

doi:10.3969/j.issn.1673-1719.2012.03.002

黄伟, 宇如聪, 李建. 1967—2006年中国东南沿海盛夏降水强度变化特征分析 [J]. 气候变化研究进展, 2012, 8 (3): 164—170



1967—2006年中国东南沿海盛夏降水强度变化特征分析

黄伟^{1,2}, 宇如聪³, 李建³¹ 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029;² 中国科学院研究生院, 北京 100049;³ 中国气象科学研究院, 北京 100081

摘要: 利用中国地面台站逐日和逐时降水资料, 对中国东南沿海地区近40年(1967—2006年)盛夏(7—8月)降水强度变化特征进行了分析。逐日降水资料的分析结果表明我国东南沿海盛夏的降水量呈显著增加趋势, 且主要是由日降水强度增强所致, 日降水频次的贡献不显著。结合逐时降水资料的分析结果发现, 东南沿海地区虽然降水日的平均降水时数显著增加, 平均逐时降水强度也显著增强。通过按降水持续时数确定的降水事件分类分析发现, 短持续降水(≤ 4 h)平均小时强度显著增强, 具体表现为弱小时强度降水减少和强降水增多。长持续性降水(≥ 15 h)平均小时强度减弱, 但降水频次增加。由于长持续性降水的平均小时降水强度远大于短时降水平均小时强度, 对整体小时强度增强是正贡献。总之, 我国东南沿海盛夏平均降水强度增强主要来自长持续性降水频次的增多、短时强降水频次的增多和短时弱降水频次的减少。

关键词: 东南沿海; 降水强度; 持续时间; 盛夏

引言

中国地区的降水在过去几十年发生了显著的变化, 这已深刻影响到了包括洪水、干旱等在内的极端天气、气候事件的发生频率和强度。利用逐日台站降水资料, 最近已有大量的研究工作关注于中国各地的降水年代际变化观测事实^[1-2]。在此背景下, 影响中国东部地区的降水频次、降水强度、暴雨日等一系列的降水指标也发生了相应的变化。Zhai等^[3]利用740站降水资料的分析发现导致中国北方降水减少的原因主要是降水日的减少, 而引起南方降水增加的则是降水强度的增加, 在降水量增加区域, 总

是伴随着超出平常的极端降水事件。王小玲等^[4]针对不同强度级别降水量和降水频次的趋势分析表明, 极强降水量的趋势最为明显, 降水量的趋势变化主要由强降水变化引起。而我国东南沿海地区处于欧亚大陆的东南端, 既位于海—陆交界地带, 又兼有热带和副热带气候特征; 既受东亚夏季风控制, 又受热带系统影响; 其降水特征与长江流域既有联系, 又有很大的差异。目前针对东南沿海地区降水特征变化的研究不多, 多数研究成果散见于对全国降水特征变化的分析中, 且由于分析时段和目标区域的差异, 结果不尽相同。Ding等^[5]的研究发现在过去的50年(1956—2002年)里, 中国东南地区

收稿日期: 2011-11-21; 修回日期: 2011-12-08

资助项目: 国家重点基础研究发展计划(2010CB951900); 国家自然科学基金项目(40625014)

作者简介: 黄伟, 男, 博士研究生, 从事气候变化相关研究, huangwei@mail.iap.ac.cn

的年降水增加 60~130 mm; Yao 等^[6]发现 1978—2008 年中国东南地区夏季降水呈上升趋势, 并在 1993 年东南地区降水有特别显著的上升, 而且这种快速的转变对所有级别的降水均有影响。

Yu 等^[7]利用长序列的逐时台站降水资料分析发现, 虽然在长江中下游区域降水量和降水频次都显著增加, 但降水强度却有所减弱, 而在华北地区, 则刚好相反, 降水总量和频次虽然减少, 但降水强度却是增加的, 这一结果与之前基于逐日降水资料的结果完全不同, 说明高时间分辨率的降水资料可揭示此前难以发现的降水变化的事实。

本文利用逐日台站降水资料分析了 1967—2006 年中国东南沿海地区盛夏 (7—8 月) 降水量、降水频次和日降水强度的变化趋势和年代际特征, 并进一步利用逐时的台站降水资料, 着重探讨该区域小时降水强度、持续时间的变化趋势, 深入了解我国东南沿海降水在最近 40 年的变化。

