DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2017.0111
REN Jingquan, GUO Chunming, LIU Yuxi, et al. Spatiotemporal change characteristics of extreme precipitation indices in Jilin Province from 1961 through 2015[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(5): 1004 – 1011. [任景全, 郭春明, 刘玉汐, 等. 1961 – 2015 年吉林省极端降水指数时空变化特征[J]. 冰川冻土, 2017, 39(5): 1004 – 1011.]

1961 – 2015 年吉林省极端降水指数时空变化特征

任景全[1], 郭春明[1], 刘玉汐[2], 王丽伟[3], 李 琪[4]
(1. 吉林省气象科学研究所, 吉林 长春 130062; 2. 吉林省气象台, 吉林 长春 130062; 3. 吉林省气象信息网络中心, 吉林 长春 130062; 4. 江苏省农业气象重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘 要: 利用 1961 – 2015 年吉林省 50 个气象站的逐日降水量资料, 通过 RClimDex v1.1 软件计算 11 个极端降水指数, 采用线性倾向估计和 Morlet 小波分析等方法, 分析了吉林省极端降水指数的时空变化规律。结果表明: 1961 – 2015 年吉林省最长连续无雨日数(CDD)自西向东逐渐降低, 其他极端降水指数均呈自西向东逐渐增加的趋势分布。吉林省 CDD 呈极显著的下降趋势, 下降速率为 – 1.99 d·(10a)$^{-1}$, 其他极端降水指数波动变化, 线性趋势不显著。吉林省各极端降水指数均在 20 世纪 70 年代达到最小值。绝大多数极端降水指数存在 3 a 和 12 a 左右的周期变化, 3 a 左右的主周期通过了 0.05 的显著性水平检验。吉林省极端降水指数除 CDD 随经度、海拔的增加而显著降低, 随纬度的增加而显著增加外, 其他大部分极端降水指数随经度、海拔的增加而增加, 随纬度的增加而降低。

关键词: 极端降水; 气候变化; Morlet 小波分析; 吉林省
中图分类号: P426.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)05-1004-08

0 引言

政府间气候变化专门委员会(IPCC)第五次评估报告指出, 全球变暖背景下, 各地极端天气气候事件规律发生变化或导致区域气象灾害频发, 灾害风险加剧[1]。《第三次气候变化国家评估报告》[2]指出, 1909 年以来中国的变暖速率高于全球平均值, 在 0.9 ~ 1.5 ℃·(100a)$^{-1}$。在气候变暖背景下, 东北地区作物生长季积温增多[3], 极端降水事件阈值由东南沿海向西北内陆逐渐减小, 东北地区短时间内连续发生极端降水事件概率较大[4]。

已有许多学者对极端降水事件进行了研究[5-7]。Donat 等[8]研究表明在干气候和湿气候地区, 极端降水事件都呈增加的趋势。You 等[9]研究表明中国的连续无雨日数呈下降趋势, 年降水量呈上升趋势。陈海山等[10]研究表明中国平均极端降水事件的空间分布具有明显的纬向分布特征, 东北年极端降水事件频次有增加趋势。西北地区的最大 1 d 降水量和强降水日数呈增加趋势[11], 祁连山和河西走廊的湿日降水量和强降水日数呈显著的线性上升趋势[12], 在整个西北干旱区, 年和夏季大雨以上频率和降水量都出现了显著的增加[13]。南方地区最大 5 d 降水量、日降水量≥20 mm 日数均呈上升趋势[14]。西藏[15]和新疆[16]的连续无雨日数呈下降趋势。黄河流域冬季最大 1 d 降水量和最大 5 d 降水量呈上升趋势, 其它季节为下降趋势[17]。综上说明我国不同气候区域的极端降水事件有变化一致的趋势, 但在不同时间尺度下还存在着差异。

吉林省地处东北中部, 自西向东由平原向丘陵山地过渡, 是典型的温带大陆性季风气候区, 也是我国的主要粮食产区, 2015 年粮食单产为 7 182.1 kg·hm^{-2}, 位居全国第一位。在气候变暖背景下, 极端气候事件给吉林省的粮食生产带来了严重影响, 研究吉林省极端降水指数的历史变化规律尤为重要, 鉴于此, 以国际标准定义的极端降水指数来研究吉林省极端降水事件的变化, 并分析极端降水

收稿日期: 2017-02-20; **修订日期:** 2017-09-25
基金项目: 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201206018; GYHY201506001); 吉林省重点科技攻关项目(20150204014NY)资助
作者简介: 任景全(1988 –), 男, 内蒙古赤峰人, 工程师, 2013 年在南京信息工程大学获硕士学位, 从事农业气象业务及科研工作. E-mail: renjingquan1988@126.com
通信作者: 郭春明, E-mail: gch8188@sina.com.

