任玉玉，任国玉. 2010. 1960～2008年江西省极端降水变化趋势［J］. 气候与环境研究，15（4）：462－469. Ren Yuyu，Ren Guoyu. 2010. Variation tendency of the extreme precipitation in Jiangxi Province during 1960－2008［J］. Climatic and Environmental Research (in Chinese)，15（4）：462－469.

1960～2008年江西省极端降水变化趋势

任玉玉 任国玉

中国气象局气候研究开放实验室，国家气候中心，北京 100081

摘 要 利用江西省17个国家级台站1960～2008年逐日降水量资料，对日降水量超过绝对阈值（25 mm和50 mm）和百分位数阈值（95%和99%）的极端降水变化情况进行了分析。结果表明，江西省近50年极端降水频率和强度均呈波动上升趋势，大雨和强降水频率的增加最为迅速，暴雨和极端强降水事件强度增加最大；夏季各种极端降水事件频率均有明显升高；冬季大雨和强降水事件频率也有显著增加；春季和秋季极端降水强度有明显增加，特别是暴雨和极端强降水事件强度增加迅速；夏季暴雨和极端强降水强度有所降低或略有增加；江西省极端降水的频率和强度变化趋势较为一致，特别是1990年代；极端降水的增加以发生频数的增加为主，降水强度的增加并不显著；近50年江西省大部分地区的极端降水事件频率和强度均有增加，但高值区的分布有较大的差异。极端强降水事件强度在鄱阳湖平原附近减小，而在周边的大部分地区呈增长趋势。进一步的分析发现，极端降水强度的变化与地形有显著的正相关关系。

关键词 极端降水 气候变化 江西省

文章编号 1006-9585（2010）04-0462-08 **中图分类号** P46 **文献标识码** A

Variation Tendency of the Extreme Precipitation in Jiangxi Province during 1960－2008

REN Yuyu and REN Guoyu

Laboratory for Climate Studies, China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081

Abstract Daily precipitation data of 17 national stations in Jiangxi Province during 1960－2008 are used to study the extreme precipitation exceeding absolute thresholds (25 mm and 50 mm) and relative thresholds (95% and 99%). The results show that the frequency and intensity of the extreme precipitation during recent 50 years undergone a fluctuant increasing trend in most parts of the province. The trends of the frequencies exceeding 25 mm and 95%, and the intensities exceeding 50 mm or 99% show significant increase. The frequencies of the extreme precipitation in summer, and that exceeding 25 mm and 95% percentile in winter increase more rapidly than the others. The intensities of the extreme precipitation in spring and autumn increase more rapidly than in summer and winter, especially that exceeding 50 mm and 99%. There is a superposition between high frequency and high intensity of the extreme precipitation events, especially during the 1990s. In recent 50 years, most parts of Jiangxi Province show increase of the intensity and frequency of the extreme precipitation, but the distributions of the highest value are inconsistent. The strength of the extreme precipitation reduced in and around the Poyang Lake Plain, while an en-

收稿日期 2010-04-20收到，2010-06-20收到修定稿

资助项目 国家科技支撑项目课题2007BAC03A01

作者简介 任玉玉，女，1981年出生，博士，助研，主要从事气候变化、极端事件研究。E-mail：renyuyu@126.com

hancement in the most other parts. Extreme precipitation in the province is positively related to the altitudes of the stations. Frequency of the extreme precipitation in the Wuhe watershed and that in the Ganjiang watershed show coherent variations.

Key words　extreme precipitation, climate change, Jiangxi Province

1　引言

随着全球变暖、部分地区降水量增多，极端降水事件在美国、中国、加拿大等很多区域均有所增加（Groisman et al.，1999，2005；Zhai et al.，2004）。对近几十年来江西省降水变化的研究发现，1960 年以来，江西省年降水量呈减少趋势，但夏秋两季降水有所增加。受季风影响，江西省降水主要集中在春夏季节，夏季降水的增加可能导致极端降水事件发生的频率增多（洪霞和陈建萍，2004）。极端降水事件是造成洪涝灾害的重要原因之一，常常造成重大的社会经济损失。因此，研究江西省近几十年来极端降水事件频率和强度的变化具有重要的实践意义。