1 资料和方法

本文采用两套不同时间和空间分辨率的台站降水资料, 其一是覆盖中国大陆的 1847 站逐日降水资料, 其二是 575 站的逐时降水资料。这两组资料均来自中国气象局国家气象信息中心, 且经过严格的筛选和质量控制。为了防止两组资料因为不能相互匹配而导致分析出现偏差, 文中的逐时降水资料都与同站的逐日降水资料进行比对, 如逐时资料累积的日降水量偏差大于逐日降水资料中降水量的 10%, 该日资料会被舍弃^[7]。分析时段选取 1967—2006 年的盛夏 (7—8 月), 关注区域为中国南方地区 (特别是东南沿海地区), 参考 Yu 等^[7]的质量控制方法, 最后逐日降水资料选取的台站有 851 个, 而逐时资料可用的台站为 213 个 (图 1), 图中方块为本文选取的中国东南沿海地区的台站, 其划分标准会在结果分析中给出。另外需要指出的是, 由于本文采用的逐日降水资料相比逐时降水资料有更高的水平分辨率, 因而其描述的降水空间分布型态与实际情况更为接近。

本文中的降水频次和降水强度因资料的时间分

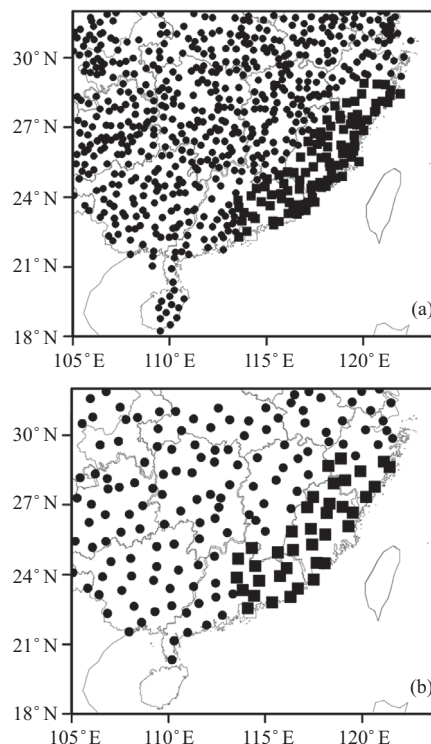


图 1 降水资料站点分布 (实心方块为东南沿海站点)

(a) 逐日降水资料站点, (b) 逐时降水资料站点

Fig. 1 Locations of rain gauge stations (Squares represent the stations in southeastern coast of China)
(a) daily rainfall data, (b) hourly rainfall data

分辨率不同而有不同的意义, 逐日降水资料和逐时降水资料的降水频次的含义分别是盛夏的降水日数和降水时数, 而降水强度则分别是有雨时的平均日降水和平均小时降水。降水事件的定义同 Yu 等^[8], 降水的持续时间也同样由此引出。本文所说的趋势是指线性变化趋势, 突变检测采用 Mann-Kendall (MK) 方法^[9]。

2 结果分析

2.1 降水量与日降水强度的变化

图 2 给出了 1967—2006 年中国南方盛夏的降水变化趋势。由图显示我国东部 (110°E 以东) 南方 (32°N 以南) 的降水量呈一致的增加趋势, 增加的幅度由内地向东南沿海逐步增大; 沿海地区, 特别是浙南、福建、粤东一线降水量增加可达 3 mm/a, 且有大量站点达到 95% 的信度水平。与此同时, 降水频次 (即降水日数) 也呈现出上升的趋势, 但降水

