

蒲义良<sup>1,2</sup> 郭柏成<sup>3</sup> 叶朗明<sup>2</sup> 李晓惠<sup>2</sup> 高玲玉<sup>1,2</sup>

# 基于小时降水资料研究广东省降水分布特征

## 摘要

基于2001—2018年广东省86个国家自动气象站逐小时降水资料,分析了广东省不同历时降水的时空分布特征。结果表明:1)除粤北山区外,基本符合年均降水时数越多,累积降水量越大的规律。年均小时降水强度从南部沿海向北部内陆呈减弱趋势。2)汛期降水事件以短历时为主,占全年降水事件65.3%;累积降水量上,长历时降水量占汛期56.7%。前汛期短历时降水多发生在粤西;中历时降水多发生在珠三角两侧和粤西北地区;长历时降水多发生在粤东和粤北地区。后汛期短历时降水多发生在内陆,出现频次自西北向东南递减;中历时降水分布不均;长历时降水多发生在沿海。3)汛期降水时数日变化呈双峰型变化特征,小时降水强度日变化呈单峰型变化特征。小时降水强度峰值易出现在下午的站点多分布在内陆,小时降水强度峰值易出现在下半夜至上午时段的站点则多分布在沿海、部分山区和珠三角地区。

## 关键词

广东;不同历时;降水;分布特征;汛期降水

中图分类号 P426.6

文献标志码 A

收稿日期 2020-03-19

资助项目 中国气象局预报员专项(CMAYBY2020-092);广东省气象局科技发展基金项目(GRMC2018M48)

## 作者简介

蒲义良,男,硕士,主要研究方向为气候预测,puyl@mail2.sysu.edu.cn

叶朗明(通信作者),男,硕士,主要研究方向为暖区暴雨,ye\_langming@126.com

1 中山大学 大气科学学院 广州 510275

2 广东省江门市气象局 江门 529030

3 广东省开平市气象局 江门 529300

## 0 引言

在全球变暖背景下,近些年全球极端天气事件的频率和强度不断增加,其造成的危害和不利影响越来越大。降水作为全球变暖最响应的因素之一,受到社会各界的广泛关注。随着气象监测系统逐渐完善,降水资料时间和空间分辨率进一步提高,许多学者对不同地区不同历时降水的趋势、贡献、日变化特征等进行了研究,地区不同所呈现的时空特征也互有异同。Li等<sup>[1]</sup>研究发现近50年来我国华北地区降水量减少主要与长历时降水事件减少有关,而南方地区降水量增加是不同历时降水事件共同增加所造成的。伍红雨等<sup>[2]</sup>基于1961—2014年广东逐小时降水资料分析结果指出,广东平均小时强降水的频数、强度、降水量和贡献率在年以及前、后汛期的时间尺度上均为显著上升的趋势。Yu等<sup>[3-5]</sup>利用长序列逐时降水资料分析发现,短历时降水的峰值多出现在下午或傍晚,太阳辐射加热引起的热力不稳定是造成下午或傍晚短历时降水峰值的原因之一。长历时降水的峰值多出现在夜间和清晨,则多与大尺度环流有关<sup>[6]</sup>。出现在清晨的持续性峰值降水与东亚季风呈现一致的北进南退的季节内演变特征<sup>[7]</sup>。此外,在复杂地形及海陆分布的影响下,一些陆地地区也存在午夜至凌晨的降水峰值<sup>[2,8]</sup>。从以上研究可以看到,随着较高时间分辨率降水资料不断累积,使得研究降水细微差异和降水日变化特征分析成为可能,一些超大城市还利用空间加密的小时降水资料,分析更为精细的降雨特征<sup>[9-11]</sup>。

广东位于中国大陆最南部,具有明显的亚热带、热带海洋性和季风气候特征。因濒临南海和西太平洋,水汽丰富,暴雨洪涝也成为广东省最主要的灾害性天气之一。由于广东地形复杂,北高南低,受天气系统影响程度各有差异,因而降水时空分布不均匀,年降水水平的地理差异较大<sup>[12]</sup>。强降水中心地区频繁遭受暴雨灾害袭击,灾害对当地的经济建设、生命财产安全造成严重的破坏<sup>[13]</sup>。引发暴雨洪涝的强降水在一定的区域和时间内呈现一定的特征,时间分辨率更高的降水资料能够刻画降水持续时间、日变化等统计特征,有助于开展气象防灾减灾工作,减少暴雨洪涝灾害带来的损失<sup>[14]</sup>。以往基于广东小时降雨资料的研究多是对个例分析和数值模拟,统计则多集中在日、月等更长的时间尺度上,或者仅限于小时降水强度变化特征上<sup>[15-17]</sup>,对汛期不同历时降水事件的分布、贡献及更精细的小时降水强度峰值分

布等研究不足.本文基于广东省 86 个国家自动气象站 2001—2018 年逐小时降水资料,较为系统地研究了广东省前后汛期不同历时降水的精细化特征,以期为更好地理解广东地区降水的变化规律、评估气候特征,以及开展洪涝暴雨相关服务等方面提供一定的参考.

### 1 资料和方法

本文所用资料为广东省 86 个国家自动气象站逐小时降水数据集,数据集来自广东省探测数据中心,并经过严格质量控制.全省 86 个气象站分布如图 1 所示.受小时降水资料的限制以及为确保不同站点之间的数据具有可比较性,这里选取 2001—2018 年 18 年的逐小时降水资料进行统计分析.

降水定义采用中国气象局的业务标准,即 1 h 降水量  $\geq 0.1$  mm 记为有降水,各站某一时间段降水量为该时段总的降水累积量<sup>[11]</sup>.本文以 2 h 为界限划分两次降水事件,定义为不同历时降水,即某一降水时次之后连续 2 h 没有降水时,判断该降水过程结束<sup>[18]</sup>.为了研究不同历时降水的持续性问题,参考文献<sup>[19]</sup>按照持续时间的长短,将不同持续性降水分为三类:短历时降水(持续时间为 1~3 h)、中历时降水(持续时间为 4~6 h)和长历时降水(持续时间为 6 h 以上).

