

# 中国大陆地区极端降水与温度的相关性\*

王佳雯, 廖威林, 王大刚, 陈晓宏  
(中山大学地理科学与规划学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 中国极端降水与温度关系存在明显季节、区域差异, 研究极端降水与温度的相关关系, 可为中国极端气候预测与防治工作提供理论依据。选用中国 757 个气象站点日温资料及降水资料, 以 90% 为极端降水阈值, 通过数理统计方法, 从季节、经纬度角度研究发现: ①中国大陆地区全年极端降水与温度关系增长率符合 Clausius - Clapeyron (C-C) 关系, 不同区域不同季节适用性不同; ②季节上, 温度上升  $P_{90d} - T$  关系变化率增大, 夏季最高; ③中国大陆地区  $100^{\circ} - 110^{\circ}E$  区域内超 C-C 关系的气象站点比重最大,  $P_{90d} - T$  关系变化率最高, 均由此向东西两侧递减, 东侧递减更快, 中低纬地区  $P_{90d} - T$  关系变化率高, 中高纬低; ④受季风影响大的区域, 极端降水与温度关系随季节变化也大, 尤其以西南地区变幅最高; ⑤大陆性气候越明显的地区, 超 C-C 关系的站点更多, C-C 关系在该区域的适用性越差。

**关键词:** 极端降水; 温度; 相关性; 中国大陆

**中图分类号:** TV125    **文献标志码:** A    **文章编号:** 0529 - 6579 (2017) 06 - 0022 - 09

## The relationship between extreme precipitation and surface temperature in mainland China

WANG Jiawen, LIAO Weilin, WANG Dagang, CHEN Xiaohong

(School of Geography and Planning, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** The relationship between extreme precipitation and surface temperature greatly varies with season and region. Understanding such relationship is helpful to the prediction and mitigation of extreme climate. Temperature and precipitation records at 757 meteorological stations are used in this study. Extreme precipitation is defined as the 90th percentile of precipitation. Using the mathematical statistics, we found that ① in general the scaling rate of extreme precipitation with surface temperature is determined by the Clausius-Clapeyron (C-C) relationship. However, the scaling rate varies with season and region; ② the scaling rate is greatest in summer; ③ in the longitude direction, the scaling rate seems highest in the region band ranging from  $100 - 110^{\circ}E$ , and it decreases towards both sides of this band; in the latitude direction, the scaling rate is higher in the low-mid latitude region than the mid-high latitude region; ④ the seasonality of the scaling rate tightly associated with the monsoon system, and it is strongest in the southeast region; ⑤ there are more stations with the super C-C scaling rate in the continental climate zone.

**Key words:** extreme precipitation; surface temperature; relationship; mainland China

\* 收稿日期: 2016 - 12 - 26

基金项目: 国家自然科学基金项目 (51379224); 中山大学高校基本科研业务费专项资金 (15lgjc)

作者简介: 王佳雯 (1994 年生), 女; 研究方向: 水文水资源; E-mail: wangjiw94@outlook.com

通信作者: 王大刚 (1975 年生), 男; 研究方向: 陆地过程模拟, 陆地大气交互作用, 气候变化;  
E-mail: wangdag@mail.sysu.edu.cn

近几十年全球气候变化显著，其中最突出的特点是全球气候呈现暖化趋势<sup>[1]</sup>。IPCC AR5 报告显示，1880 - 2012 年全球地表均温升高 0.85 °C，中国同期年均地表温度比全球均值略高。另一个特点是极端降水发生频率增加。20 世纪北半球大陆高纬大部分地区降水增加 5% ~ 10%，近 50 年暴雨发生频率增加 2% ~ 4%，低纬、中纬地区夏季极端干旱事件增多。我国大部分地区秋季极端强降水减少，冬季增多，夏季南方和西部增多，北方减少<sup>[2-3]</sup>。全国小雨普遍减少，暴雨和大暴雨增多<sup>[4]</sup>。

当前中国大陆地区极端气候的研究中大多单独考虑极端降水或温度的变化情况，对两者相关关系研究较少。国外已有研究表明，降水量与温度的关系符合 C-C (Clausius-Clapeyron) 关系，即地表温度每升高 1 °C，大气平均水汽含量约增长 7%<sup>[5-6]</sup>。近两年通过基于数值模型的研究发现，随着大气温度增加，极端降水量的增加率与 C-C 速率基本一致。但极端降水与温度关系并非持续遵循 C-C 关系<sup>[7]</sup>。研究表明：我国夏季区域温度与降水呈负相关关系；冬季降水随温度上升而增加<sup>[8]</sup>。且温度与极端降水关系，在赤道（低纬度）地区呈现单调递减的趋势，在中纬度地区为峰状结构，而高纬度地区呈现单调递增的趋势<sup>[9-10]</sup>。然而，中国区域内 C-C 关系的适用性仍未得以验证。

我国气候存在明显季节、地区差异。广阔且复杂的地理环境使气候空间分异显著，仅年平均温差即可超过 30 °C。中国大陆地区年平均温度以南方地区最高，其次为华北地区与塔里木盆地地区，最低温度主要在昆仑山脉与青藏高原边缘附近。我国位于东亚季风区，季风主要影响东部，对西北、东北地区的影响相对较小。夏季多吹东南风，带去大量降水，冬季多吹西北风，天气干燥。东部地区夏季降水量一般占年总降水量的 60% ~ 70%<sup>[11]</sup>，降水量由东南沿海向西北内陆逐渐递减。《第二次气候变化国家评估报告》<sup>[12]</sup>表明，中国极端降水与温度趋势变化存在区域性差异。

