋势的站点达到 80 个,仅烟台站 CDD 减幅显著 ($p <$

0.05),其他所有站的减幅和增幅均不显著 ($p > 0.05$)。鲁北、鲁中山区西部减幅最明显,低于 $-4.21 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁东南至半岛东部沿海一带有不明显的增加趋势,增幅低于 $14.09 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。长时段和短时段 CWD 气候倾向率空间分布类似,气候倾向率分别为 $-0.41 \sim 0.18, -0.53 \sim 1.12 \text{ d}/10 \text{ a}$,呈增加趋势的站点分别有 22, 77 个,长时段 CWD 有 11 个站点的减幅显著 ($p < 0.05$),短时段 CWD 有 12 个站点的增幅显著 ($p < 0.05$),其他各站的变幅均不显著 ($p > 0.05$)。长时段 CWD 在鲁中山区西北侧减幅最大,低于 $-0.22 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁北部分地区、半岛中东部增幅较显著,但不超过 $0.18 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。短时段 CWD 在半岛西部和东部地区增幅最显著,高于 $0.52 \text{ d}/10 \text{ a}$,鲁南、鲁东南部分地区不显著的减小趋势,低于 $-0.53 \text{ d}/10 \text{ a}$ 。

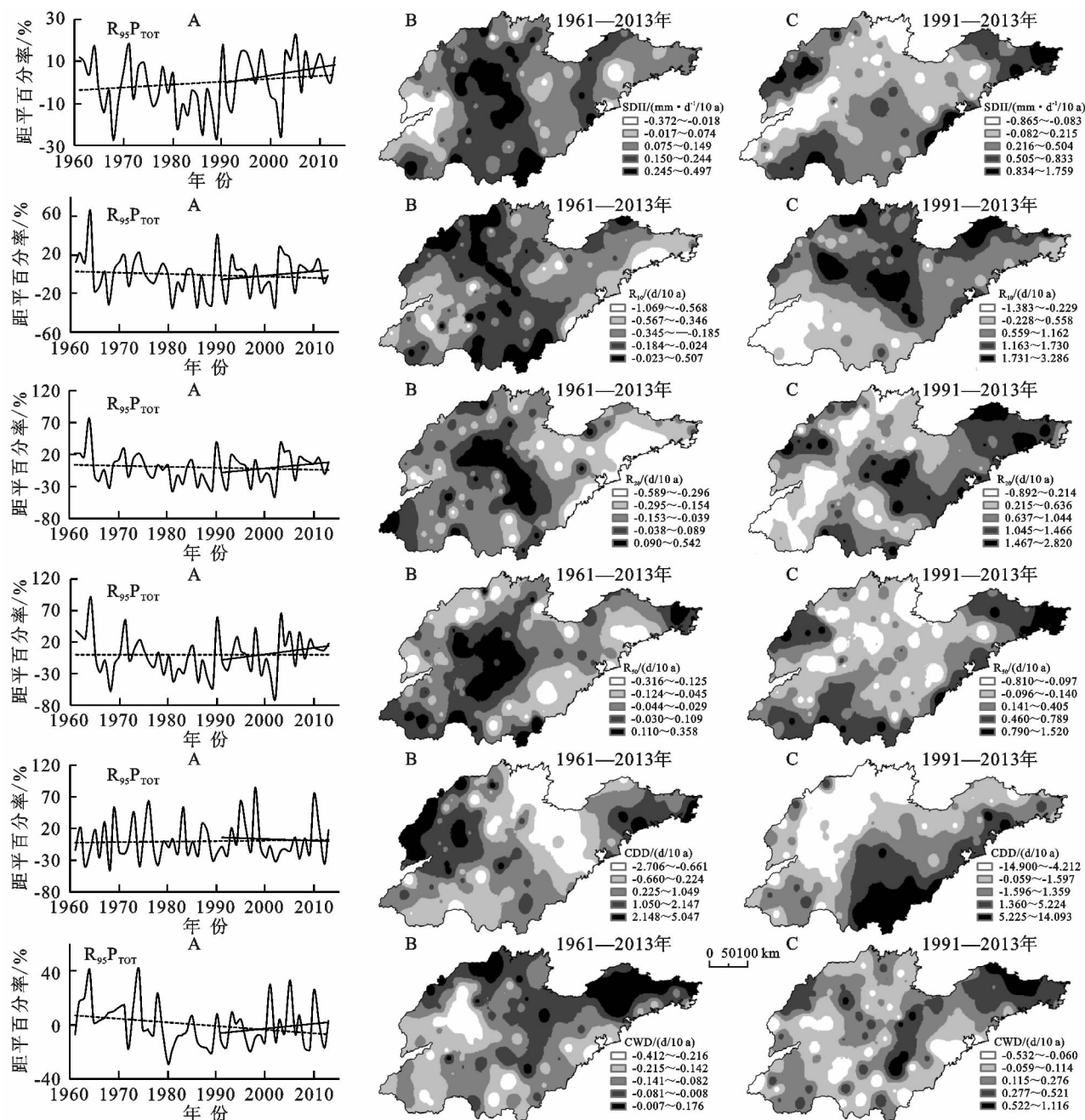


图4 山东省长时段、短时段极端降水绝对指数的时空变化

2.5 极端降水指数与年总降水量的关系

极端降水指数与当地年总降水量有很好的相关性^[25]。近50 a来,山东省除了部分站点CDD和总降水量为负相关外,其他各极端降水指数和总降水量均为一致的正相关,表明年内总降水量越大,极端降水指数亦越大。山东省各地 $R_{95}P_{TOT}$ 与总降水量的相关系数为0.746~0.946,所有站点均通过了0.01置信度检验,鲁西北、半岛西部一带相关性最显著,相关系数达到0.900以上,鲁中山区北部和鲁南部分地区略低。