### 2 广东降水与降水时次分布特征

#### 2.1 小时降水分布特征

图 2 给出了广东省小时降水的空间分布特征.分析图 2a 可知,广东年均降水时数介于 526.3(徐

闻)和 1 171.1 h(乳源)之间.空间分布上有三个大值中心,分别是粤西北地区(乳源—阳山一带)、粤西南地区(恩平—阳江一带)和粤东地区(揭西—普宁一带).降水时数最少区域分布在雷州半岛一带.广东年均累积降水量(图 2b)介于 1 315.8(南澳)和 2 583.0 mm(海丰)之间.可以看到年均累积降水量分布存在三个大值中心:云雾山和天露山南侧的恩平—阳江一带,年均降水量超过 2 200 mm 的站点达 5 个,该区域是广东省最先受到西南季风影响的区域,其沿海较多喇叭口地形使得其迎风坡成为强降水区域,且该区域易受台风影响;莲花山南麓(海丰为中心)的地区,该区域海洋暖湿气流受到莲花山脉的强烈抬升作用影响,且其沿海同样易受台风登陆的影响,水汽、热力和动力条件充分;粤北山区南部边缘(龙门—清远一带),西南暖湿气流受到南岭山脉前侧的阻挡和抬升作用形成锋面降水<sup>[12,20]</sup>.广东年均降水量三个低值中心分布在云雾山北侧的罗定一带、莲花山西北侧的五华一带和粤北乐昌到南雄一带,年均累积降雨在 1 500 mm 以下,均位于三个多雨中心以北区域.图 2c 和图 2d 分别是广东平均小时降水强度和最大小时降水强度空间分布.平均小时降水强度介于 1.5(乐昌)和 3.1 mm/h(上川岛)之间,从南部沿海向北部内陆地区呈明显的减弱趋势.此分布主要是因为沿海地区更容易受到海洋天气系统影响,其降水总事件中热带海洋型降雨比例显著高于内陆地区,而热带海洋型降雨强度也高于大陆型降雨强度<sup>[21]</sup>.广东省最大小时降水强度介于 70.8(连平)和 168.3 mm/h(茂名)之间,较大雨强主要出现在粤西、珠三角北侧以及梅州平原一带.

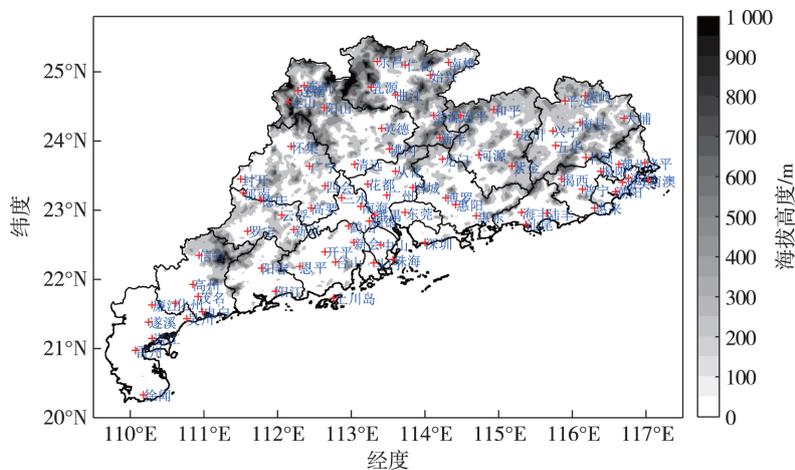


图 1 广东省 86 个国家自动气象站地理分布

Fig. 1 Distribution of 86 national automatic weather stations ( showed by red crosses) in Guangdong province

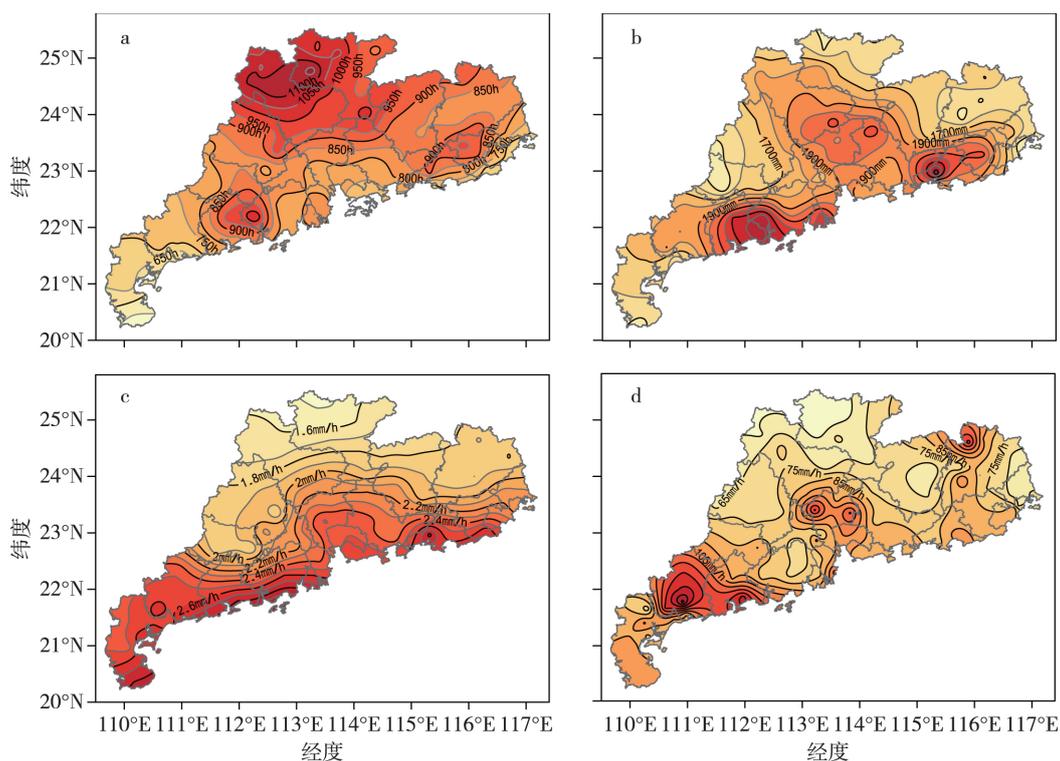


图2 广东省年均降水小时数(a) ,年均累积降水量(b) ,平均小时降水强度(c) ,最大小时降水强度(d)