指数与地理因子的关系，以期为决策部门提供有利参考，达到防灾减灾的目的。

1　资料与方法

1.1　资料来源

本文 50 个气象站逐日降水量数据来源于吉林省气象局，为建立均一、稳定的降水量序列，将数据资料时段统一为 1961 – 2015 年，经整理后 55 a 的降水量资料。研究区域及气象站点见图 1。

1.2　研究方法

本研究采用气候变化监测与指数专家组(Expert Team on Climate Change Detection and Indices，简称 ETCCDI)推荐的极端降水指数，通过基于 R 语言的 RClimDex v1.1 软件(http://etccdi.pacificclimate.org/)计算了吉林省 11 个极端降水指数(表 1)，在计算极端降水指数之前对降水数据进行了均一性检验。基于 ArcGIS10.0 数据处理平台的 IDW(Inversed Distance Weighted Method)方法进

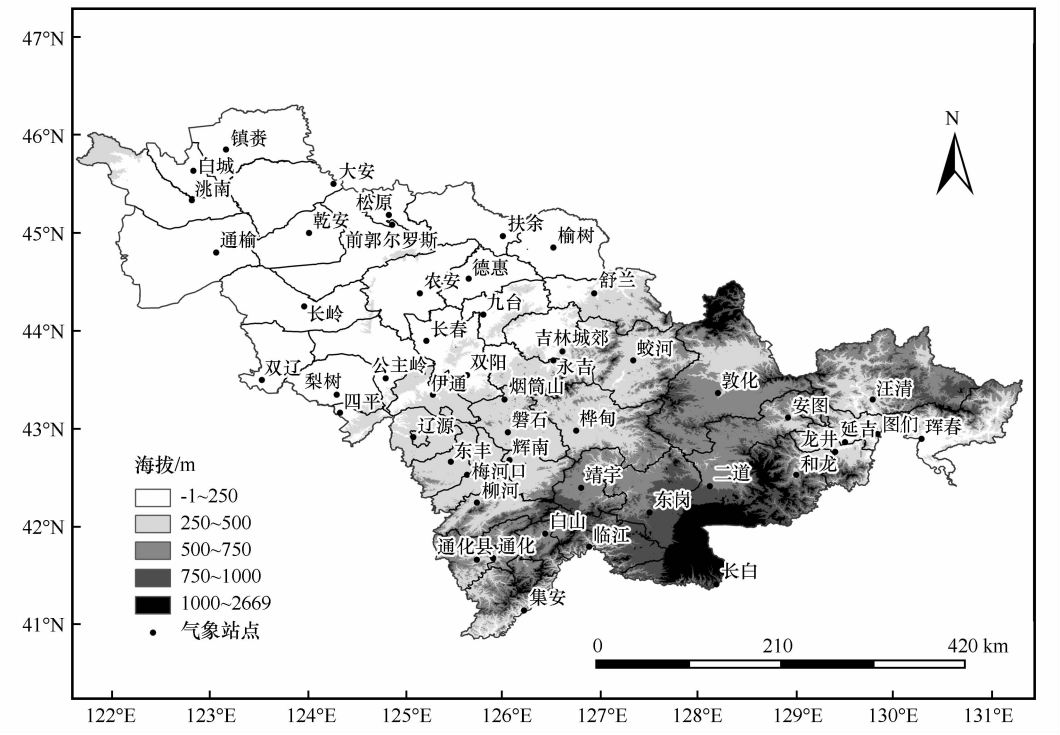


图 1　吉林省气象站点分布

Fig. 1　Spatial distribution of the meteorological stations in Jilin Province

表 1　极端降水指数的定义

Table 1　The definition of extreme precipitation indices

缩写	极端降水指数	定义	单位
CDD	最长连续无降水日数	年日降水量 < 1 mm 的最长连续日数	d
CWD	最长连续有降水日数	年日降水量≥1 mm 的最长连续日数	d
R10	强降水日数	年日降水量 > 10 mm 的总日数	d
R20	强降水日数	年日降水量 > 20 mm 的总日数	d
R25	强降水日数	年日降水量 > 25 mm 的总日数	d
R95P	强降水量	年日降水量 > 第 95 百分位值的降水总量	mm
R99P	极强降水量	年日降水量 > 第 99 百分位值的降水总量	mm
RX1	1 日最大降水量	年最大的 1 d 降水量	mm
RX5	连续 5 日最大降水量	年最大的连续 5 d 降水量	mm
SDII	降水强度	年降水日内降水强度	$mm \cdot d^{-1}$
PRCPTOT	年降水总量	年日降水量≥1 mm 的总降水量	mm

行极端降水指数的空间插值。利用 SPSS 20.0(Statistical Product and Service Solutions)软件进行极端降水指数与地理因子一元线性回归分析。利用 Morlet 连续小波分析方法，分析极端降水指数的周期特性，利用 $\alpha=0.05$ 红噪声标准谱作为背景谱来进行显著性检验，当检验线低于小波谱曲线时，说明该区段对应的周期特征通过了 0.05 显著性水平检验。由小波谱可以确定一个时间序列中各种尺度的相对强度，小波谱对应峰值处的尺度称该序列的主要时间尺度，以反映时间序列的主要周期[18-19]。