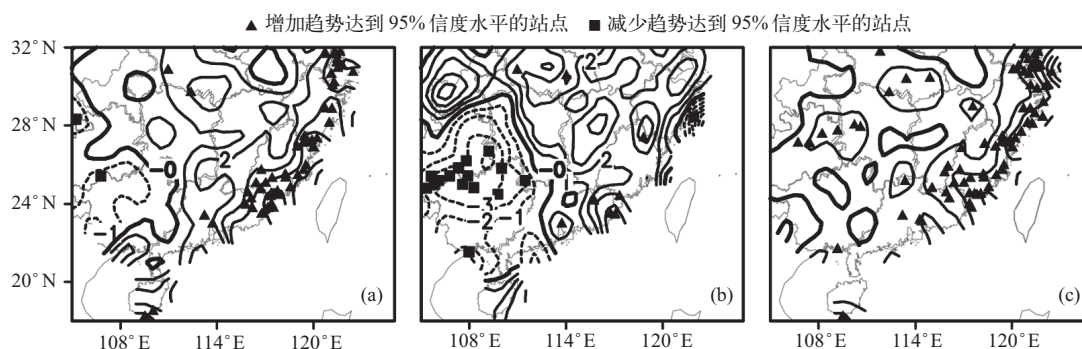


图2 利用逐日降水资料得到的1967—2006年中国南方盛夏降水量(a, mm/a)、降水频次(b, %/10a)、降水强度(c, %/10a)的变化趋势

Fig. 2 Trends in Jul.-Aug. precipitation in 1967–2006 using daily rainfall data, and (a), (b), (c) are for amount (mm/a), frequency (%/10a) and intensity (%/10a) of precipitation, respectively (Stations statistically significant at the 95% confidence level are marked by solid triangles/squares in the positive/negative region)

频次的变化趋势与降水量变化趋势的空间分布并不一致,且仅有少量站点降水频次增加趋势超过95%信度水平。另一方面,日降水强度变化趋势的空间分布与降水量增加趋势有很好的—致性,尤其沿海地区,日降水强度变化普遍超过5%/10a,靠近海岸地区强度增加甚至超过10%/10a。如大致将降水量显著增加(≥ 3 mm/a)的我国东南沿海地区(图1a中包括浙南、福建和粤东沿海的方块站点)作为目标区域(共103站),得到了我国东南沿海地区1967—2006年盛夏降水量、降水频次和日降水强度时间序列(图3)。从线性趋势来看,降水量、降水频次和降水强度均呈上升趋势,其中,降水量的增加趋势达到95%的信度水平,日降水强度的增加趋势达到99%信度水平(增加值分别达到35 mm/10a和0.9 (mm/d)/10a),而降水频次的增加并不明显。

从降水的年代际变化来看,主要表现为20世纪90年代以后降水的显著增加,分别对上述序列进行MK突变检测得到,我国东南沿海地区的平均降水量在1994年左右突然增加,与Yao等^[6]的结果一致;降水频次有类似的变化趋势,但无显著的突变过程;日降水强度则呈现稳定上升趋势,日降水强度的突然增加发生在1990年左右,比降水量的突变略有提前。Ding等^[10]发现1993年后我国南方降水显著增加,但其空间分布与本文略有差异,这可能是由于其分析时段为1951—2004年,此事件序列中前二十余年我国东南沿海也属多雨期,从而使得1993年后

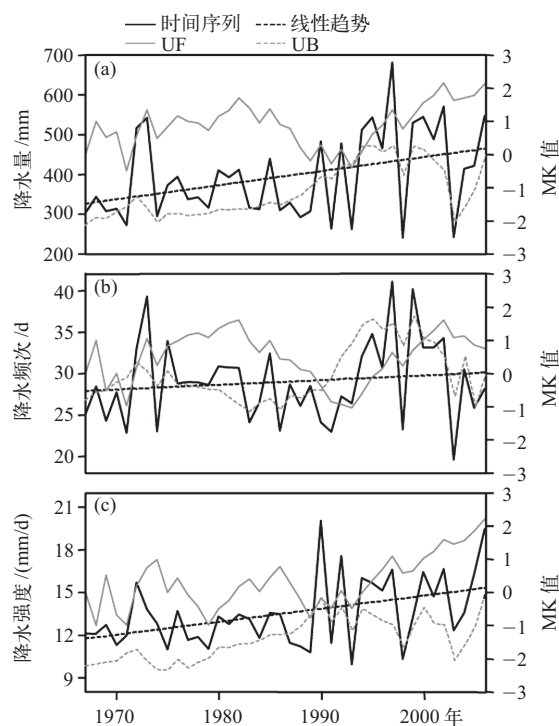


图3 利用逐日降水资料得到的1967—2006年中国东南沿海盛夏降水量(a)、降水频次(b)、降水强度(c)的时间序列以及线性趋势

Fig. 3 Time series of Jul.-Aug. precipitation (black solid line) using daily rainfall data in southeastern coast of China and their linear trends (black dotted line) (a) amount, (b) frequency, (c) intensity