Fig. 2 Distribution of (a) annual precipitation hours (b) annual accumulative precipitation , (c) hourly precipitation intensities and (d) hourly precipitation intensity extremes in Guangdong

## 2.2 降水小时数、累计降水量月变化

图3为2001—2018年广东多年平均的月降水小时数和降水量随季节的变化.可以看到,年均降水小时数6月(114.8 h)最多,12月(44.3 h)最少.3—8月降水小时数超过80 h,占全年64.7%.降水量分布同样是6月(338.7 mm)最多,12月(42.8 mm)最少.4—9月降水均超过150 mm,占全年总和的79.8%.广东省汛期为4—9月,它通常分为两个阶段,第一阶段为4—6月,这个阶段的降水以锋面降水为主,称为前汛期;第二阶段为7—9月,这个阶段的降水主要是由热带天气系统如台风所造成的,称为后汛期<sup>[22-23]</sup>.前汛期是东亚地区从春季到夏季环流过渡的时期.在这过程中,北方冷空气的势力逐渐减弱,但仍然能频繁南下侵入广东;西太平洋副热带高压北移,夏季偏南季风开始活跃,将热带洋面的热量和水汽往华南上空输送.二者激烈交锋的结果,使这一时期成为广东省降雨最多发的季节<sup>[24]</sup>.前汛期环流的季节变化从4月开始,到6月完成突变进入后汛期,此阶段广东降水总量持续增加.在后汛期,冷空气势力一般不能到达华南,广东的暴雨主要由热带天气系统引起,包括热带气旋、热带辐合带和季风

槽、东风波等<sup>[25]</sup>,而热带气旋的多寡将严重影响后汛期的降雨量.统计显示,后汛期8月热带气旋影响广东省最多,其次是9月和7月,但登陆最多的是7月.8月和9月登陆数量相当,后汛期影响和登陆广东省的热带气旋占了全年数量的72%<sup>[22]</sup>.

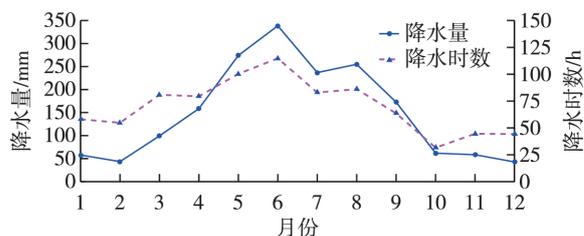


图3 月降水小时数和累积降水量逐月分布

Fig. 3 Annual monthly precipitation hours and monthly accumulative precipitations in Guangdong

## 3 汛期不同历时降水分布特征

鉴于非汛期年均降水量较少,对其进行细化分析的研究意义不足,因此,本文对降水季节特征的研究将集中在汛期(4—9月).另外,由于前后汛期环流形势差异巨大,为更准确地研究汛期降水的分布

特征 本文将汛期划分为前汛期(4—6月)和后汛期(7—9月)来分别研究.

依据本文对降水事件的定义,对18年汛期广东省逐站降水事件进行筛选,共识别出21.9万多站次降水事件,平均每年汛期每站出现141.2次降水事件,其中前汛期最长历时降水事件出现在新丰站2005年6月19日15时—6月22日20时,历时78h,过程累积降水439.1mm;后汛期最长历时降水事件共出现2次(历时85h),分别是出现在乐昌站2013年8月15日04时—8月18日16时,过程累积降水421.5mm,和珠海站2012年7月23日10时—7月26日22时,过程累积降水378.4mm.

图4显示,汛期广东省降水事件以短历时为主,占事件总数65.3%,中历时和长历时降水事件数占比分别为18.6%和16.1%.当历时超过6h,随着历时的增长,降水事件次数急剧下降.降水贡献方面,长历时降水贡献占汛期总降水56.7%,短历时和中历时降水贡献分别为20.9%和22.4%.前、后汛期降水同样以短历时为主,降水贡献最多的是长历时降水贡献.另外,前汛期中、长历时降水事件出现频次和降水贡献均高于后汛期,后汛期短历时降水事件出现频次和降水贡献均高于前汛期(图4和表1).

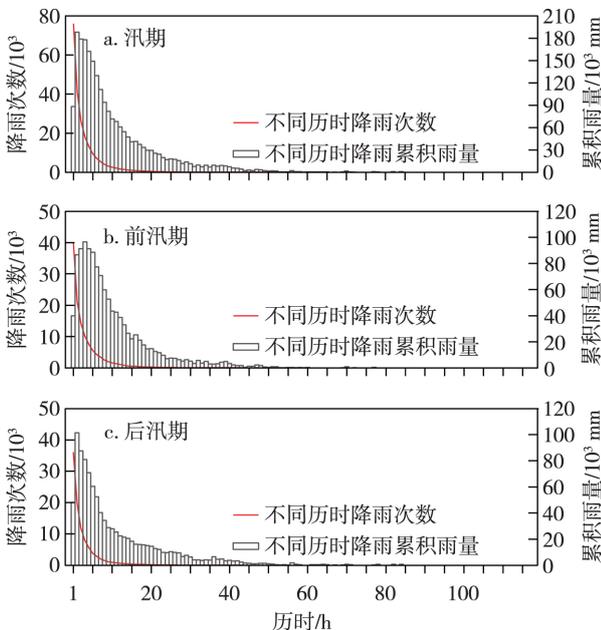


图4 广东省不同历时降水事件次数和累积降水量分布

Fig.4 Distribution of different duration precipitations and accumulative precipitation in Guangdong

已有研究表明,不同历时降水对应着不同的大气环流状况,降水特性和时空的分布也不尽相同<sup>[8]</sup>.