目前对极端降水的研究方法很多，有些研究选取某个固定的日降水量值作为阈值，判定出现大于该阈值的降水即为极端降水，例如我国通常把日降水量超过 50 mm 的降水事件称为暴雨，日降水量超过 25 mm 的降水事件称为大雨。事实上，我国幅员辽阔，气候的地域差异明显，不同的地区有不同的气候和自然环境，因此仅用绝对阈值定义日降水极端事件，在各个地区之间缺乏可比性。目前国际上在气候极值变化研究中经常选择某个百分位值作为阈值定义极端气候事件（Plummer et al.，1999；IPCC，2001，2007；Manton et al.，2001；Frich et al.，2002；Zhai et al.，2005）。设某个气象要素有 n 个值，将这些值按升序排列，取累积频率为某个百分位的观测值作为阈值，大于该阈值的即为极端气候事件。

本文分别采用绝对阈值和相对阈值方法，研究了 1960～2008 年江西省全省平均极端降水事件频率和强度随时间的变化。此外还计算分析了同期各个站点日极端降水事件频率和强度变化的空间分布情况。

2　资料与方法

本文所用资料为国家气象信息中心提供的江西 17 个基准站和基本站 1960～2008 年的逐日降水资料，降水量资料精度为 0.1 mm。井冈山站（57894）资料序列较短，未参加分析。

选择日降水量 25 mm、50 mm 以及 1971～2000 年逐日降水量 95 和 99 百分位值作为大雨、暴雨和强降水、极端强降水事件的阈值。计算 1960～2008 年各年超过阈值的降水日数，作为该年极端降水事件发生的频率；计算超过阈值的降水量与日数的比值，用以表征极端降水事件强度。分别计算各类极端降水事件频率和强度随时间的变化趋势，用以表征趋势变化情况。变化趋势为以气候要素为因变量、以时间为自变量的一元线性方程系数的 10 倍，方程中的系数用最小二乘法确定。在进行要素空间分布计算时，采用目前应用较为广泛、精度较高的 Kring 法进行插值并绘制空间等值线图。计算 17 站逐年极端降水事件的频数和强度的算术平均值，作为江西全省平均的逐年极端降水事件频数和强度序列。

百分位值直接由观测数据排序确定，大雨以上量级降水事件包含暴雨降水在内；强降水以上量级降水事件包含极端强降水在内。

3　极端降水变化

3.1　极端降水事件频率

在近 50 年中江西省极端降水频率呈上升趋势（如图 1 所示），特别是大雨和强降水事件发生的日数明显增加。1960～2008 年大雨日数变化趋势为 0.62 d·(10 a)$^{-1}$；暴雨日数的变化趋势为 0.23 d·(10 a)$^{-1}$；强降水日数的变化趋势为 0.52 d·(10 a)$^{-1}$；极端强降水事件频率的变化趋势为 0.17 d·(10 a)$^{-1}$；除大雨频率变化外，其他均未超过 0.1 的显著性水平。发生大雨频率最高的年

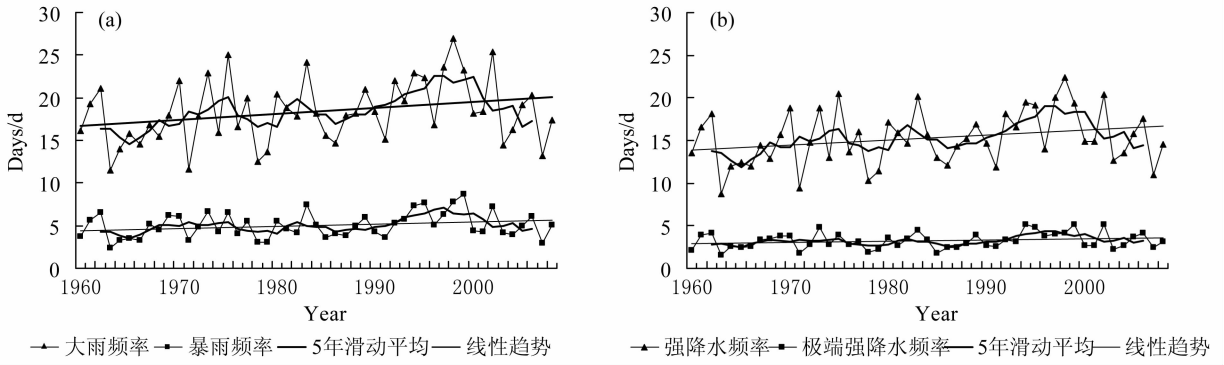

图1 江西省极端降水事件日数变化

Fig. 1 Variations of the extreme precipitation days in Jiangxi Province

份为1998年，发生暴雨频数最高的年份为1999年。此外，江西省极端降水频率变化有明显的波动性，不同时段极端降水频率变化趋势有较大的差异，自1960年代始极端降水频率波动上升，至1975年左右开始下降，1980年代中前期有一个小波动，其后直至1990年代后期开始再次下降。特别是1990年代后期出现一个较大的转折，1992～1998年各极端降水频率均为明显上升，但进入21世纪后呈下降趋势。