东南沿海降水增加的程度相对较弱。

2.2 降水持续时间对日降水强度的影响

以1 h时间分辨率来解析降水频次和降水强度,

与逐日降水资料的降水频次和降水强度相比因时间尺度的差异而有不同的物理背景, 从而呈现不同的特点^[11], 但另一方面, 1 h 时间分辨率的降水资料又与逐日降水资料关系密切, 同时呈现和逐日降水资料共有的特征。前述日降水强度的显著增强如以逐时降水资料来描述, 则主要表现为有雨日的降水量显著增强, 这主要由日降水时间和逐时降水强度共同决定, 那么导致我国东南沿海日降水强度显著增加的主要因素是什么呢?

如将降水频次(降水时数)分解为多个降水事件的累积, 则降水频次的增加可认为是由降水事件数和单次降水事件持续时间共同决定。图4给出了以逐时降水资料计算的我国东南沿海(共38站)盛夏平均小时降水强度、降水持续时间和降水事件数的时间序列, 从线性趋势来看, 三者均呈上升趋势, 其中降水强度的增加趋势最为明显, 达到99%信度水平, 平均降水持续时间的增加趋势达到95%信度水平, 而降水事件数的增加趋势不明显。从降水的年代际变化来看, 小时降水强度在1985年左右突然增强, 之后一直保持持续的增强, 而降水持续时间则在1994年左右发生了突然的增强, 这与利用日降水资料给出的降水量的突然增强的结果一致。

根据平均的降水量、小时降水强度、降水持续时间和降水事件数的定义, 如分别以得到的降水持续时间、降水事件数和小时降水强度的线性变化趋势估算平均降水持续时间、小时降水强度和降水事件数的增加对降水量增加的贡献, 得到平均降水量增加116 mm, 其中小时降水强度的增加贡献约为35.5 mm (30.6%), 降水持续时间的增加贡献为60.3 mm (52.0%), 降水事件数的增加贡献为13.6 mm (11.7%)。从以上分析可知, 我国东南沿海盛夏降水量的显著增加主要由降水持续时间的显著增加引起。另一方面, 由于日降水强度由小时降水强度和日降水时间共同决定, 而日降水时间主要由降水持续时间的显著增加而增加(图略), 从而导致日降水强度的显著增强, 这与Yu等^[7]对长江流域降水特征的分析结果相同; 但东南沿海地区与长江流域的降水特征变化的差别之处在于, 长江流域的小时降水强度呈减弱趋势, 而东南沿海地区近40年小时降水强度

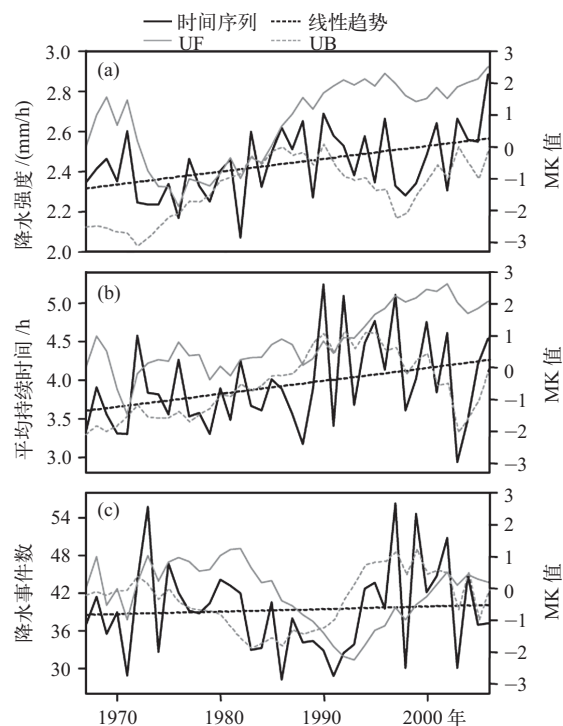


图4 同图3 但为逐时降水资料的结果

Fig. 4 As in Fig. 3, but for the hourly rainfall data (a) intensity (mm/h), (b) mean duration(h), (c) number of rainfall events