在上述背景下，以中国大陆地区气象站点所记录的逐日均温及降水为基础，建立极端降水与温度数据序列，分别从时间和空间的角度对中国大陆地区极端降水与温度相关性进行分析。通过统计方法分析揭示中国大陆地区在不同季节、不同分区极端降水与温度的关系及其变化规律。研究结果对深入研究中国大陆地区极端降水与温度关系具有较高的应用价值，对区域水文学的发展以及极端气候的预

测与防治具有重要的意义。

## 1 数据和分析方法

### 1.1 数据

中国气象局气象数据中心制作的中国地面气候资料日值数据集 (V3.0) 提供了中国地区自 1951 年以来国家级地面站点的降水和气温资料 (<http://cdc.nmic.cn/home.do>)。由于 1951 - 1960 年间大部分测站尚未完善，站点数据较少，故选取 1960 - 2014 年作为本文的研究时期。该时期内位于中国大陆且具有完整降水和气温序列的站点共 757 个，测站在东部地区较为均匀，西部偏少。

### 1.2 分析方法

1.2.1 极端降水事件的选取 本文以中国大陆地区 757 个站点的日温资料及降水资料为分析基础，通过筛选全国雨天数据确定极端降水事件阈值。中国国家气象局规定 24 h 降水量 50 mm 或以上的雨称为暴雨，但实际暴雨百分位低于 95%，阈值过高会产生一定误差，故调整阈值为 90%。

1.2.2 极端降水与温度关系的分析方法 选用降水量大于 0.1 mm 的逐日降水量数据  $P$  (mm) 及其相应日均温值  $T$  (°C)，以 2 °C 分组降水量数据，求出组内 90% 的极端降水，记为  $P_{90d}$ 。将每组内所有日均温的均值作为该  $P_{90d}$  所对应的温度值，利用指数回归方程，对  $P_{90d}$  的对数进行最小二乘法线性拟合，确定极端降水与温度的关系。

为显示 C-C 关系对于极端降水与日温关系的适用性，采用最小二乘法进行线性拟合： $P_2 = P_1 * (1 + p)^{\Delta T}$ ， $P$  (mm) 为降水量、 $P_1$  (mm) 为前一温度下的降水量、 $P_2$  (mm) 为后一温度下的降水量、 $\Delta T$  (°C) 为温差、 $p$  (%/°C) 为  $P$  随着  $T$  变化的变化率<sup>[13]</sup>。

分析  $P$ - $T$  关系散点图形状，若呈峰状，则此回归方程只适用于温度峰值之前的数据数列。当  $p \approx 7\%/^{\circ}\text{C}$  时，则表示极端降水与日温的关系满足 C-C 关系<sup>[14]</sup>，因 C-C 速率非定值，受到其它气象因素影响，在本研究中取 (6% ~ 8%)/°C 作为满足 C-C 关系的取值范围。

## 2 结果与讨论

极端降水与温度关系的研究首先着眼于全国所有站点的全年降水与温度记录，然后分析这种关系的季节差异，最后分析空间差异。其中空间差异包括经度差异和纬度差异。

## 2.1 极端降水与温度关系

1960 - 2014 年我国极端降水量  $P_{90d}$  与温度  $T$  的关系呈单一峰型, 即  $P_{90d}$  随  $T$  的增大有一个先升高后降低的过程, 峰值在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右, 由于指数回归拟合只适于峰前数据, 故数据拟合时只考虑峰前, 即  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  前的数据。

将中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系散点图峰前数据进行指数回归拟合, 如图 1 所示。求得中国大陆地区极端降水与温度关系平均变化率  $p$  (均) 值为  $6.76\% / ^{\circ}\text{C}$ , 总体符合 C-C 关系。

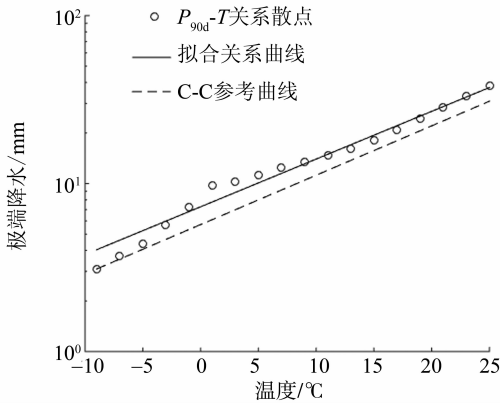


图 1 中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系图

Fig. 1  $P_{90d} - T$  relationship in mainland China

将中国大陆地区气象站点在中国地图上按照  $P_{90d} - T$  关系变化率进行标记。由图 2 可见,  $p < 6\% / ^{\circ}\text{C}$  (图 2 ●) 的集中区域在湖南、江西、安徽、浙江、广东北部、福建;  $p \geq 8\% / ^{\circ}\text{C}$  (图中 △) 的集中区域在重庆、四川、贵州、广西、青海、西藏、广东南部。中国大陆地区 757 个气象站点中, 645 个站点  $P_{90d} - T$  关系小于或等于 C-C 关系, 约占总数的 85.20%; 112 个站点  $P_{90d} - T$  关系大于 C-C 关系, 约占总数的 14.80%, 为超 C-C 关系。