2 结果与分析

2.1 极端降水指数的空间分布特征

1961－2015 年吉林省极端降水指数空间分布见图 2。由图可知，吉林省 CDD 呈由西向东逐渐降低的分布特征，白城站最高，为 108.4 d，次高值在通榆站，为 107.5 d，白山站最小，为 27.5 d；CWD 呈自西向东逐渐增加的分布特征，东岗站最高，为

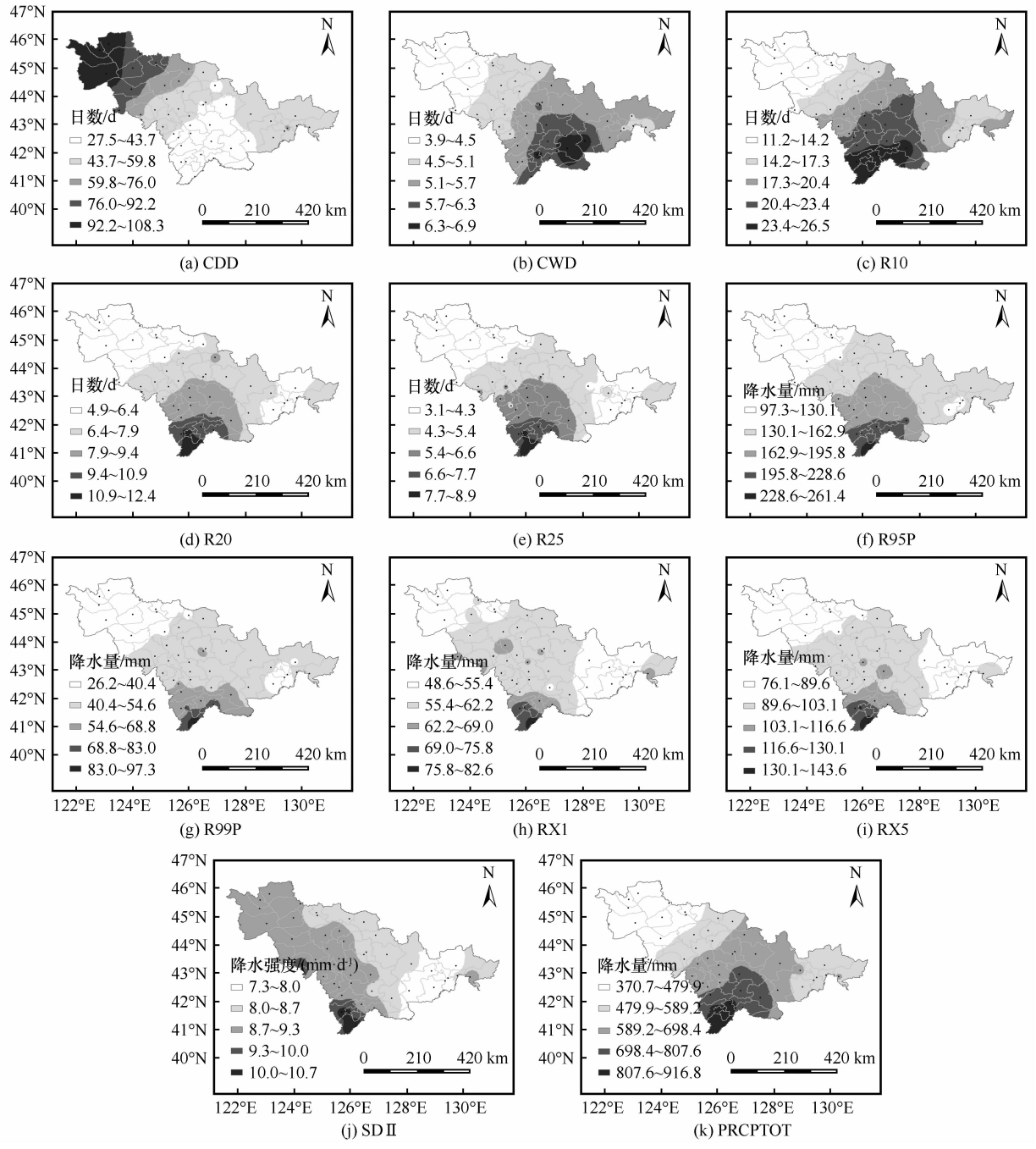


图 2 吉林省极端降水指数空间分布

Fig. 2 Spatial distribution of extreme precipitation indices in Jilin Province

6.9 d；R10、R20、R25 均呈自西向东逐渐增加的空间特征，高值区均位于集安站，分别为 26.5 d，12.4 d 和 8.9 d；R95P 和 R99P 呈自西向东逐渐增加的空间分布特征，高值中心位于集安站，分别为 262.1 mm 和 97.3 mm，R95P 在西部的洮南站最少，为 97.3 mm，R99P 在西部的长岭站最少，为 26.2 mm；RX1、RX5 和 PRCPTOT 也呈自西向东逐渐增加的分布特征，高值中心位于集安，分别为 82.7 mm、143.5 mm 和 916.9 mm，其中 PRCPTOT 最低值在洮南站，为 370.7 mm。降水强度高值中心主要位于集安站，为 10.6 mm · d^{-1}。