本部分将在研究广东汛期年均降水量空间分布的基础上,重点分析不同历时降水事件所占据的比重.

表1 广东省不同历时降水时间贡献(出现频次、降水量贡献)

Table 1 The contribution of rainfall events with different durations to total precipitation in different seasons in Guangdong averaged during 2001-2018 %

历时	汛期		前汛期		后汛期	
	出现频次	降水贡献	出现频次	降水贡献	出现频次	降水贡献
短	65.3	20.9	62.8	18.2	68.3	24.0
中	18.6	22.4	19.3	23.2	17.6	21.5
长	16.1	56.7	17.9	58.6	14.1	54.5

对于前汛期(图5),短历时和长历时降水出现频次分布与相应累积降水贡献分布基本吻合,短历时降水多发生在粤西,雷州半岛出现频次最多,长历时降水多发生在粤东和粤北地区.长历时降水事件往往容易达到大到暴雨级别.统计研究表明,广东中北部的大到暴雨大部分发生在前汛期,是由于与西风带系统活动相联系的冷暖空气交汇造成的<sup>[26]</sup>,与之对应的西风槽和切变线较难影响到粤西地区.另外,粤东沿海和珠江口西侧沿海地区长历时降水占比超过60%,其长历时降雨多与季风降雨有关,南海季风爆发时间在5月下旬—6月,强西南季风往往给广东中东部(阳江以东)沿海带来持续性强降雨.中历时降水事件则多发生在珠三角两侧和粤西北区域.湛江和茂名地区虽然中历时降水出现频次低于全省均值,但对应累积降水贡献却高于全省均值,说明湛江和茂名地区出现中历时降水时小时降水强度较大.

后汛期方面(图6),短历时和长历时降水出现频次分布与相应累积降水贡献分布基本吻合,短历时类型的降水多发生在内陆,出现频次自西北往东南递减,长历时降水则多发生在沿海.沿海地区在后汛期受热带系统影响所致的强降雨较多,当来自海上的风暴系统移动到内陆后,由于降水及水汽减弱,导致风暴强度减弱,因而内陆地区长历时降水占比明显下降.中历时降水事件出现频次分布规律不明显,整体是珠三角地区和粤东高于其他地区,但中历时降水量贡献分布沿海低于内陆,大值区主要在珠三角北侧、粤西北和粤东北.

#### 4 前后汛期降水日变化特征

表2给出了2001—2018年汛期不同时段广东每站日均降水量,各时段每站平均降水量由多到少

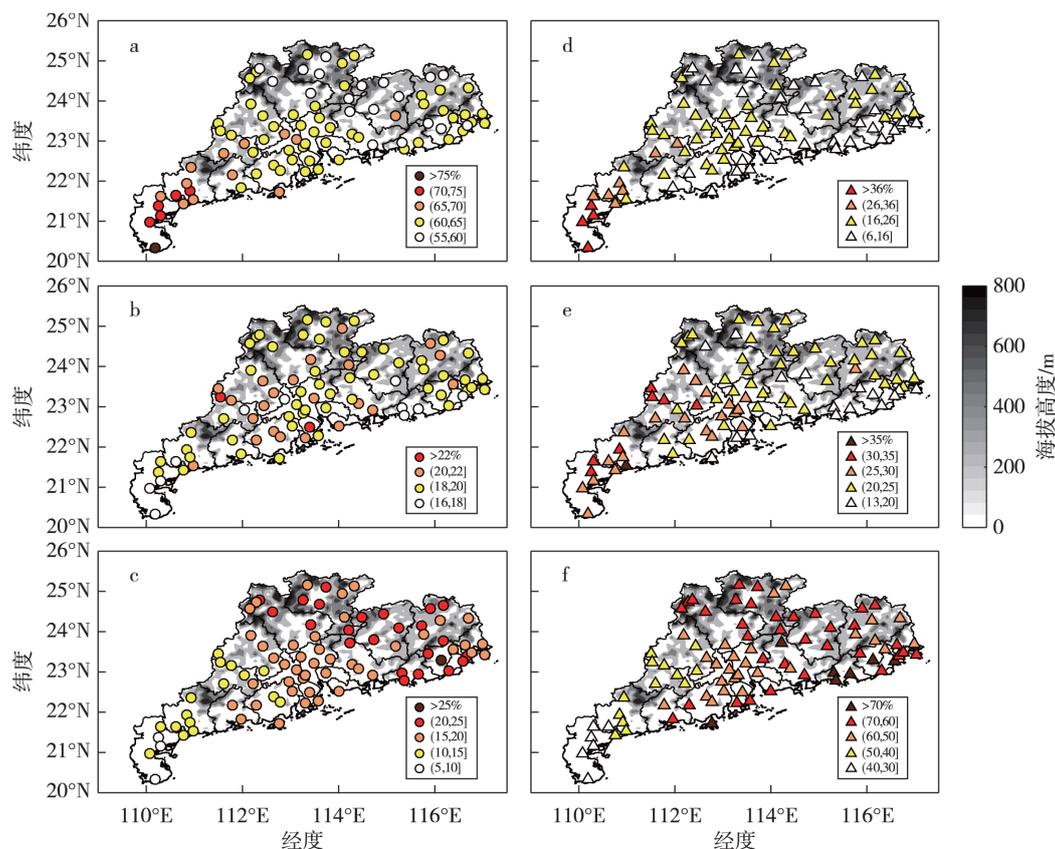


图5 广东省前汛期不同历时降水事件占比(a:短历时;b:中历时;c:长历时)和降水量贡献(d:短历时;e:中历时;f:长历时)  
 Fig. 5 Distribution of the contributing rate of precipitation events with different durations ( a-c represent 1-3 h ,  
 4-6 h ,more than 6 h ) and the contributing rate of accumulative precipitation with different durations  
 ( d-f represent 1-3 h 4-6 h and more than 6 h ) during the pre-flood season in Guangdong