## 2.2 极端降水和温度关系的季节差异

2.2.1 极端降水量及峰值对应温度的差异 对中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系分季节分析: 中国大陆地区四季的  $P_{90d} - T$  关系均呈单一峰型。春季极端降水峰值对应的温度约为  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、夏、秋季约为  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、冬季约为  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 可见温度上升, 不同季节极端降水峰值对应的温度随之上升。另外, 极端降水值峰值在夏天最大, 约为  $42\text{ mm}$ , 冬季最小, 约为  $13\text{ mm}$ 。由此可见极端降水量峰值在季节分布上, 随温度的上升而增大。

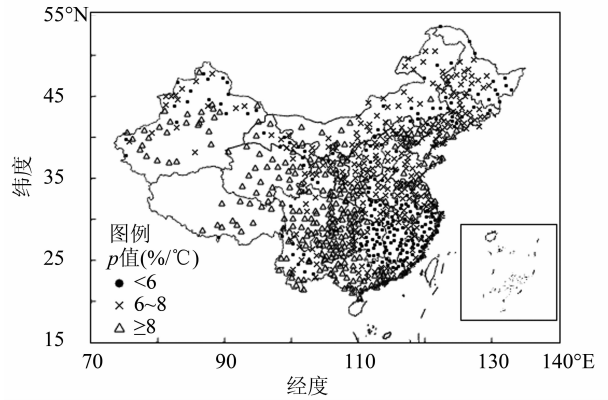


图 2 中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系分布图

Fig. 2 Distribution of  $P_{90d} - T$  relationship in mainland China

2.2.2 变化率 ( $p$ ) 的差异 对各季节的极端降水量峰前数据进行指数拟合, 如图 3。四季  $P_{90d} - T$  关系平均变化率均小于或等于 C-C 关系, 春夏秋冬  $p$  (均) 分别为  $5.95$ ,  $6.27$ ,  $5.77$  和  $5.26\% / ^{\circ}\text{C}$ 。春、秋  $P_{90d} - T$  关系变化率差距小, 两者极端降水与温度的关系相近, 夏季  $P_{90d} - T$  关系变化率最高, 冬季最低。可见, 从不同季节角度看, 随着温度的上升,  $P_{90d} - T$  关系变化率逐渐增大。

2.2.3 超 C-C 关系比重的差异 对气象站点分季节逐个计算  $P_{90d} - T$  关系变化率, 四季超 C-C 关系气象站点比重分别为  $13.87\%$ 、 $25.76\%$ 、 $14.53\%$ 、 $13.34\%$ , 全年为  $14.80\%$ 。春、秋季超 C-C 关系气象站点比重差距不大, 夏季比重最高, 冬季比重最低。在季节角度, 超 C-C 关系气象站点比重随温度上升而增大。结果见表 1, 表中百分比表示符合该类别的测站数占中国大陆地区全部站点的比重。

将各气象站点按  $P_{90d} - T$  关系变化率分组标记, 如图 4。春、秋两季分布图除西南地区外, 形态较为相近, 夏、冬两季分布图南方差距较大、北方较接近。春季  $p < 6\% / ^{\circ}\text{C}$  (图 4 ●) 集中于华东、华中地区,  $p \geq 8\% / ^{\circ}\text{C}$  (图 4 △) 集中区域为华南、西北地区; 夏季  $p < 6\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域分布较为均匀,  $p \geq 8\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域集中于华中、华东地区; 秋季  $p < 6\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域较为均匀的分布在中国东部、中部,  $p \geq 8\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域集中分布在西南、西北地区; 冬季  $p < 6\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域分布较为均匀,  $p \geq 8\% / ^{\circ}\text{C}$  的区域较少。由此可知, 同一地区不同季节  $P_{90d} - T$  关系变化程度不同, 其中变化最大为西南、华南、华东地区。究其原因, 华南、华东地区