显著增加, 且对该地区降水量的增加有重要的贡献。

2.3 不同持续时间降水事件与小时降水强度

为了进一步分析小时降水强度增加的原因, 将降水事件按照持续时间分为1 h、2 h、3 h、4 h、5 h、6 h、7~8 h、9~11 h、12~14 h、15~21 h、22~30 h、30 h以上共12类, 此分类方法与Yu等^[8]一致, 但分类更细。从平均态(图5)来看, 持续时间为2 h的降水事件的降水量和降水频次达到最大, 随着持续时间的增加, 其降水量和降水频次都是下降的, 而小时降水强度则是随着持续时间的增加而增强, 持续时间6 h以下降水的平均降水强度小于总降水的平均降水强度, 而持续时间7 h以上的降水事件的平均降水强度则强于总降水的平均强度。从1987—2006年与1967—1987年的差异看, 不同持续时间的降水事件普遍引起降水量增加, 而且长持续的降水事件导致的降水量的增加更为明显; 这一点在持续时间和降水频次的关系上反映得更为明显; 小时降水强度的变化与降水频次存在对应关系: 持续时

间 ≤ 4 h降水事件的降水强度均有增强,而持续时间 > 12 h降水事件的平均降水强度则以减小为主。值得注意的是,虽然短时降水强度增加,而长持续性降水强度减小,但仍未改变平均的降水强度随着降水持续时间的增加而增加的状况,持续时间 > 12 h的降水事件的平均降水强度比短时降水事件的降水强度高50%以上,虽然1987—2006年短时降水的平均降水强度有所增加,但都远低于同期总降水的平均小时降水强度,也就是说,持续时间 ≤ 4 h降水事件的增加会降低平均小时降水强度;而持续时间 > 12 h的降水事件平均强度均 > 3 mm/h,都强于同期平均降水强度,可见降水强度较大的长持续性降水增加,是导致我国东南沿海小时降水强度增加的主要原因。

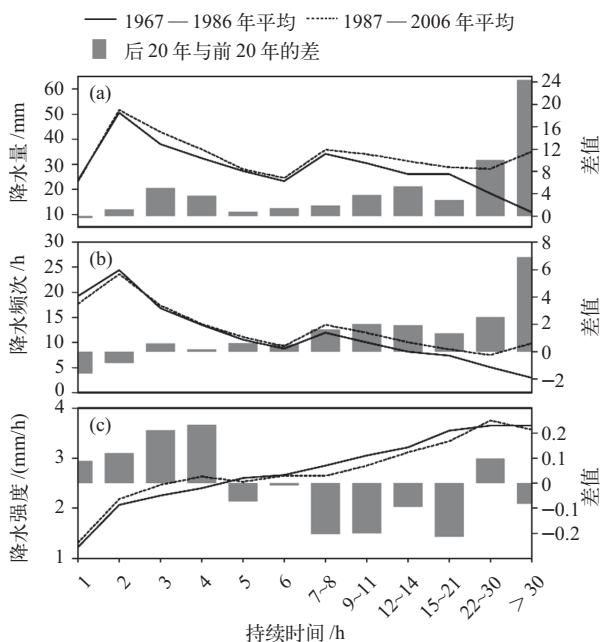


图5 东南沿海盛夏降水随持续时间的变化

(a) 降水量, (b) 降水频次, (c) 小时降水强度

Fig. 5 the 20-year area-averaged Jul.-Aug. rainfall (a) amount (mm), (b) frequency (h) and (c) intensity (mm/h) changes (1987—2006 mean minus 1967—1986 mean) with different duration time in southeast coast of China (The solid/dotted line is for the average of 1967—1986/1987—2006, the grey bars are for the difference between 1987—2006 and 1967—1986)