依次为:下午(15—20时)、上午(09—14时)、下半夜(03—08时)、上半夜(21—02时)。其中前汛期各时段雨量均高于后汛期雨量,前汛期平均每日每站8.48 mm,后汛期平均每日每站6.95 mm。从降水时数和小时降水强度的日变化分布(图7)来看,前、后汛期降水时数的日变化特征相似,呈双峰型变化特征,前汛期介于0.11~0.16 h之间,后汛期介于0.08~0.13 h之间。前汛期07时(0.15 h)和17时(0.16 h)出现降水时数最多,后汛期同样是07时(0.10 h)和17时(0.13 h)出现降水时数最多,但前汛期平均降水时数均多于后汛期。小时降水强度日变化方面,前汛期介于1.94~3.23 mm/h之间,后汛期介于2.30~3.40 mm/h之间。前、后汛期最大小时降水强度均出现在15时,但后汛期对应强度(3.40 mm/h)大于前汛期对应强度(3.23 mm/h)。此外,在08—12时前汛期小时降水强度强于后汛期,15—06时,后汛期高于前汛期。前汛期小时降水强度谷值出现在01时(1.94 mm/h),后汛期出现在00时(2.30 mm/h)。

表2 2001—2018年汛期不同时段广东每站日均降水量  
 Table 2 Averaged daily precipitation per station during different periods of the flood season during 2001-2018

	mm				
	21—02时	03—08时	09—14时	15—20时	合计
汛期	1.33	1.74	2.12	2.52	7.71
前汛期	1.37	1.98	2.45	2.68	8.48
后汛期	1.29	1.50	1.79	2.37	6.95

图8给出了2001—2018年广东小时降水强度日均峰值出现时间的空间分布。前汛期阶段小时降水强度日均峰值出现时间共三类。第一类出现在下午15—20时,集中在粤西和大部分内陆市县,出现在这个时段的站点占比达到55.8%;第二类出现在09—14时,集中在珠三角和粤东沿海城市及少部分内陆市县,占比36.0%;第三类出现在下半夜03—08时,站点分布不均,全省共7个站点,占比仅8.2%。

后汛期阶段小时降水强度日均峰值出现时间共

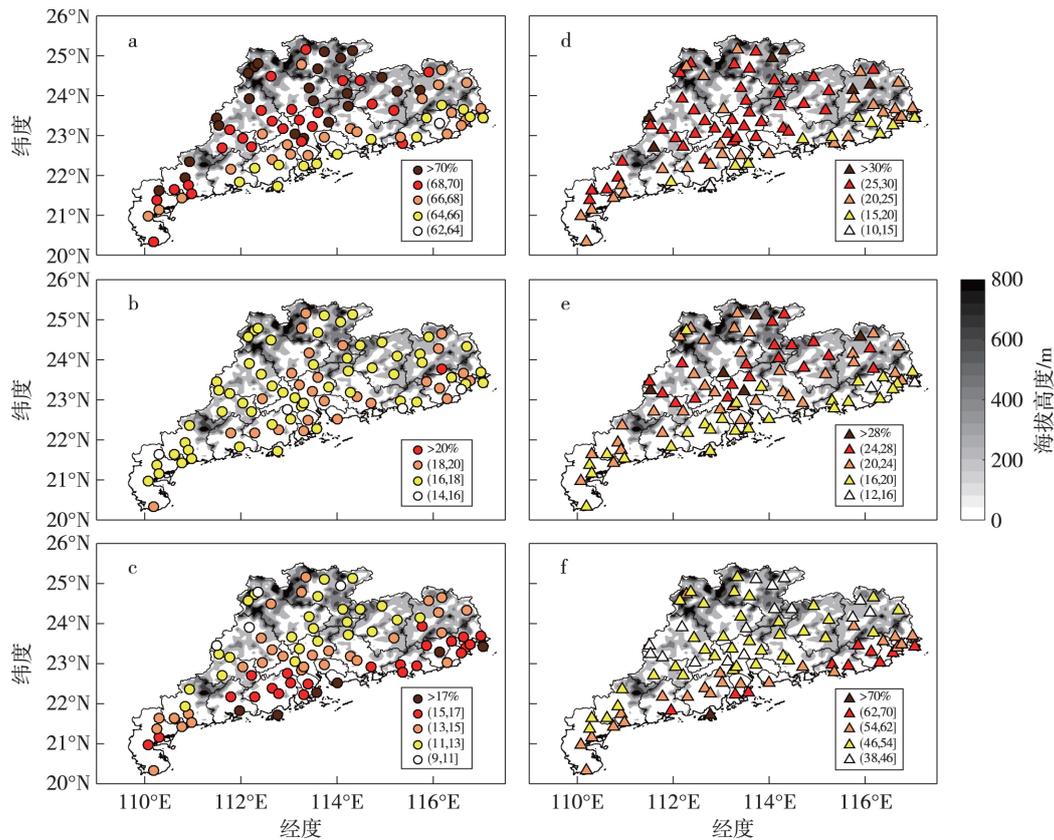


图6 广东省后汛期不同历时降水事件占比 (a: 短历时; b: 中历时; c: 长历时) 和降水量贡献 (d: 短历时; e: 中历时; f: 长历时)

Fig.6 Distribution of the contributing rate of precipitation events with different durations ( a-c represent 1-3 h , 4-6 h , more than 6 h ) and the contributing rate of accumulative precipitation with different durations ( d-f represent 1-3 h , 4-6 h and more than 6 h ) during the post-flood season in Guangdong

