

1961 – 2014 年广东汛期小时强降水的日变化特征*

伍红雨^{1,2}, 李春梅¹, 刘蔚琴¹

(1. 广东省气候中心, 广东 广州 510641;

(2. 中国气象局广州热带海洋气象研究所//广东省区域数值天气预报重点实验室, 广东 广州 510641)

摘要: 利用 1961 – 2014 年广东 32 个地面气象观测站逐小时降水资料, 分析了广东小时强降水的降水量、降水频次和降水强度在整个汛期以及前、后汛期的日变化特征和空间分布差异。结果表明, 广东区域平均的汛期小时强降水的降水量、降水频次的峰值都是出现在下午 16 时, 次峰值出现在上午 8 时, 而小时强降水的强度日变化不明显。广东汛期小时强降水量和降水频次的峰值分布存在区域差异, 南部沿海峰值出现在早晨 (6 – 9 时) 和中午 (10 – 13 时), 雷州半岛和其余地区出现在下午 (14 – 20 时)。小时强降水的强度峰值在白天和夜晚都可以出现。前、后汛期小时强降水量日峰值振幅存在 3 个大值中心, 分别位于西部的罗定, 东部的五华和北部的南雄、连平。小时强降水频次日峰值振幅总体呈从沿海向内陆增加的趋势, 而强度日峰值振幅区域差异小。

关键词: 小时强降水; 日变化; 汛期; 广东

中图分类号: P426 文献标志码: A 文章编号: 0529 – 6579 (2018) 05 – 0010 – 09

The characteristics of diurnal variations of hourly heavy precipitation in flood seasons in Guangdong during 1961 – 2014

WU Hongyu^{1,2}, LI Chunmei¹, LIU Weiqin¹

(1. Climate Center of Guangdong Province, Guangzhou 510641, China;

(2. Institute of Tropical and Marine Meteorology//Guangdong Provincial Key Laboratory of Regional Numerical Weather Prediction, CMA, Guangzhou 510641, China)

Abstract: The characteristics of diurnal variations in amount, frequency and intensity of hourly heavy precipitation in flood seasons, including the first and second flood seasons, and the spatial distribution were studied based on the hourly precipitation data from 32 meteorological observational stations in Guangdong during 1961 – 2014. The results show that the peak of hourly heavy precipitation amount and frequency occurred at 16: 00, the second peak occurred at 08: 00, but the intensity diurnal variations of heavy precipitation were not obvious. There were regional differences at the peak of hourly heavy precipitation amount and frequency in flood seasons. The peak occurred in the morning (06: 00 to 09: 00) and at noon (10: 00 to 13: 00) in southern coastal areas, in the afternoon (14: 00 to 20: 00) in Leizhou Peninsula and the rest of Guangdong. The peak of hourly heavy precipitation intensity occurred on day and night. There were three high – value centers of the peaking amplitudes of hourly heavy precipitation amount during the first and second flood seasons, located in western Lauding, eastern Wuhua, northern Nanxiong and Lianpin. The peaking amplitudes of hourly heavy precipitation frequency showed increasing trend from coastal areas to inland, but there was little regional difference of the peaking ampli-

* 收稿日期: 2017 – 07 – 19

基金项目: 广东省科技计划项目 (2017B020244002; 2017B030314140); 广东省气象局科技项目 (GRMC2017M10, GRMC2017Z04)

作者简介: 伍红雨 (1969 年生), 女; 研究方向: 气候与气候变化; E-mail: wuhy@grmc.gov.cn

tudes of hourly heavy precipitation intensity.

Key words: hourly heavy precipitation; diurnal variation; flood season; Guangdong

我国西部有青藏高原，东部临太平洋，地形和海陆分布极其复杂，是降水日变化特征最丰富和区域特征最显著的地区，对降水日变化的气候特征进行分析，这对气象和水文的精细化预报和服务有重要指导作用^[1-2]。21世纪以来，由于高时空分辨率的气象观测资料的完善，气象学者对中国及区域降水的日变化气候特征进行了大量研究并取得很有意义的成果。中国大陆夏季降水存在显著的日变化和区域特征^[3]，南方地区在冷季、暖季间还存在降水日位相的差异^[4]。我国大部分地区夏季或汛期降水量的日变化呈双峰型特征，峰值主要出现在午后至傍晚以及清晨两个时段^[5-12]，但西南部“夜雨”特征明显^[13-16]。

广东（20°-25°N，109°-117°E）地处低纬，北依南岭，南临南海，地形复杂，有山地、丘陵、平原、台地等，地势北高南低。广东季风气候特征极其显著，一年中有80%的降水集中在汛期（4-9月），其中前汛期（4-6月）降水以锋面降水和夏季风降水为主，后汛期（7-9月）降水以热带气旋降水为主^[17-19]。广东是全国降水最多的地方之一，而短时强降水常常导致城市内涝、山洪、泥石流等地质灾害，造成人民生命财产的重大损失^[20]。伍红雨等^[21]分析指出广东平均小时强降水的次数、强度、降水量在年以及前、后汛期的时间尺度上均为显著上升的趋势，但没有对广东小时强降水日变化特征进行详细分析。一直以来由于小时降水资料的不完善和未处理，少有对长时间序列的广东小时强降水日变化的详细研究，因此本文对汛期广东小时强降水的日变化进行研究。宇如聪和李建^[2]指出，要更深刻理解降水的过程演变特性，除降水量外，还应认识降水频次和强度的日变化。李建等^[22]指出在相关研究中采用小时尺度降水替代日降水资料可更好地反映强度等实际降水的变化，减小取样的误差。因此本文采用广东近54年32个气象观测站小时强降水资料，详细分析广东汛期以及前后汛期小时强降水量、降水频次、降水强度的日变化峰值位相整体特征及空间分布，研究结果为深入了解广东小时强降水的日变化特征以及相关的气象服务提供信息和依据。