在将降水按照持续时间进行分类的基础上,再按照小时降水强度进行划分,可进一步分析两者的变化趋势及相互关系。为了确保各类降水的降水量

大致相当,通过事先的计算,各降水强度阈值分别为:0~1 mm/h、1~2 mm/h、2~3 mm/h、3~4 mm/h、4~5 mm/h、5~7 mm/h、7~9 mm/h、9~12 mm/h、12~16 mm/h、16~21 mm/h、21~30 mm/h、30 mm/h以上,这里0~2 mm/h意为 >0 mm/h且 ≤ 2 mm/h,其他与此类似。图6给出了各类降水近40年对总降水量贡献百分比的变化趋势分布。与之前分析一致,长持续性降水(持续时间 ≥ 15 h)占总降水量的贡献呈增加趋势,而且所有强度的降水都是增加的,且随着持续时间的延长,对总降水量贡献的增加幅度越大;另一对总降水量贡献增加的类型是短时强降水(强度 ≥ 21 mm/h,持续时间 ≤ 4 h),其对总降水贡献增加幅度与长持续性降水相当;其他类型降水对总降水量的贡献均是减小的,其中短时弱降水(持续时间 ≤ 4 h且降水强度 ≤ 4 mm/h)的减小更为明显。

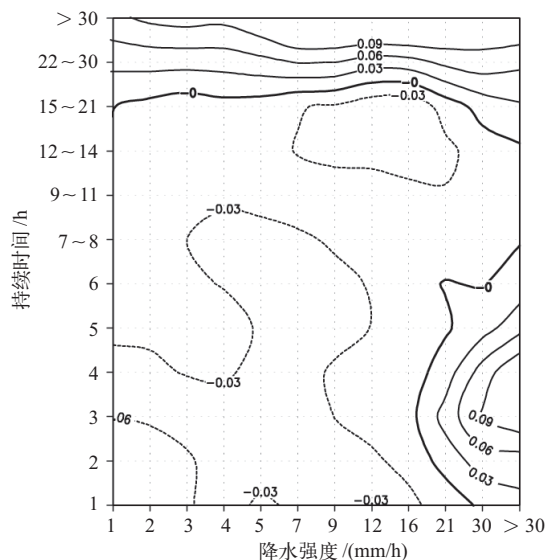


图6 利用逐时降水资料计算的我国东南沿海近40年不同强度、持续时间降水对总降水量贡献(%/10a)的变化趋势

Fig. 6 The trend (%/10a) of the contribution of precipitation with different intensity and duration time to the total precipitation amount using hourly rainfall data in southeastern coast of China in the past 40 years

如前面讨论,相对于短持续性降水,长持续性降水的显著增加是导致小时降水强度显著增加的主要原因,但另一方面,短时强降水的增加和短时弱降水的减少也对小时降水强度有正的贡献。那么近

40 年短时强降水和短时弱降水的变化对我国东南沿海地区盛夏小时降水强度有何贡献, 与长持续性降水相比如何呢? 计算可得总降水和上述 3 类降水 1967—1986 年平均降水量和降水频次以及 1987—2006 年的变化量, 进而计算小时平均降水强度的变化:

$$\Delta I = \frac{P + \Delta P}{F + \Delta F} - \frac{P}{F}, \quad (1)$$

式中 P 、 F 、 I 分别为平均的降水量、降水频次、小时降水强度, Δ 表示上述变量 40 年的变化。计算得到 $\Delta I = 0.13 \text{ mm/h}$ 。为了分别估计 3 种降水类型的变化对小时降水强度的影响, 改 (1) 式为

$$\Delta I_{i,j} \approx \frac{P + \Delta P_{i,j}}{F + \Delta F_{i,j}} - \frac{P}{F}, \quad (2)$$

式中 $\Delta P_{i,j}$ 和 $\Delta F_{i,j}$ 分别为图 6 中不同持续时间、不同强度降水的降水量和降水频次的变化, 而 $\Delta I_{i,j}$ 则是该种降水的变化对平均小时降水强度的影响。利用 (2) 式得到长持续性降水、短时强降水的增加和短时弱降水的减少对平均小时降水强度的影响分别为 0.072, 0.057 和 0.028 mm/h, 与前面分析一致, 长持续性降水对平均降水强度的增强贡献最大, 同时, 短时强降水对小时降水强度也有重要贡献。但需要指出的是, 以上仅讨论了对小时降水强度有正面贡献的三类降水的变化, 并未包括所有强度和持续时间的降水, 因而对小时降水强度的总贡献会大于平均小时强度的变化。

3 结 论

(1) 1967—2006 年中国东南沿海盛夏降水呈显著增加趋势, 从年代际变化的角度来看, 则主要是发生于 1994 年左右的降水量突然增加。初步分析的结果表明, 这种增加主要来自于日降水强度的显著增加。