对四季极端降水频率（表1）的分析发现，江西极端降水频率以大雨和强降水的增加最为显著，增加趋势在夏季最为明显，春季的极端降水频率则出现下降或稳定的态势。夏、秋季大雨频率增加速度远大于强降水频率，说明大雨频率的增加主要发生在降水量较多、大雨频发的地区。

表1 1960～2008年四季极端降水频率变化趋势

Table 1 Linear trends of the extreme precipitation days in the four seasons during 1960－2008 $d\cdot(10\ a)^{-1}$

	变化趋势			
	大雨	暴雨	强降水	极端强降水
春季	−0.241	−0.001	−0.268	−0.029
夏季	2.424	0.111	0.221	0.070
秋季	0.276	0.035	0.013	0.011
冬季	0.174*	0.065	0.152	0.008

* 通过了0.1的显著性检验。

由图2可以看出，各站之间差异不明显，年大雨和暴雨频率分别为15～22 d和3～7 d，极端降水和极端强降水频率分别为17～19 d和3～5 d，总体来说呈现由东北向西南减少的趋势。由图3可以看出，江西省大部分地区的极端降水事件

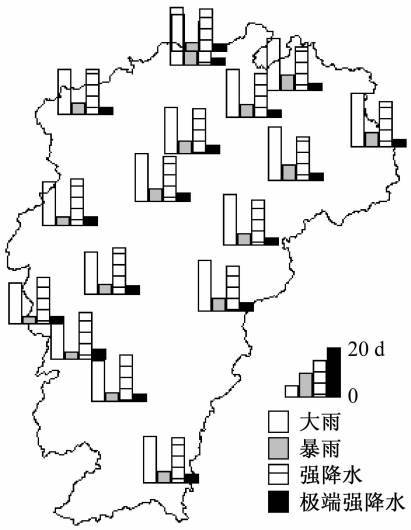

图2 1960～2008年江西省极端降水频率

Fig. 2 Distribution of the extreme precipitation days in Jiangxi Province

频率增加，17个国家级台站中仅宜春、寻乌和赣州大雨事件频率下降；以鄱阳湖平原和赣抚中游河谷地区为高值中心，向北延伸至庐山、九江地区，向西南沿赣江伸至遂川一带；高值站点大多超过显著性检验。南城站大雨日数变化趋势超过1.2 $d\cdot(10\ a)^{-1}$，南昌、樟树、庐山和遂川站也超过了1.1 $d\cdot(10\ a)^{-1}$。暴雨级降水频率增加的区域更大，但与大雨事件相比高值中心向西北方向偏移，而且频率增加的强度也有所下降，庐山和樟树站均接近或超过0.6 $d\cdot(10\ a)^{-1}$；仅寻乌和修水两站暴雨事件的频率下降。