2.2　极端降水指数的年际变化特征

1961 – 2015 年吉林省极端降水指数的年际变化见图 3。由图可见，吉林省 CDD 年际变化呈极显著的下降趋势（$P < 0.01$），下降速率为 – 1.99 d · (10a)$^{-1}$，在 1986 年之前为上升趋势，之后呈下降趋势，在 1963 年最高，2013 年最低；CWD 波动变化，呈下降的线性趋势，但不显著；R10、R20、R25 均呈波动的下降趋势；R95P 和 R99P 均呈线性的上升趋势，两者均在 1984 年之前下降，之后上升。RX1 呈线性上升趋势，RX5 呈线性下降趋势，均不显著，两者均在 1984 年由下降转为上升趋势，在 1996 年又转为下降趋势；SDII 呈线性下降趋势，趋势不显著，变化幅度在 7.2 ~ 10.4 mm · (10a)$^{-1}$；PRCPTOT 呈上升趋势，上升速率为 1.69 mm · (10a)$^{-1}$。

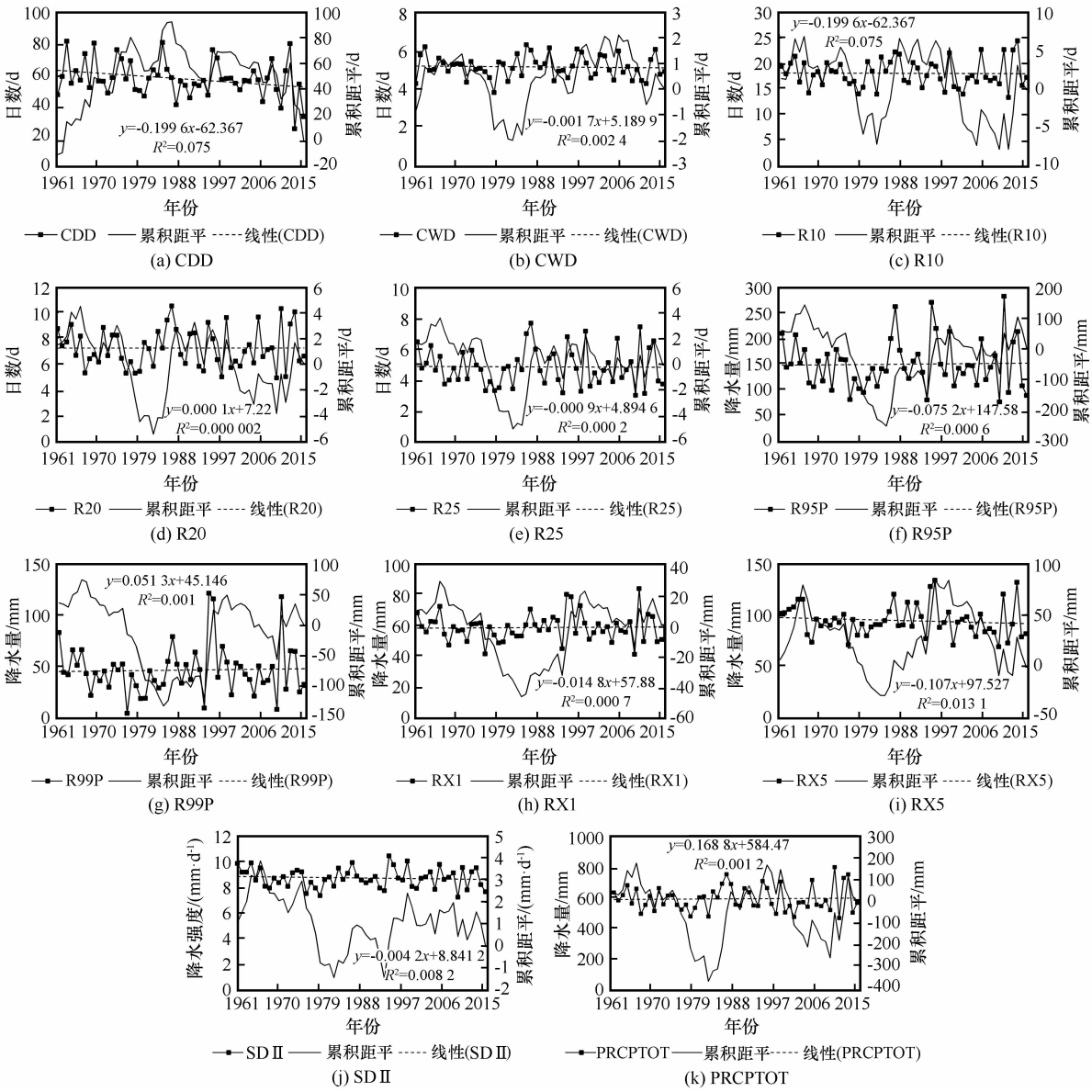


图 3　吉林省极端降水指数的年际变化

Fig. 3　Annual variations of the extreme precipitation indices in Jilin Province

2.3 极端降水指数的年代际变化特征

吉林省极端降水指数的年代际变化特征见表2。由表中可见，吉林省 CDD 从 20 世纪 60 年代以来逐渐减少，2011－2015 年较 20 世纪 60 年代减少了 11.3 d；CWD 无明显变化，在 20 世纪 70 年代最少，为 4.9 d；R10、R20 和 R25 在 20 世纪 70 年代较其他年代要低，R95P 和 R99P 也符合这个特征，均在 20 世纪 70 年代最低，分别为 128.3 mm 和 34.4 mm，而 R95P 和 R99P 在 20 世纪 90 年代最大，分别为 161.6 mm 和 59.8 mm；RX1 和 RX5 无明显变化，也是在 20 世纪 70 年代最低，分别为 