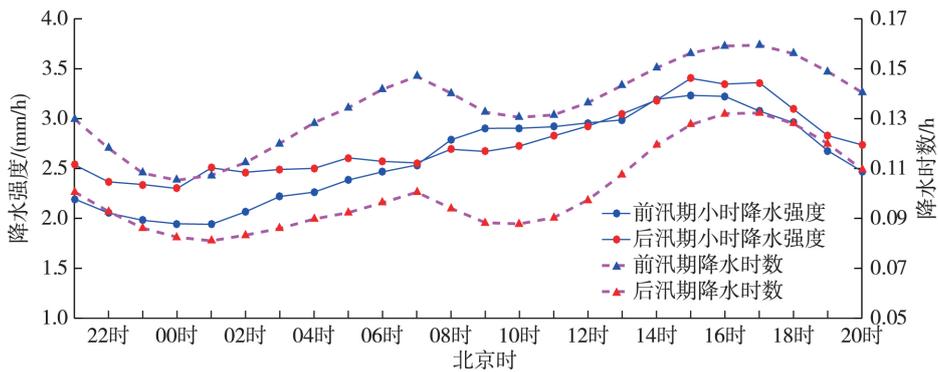


图7 广东省平均小时降水强度和降水时数日变化

Fig.7 Diurnal variations of mean precipitation hours and mean precipitation intensities

四类.第一类出现在下午 15—20 时,大部分内陆市县,出现在这个时段的站点占比达到 61.6%;第二类出现在 09—14 时,集中在珠三角、潮汕平原和粤西,占比 23.3%;第三类出现在下半夜 03—08 时,主要集中在珠三角西侧和汕尾,占比 8.1%;第四类出现在上半夜 21—02 时,除惠阳外,均分布在沿海市县,

共 6 个站(7.0%)。

综合以上分析,可以看到汛期广东地区小时降水强度峰值最容易出现在下午,主要是汛期水汽充足,午后陆地表面受日射而剧烈加热,可在近地层形成绝对不稳定层结,释放不稳定能量,有利于短时强降水的出现,因此小时强降水也多出现在下午<sup>[15]</sup>。而

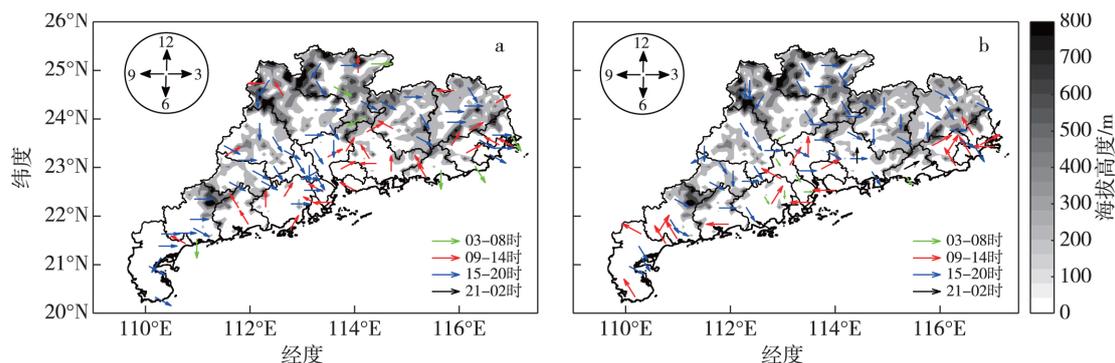


图8 广东省(a:前汛期;b:后汛期)小时降水强度日均峰值出现时间分布

Fig. 8 Occurrence time of daily maximum hourly precipitation in (a) pre-flood season and (b) post-flood season

广东沿海、珠三角城区以及部分山地,由于海陆风、山谷风<sup>[27-28]</sup>,以及珠三角城区明显的城市热岛环流等影响,造成小时降水强度日峰值容易出现在下半夜至上午。

## 5 结论

本文利用2001—2018年广东省86个国家自动气象站的逐时降水资料,分析了广东省不同历时降水的时空分布特征,得到如下主要结论:

1) 广东年均降水时数分布有三个大值中心,分别是粤西北地区(乳源—阳山一带)、粤西南地区(恩平—阳江一带)、粤东地区(揭西—普宁一带),降水时数最少区域分布在雷州半岛至电白一带。年均降水量的分布形成了明显的三个多雨中心和三个少雨中心。三个多雨中心分别是云雾山和天露山南侧的地区(恩平—阳江一带)、莲花山南麓的地区(海丰为中心)、粤北山区南部边缘的地区(龙门—清远一带)。三个少雨中心为云雾山北侧的罗定郁南地区、九莲山北的韶关北部地区和莲花山以北的梅县五华一带。年均小时降水强度从南部沿海向北部内陆地区呈减弱趋势。历史小时降水强度最大出现在粤西茂名和阳江地区。

2) 汛期广东省降水事件以短历时为主,出现频次占比65.3%,随着历时的增长,降水事件频次急剧下降,中历时和长历时降水事件数分别占总数的18.6%和16.1%。但降水贡献上,长历时降水贡献占汛期56.7%。其中前汛期中、长历时降水事件出现频次和降水贡献均高于后汛期,后汛期短历时降水事件出现频次和降水贡献均高于前汛期。前汛期短历时类型的降水多发生在粤西,中历时降水多发生在珠三角两侧和粤西北区域,长历时降水则多发生在粤东和粤北地区。后汛期短历时类型的降水多发生

在内陆,出现频次自西北往东南递减,中历时降水分布不均,长历时降水多发生在沿海。

3) 前、后汛期降水时数日变化均呈现双峰型变化特征,两个峰值在17时和07时,谷值在00时。平均而言,前汛期降水时数多于后汛期。小时降水强度日变化呈单峰型变化,前后汛期小时降水强度最强出现在15时,平均而言,在08—12时前汛期小时降水强度强于后汛期,15—06时,后汛期强于前汛期。前后汛期内陆多数站点小时降水强度日均峰值出现在下午,占比分别为55.8%和61.6%。此类分布特征主要是由于午后陆地表面受日射而剧烈加热,加强了对流的发展所致。沿海地区、部分山区和珠三角站点小时降水强度日均峰值容易出现在下半夜至上午时段,此类分布特征很可能与海陆风、山谷风,以及珠三角城区明显的城市热岛环流有关。