各站超过相对阈值的极端降水的变化趋势分布见图4。对比图3a和图4a可以看出，强降水事

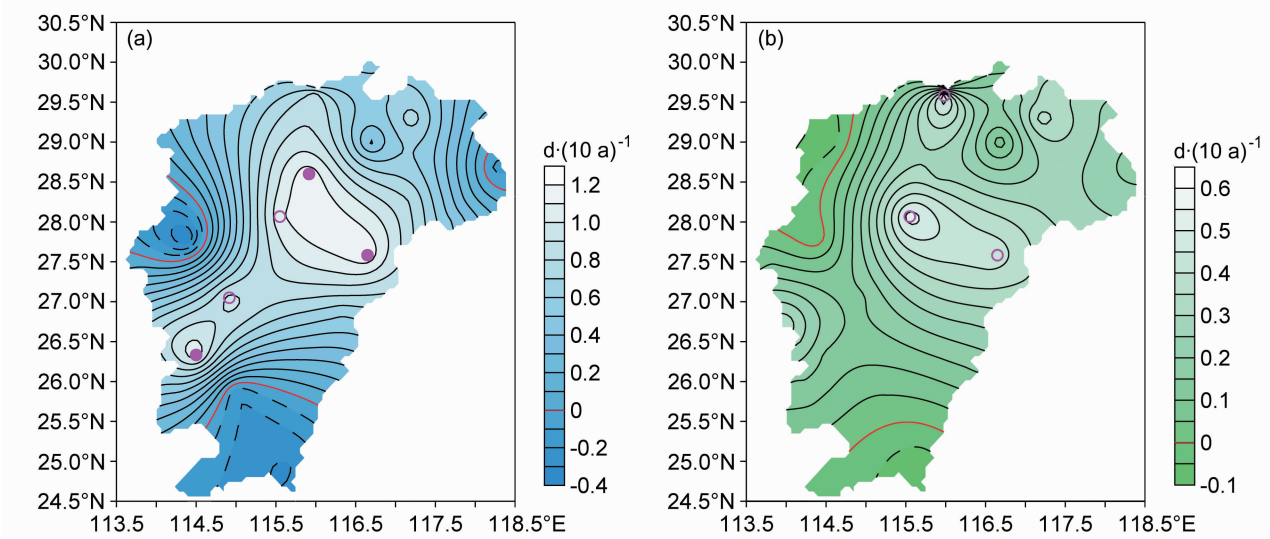

图 3　江西省各站（a）大雨和（b）暴雨降水事件发生频率的变化趋势。实心和空心圆点分别表示趋势通过 0.05 和 0.1 显著性检验的台站，实线和虚线分别表示变化趋势大于 0 和小于 0

Fig. 3　Linear trends of the extreme precipitation days for the daily precipitation (a) >25 mm and (b) >50 mm. Solid dots and hollow dots are above 0.05 and 0.1 significance levels, respectively; solid lines and dashed lines indicate increasing trends and decreasing trends, respectively

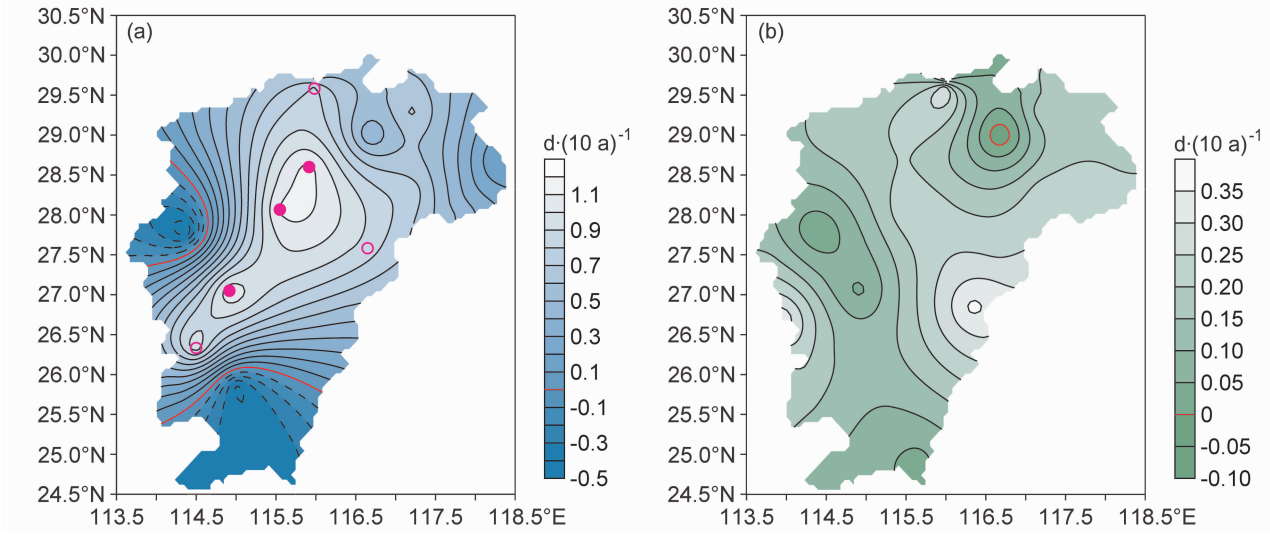

图 4　同图 3，但（a）强降水事件和（b）极端强降水事件

Fig. 4　Same as Fig. 3, but daily precipitation (a) >95 percentile and (b) > 99 percentile

件频率变化情况与大雨事件频率变化较为一致。而暴雨频率变化与极端强降水事件频率变化的分布有较大的差异，虽然大部分地区极端强降水事件的发生频率也是增加的，但是频率降低趋势最大的为吉安和波阳，增加趋势最大的则为武夷山以西的广昌，与暴雨频率变化趋势有所差别。