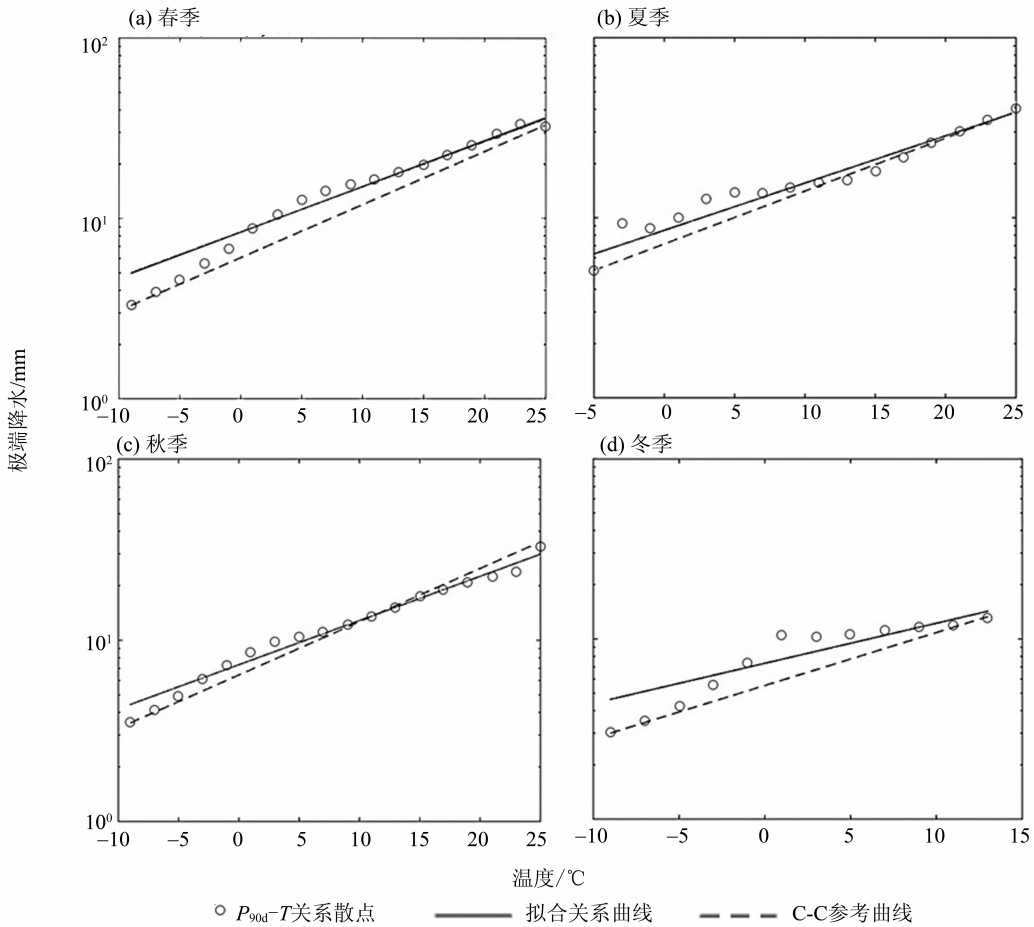


图 3 中国大陆地区分季节  $P_{90d} - T$  关系拟合图

Fig. 3  $P_{90d} - T$  relationship in four seasons in mainland China

表 1 中国大陆地区四季  $P_{90d} - T$  关系与 C-C 关系对比表

Table1 Comparison between  $P_{90d} - T$  relationship and C-C relationship in four seasons in mainland China

季节	$P_{90d} - T$ 关系 $\leq$ C-C 关系		$P_{90d} - T$ 关系 $>$ C-C 关系	
	测站数目/个	百分比/%	测站数目/个	百分比/%
春季	652	86.13	105	13.87
夏季	562	74.24	195	25.76
秋季	647	85.46	110	14.53
冬季	656	86.65	101	13.34
全年	645	85.20	112	14.80

均以平原地区为主，人口上属于高度集聚区，城市化程度较高<sup>[14]</sup>，地处沿海，海洋上输送了大量的水汽使区域内降水量大，且受季风影响显著。而西南地区海拔高度高，受到夏季风年代际变化和副热带高压的年代际位置变化的影响<sup>[15]</sup>，四季气候差异较大；地形上存在高原、盆地等大陆性气候显著的地区，其年、日温差大，降水少，季节分布不均。可见，受季风影响大的区域， $P_{90d} - T$  关系随

季节变化也大。

由图 4 可见，西南四季  $P_{90d} - T$  关系平均变化率变化最为显著，西北次之，对西南、西北地区  $P_{90d} - T$  关系平均变化率的季节变化进行分析，西部地区（含西北、西南地区）结果如图 5 所示，西南地区极端降水峰值夏季最高、冬季最低；西北地区极端降水峰值秋季最高、冬季最低。

对西南、西北地区不同季节  $P_{90d} - T$  关系平均

变化率分析计算, 结果如下: 西南地区四季  $P_{90d} - T$  关系变化率分别为 5.99, 6.29, 6.02 和 4.82%/°C, 其中夏季  $P_{90d} - T$  关系平变化率最高, 冬季最低, 四季变幅为 1.47%/°C; 西北地区四季  $P_{90d} - T$  关系变化率分别为 5.47, 5.30, 5.80 和 5.28%/°C, 其中秋季  $P_{90d} - T$  关系变化率最高, 冬季最低, 四季变幅为 0.49%/°C。

### 2.3 极端降水与温度关系的空间差异

中国地区的经度范围: 73°33'E 至 135°05'E; 纬度范围: 3°51'N 至 53°33'N。据图 2 和 4 可见, 总体上看, 中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系增长率在空间上分布不均, 基本呈东低西高、中低纬高、中高纬低的分布形态, 距海岸线越远的地区,  $P_{90d} - T$  关系越不符合 C-C 关系, 偏离 C-C 关系范围的程度越大, 对 C-C 关系适用性更低, 其中中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系变化率高值区域集中于西南, 其次为西北地区。

由图 6 可见, 西南地区等值线集中区域主要位于青藏高原、云贵高原、四川盆地, 该区域  $P_{90d} -$

$T$  关系变化率大, 分析原因在于: 气候上, 西南地区受季风影响显著, 东亚夏季风年代际尺度上的变化和西太平洋副热带高压的年代际位置变化, 对整个区域气候产生显著影响, 其中海温异常变化是影响西南地区气候变化的间接原因<sup>[16]</sup>, 区域内气候差异较为明显, 其气候变化具有较为独特的规律和特点, 其温度变化与全球变暖具有一定的非同步性<sup>[17]</sup>, 这使其极端降水事件本身的变化存在时间差异。在地形上, 西南地区是世界上地形最复杂的地区之一, 地理海拔变化是影响西南地区极端降水变化的直接原因, 使其极端降水事件本身的变化存在空间差异<sup>[18]</sup>。故虽然西南地区大陆性不强, 但受到季风和地形显著影响, C-C 关系的适用性最差。

另外, 西北地区  $P_{90d} - T$  关系变化率最大的区域集中于塔里木盆地周围、柴达木盆地周围。西北地区四季变化最大的区域也位于塔里木盆地周围地区, 分析原因在于: 塔里木盆地位于天山和昆仑