53.9 mm 和 89.2 mm；SDII 在 20 世纪 70 年代最小，为 8.4 mm · d^{-1}，20 世纪 60 年代最大，为 8.9 mm · d^{-1}；与其他降水指数类似，PRCPTOT 在 20 世纪 70 年代最小，为 565.4 mm，但在 20 世纪 80 年代最大，为 618.5 mm。综上可知，极端降水指数值均在 20 世纪 70 年代最小。

2.4 极端降水指数的周期变化特征

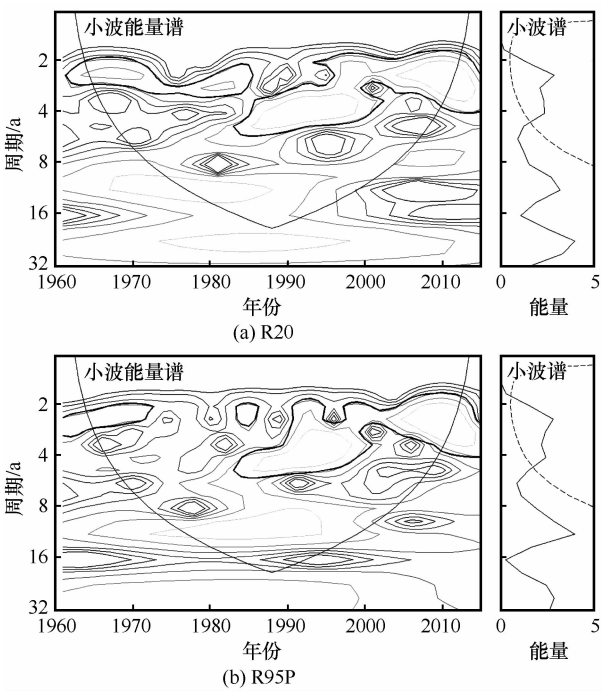
以 R20 和 R95P 为例，分析吉林省极端降水指数的周期变化特征，结果见图4。由图可知，R20 通过 0.05 显著性水平检验的频域和时间域聚集中心主要有 4 个，其中心坐标分别为：(2，1968)、(3，1981)、(4，1992)和(3，2011)。每个坐标为中心的小波能量在时域尺度上的强集中影响范围分别是 1961－1973 年、1974－1985 年、1983－2002 年和 2003－2015 年。从小波谱中可以看出，R20 存在 3 a 和 12 a 左右的周期，3 a 左右的振荡周期通过 0.05 显著性水平检验，因此 R20 的主周期为 3 a 左右。

R95P 通过 0.05 显著性水平检验的频域和时间域聚集中心主要有 3 个，其中心坐标分别为：(3，1965)、(4，1992)和(3，2011)。每个坐标为中心的小波能量在时域尺度上的强集中影响年份分别是 1961－1973 年、1983－2000 年和 2003－2015 年。从小波谱中可以看出，R95P 存在 3 a 和 12 a 左右的周期，3 a 左右的振荡周期通过 0.05 显著性水平检验，因此 R95P 的主周期为 3 a 左右。其他极端降水指数的小波能量谱时频特征见表3。

表2 吉林省极端降水指数的年代际变化

Table 2 The decadal variations of extreme precipitation indices in Jilin Province