3.2　极端降水事件强度

1960～2008 年江西省各种极端降水事件的强度均呈上升趋势（见图 5）。大雨级别以上的极端降水强度的变化趋势为 0.238 mm·d^{-1}·$(10\ a)^{-1}$，暴雨级别的极端降水强度变化趋势为 0.490 mm·d^{-1}·$(10\ a)^{-1}$。强降水事件的日降水强度在这近 50 年中的变化趋势为 0.348 mm·d^{-1}·$(10\ a)^{-1}$，极端强降水事件的日降水强度的变化趋势为 0.631 mm·d^{-1}·$(10\ a)^{-1}$，都未通过显著性检验。大雨和强降水强度最高的年份为 1999 年，暴雨和极

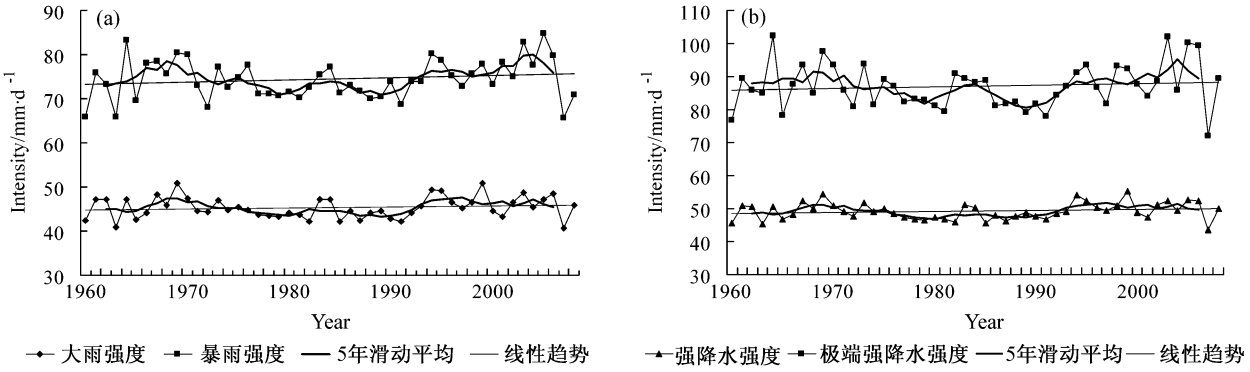

图5 江西省极端降水事件强度变化

Fig. 5 Variations of the extreme precipitation intensity in Jiangxi Province

端强降水强度最高的年份为1964年，1975年后分别为2003年和1995年。对5年滑动平均值的分析可以看出，极端降水强度有明显的年代际变化，在不同的时间段趋势不同。4种极端降水强度随时间的变化类似，在1960年代末以前有较为明显的上升趋势，特别是暴雨和极端强降水事件的强度上升最为明显；至1980年代初极端降水的强度有所下降，1981～1990年中有一个较小的波动，在这期间极端降水强度表现为微弱的下降；其后再次上升，暴雨和极端强降水事件的强度上升最为明显；大雨和强降水的强度在1990年代末开始有所下降，暴雨级别的降水强度在2000年以后的几年中也出现了明显的下降。

对比极端降水事件频率和强度变化序列及其趋势发现，江西省极端降水的频率和强度变化趋势较为一致，即高频率一般对应高强度、低频率对应低强度。极端降水的这种配合非常有利于洪涝灾害的发生。特别是20世纪90年代，极端降水频率与强度均维持在较高的水平，不仅极端降水日数多，而且强度大。相关研究也发现，20世纪90年代鄱阳湖流域洪涝灾害发生频率显著增加，1992～1998年的7年中最高水位超过20.00 m的有5年，比历史上任何时段都更为频繁（金腊华等，2002；闵骞，2002）。

对各个季节极端降水强度变化趋势（表2）的分析发现，秋季和冬季极端降水强度有明显的增加，特别是暴雨和极端强降水事件强度迅速增加；而夏季极端降水强度有所降低或略有增加；冬季江西暴雨和极端强降水强度增幅远大于大雨和强降水强度，春季极端降水增加趋势比较稳定，除暴雨外均通过了0.1的显著性检验。与表1对比发现，极端降水频率与强度变化的季节分布有明显的不同。

表2 1960～2008年四季极端降水强度变化趋势

Table 2 Linear trends of the extreme precipitation intensity for the four seasons during 1960－2008 $mm \cdot d^{-1} \cdot (10\ a)^{-1}$

	变化趋势			
	大雨	暴雨	强降水	极端强降水
春季	0.560*	0.690	0.693**	1.076*
夏季	0.054	−0.242	0.121	−0.074
秋季	0.256	1.672	0.412	3.510
冬季	0.057	3.431	0.665	3.855