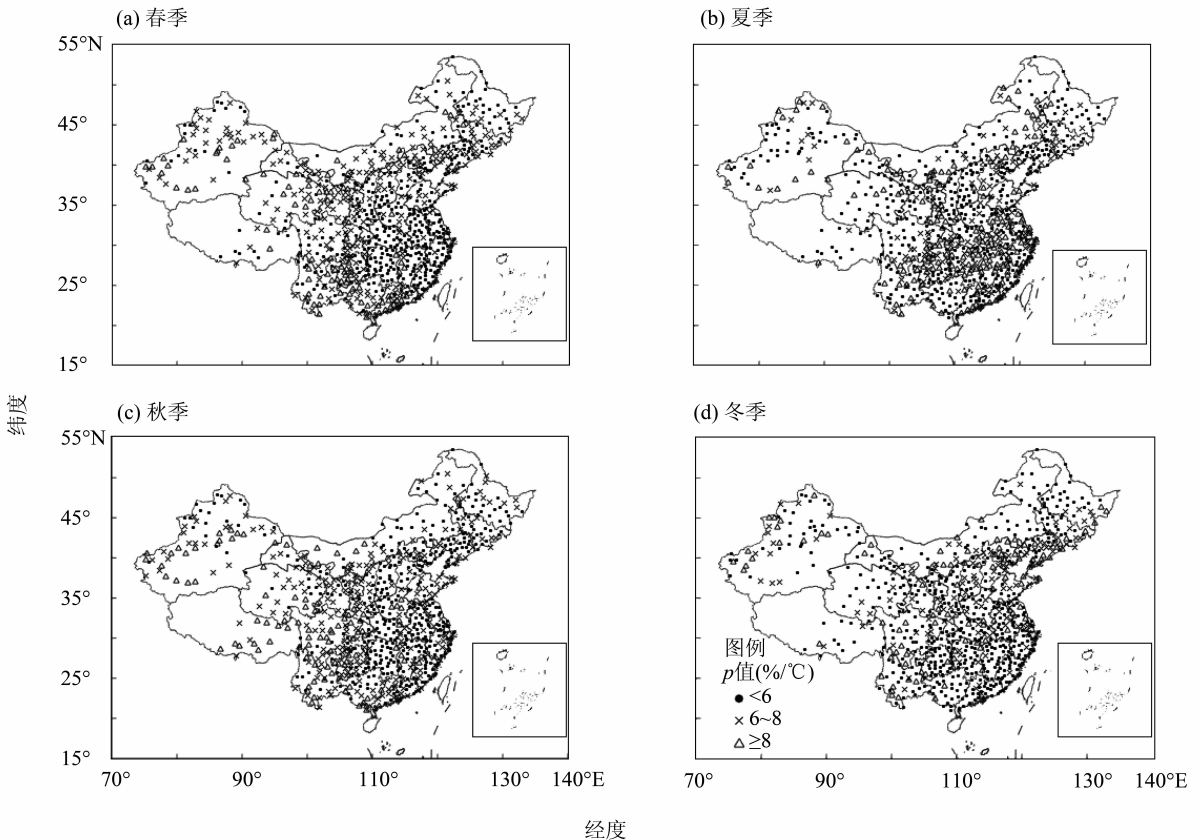


图 4 中国大陆地区不同季节  $P_{90d} - T$  关系分布图

Fig. 4 Distribution of  $P_{90d} - T$  relationship in four seasons in mainland China