年份	CDD /d	CWD /d	R10 /d	R20 /d	R25 /d	R95P /mm	R99P /mm	RX1 /mm	RX5 /mm	SDII /(mm · d^{-1})	PRCPTOT /mm
1961－1970	61.6	5.3	18.2	7.2	4.9	153.2	49.9	59.4	98.6	8.9	586.7
1971－1980	57.4	4.9	17.7	6.8	4.4	128.3	34.4	53.9	89.2	8.4	565.4
1981－1990	57.0	5.4	19.0	7.8	5.3	158.3	45.5	58.6	96.8	8.8	618.5
1991－2000	57.7	5.1	17.6	7.0	4.9	161.6	59.8	62.4	99.4	8.8	587.3
2001－2010	53.4	5.1	17.8	7.2	4.9	152.2	45.0	58.3	90.4	8.8	583.0
2011－2015	50.3	5.1	18.7	7.4	4.7	139.4	43.3	56.2	91.1	8.5	599.4



注：左图粗实线区域表示通过 0.05 水平的显著性检验，细“V”型实线包围区域为边界效应影响区域；右图细虚线为 0.05 水平的红噪声标准谱。

图4 吉林省 R20 和 R95P 时间系数序列 Morlet 小波能量谱分布

Fig. 4 The Morlet wavelet energy spectrum of time coefficients of R20 and R95P in Jilin Province

2.5 极端降水指数与海拔、经纬度的关系

以吉林省 50 个气象站经纬度、海拔数据为自变量，相应站点的极端降水指数为因变量，分别进行一元线性回归分析，结果见表4。由表中可知，大部分极端降水指数随经度的增加而增加，其中，

表 3　吉林省其他极端降水指数的小波能量谱时频特征

Table 3　The time-frequency characteristics of the wavelet energy spectrum of other extreme precipitation indices in Jilin Province

指数	集中影响年份	尺度中心/a	存在周期/a	主周期/a
CDD	1961 – 1973, 1978 – 1985, 1977 – 1982, 1990 – 1996, 2003 – 2015	3, 2, 8, 3, 4	4, 8	4
CWD	1961 – 1970, 1971 – 1995, 1994 – 2015	4, 3, 3	3, 16, 32	3
R10	1961 – 1974, 1975 – 1987, 1988 – 2004, 2005 – 2015	3, 3, 3, 3	3, 12, 24	3
R25	1961 – 1973, 1983 – 1987, 1982 – 2000, 2001 – 2015	3, 3, 4, 3	3, 4, 12	3, 4
R99P	1961 – 1966, 1976 – 1979, 1982 – 2000, 2004 – 2015	3, 3, 3, 3	3, 12	3
RX1	1962 – 1981, 1987 – 2000, 2003 – 2015	4, 3, 3	3, 4, 12	3
RX5	1965 – 1970, 1974 – 1980, 1985 – 2002, 2004 – 2015	4, 2, 3, 3	3, 12	3
SDII	1961 – 1969, 1974 – 1986, 1987 – 2004, 2005 – 2015	3, 3, 4, 3	3, 12	3
PRCPTOT	1962 – 1973, 1983 – 2001, 2003 – 2015	3, 4, 3	3, 12, 24	3

经度每增加 1 度，CWD、R10、R95P、PRCPTOT 分别显著增加 0.2 d、0.8 d、5.5 mm、27.0 mm；而 CDD 和 SDII 随着经度每增加 1 度分别减少 6.3 d 和 0.2 mm · d^{-1}。除 CDD 随纬度增加而显著增加外，其他极端降水指数均随纬度的降低而减少，其中，纬度每增加 1 度，CWD、R10、R20、R25 分别减少 0.5 d、3.0 d、1.2 d、和 0.8 d，而 R95P、R99P、RX1、RX5 和 PRCPTOT 分别减少 23.5 mm、8.1 mm、2.3 mm、7.3 mm 和 97.5 mm。除 CDD 和 SDII 随海拔增加显著降低外，其他指数均随海拔升高而增加，其中，海拔每升高 100 m，CWD 增加 0.3 d，R10、R20 和 R25 增加 0.2 ~ 1.5 d，R95P、R99P、和 PRCPTOT 分别增加 9.5 mm、2.9mm 和 46.8 mm。综上可知，除 CDD 随经度、海拔的增加而显著降低，随纬度的增加而显著增加外，大部分极端降水指数随经度、海拔的增加而增加，随纬度的增加而降低，这与吉林省极端降水指数的空间分布特征一致。

表 4　吉林省极端降水指数与地理因子的线性回归系数

Table 4　The linear regression coefficient between the extreme precipitation indices and longitude, latitude and altitude in Jilin Province

指数	经度	纬度	海拔
CDD	−6.283**	14.688**	−0.075**
CWD	0.221**	−0.451**	0.003**
R10	0.848**	−3.009**	0.015**
R20	0.150	−1.196**	0.004**
R25	0.050	−0.78**	0.002*
R95P	5.458*	−23.532**	0.095**
R99P	1.564	−8.104**	0.029**
RX1	−0.526	−2.347**	−0.005
RX5	0.202	−7.257**	0.017
SDII	−0.186**	−0.065	−0.001**
PRCPTOT	27.048**	−97.478**	0.468**