* 和 ** 分别通过了0.1和0.05的显著性检验。

对极端降水频数和强度进行标准化，比较变换后的变化趋势发现，1960～2008年极端降水频数增加趋势均高于强度变化（表3）。江西省极端降水事件的增加以发生频数的增加为主，降水强度的增加并不显著。这一结论与已有的针对其他地区的分析结果有明显差异，值得进一步探讨。

表3 极端降水频率和强度标准值变化趋势

Table 3 Linear trends of the standardized extreme precipitation days and intensity

	变化趋势	
	频率	强度
大雨	0.17*	0.10
暴雨	0.16*	0.10
强降水	0.15	0.12
极端强降水	0.16*	0.07

* 通过了0.1的显著性检验，其他通过了0.05的显著性检验。

从图 6 可见，江西省极端降水强度也存在由西南向东北递增的现象，极端降水强度最低的地方为遂川，最高的地区为庐山，大雨和暴雨强度分别在 40～50 mm 和 65～80 mm 之间，强降水和极端强降水强度在 38～58 mm 和 60～100 mm 之间。

对比图 7 和图 8 可以看出，各种阈值的极端降水强度的变化情况比较一致，1960～2008 年江西省大部分地区的极端降水强度呈现增加趋势，特别是宜春市附近的地区。出现减少趋势的地区以鄱阳湖冲积平原东部为主，向西南延伸至吉安、遂川一带。大雨和暴雨强度变化趋势不同的地区为最东部的怀玉山附近。1960～2008 年怀玉山地区大雨强度出现较为明显的增加趋势，但暴雨强度则出现下降趋势。分析发现江西省极端降水强度，特别是强降水强度的变化趋势与站点海拔高度有显著的正相关。

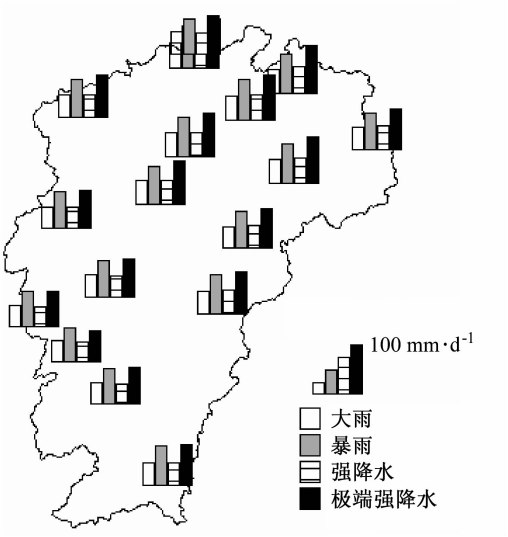

图 6　江西省各站 1960～2008 年极端降水强度分布

Fig. 6　Distribution of the extreme precipitation intensity in Jiangxi Province during 1960－2008

4　结论与讨论

本文分析了 1960～2008 年江西省极端降水事件频率和强度的变化，得到以下结果：

（1）全省近 50 年平均极端降水频率和强度大致由西南向东北递增。

（2）近 50 年极端降水频率呈现上升趋势，特别是大雨和强降水事件发生的日数明显增加。极端降水频率的变化有明显的波动性。夏季各种极端降水事件频率增加趋势最为明显。