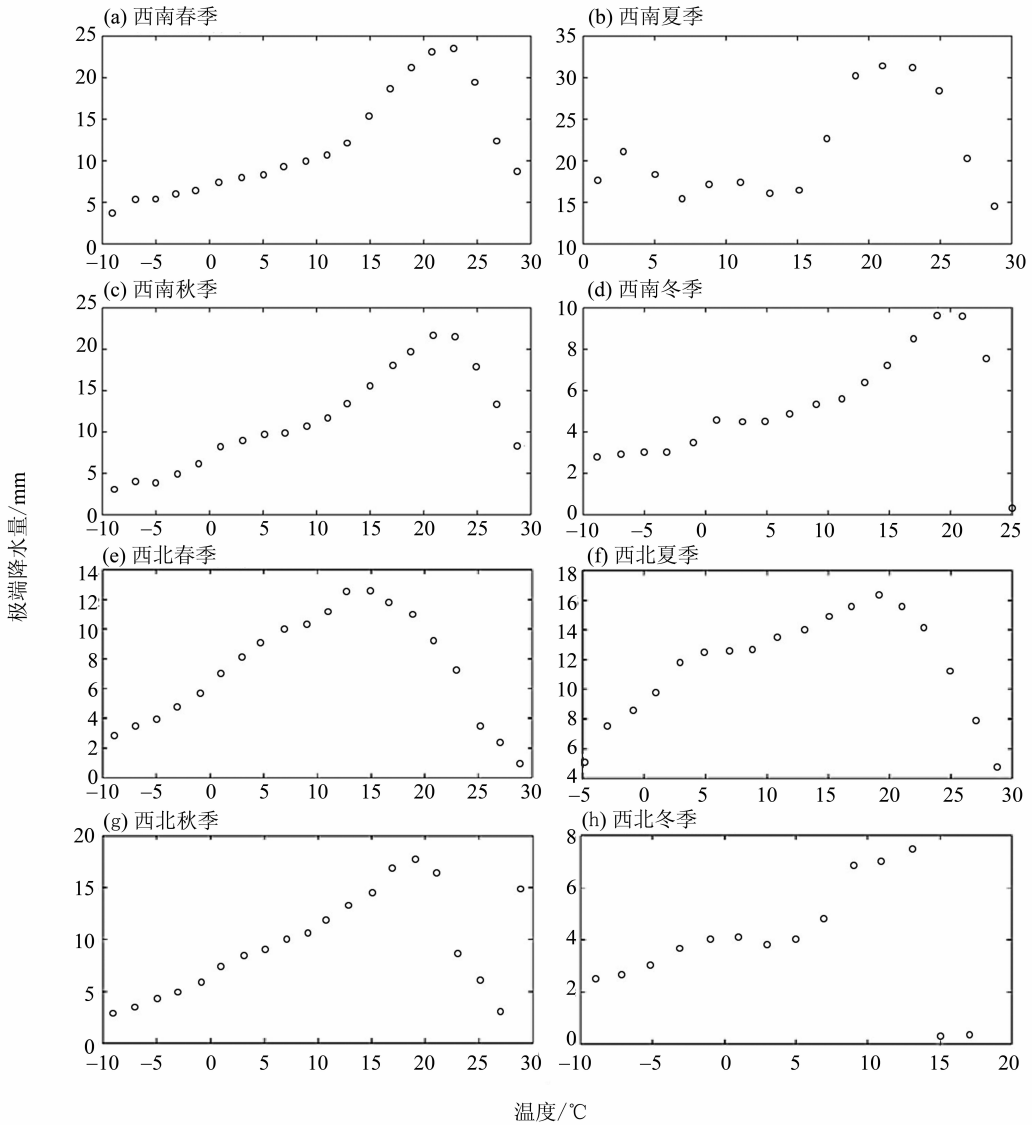


图 5 西部地区分季节  $P_{90d} - T$  关系散点图

Fig. 5 Scatter plot of  $P_{90d} - T$  relationship in four seasons in western district

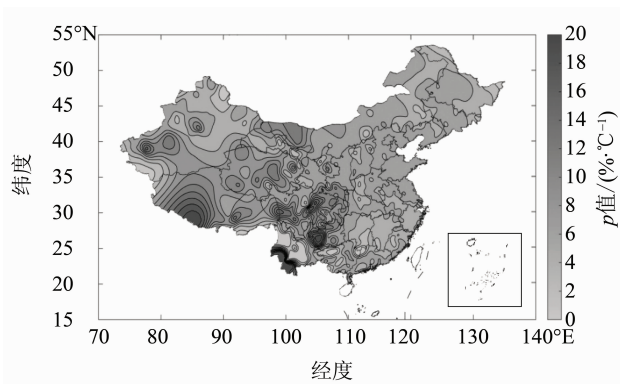


图 6 中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系增长率等值线图

Fig. 6 Contour map of the scaling rate of  $P_{90d} - T$  relationship in mainland China

山、阿尔金山之间，中心为塔克拉玛干沙漠，是一个大型封闭性山间盆地。印度洋和西太平洋暖湿气流被天山、昆仑山阻隔进入，导致该地区降水量小，气候变化大。夏季炎热少雨，冬季异常寒冷，四季差异大，属大陆性气候最显著的地区之一<sup>[19]</sup>。而柴达木盆地为高原型封闭盆地，四周被昆仑山、阿尔金山、祁连山等山脉环抱，属高原大陆性气候，以干旱为主要特点<sup>[20]</sup>。由此可见，西北地区内，超 C-C 关系的站点主要位于大陆性气候显著的地区，满足除受季风显著影响的西南地区外，中国大陆地区内大陆性气候特征越强的地区出现超 C-C 关系的站点更多，对于 C-C 关系的适用性则更差<sup>[21-22]</sup> 的结论。

以下主要分别从经向、纬向 2 种不同空间视角

对  $P_{90d} - T$  关系差异进行讨论。

2.3.1 经向间差异 对中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系以  $10^\circ$  为经度分区标准分析计算, 各区极端降水峰值对应温度分别为  $11^\circ\text{C}$ 、 $11^\circ\text{C}$ 、 $23^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 、 $25^\circ\text{C}$ 。可见, 极端降水峰值对应的温度值随经度增大而增加。 $70^\circ - 120^\circ\text{E}$  区域内, 最大极端降水量随经度增大逐步增加, 到  $120^\circ - 130^\circ\text{E}$ , 最大极端降水量又有所下降。

经计算,  $70^\circ - 130^\circ\text{E}$  内各区超 C-C 关系站点比重分别为 66.60%, 57.12%, 67.86%, 69.08%, 15.64% 和 9.76%。除  $70^\circ - 80^\circ\text{E}$  区域站

点少, 超 C-C 关系站点比重较大外,  $100^\circ - 110^\circ\text{E}$  区域超 C-C 关系气象站点比重最大, 并由此向东西两侧递减, 东侧递减速率更快。

对各经度分区的  $P_{90d} - T$  关系平均变化率进行计算, 结合图 6 进行趋势分析可见, 整体上中国大陆地区的  $P_{90d} - T$  关系变化率呈现东低西高的空间特征。其中  $100^\circ - 110^\circ\text{E}$  分区  $P_{90d} - T$  关系变化率最大, 为  $7.62\%/^\circ\text{C}$ , 并依次向东西两侧递减, 东侧下降速率更快, 平均变化率最低为  $70^\circ - 80^\circ\text{E}$  分区, 为  $5.71\%/^\circ\text{C}$ , 结果见表 2。