注：* 和 ** 分别代表通过了 0.05 和 0.01 的显著性水平检验。

3　讨论与结论

3.1　讨论

吉林省最长连续无降水日数呈显著的下降趋势，说明有效降水的间隔在缩小，与年降水总量呈上升趋势比较相符。最长连续无降水日数呈自西向东逐渐降低，其他降水指数自西向东逐渐增加，吉林省西部主要为平原地区，海拔远低于东部山区，这与本文极端降水指数与地理因子的关系结论一致。极端降水事件在吉林省的东部要强于西部和中部地区，说明东部山区是重点防御极端强降水造成危害的地区。极端降水事件主要受气候环境、地形等环境因素影响。本文着重分析了吉林省极端降水指数的时空变化规律，在今后的研究中，应更加注重极端降水的机理研究，加强极端降水的监测、预警和评估，为吉林省应对气候变化及防灾减灾工作提供依据。

3.2　结论

（1）1961 – 2015 年吉林省极端降水指数空间分布特征明显，CDD 呈自西向东逐渐降低的趋势分布，其中，白城站最高，为 108.4 d，白山站最小，为 27.5 d。CWD 空间分布特征与 CDD 相反，为自西向东逐渐增加，东岗站最高，为 6.9 d。其他极端降水指数均呈自西向东逐渐增加的趋势分布，高值中心大都位于东部的集安站。

（2）1961 – 2015 年吉林省 CDD 年际变化呈极

显著的下降趋势($P < 0.01$)，下降速率为 -1.99 d·(10a)$^{-1}$，其他极端降水指数的年际变化呈波动变化，线性趋势不显著，其中 R95P、R99P、RX1 和 PRCPTOT 呈上升趋势，其他极端降水指数呈下降趋势。从最长连续无降水日数的下降趋势看，干旱发生的风险在降低。R95P、R99P 和 RX1 的上升，说明吉林省极端强降水事件增加。

(3) 吉林省极端降水指数年代际变化特征较为一致，在波动变化的基础上，均在 20 世纪 70 年代达到最小值。吉林省极端降水指数绝大多数通过 0.05 显著性水平检验的频域和时间域聚集中心主要有 4 个，存在 3 a 和 12 a 左右的周期变化，3 a 左右的主周期通过了 0.05 的显著性水平检验。

(4) 吉林省极端降水指数除 CDD 随经度、海拔的增加而显著降低，随纬度的增加而显著增加外，其他大部分极端降水指数随经度、海拔的增加而增加，随纬度的增加而降低，与极端降水指数的空间分布特征一致。

参考文献(References):

[1] Shen Yongping, Wang Guoya. Key findings and assessment results of IPCC WGI Fifth Assessment Report[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5): 1068 - 1076. [沈永平, 王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068 - 1076.]

[2] The third national assessment report of climate change[M]. Beijing: Science Press, 2015: 13 - 20. [第三次气候变化国家评估报告[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 13 - 20.]

[3] He Yongkun, Guo Jianping. Characteristics of agricultural climate resources in the three provinces of Northeast China from 1961 to 2006[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(7): 1199 - 1208. [何永坤, 郭建平. 1961 - 2006 年东北地区农业气候资源变化特征[J]. 自然资源学报, 2011, 26(7): 1199 - 1208.]

[4] Yang Suying, Sun Fenghua, Ma Jianzhong. Evolvement of precipitation extremes in Northeast China on the background of climate warming[J]. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(2): 224 - 228. [杨素英, 孙凤华, 马建中. 增暖背景下中国东北地区极端降水事件的演变特征[J]. 地理科学, 2008, 28(2): 224 - 228.]

[5] Zhang Linmei, Miao Yunling, Li Jianli, et al. Variations of summer extreme precipitation events in Altay Prefecture, Xinjiang Region, from 1961 to 2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2015, 37(5): 1199 - 1208. [张林梅, 苗运玲, 李健丽, 等. 新疆阿勒泰地区近 50 a 夏季极端降水事件变化特征[J]. 冰川冻土, 2015, 37(5): 1199 - 1208.]

[6] Lu Hongya, Du Jun, Yuan Lei, et al. Variation characteristics of extreme precipitation events over Mt. Qomolangma region in China from 1971 to 2012[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(3): 563 - 572. [路红亚, 杜军, 袁雷, 等. 1971 - 2012 年珠穆朗玛峰地区极端降水事件变化研究[J]. 冰川冻土, 2014, 36(3): 563 - 572.]

[7] Li Hongmei, Li Lin, Zhang Jinxu, et al. Changes in extreme climatic events over the sources of the Three Rivers in the prometaphase 21st century[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2012, 34(6): 1403 - 1408. [李红梅, 李林, 张金旭, 等. 21 世纪前中期三江源地区极端气候事件变化趋势分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(6): 1403 - 1408.]