各地 RX_{1d} , RX_{5d} 和总降水量相关系数分别为0.275~0.837, 0.435~0.835, 所有站点相关性均通过了0.01置信度检验。相关性最高的区域均位于鲁中山区至鲁西北一带,相关系数分别超过0.643, 0.714, RX_{1d} 和总降水量相关性相对较小的区域在鲁中山区东北部,低于0.443, RX_{5d} 和总降水量相关性相对较小的区域在鲁中山区东部、东南部一带,不高于0.566。

各地 R_{10} , R_{20} , R_{50} 和总降水量相关系数空间分布明显不同,相关系数最低值均超过0.5,最高值达到0.9以上,所有站点的相关系数均通过了0.01置信度检验。 R_{10} 和总降水量相关系数大值区主要位于鲁中山区至鲁北一带,一般在0.853以上,小值区主要出现在

半岛东部、鲁南部分地区,低于0.759; R_{20} 和总降水量相关系数大值区主要位于胶莱平原一带,一般在0.875以上,小值区主要出现在半岛东部、鲁南部分地区,低于0.789; R_{50} 和总降水量相关系数大值区主要位于鲁西北、半岛中部一带,部分地区超过0.783以上,小值区主要位于半岛西部地区,低于0.676。

各地SDII和总降水量相关系数为0.730~0.908,均通过了0.01置信度检验。鲁西、鲁中山区、鲁东南一带的相关性最高,相关系数超过0.862,鲁中山区北部、鲁南、半岛部分地区相对较低,不超过0.801。各地CDD和总降水量的相关系数空间分布明显不同于其他极端降水指数,CDD和总降水量相关性较弱,为-0.219~0.307,有近一半的站点为不显著的负相关。除济南站相关性显著外,其他站点都没有通过0.05置信度检验,鲁西北和半岛地区相关性相对较高,鲁中山区以南、鲁西南大部分地区为负相关,低于-0.053。各地CWD和总降水量相关系数为0.030~0.614,接近70%的站点相关性通过了0.05置信度检验,相关性较高的区域主要在半岛西部、鲁西北和鲁西南部分地区,超过0.432,鲁西、鲁北、鲁南部分地区相关性相对较弱,低于0.226。