表 2 不同经度分区  $P_{90d} - T$  关系结果表

Table 2  $P_{90d} - T$  relationship of six longitudinal sub-regions

东经/ $(^\circ)$	$\frac{p(\text{均})}{(\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1})}$	关系性质	不同 $p$ 值 ( $\%/^\circ\text{C}$ ) 范围占比/ $\%$		
			<6	6~8	$\geq 8$
70-80	5.71	类 C-C	16.67	16.67	66.66
80-90	6.28	C-C	24.44	24.44	51.12
90-100	6.92	C-C	19.64	12.50	67.86
100-110	7.62	C-C	7.25	23.67	69.08
110-120	6.10	C-C	38.44	45.92	15.64
120-130	5.83	类 C-C	30.89	59.35	9.76

2.3.2 纬向间差异 对中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系分纬度进行讨论, 在  $20^\circ - 50^\circ\text{N}$  内, 极端降水量峰值随纬度的提高逐步降低。经计算可得,  $20^\circ - 50^\circ\text{N}$  分区以  $5^\circ$  为分区标准, 各区超 C-C 关系的气象站点数目占总数的比重分别为 63.29%, 37.50%, 43.59%, 34.25%, 25.00% 和 1.96%。其中  $20^\circ - 25^\circ\text{N}$  区域超 C-C 关系的气象站点数目占总数的比重最大, 其平均  $P_{90d} - T$  关系率为超 C-C 关系。除  $25^\circ - 30^\circ\text{N}$  分区以外, 随着纬度的增

加, 分区内超 C-C 关系的气象站点数目占总数的比重逐渐减少。

对各分区的  $P_{90d} - T$  关系变化率进行计算, 结合图 6 进行趋势分析, 将  $20^\circ - 50^\circ\text{N}$  区域以纬度  $5^\circ$  为一组计算  $P_{90d} - T$  关系变化率。其中最高值出现在  $20^\circ - 25^\circ\text{N}$ , 最低值出现在  $45^\circ - 50^\circ\text{N}$ 。除  $25^\circ - 30^\circ\text{N}$  分区以外, 整体上中国大陆地区  $P_{90d} - T$  关系变化率随纬度提高而降低, 结果见表 3。

表 3 不同纬度分区  $P_{90d} - T$  关系结果表

Table 3  $P_{90d} - T$  relationship of six latitudinal sub-regions

东经/ $(^\circ)$	$\frac{p(\text{均})}{(\% \cdot ^\circ\text{C}^{-1})}$	关系性质	不同 $p$ 值 ( $\%/^\circ\text{C}$ ) 范围占比/ $\%$		
			<6	6~8	$\geq 8$
20-25	8.54	超 C-C	18.99	17.72	63.29
25-30	6.15	C-C	45.11	17.39	37.50
30-35	7.13	C-C	20.51	35.90	43.59
35-40	5.98	类 C-C	12.33	53.42	34.25
40-45	5.44	类 C-C	24.26	50.74	25.00
45-50	5.39	类 C-C	35.29	62.75	1.96

### 3 结 论

本文以中国大陆地区 757 个站点的日温及降水资料为基础, 筛选全国雨天数据确定极端降水事件阈值为 90%, 通过不同季节、不同经纬度的角度, 对极端降水与温度关系进行研究, 所得结论如下:

1) 我国大陆地区 1960 - 2014 年的极端降水量  $P_{90d}$  与温度  $T$  之间的关系呈现单一的峰型, 总体符合 C-C 关系, 但不同区域不同季节的适用性有所不同。

2) 中国大陆地区四季  $P_{90d} - T$  图均呈峰型, 最大极端降水量及其对应的温度值随着温度升高均有所增大, 且随着温度的上升,  $P_{90d} - T$  关系变化率增大, 超 C-C 关系的气象站点所占的比重亦有所增加。

3) 中国大陆地区内  $100^{\circ} - 110^{\circ}\text{E}$  区域的超 C-C 关系气象站点数目占总数的比重最大, 极端降水与温度关系的变化增长率最高, 两者均由此向东西两侧递减, 且东侧递减更快。

4) 随着纬度提高, 中国大陆地区各纬度分区内超 C-C 关系的气象站点数目占总数的比重及极端降水与温度关系的变化率均大致呈逐渐减少的趋势。

5) 同一地区不同季节的极端降水与温度关系变化不同, 变化最大为西南地区, 且  $P_{90d} - T$  关系变化率最高。受季风影响大的区域, 极端降水与温度关系随季节变化也大, 尤其以西南地区夏季  $P_{90d} - T$  关系变化率最高, 为  $6.29\%/^{\circ}\text{C}$ , 四季变幅达  $1.47\%/^{\circ}\text{C}$ 。

6) 除受季风显著影响的西南地区外, 中国大陆地区内大陆性气候特征越强的地区出现超 C-C 关系的站点更多, 对于 C-C 关系的适用性则更差。

本文通过不同季节、不同经纬度的角度, 对温度与极端降水关系进行研究, 但目前, 西部地区气象站点分布较为稀疏, 对该地区的代表性有待提高。另外, 本文只是对  $P_{90d} - T$  关系在峰值之前的部分进行拟合分析, 而峰值之后的部分并未考虑, 在日后的研究中可寻找更加完善的方法对完整的数据序列进行评估。

#### 参考文献:

[1] 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 G Y, FENG G L, YAN Z W. Progresses observa-

tion studies of climate extremes and changes in mainland China[J]. Climate and Environmental Research, 2010, 15(4): 337 - 353.