(2) 中国东南沿海地区的小时降水强度和降水事件的平均持续时间均呈显著上升趋势。气候突变检测的结果表明, 小时降水强度在 1985 年左右、降水

持续时间在 1994 年左右先后突然增加, 并一直保持显著增加趋势。

(3) 降水持续时间显著增加是降水量增加的主要来源, 但同时小时降水强度的增强也对降水量的增加有 30% 左右的贡献。日降水强度的增加主要是受平均降水持续时间控制的雨日平均降水时间的显著增加引起。

(4) 对不同持续时间降水事件降水量、降水频次和小时降水强度的比较发现, 短持续降水主要表现为强度的增加, 而长持续性降水则表现为降水频次的增加和降水强度的减弱。即便如此, 长持续性降水的小时降水强度仍远大于短时降水。

(5) 通过将降水按照持续时间和小时降水强度的进一步划分, 发现中国东南沿海盛夏降水的变化主要体现为长持续性降水和短时强降水贡献的增加和短时弱降水贡献的减少。通过计算各类降水的变化对平均小时降水强度的影响发现, 长持续性降水和短时强降水对小时降水强度的增加均有重要贡献, 而短时弱降水的减少对小时降水强度的影响不明显。■

参考文献

- [1] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势 [J]. 高原气象, 1999, 18 (4): 465—476
- [2] Gong Daoyi, Ho Changhoi. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s [J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29 (10): 78—71
- [3] Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, *et al.* Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China [J]. Journal of Climate, 2005, 18 (7): 1096—1108
- [4] 王小玲, 翟盘茂. 1957—2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征 [J]. 热带气象学报, 2008, 24 (5): 459—466
- [5] Ding Yihui, Ren Guoyu, Shi Guangyu, *et al.* China's national assessment report on climate change (I): climate change in China and future trend [J]. Advances in Climate Change Research, 2007, 3: 1—5
- [6] Yao Cai, Yang Song, Qian Weihong, *et al.* Regional summer precipitation events in Asia and their changes in the past decades [J]. J Geophys Res, 2008, 113, D17107
- [7] Yu Rucong, Li Jian, Yuan Weihua, *et al.* Changes in characteristics of late-summer precipitation over eastern China in the past 40 years revealed by hourly precipitation data [J]. Journal of Climate, 2010, 23 (12): 3390—3396

- [8] Yu Rucong, Xu Youping, Zhou Tianjun, *et al.* Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34 (13), L13703
- [9] Mann H B. Nonparametric tests against trend [J]. *Journal of the Econometric Society*, 1945, 13: 245–259
- [10] Ding Yihui, Wang Zunya, Sun Ying. Inter-decadal variation of the summer precipitation in East China and its association with decreasing Asian summer monsoon: part I: observed evidences [J]. *International Journal of Climatology*, 2008, 28 (9): 1139–1162
- [11] Trenberth K E, Dai Aiguo, Rasmussen R M, *et al.* The changing character of precipitation [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2003, 84 (9): 1205–1218

Analysis of Changes in Precipitation Intensity in Later-Summer over Southeast Coast of China in 1967–2006

Huang Wei^{1,2}, Yu Rucong³, Li Jian³

1 State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics (LASG), Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China

Abstract: Using daily and hourly station rain gauge data during 1967–2006, the changes in the characteristics of the later-summer (July–August) rainfall intensity over southeast coastal China were analyzed. The results depending on the daily rainfall data confirm that the amount of precipitation in southeastern China has significantly increased, which mainly results from the significant increase of daily precipitation intensity while the frequency does not increase significantly. Based on the hourly rainfall data, it is found the hourly intensity of precipitation and duration time are significantly increased simultaneously in this region. Comparing the average precipitation indices during 1967–1986 with that during 1987–2006. It is found the intensity of short duration (≤ 4 h) precipitation increases while that of long duration (≥ 15 h) precipitation decreases and the frequency of long duration precipitation increases. Even so, the average intensity of long duration precipitation is much higher than that of short duration precipitation. In short, the significant increase of the hourly precipitation intensity is resulted from the frequency increase of long duration– and short duration–heavy precipitation and the frequency decrease of short duration–slight precipitation in the past 40 years over the southeastern coast of China.

Key words: southeastern coast of China; precipitation intensity; duration time; later-summer