[8] Donat M G, Lowry A L, Alexander L V, et al. More extreme precipitation in the world's dry and wet regions[J]. Nature Climate Change, 2016, 6(5): 508 - 513.

[9] You Qinglong, Kang Shichang, Aguilar E, et al. Changes in daily climate extremes in China and their connection to the large scale atmospheric circulation during 1961 - 2003[J]. Climate Dynamics, 2011, 36(11/12): 2399 - 2417.

[10] Chen Haishan, Fan Sudan, Zhang Xinhua. Precipitation events over China in the last 50 years[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2009, 32(6): 744 - 751. [陈海山, 范苏丹, 张新华. 中国近 50 a 极端降水事件变化特征的季节性差异[J]. 大气科学学报, 2009, 32(6): 744 - 751.]

[11] Wang Huaijun, Chen Yaning, Xun Shi, et al. Changes in daily climate extremes in the arid area of northwestern China[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2013, 112(1/2): 15 - 28.

[12] Cheng Aifang, Feng Qi, Fu Guobin, et al. Recent changes in precipitation extremes in the Heihe River basin, Northwest China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2015, 32(10): 1391 - 1406.

[13] Wang Shaoping, Jiang Fengqing, Wu Xiaobo, et al. Temporal and spatial variability of the extreme precipitation indices over the arid regions in Northwest China from 1961 to 2010[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2014, 36(2): 318 - 326. [王少平, 姜逢清, 吴小波, 等. 1961 - 2010 年西北干旱区极端降水指数的时空变化分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(2): 318 - 326.]

[14] Ren Zhengguo, Zhang Mingjun, Wang Shengjie, et al. Changes in precipitation extremes in south China during 1961 - 2011[J]. Acta Geographica Sinica, 2014, 69(5): 640 - 649. [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.]

[15] Du Jun, Lu Hongya, Jian Jun. Change in extreme precipitation events over Tibet from 1961 to 2012[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(6): 990 - 1002. [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.]

[16] Ci Hui, Zhang Qiang, Zhang Jianghui, et al. Spatiotemporal variations of extreme precipitation events within Xinjiang during 1961 - 2010[J]. Geographical Research, 2014, 33(10): 1881 - 1891. [慈晖, 张强, 张江辉, 等. 1961 - 2010 年新疆极端降水过程时空特征[J]. 地理研究, 2014, 33(10): 1881 - 1891.]

[17] Wang Weiguang, Shao Quanxi, Yang Tao, et al. Changes in daily temperature and precipitation extremes in the Yellow River basin, China[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2013, 27(2): 401 - 421.

[18] Huang Xiaoyan, Wang Xiaoping, Wang Jinsong, et al. Variation of extreme temperature events in coastal region of China in 1960 - 2013[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(4): 612 - 620. [黄小燕, 王小平, 王劲松, 等. 1960 - 2013 年中国沿海极端气温事件变化特征[J]. 地理科学, 2016, 36(4): 612 - 620.]

[19] Wang Lianxi, Bian Chaojun, Li Qi, et al. Characteristics of drought change in Shaanxi Province and their influence on corn

yield[J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(6): 193－199. [王连喜, 边超钧, 李琪, 等. 陕西省干旱变化特征及其对玉米产量的影响[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(6): 193－199.]

Spatiotemporal change characteristics of extreme precipitation indices in Jilin Province from 1961 through 2015

REN Jingquan[1], GUO Chunming[1], LIU Yuxi[2], WANG Liwei[3], LI Qi[4]

(1. Institute of Meteorological Science of Jilin Province, Changchun 130062, China; 2. Jilin Meteorological Observatory of Jilin Province, Changchun 130062, China; 3. Jilin Meteorological Information Network Center, Changchun 130062, China; 4. Jiangsu Key Laboratory of Agricultural Meteorology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In this paper, the features of eleven indices of extreme precipitation over Jilin Province were examined broadly through the RClimDex v1.1 software based on daily precipitation data from 50 meteorological stations from 1961 through 2015. The methods of inverse distance weighted (IDW), linear trend estimate and Morlet wavelet analysis were employed to delineate the spatiotemporal change, statistical significance and periodicity of extreme precipitation indices. The results showed that consecutive dry days (CDD) decreased from west to east, and other extreme precipitation indices increased from west to east. The CDD showed a significant decline trend by $-1.99\ d\cdot(10a)^{-1}$. However, the linear trends of other extreme precipitation indices were not obvious. Each extreme precipitation indices in the province reached its minimum in the 1970s. Most extreme precipitation indices had periodic variations about 3 and 12 years, and the main cycle around 3 years has passed the test of 0.05 significance level. Apart from the CDD, which reduced dramatically with longitude and altitude and increased with latitude, most of the extreme precipitation indices increased with longitude and altitude and decreased with latitude.

Key words: extreme precipitation; climate change; Morlet wavelet analysis; Jilin Province

（本文编辑：庞瑜）