[2] 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.  
MIN S, QIAN Y F. Regionality and persistence of extreme precipitation events in China[J]. Advances in Water Science, 2008, 19(6): 763 - 771.

[3] 杨金虎, 江志红, 王鹏祥, 等. 中国年极端降水事件的时空分布特征[J]. 气候与环境研究, 2008, 13(1): 75 - 83.  
YANG J H, JIANG Z H, WANG P X. Temporal and spatial characteristic of extreme precipitation event in China [J]. Climate and Environmental Studies, 2008, 13(1): 75 - 83.

[4] 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 T, XIE L A. Study on progress of the trend and physical causes of extreme precipitation in China during the last 50 years [J]. Advances in Earth Science, 2014, 29(5): 557 - 589.

[5] ALLEN M R, INGRAM W J. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle [J]. Nature, 2002, 419(6903): 224 - 232.

[6] PALL P, ALLEN M R, STONE D A. Testing the Clausius-Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under  $\text{CO}_2$  warming[J]. Climate Dynamics, 2007, 28(4): 351 - 363.

[7] LENDERINK G, MEIJGAARD E V. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes[J]. Nature Geoscience, 2008, 1(8): 511 - 514.

[8] 周晓霞, 王盘兴, 段明铿, 等. 我国季平均气温和降水局地同时相关的时空特征[J]. 应用气象学报, 2007, 18(5): 601 - 609.  
ZHOU X X, WANG P X, DUAN M K, et al. Spatial and temporal structures of relationship between seasonal mean temperature and rainfall in China [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2007, 18(5): 601 - 609.

[9] UTSUMI N, SETO S, KANA E S, et al. Does higher surface temperature intensify extreme precipitation? [J]. Geophysical Research Letters, 2011, 38(16): 239 - 255.

[10] BERG P, HAERTER J O, THEJLL P, et al. Seasonal characteristics of the relationship between daily precipitation intensity and surface temperature[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 2009, 114(D18): 4939 - 4952.

- [11] 王艳姣, 闫峰. 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, 2014, 33 (10): 1354 - 1363.  
WANG Y J, YAN F. Regional differentiation and decadal change of precipitation in China in 1960 - 2010 [J]. Progress in Geography, 2014, 33 (10): 1354 - 1363.
- [12] 国家气候中心. 《第二次气候变化国家评估报告》主要内容 [N]. 中国气象报, 2011 - 11 - 17 (003).
- [13] HARDWICK JONES R, WESTRS S, SHARMA A. Observed relationships between extreme sub - daily precipitation, surface temperature, and relative humidity [J]. Geophysical Research Letters, 2010, 37 (22), doi: 10.1029/2010GL045081.
- [14] 周强. 中国东部夏季极端高温的气候变化特征及其影响因子 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2011.  
ZHOU Q. The temporal-spatial variations of summer extreme temperature and the cause of hot summer in East China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2011.
- [15] 蒋璐君, 李国平, 王兴涛. 基于 TRMM 资料的高原涡与西南涡引发强降水的对比研究 [J]. 大气科学, 2015, 39 (2): 249 - 259.  
JIANG L J, LI G P, WANG X T. Comparative study based on TRMM data of the heavy rainfall caused by the Tibetan Plateau vortex and the southwest vortex [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015, 39 (2): 249 - 259.
- [16] 袁文德, 郑江坤, 董奎. 1962 - 2012 年西南地区极端降水事件的时空变化特征 [J]. 资源科学, 2014, 36 (4): 766 - 772.  
YUAN W D, ZHENG J K, DONG K. Spatial and temporal variation in extreme precipitation events in southwestern China during 1962 - 2012 [J]. Resources Science, 2014, 36 (4): 766 - 772.
- [17] 宋艳华, 马金辉, 刘峰. 基于 GIS 的中国气温空间分布与分区初探 [J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20 (4): 16 - 21.  
SONG Y H, MA J H, LIU F. GIS - based primary study on the temperature spatial distribution and regionalization of China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2006, 20 (4): 16 - 21.
- [18] 徐晓, 肖天贵, 麻素红. 西南地区气候季节划分及特征分析 [J]. 高原山地气象研究, 2010, 30 (1): 35 - 40.  
XU X, XIAO T G, MA S H. The features analysis on divisions of season in southwest China [J]. Plateau and Mountain Meteorology Research, 2010, 30 (1): 35 - 40.
- [19] 韩雪云. 西北干旱区极端气温的时空分布及变化特征分析 [D]. 乌鲁木齐: 新疆师范大学, 2013.  
HAN X Y. The extreme temperatures of temporal and spatial distribution and variation characteristics analysis in arid regions of northwest China [D]. Urumqi: Xinjiang Normal University, 2013.
- [20] 毛炜峰, 南庆红, 史红政. 新疆气候变化特征及气候分区研究 [C]. 2008 年中国气象学会年会气候变化分会场论文集, 2008.
- [21] YE H C, FETZER E J, WONG S, et al. Increasing atmospheric water vapor and higher daily precipitation intensity over northern Eurasia [J]. Geophysical Research Letters, 2015, 42 (21): 9404 - 9410.
- [22] YE H C, FETZER E J, BEHRANGI A, et al. Increasing daily precipitation intensity associated with warmer air temperatures over northern Eurasia [J]. Journal of Climate, 2016, 29 (2): 623 - 636.