（3）近 50 年极端降水事件强度呈上升趋势，其中暴雨和极端强降水事件强度增加最大。极端降水强度的变化也有明显的波动性。秋、冬季极端降水强度的增加最明显。

对长江中下游地区和鄱阳湖流域的分析也均发现 20 世纪中后期极端强降水频数和强度的显著增长（苏布达等，2006；郭华等，2006；翟盘茂

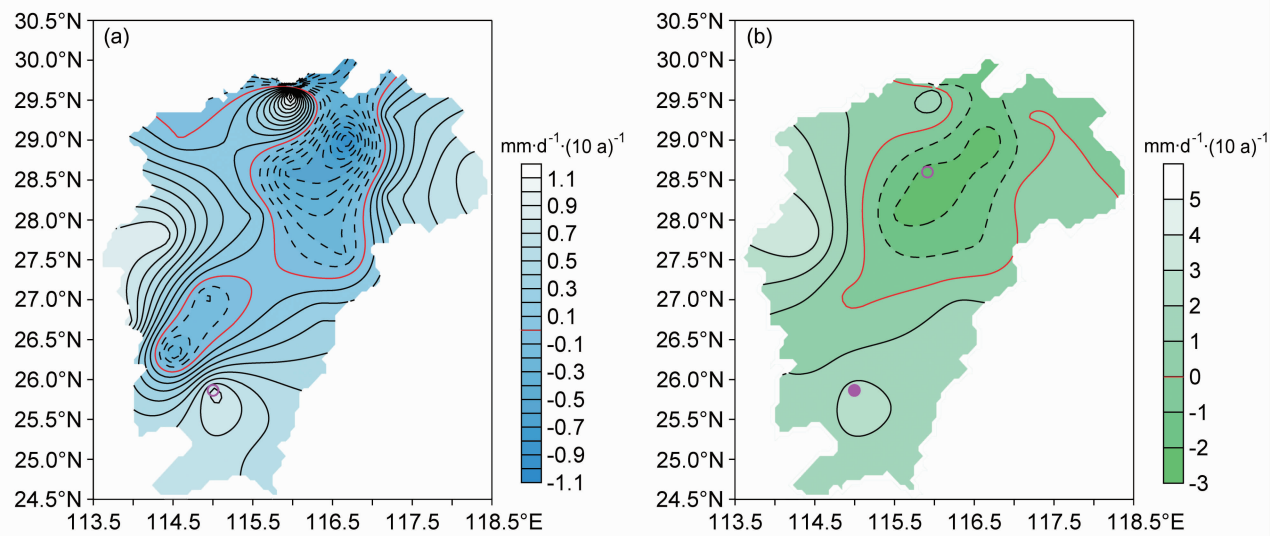

图 7　同图 3，但为降水强度

Fig. 7　Same as Fig. 3, but for the extreme precipitation intensity

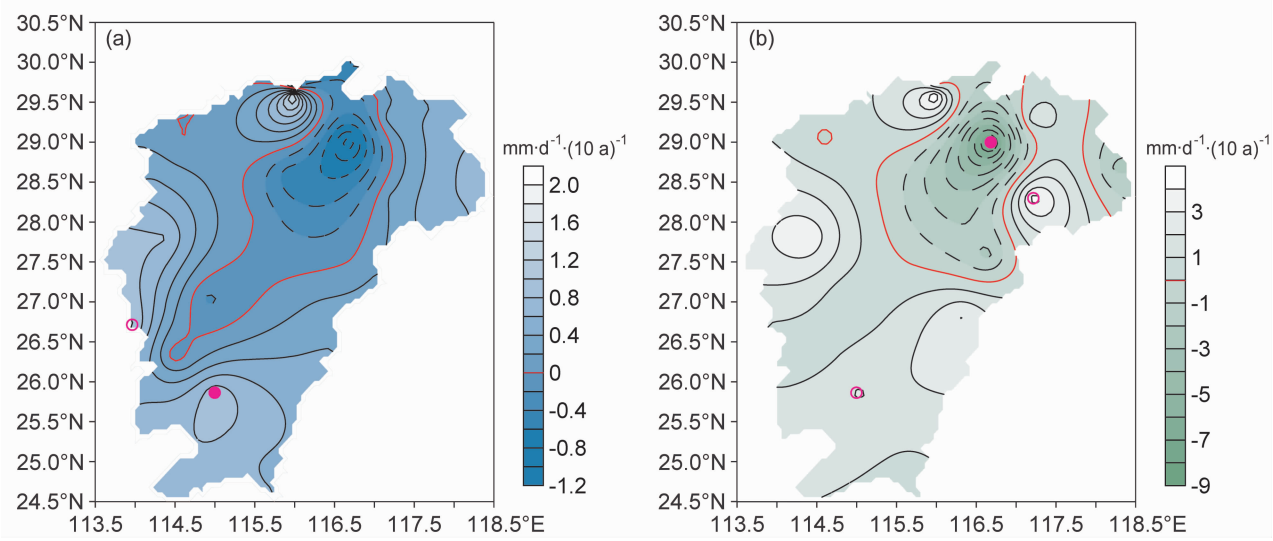

图 8 同图 4，但为降水强度

Fig. 8 Same as Fig. 4, but for the extreme precipitation intensity

等，2007；姜彤等，2007，2008），这与本文所得结果一致。

比较极端降水频数和强度标准化值的变化趋势发现，1960～2008 年极端降水频数增加趋势高于强度变化。江西省极端降水事件的增加以发生频数的增加为主，降水强度的增加并不显著。这一结论与过去许多针对其他地区的分析结果有明显差异，值得进一步探讨。此外王萃萃和翟盘茂（2009）发现，城市化对极端降水有一定程度的影响，对不同城市极端降水事件的变化需细化研究。

参考文献（References）

Frich P, Alexander L V, Della-Marta P, et al. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the Twentieth Century [J]. Climate Res., 19: 193－212.