## 参考文献

### References

- [1] Li J, Yu R C, Yuan W H, et al. Changes in duration-related characteristics of late-summer precipitation over Eastern China in the past 40 years [J]. *Journal of Climate*, 2011, 24(21): 5683-5690
- [2] 伍红雨, 李春梅, 刘蔚琴. 1961—2014年广东小时强降水的变化特征[J]. *气象*, 2017, 43(3): 305-314  
WU Hongyu, LI Chunmei, LIU Weiqin. Variation characteristics of hourly heavy precipitation in Guangdong during 1961-2014 [J]. *Meteorological Monthly*, 2017, 43(3): 305-314
- [3] Yu R C, Wang B, Zhou T J. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia [J]. *Geophysical Research Letters*, 2004, 31(22). DOI: 10.1029/2004gl021270
- [4] Yu R C, Zhou T J, Xiong A Y, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34: L01704
- [5] Yu R C, Zhou T J. Seasonality and three-dimensional

- structure of interdecadal change in the East Asian monsoon [J]. *Journal of Climate*, 2007, 20 ( 21 ): 5344-5355
- [ 6 ] 李建, 宇如聪, 王建捷.北京市夏季降水的日变化特征 [J].*科学通报*, 2008, 53( 7 ): 829-832  
LI Jian, YU Rucong, WANG Jianjie. Characteristics of summer precipitation diurnal variations in Beijing [J]. *Chinese Science Bulletin* 2008, 53( 7 ): 829-832
- [ 7 ] Yuan W H, Yu R C, Chen H M, et al. Subseasonal characteristics of diurnal variation in summer monsoon rainfall over central Eastern China [J]. *Journal of Climate* 2010, 23( 24 ): 6684-6695
- [ 8 ] 宇如聪, 李建, 陈昊明, 等. 中国大陆降水日变化研究进展 [J]. *气象学报*, 2014, 72( 5 ): 948-968  
YU Rucong, LI Jian, CHEN Haoming, et al. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2014, 72( 5 ): 948-968
- [ 9 ] Yang P, Ren G Y, Liu W D. Spatial and temporal characteristics of Beijing urban heat island intensity [J]. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2013, 52( 8 ): 1803-1816
- [ 10 ] 熊明明, 徐姝, 李明财, 等. 天津地区小时降水特征分析 [J]. *暴雨灾害*, 2016, 35( 1 ): 84-90  
XIONG Mingming, XU Shu, LI Mingcai, et al. Characteristics of hourly precipitation in Tianjin [J]. *Torrential Rain and Disasters* 2016, 35( 1 ): 84-90
- [ 11 ] 杨萍, 肖子牛, 石文静. 基于小时降水资料研究北京地区降水的精细化特征 [J]. *大气科学*, 2017, 41( 3 ): 475-489  
YANG Ping, XIAO Zhiniu, SHI Wenjing. Fine-scale characteristics of rainfall in Beijing urban area based on a high-density autonomous weather stations (AWS) dataset [J]. *Chin J Atmos Sci* 2017, 41( 3 ): 475-489
- [ 12 ] 郑腾飞, 刘显通, 万齐林, 等. 近 50 年广东省分级降水的时空分布特征及其变化趋势的研究 [J]. *热带气象学报*, 2017, 33( 2 ): 212-220  
ZHENG Tengfei, LIU Xiantong, WAN Qilin, et al. The characteristics of precipitation in Guangdong province over the past 50 years: dependence on rainfall intensity [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2017, 33( 2 ): 212-220
- [ 13 ] 林爱兰, 李春晖, 谷德军, 等. 广东省持续性干旱事件的变化及其成因 [J]. *热带气象学报*, 2010, 26( 6 ): 641-650  
LIN Ailan, LI Chunhui, GU Dejun, et al. Variation and causes of continuous drought events in Guangdong province [J]. *Journal of Tropical Meteorology*, 2010, 26( 6 ): 641-650
- [ 14 ] 章毅之, 吴琼, 胡菊芳, 等. 江西省小时降水特征分析 [J]. *暴雨灾害*, 2018, 37( 3 ): 274-280  
ZHANG Yizhi, WU Qiong, HU Jufang, et al. Characteristics of hourly precipitation in Jiangxi [J]. *Torrential Rain and Disasters* 2018, 37( 3 ): 274-280
- [ 15 ] 孙喜艳, 伍志方, 梁巧倩, 等. 广东省不同等级小时强降水时空特征分析 [J]. *自然灾害学报*, 2017, 26( 5 ): 102-109  
SUN Xiyan, WU Zhifang, LIANG Qiaoqian, et al. Analysis of spatio-temporal characteristics of hourly heavy precipitation in different grades in Guangdong [J]. *Journal of Natural Disasters* 2017, 26( 5 ): 102-109
- [ 16 ] 伍红雨, 李春梅, 刘蔚琴. 1961—2014 年广东汛期小时强降水的日变化特征 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2018, 57( 5 ): 10-18  
WU Hongyu, LI Chunmei, LIU Weiqin. The characteristics of diurnal variations of hourly heavy precipitation in flood seasons in Guangdong during 1961-2014 [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 2018, 57( 5 ): 10-18
- [ 17 ] 卞韬, 张立霞, 侯晓玮. 1961—2014 年石家庄地区降水量的时空变化特征 [J]. *南京信息工程大学学报(自然科学版)*, 2016, 8( 4 ): 356-364  
BIAN Tao, ZHANG Lixia, HOU Xiaowei. Spatial and temporal characteristics of precipitation in Shijiazhuang during 1961-2014 [J]. *Journal of Nanjing University of Information Science & Technology ( Natural Science Edition)* 2016, 8( 4 ): 356-364
- [ 18 ] 殷水清, 高歌, 李维京, 等. 1961—2004 年海河流域夏季逐时降水变化趋势 [J]. *中国科学: 地球科学*, 2012, 42( 2 ): 256-266  
YIN Shuiqing, GAO Ge, LI Weijing, et al. Long-term precipitation change by hourly data in Haihe River Basin during 1961-2004 [J]. *Scientia Sinica ( Terrae)* 2012, 42( 2 ): 256-266
- [ 19 ] 杨萍, 刘伟东. 北京地区加密自动气象站数据的质量分析 [J]. *气象科技进展*, 2013, 3( 6 ): 27-34  
YANG Ping, LIU Weidong. Evaluating the quality of meteorological data measured at automatic weather stations in Beijing during 1998-2010 [J]. *Advances in Meteorological Science and Technology* 2013, 3( 6 ): 27-34
- [ 20 ] 李博, 刘黎平, 赵思雄, 等. 局地低矮地形对华南暴雨影响的数值试验 [J]. *高原气象*, 2013, 32( 6 ): 1638-1650  
LI Bo, LIU Liping, ZHAO Sixiong, et al. Numerical experiment of the effect of local low terrain on heavy rainstorm of South China [J]. *Plateau Meteorology*, 2013, 32( 6 ): 1638-1650
- [ 21 ] 俞小鼎. 短时强降水临近预报的思路与方法 [J]. *暴雨灾害*, 2013, 32( 3 ): 202-209  
YU Xiaoding. Nowcasting thinking and method of flash heavy rain [J]. *Torrential Rain and Disasters*, 2013, 32( 3 ): 202-209
- [ 22 ] 李江南, 王安宇, 蒙伟光, 等. 广东省前汛期和后汛期降水的气候特征 [J]. *中山大学学报(自然科学版)*, 2002, 41( 3 ): 91-94 98  
LI Jiangnan, WANG Anyu, MENG Weiguang, et al. The climatological characteristics of precipitation of the pre-summer rainy season and second rainy season in Guangdong province [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* 2002, 41( 3 ): 91-94 98
- [ 23 ] 李丽平, 许冠宇, 成丽萍, 等. 华南后汛期极端降水特征及变化趋势 [J]. *大气科学学报*, 2012, 35( 5 ): 570-577  
LI Liping, XU Guanyu, CHENG Liping, et al. Characteristics of extreme precipitation and its variation trend in the post-flood of South China [J]. *Transactions of*