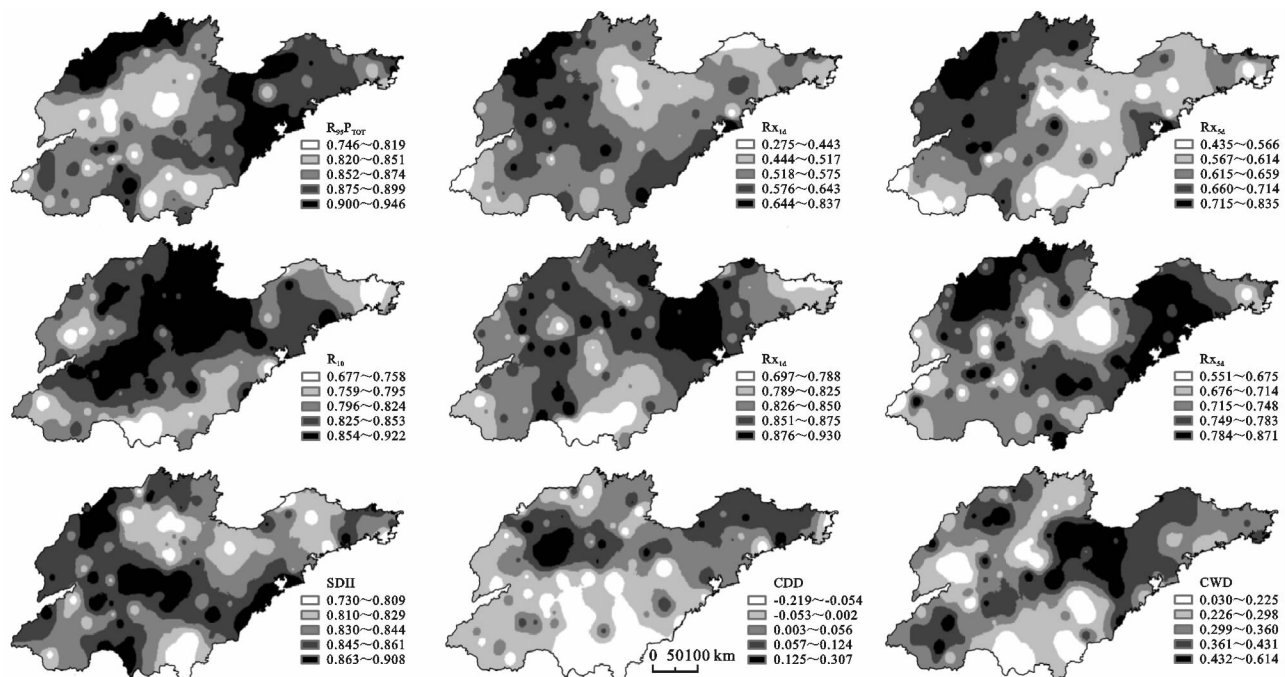


图5 山东省长时段极端降水指数和总降水量相关系数的空间分布

3 讨论

近年来,世界各国的专家学者越来越重视对极端气候事件的时空分布和发生原因等方面的研究工作,并取得了大量的研究成果,这些成果也在IPCC第四、第五次评估报告中得以呈现。本文的研究结果表明,由于山东省特殊的海陆位置和复杂的地形特征,

各极端降水指数的变化存在较明显的区域差异,同一指数在不同区域表现出不同的变化特征。山东省总降水量减少^[27],极端降水量也呈减少变化趋势,因此,在华北地区,干旱面积和强度有增加趋势^[5,35],从本文的分析结果来看,虽然长时段山东省降水量、各等级降水日数等指数有不显著的减少趋势,但表征强降水事件发生频率和强度的极端降水指标的明显变

化发生在近 20 a, 在所有的 9 个极端降水指数中, 有 7 个指数呈明显的增加趋势, 虽然其增幅不显著, 但也反映了近 20 a 来山东省极端降水事件有增多、增强的趋势。在气候变暖背景下, 水循环加剧, 大气中水分含量增加, 引起积雨云出现频率增多, 这可能是导致中高纬度地区暴雨普遍增多的原因^[35-36], 因此局地强对流天气的增多增强可能是导致山东省极端降水呈增多、增强的原因之一。

另外, 极端降水指数的变化与降水频率和总降水量变化的关系十分密切, 极端强降水指数本身对总降水量具有十分重要的贡献^[35]。因此, 本文对各极端降水指数和总降水量变化进行了相关分析, 结果表明除了部分站点 CDD 和总降水量为负相关外, 其他各极端降水指数和总降水量均为一致的正相关, 且大部分站点各相关系数均通过了 0.01 的置信度水平检验, 多数极端降水指数和总降水量呈一致的变化趋势, 但极端降水指数和总降水量相关性存在较大的区域性差异。

极端强降水事件由于降水时段集中, 降水强度大, 会引起城市严重内涝, 排水不畅, 导致城市交通中断, 农田渍涝, 作物倒伏减产甚至绝收, 同时也会对人民生命财产带来严重威胁。因此加强区域尺度极端气候变化机理和原因方面的研究工作显得越来越重要和紧迫。

4 结论

(1) 长时段和短时段各极端降水指数时间变化趋势差异明显, 长时段除 RX_{1d} , RX_{5d} , SD_{II} , CDD 有不显著的增大趋势外, 其他各指数均有减小趋势, 短时段除 RX_{1d} , CDD 有减小趋势外, 其他各指数均有增大趋势。