Groisman P Y, Karl T R, Easterling D R, et al. 1999. Changes of climate extremes in China [J]. Climatic Change, 42 (1): 203－218.

Groisman P Y, Knight R W, Easterling D R, et al. 2005. Trend in intense precipitation in the climate record [J]. J. Climate, 18 (9): 1326－1350.

郭华，姜彤，王国杰，等. 2006. 1961～2003 年间鄱阳湖流域气候变化趋势及突变分析 [J]. 湖泊科学，18 (5)：443－451. Guo Hua, Jiang Tong, Wang Guojie, et al. 2006. Observed trends and jumps of climate change over Lake Poyang Basin, China: 1961－2003 [J]. Journal of Lake Sciences (in Chinese), 18 (5): 443－451.

洪霞，陈建萍. 2004. 江西省 1960 年以来气温和降水变化趋势分析 [J]. 江西气象科技，27 (2)：20－22. Hong Xia, Chen Jianping. 2004. Analysis on temperature and precipitation change tendency from 1960 to date [J]. Meteorology and Disaster Reduction Research (in Chinese), 27 (2): 20－22.

IPCC. 2001. Climate change 2001: The Scientific Basis [M]. Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al., Eds. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 99－183.

IPCC. 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and vulnerability [M]. Parry M L, Canziani O, Palutikof J, et al., Eds. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge University Press, 41－75.

姜彤，王艳君，苏步达，等. 2007. 气候变化与长江流域的洪水 [M] // 任国玉. 气候变化与中国水资源. 北京：气象出版社，255－289. Jiang Tong, Wang Yanjun, Su Buda, et al. 2007. Climate change and the Yangtze floods [M] // Ren Guoyu. Climate Change and China's Water Resources (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 255－289.

姜彤，苏布达，Gemmer M. 2008. 长江流域降水极值的变化趋势 [J]. 水科学进展，19 (5)：650－655. Jiang Tong, Su Buda, Gemmer M. 2008. Trends in precipitation extremes over the Yangtze River basin [J]. Advances in Water Science (in Chinese), 19 (5): 650－655.

金腊华，李明玉，黄报远. 2002. 鄱阳湖洪灾特征与圩区还湖将来运用方式研究 [J]. 自然灾害学报，11 (4)：74－77. Jin Lahua, Li Mingyu, Huang Baoyuan. 2002. Research on flood disaster characteristics and embankment utilization in flood detentions for diminishing disasters in Poyang Lake [J]. Journal of Natural Disasters (in Chinese), 11 (4): 74－77.

Manton M J, Della-Marta P, Haylock M, et al. 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the

South Pacific：1961－1998 [J]. Int. J. Climatol.，21：269－284.

闵骞. 2002. 20 世纪 90 年代鄱阳湖洪水特征的分析 [J]. 湖泊科学，14（4）：323－330. Min Qian. 2002. Analysis on the flood characters in 1990s, Poyang Lake [J]. Journal of Lake Sciences (in Chinese)，14（4）：323－330.

Plummer N, Salinger M J, Nicholls N, et al. 1999. Twentieth Century trends in climate extremes over the Australian region and New Zealand [J]. Climatic Change，42（1）：183－202.

苏布达，姜彤，任国玉，等. 2006. 长江流域一年极端降水时空变化趋势 [J]. 气候变化研究进展，2（1）：9－14. Su Buda, Jiang Tong, Ren Guoyu, et al. 2006. Observed trends of precipitation extremes in the Yangtze River basin during 1960 to 2004 [J]. Advances in Climate Change Research (in Chinese)，2（1）：9－14.

王萃萃，翟盘茂. 2009. 中国大城市极端降水事件变化的初步分析 [J]. 气候与环境研究，14（5）：553－560. Wang Cuicui, Zhai Panmao. 2009. Changes of precipitation extremes in China's large cities [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese)，14（5）：553－560.

翟盘茂，王志伟，邹旭恺. 2007. 全国及主要流域极端气候事件变化 [M] // 任国玉. 气候变化与中国水资源. 北京：气象出版社，91－112. Zhai Panmao, Wang Zhiwei, Zou Xukai. 2007. Changes in climate extremes of China and the ten large-river basins [M] // Ren Guoyu. Climate Change and China's Water Resources (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press，91－112.

Zhai Panmao, Chao Qingchen, Zou Xukai. 2004. Progress in China's climate change study in the 20th Century [J]. Journal of Geographical Sciences (Suppl.)：3211.

Zhai P M, Zhang X B, Wan H, et al. 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. J. Climate，18：1096－1108.