- Atmospheric Sciences 2012, 35(5): 570-577
- [24] 林良勋,冯业荣,黄忠,等.广东省天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2006  
LIN Liangxun, FENG Yerong, HUANG Zhong, et al. Technical manual of weather forecast in Guangdong province [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006
- [25] 黄忠,张东,林良勋.广东后汛期季风槽暴雨天气形势特征分析[J].气象,2005,31(9): 19-24  
HUANG Zhong, ZHANG Dong, LIN Liangxun. Synoptic analysis of heavy rain related to monsoon trough in the latter flood season of Guangdong [J]. Meteorological Monthly 2005, 31(9): 19-24
- [26] 李晓娟,简茂球,方一川,等.广东省前汛期大到暴雨频数的时空变化特征[J].气象,2012,38(11): 1339-1347  
LI Xiaojuan, JIAN Maoqiu, FANG Yichuan, et al. Spatiotemporal variations of heavy rain's frequency in the early rainy season in Guangdong [J]. Meteorological Monthly, 2012, 38(11): 1339-1347
- [27] Yu R C, Li J, Chen H M. Diurnal variation of surface wind over central Eastern China [J]. Climate Dynamics, 2009, 33(7/8): 1089-1097
- [28] 窦晶晶,王迎春,苗世光.北京城区近地面比湿和风场时空分布特征[J].应用气象学报,2014,25(5): 559-569  
DOU Jingjing, WANG Yingchun, MIAO Shiguang. Fine spatial and temporal characteristics of humidity and wind in Beijing urban area [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2014, 25(5): 559-569

## Characteristics of precipitation distribution in Guangdong province based on hourly rain-gauge data

PU Yiliang<sup>1,2</sup> GUO Bocheng<sup>3</sup> YE Langming<sup>2</sup> LI Xiaohui<sup>2</sup> GAO Lingyu<sup>1,2</sup>

1 Department of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 Jiangmen Meteorological Office of Guangdong Province, Jiangmen 529030

3 Kaiping Meteorological Office of Guangdong Province, Jiangmen 529300

**Abstract** The spatiotemporal distribution characteristics of different duration precipitations in Guangdong province were analyzed based on the hourly rain-gauge data from Guangdong's 86 National Weather Stations for period of 2001-2018. Results show that the accumulated precipitation would probably rise with the increase of averaged annual precipitation hours in most area of Guangdong, except in northern mountainous area. Annual hourly precipitation intensities show a decreasing trend from the southern coastal area to the northern inland area. Short duration precipitation is the main precipitation type in flood seasons, accounting for 65.3% of the annual precipitation events. While long duration precipitation contributes more (56.7%) to the annual accumulated precipitation. In the pre-flood seasons, short/moderate/long duration precipitations mostly occur in west/both sides of the Pearl River Delta and northwest/east and north of Guangdong, respectively. While in the post-flood season, short duration precipitation mostly occurs in Guangdong's inland area, with frequencies decreasing from northwest to southeast; moderate duration precipitation is unevenly distributed, and long duration precipitation mostly occurs in coastal area. In flood seasons, a two-peak pattern presents in diurnal variation of precipitation hours, and a single peak pattern inhabits in the diurnal variation of hourly precipitation intensity. The peak values of hourly precipitation intensities tend to occur in afternoon in inland area, or in time after midnight till next morning in areas along coast, some mountainous areas and the Pearl River Delta.

**Key words** Guangdong; different durations; precipitations; distribution characteristics; flood season precipitation