(2) 短时段各地区不同极端降水指数的变幅更大。短时段内 R_{95} , P_{TOT} , RX_{5d} , R_{10} , R_{20} , R_{50} , CWD 等指数呈显著 ($p < 0.05$) 增加趋势的站点比长时段明显增多, CDD 呈显著 ($p < 0.05$) 减少趋势的站点明显增多。

(3) 各极端降水指数和总降水量相关系数的空间分布存在较大的区域差异。长时段内所有站点 R_{95} , P_{TOT} , RX_{1d} , RX_{5d} , R_{10} , R_{20} , R_{50} , SD_{II} 和总降水量的相关性均为显著 ($p < 0.05$) 的正相关, CWD 和总降水量的相关性亦有接近 70% 的站点为显著的正相关, CDD 和总降水量有近一半的站点为不显著的负相关。

参考文献:

[1] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability[M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, in press, 2014 [2014-04-10]. <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>

[2] 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*, 2006, 111: D05109, doi: 10.1029/2005JD006290.

[3] Alexander L V, Tapper N, Zhang X, et al. Climate extremes: progress and future directions[J]. *International Journal of Climatology*, 2009, 29(3): 317-319.

[4] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近 50 a 温度和降水极端事件变化[J]. *地理学报*, 2003, 58(S): 1-10.

[5] 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.

[6] 闵岫, 钱永甫. 中国极端降水事件的区域性和持续性研究[J]. *水科学进展*, 2008, 19(6): 763-771.

[7] 王志福, 钱永甫. 中国极端降水事件的频数和强度特征[J]. *水科学进展*, 2009, 20(1): 1-9.

[8] 杨志刚, 建军, 洪建昌. 1961—2010 年西藏极端降水事件时空分布特征[J]. *高原气象*, 2014, 33(1): 37-42.

[9] 刘学峰, 任国玉, 范增禄, 等. 海河流域近 47 a 极端强降水时空变化趋势分析[J]. *干旱区资源与环境*, 2010, 24(8): 85-90.

[10] 张顺谦, 马振峰. 1961—2009 年四川极端强降水变化趋势与周期性分析[J]. *自然资源学报*, 2011, 26(11): 1918-1929.

[11] 余敦先, 夏军, 张永勇, 等. 近 50 a 来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征[J]. *地理学报*, 2011, 66(9): 1200-1210.

[12] Moberg A, Jones P D. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901—99[J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(9): 1149-1171.

[13] Zhang X B, Aguilar E, Sensoy S, et al. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003 [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2005, 110, D22104, doi:10.1029/2005JD006181.

[14] Peterson T C, Zhang X B, Brunet-India M, et al. Changes in North American extremes derived from daily weather data[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113, D07113, doi:10.1029/2007JD009453.

[15] Vincent, L A, Aguilar E, Saindou M, et al. Observed trends in indices of daily and extreme temperature and precipitation for the countries of the western Indian Ocean, 1961—2008[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2011, 116, D10108, doi:10.1029/2010JD015303.

[16] Klein Tank A M G, Peterson T C, Quadir D A, et al. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia[J]. *Journal of Geophysical Research*, 2006, 111, D16105, doi:10.1029/2005JD006316.

[17] Aguilar E, Peterson T C, Obando P R, et al. Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961—2003[J].

- Journal of Geophysical Research, 2005, 110, D23107, doi:10.1029/2005.JD006119.
- [18] Sen Roy S, Balling R C. Trends in extreme daily precipitation indices in India[J]. International Journal of Climatology, 2004, 24(4):457-466.
- [19] Haylock M, Nicholls N. Trends in extreme rainfall indices for an updated high quality data set for Australia, 1910—1998[J]. International Journal of Climatology, 2000, 20(13):1533-1541.
- [20] New M, Hewitson B, Stephenson D B, et al. Evidence of trends in daily climate extremes over southern and west Africa [J]. Journal of Geophysical Research, 2006, 111, D14102, doi:10.1029/2005.JD006289.
- [21] 陆文秀, 刘丙军, 陈俊凡, 等. 近50 a 来珠江流域降水变化趋势分析[J]. 自然资源学报, 2014, 29(1):80-90.
- [22] 李运刚, 何大明, 胡金明, 等. 红河流域 1960—2007 年极端降水事件的时空变化特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(11):1908-1917.
- [23] 汪宝龙, 张明军, 魏军林, 等. 西北地区近 50 a 气温和降水极端事件的变化特征[J]. 自然资源学报, 2012, 27(10):1720-1733.
- [24] 任正果, 张明军, 王圣杰, 等. 1961—2011 年中国南方地区极端降水事件变化[J]. 地理学报, 2014, 69(5):640-649.
- [25] 杜军, 路红亚, 建军. 1961—2012 年西藏极端降水事件的变化[J]. 自然资源学报, 2014, 29(6):990-1002.
- [26] 王建国. 山东气候[M]. 北京:气象出版社, 2005.
- [27] 迟竹萍. 近 45 a 山东夏季降水时空分布及变化趋势分析[J]. 高原气象, 2009, 28(1):220-226.
- [28] 董旭光, 顾伟宗, 孟祥新等. 山东省近 50 a 来降水事件变化特征[J]. 地理学报, 2014, 69(5):661-671.
- [29] 郭军, 任国玉, 李明财. 环渤海地区极端降水事件概率分布特征[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4):425-432.
- [30] Xue Deqiang; Wang Xingtang. The variation of extreme temperature and precipitation in Shandong Province during 1961—2008[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(5):51-57.
- [31] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来 4 个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4):531-539.
- [32] 张明军, 李瑞雪, 贾文雄, 等. 中国天山山区潜在蒸发量的时空变化[J]. 地理学报, 2009, 64(7):798-806.
- [33] 赵文慧, 宫辉力, 赵文吉, 等. 基于地统计学的北京市可吸入颗粒物时空变异性及气象因素分析[J]. 环境科学学报, 2010, 30(11):2154-2163.
- [34] 胡桂芳, 李芸, 李德萍. 山东近百年来最高、最低气温变化[J]. 气象, 2010, 30(11):43-46.
- [35] 翟盘茂, 王萃萃, 李威. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3):144-148.
- [36] Changnon S A. Thunderstorm rainfall in the conterminous United States[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2001, 82(9):1925-1940.

~~~~~

(上接第 119 页)

- [4] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区土壤盐渍化特征及其剖面类型分析[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11):106-112.
- [5] 刘庆生, 刘高焕, 范晓梅. 黄河三角洲土壤盐分剖面类型时空分布研究[J]. 山东农业科学, 2010, (1):57-62.
- [6] Zhang T T, Zeng S L, Gao Y, et al. Assessing impact of land uses on land salinization in the Yellow River Delta, China using an integrated and spatial statistical model[J]. Land Use Policy, 2011, 28(4):857-866.
- [7] 王娜娜, 齐伟, 王丹, 等. 基于样带的滨海盐碱地土壤养分和盐分的空间变异[J]. 应用生态学报, 2012, 23(6):1527-1532.
- [8] Johannes Hendrikus Barnard, Leon Daniel van Rensburg, Alan Thomas Peter Bennie. Leaching irrigated saline sandy to sandy loam apedal soils with water of a constant salinity[J]. Irrigation Science, 2010, 28(2):191-201.
- [9] 白由路, 李保国. 黄淮海平原土壤盐渍化状况的数值分类[J]. 土壤通报, 2001, 32(Z1):8-13.
- [10] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙, 等. 基于聚类分析的土壤盐渍剖面特征及其空间分布研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(1):56-65.
- [11] 方华军, 杨学明, 张晓平. 人类胁迫对松嫩平原土壤盐渍化的灰色关联分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(2):65-70.
- [12] 李宝富, 熊黑钢, 张建兵, 等. 不同耕种时间下土壤剖面盐分动态变化规律及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(3):429-438.
- [13] 杜金龙, 靳孟贵, 欧阳正平, 等. 焉耆盆地土壤盐分剖面特征及其与土壤颗粒组成的关系[J]. 地球科学:中国地质大学学报, 2008, 33(1):131-136.
- [14] 陈邦本, 方明. 江苏海岸带土壤[M]. 南京:河海大学出版社, 1988.
- [15] 贾艳红, 赵传燕, 南忠仁. 黑河下游地下水波动带土壤盐分空间变异特征分析[J]. 干旱区地理, 2008, 31(3):379-388.
- [16] 吕云海. 于田绿洲典型区域土壤盐分空间分异规律研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2009.
- [17] 高婷婷, 丁建丽, 哈学萍, 等. 基于流域尺度的土壤盐分空间变异特征:以渭干河—库车河流域三角洲绿洲为例[J]. 生态学报, 2010, 30(10):2695-2705.
- [18] 王娜娜. 黄河三角洲滨海盐渍土养分和盐分空间变异[D]. 山东泰安:山东农业大学, 2012.