1 资料与方法

采用广东省气候中心整理的1961年1月1日

-2014年12月31日广东32个气象观测站逐小时降水资料。本文把单站1小时降水量超过20mm定义为一次小时强降水事件，小时强降水频次定义为出现小时强降水事件的次数；小时强降水量定义为所有小时强降水事件降水量的总和。小时强降水强度定义为所有小时强降水事件降水量与频数之比。小时强降水量、频次和强度的日变化位相用00-23逐时均值除以24h均值所得的时间序列表示，得到无量纲化的时间序列，可在一张图上进行比较；日变化峰值时间位相用日最大值出现时刻表示；日变化峰值振幅用峰值的量值与日均值的比值表示。文中白天（6-20时），分为早晨（6-9时），中午（10-13时），下午（14-20时）；夜间（21-5时）。

选取时段为广东汛期（4-9月），其中前汛期（4-6月），后汛期（7-9月），分析广东整个汛期以及前、后汛期小时强降水的降水量、频次、强度在一天24h的演变特征。图1为选取的广东32个国家地面气象观测站分布。

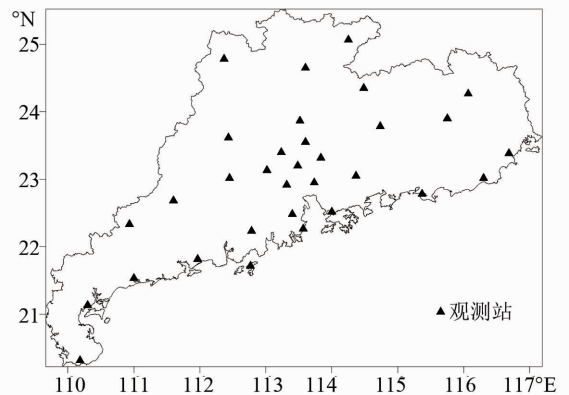


图1 广东32个国家地面气象观测站分布

Fig. 1 Spatial distribution of the 32 national grounded meteorological observation stations

2 结果分析

2.1 广东区域平均小时强降水的日变化特征

2.1.1 峰值变化 首先分析广东区域平均的小时强降水日变化总体特征。图2为1961-2014年广东32站平均的小时强降水的降水量、频次、强度的日变化。可见，整个汛期，包括前、后汛期的小时强降水量和降水频次的日变化明显，且两条曲线

很相近, 峰值和谷值都是同时出现; 而小时强降水的强度日变化很小, 说明小时强降水的频次对降水量的贡献比强度更为显著。整个汛期的日变化特征与前汛期最为相似。小时强降水量和强降水频次均具有典型的双峰型特征, 最大峰值出现在下午 16 时, 次峰值出现在上午 8 点, 谷值出现在夜晚 00 时。小时强降水量和降水频次在下午均高于上午, 其中在上午 10 时有个相对的低值出现。这与陈炯等^[23]分析指出中国总体平均的陆地短时强降水的频率主峰出现在午后 16 - 17 时吻合。而后汛期小时强降水量和强降水频次具有单峰型特征, 峰值也是出现在下午 16 时, 谷值出现在晚上 23 时, 小时强降水在下午出现的频次明显高于上午。对于整个汛期以及前后汛期, 广东小时强降水的强度日变化很小。而对四川而言, 小时强降水 (20 mm/h) 雨强日变化呈夜间活跃单峰型特征^[24]。

统计 1961 - 2014 年广东 32 个观测站平均的汛期小时强降水发生频次在一天 24 h 各时次的分布得出, 小时强降水有 71.4% 出现在白天 (06 - 20 时), 其中 14.4% 发生在早晨 (6 - 9 时), 17.2% 发生在中午 (10 - 13 时), 39.8% 发生在下午 (14 - 20 时), 其中有 30% 出现在下午 15 - 17 时这 3 个时次, 是一天中小时强降水最易出现的时次; 而夜间 (21 - 5 时) 占 28.6%, 夜间 9 h 是一天中出现小时强降水事件相对较少的时段。汛期小时强降水发生频次在午后到傍晚出现峰值, 主要来自于大气对辐射加热的响应, 午后低层大气稳定度降低和对流有效位能增大, 对流活动活跃, 导致降水峰值的出现。而夜间抬升凝结高度降低, 相对湿度升高和大气可降水量增大有利于早晨长生命史对流系统的发展, 降水次峰值的出现^[11]。在后汛期广东强降水主要由热带对流系统所导致, 主要出现在下午。因此对于广东区域平均而言, 上午 8 时和下午 16 时的 2 个强降水峰值都出现在早晚两个上下班高峰, 短时强降水造成城市内涝、滑坡、泥石流等的影响比其他时次更加显著, 要特别注意防范。

2.1.2 峰值站数变化 下面进一步分析 32 个观测站 1961 - 2014 年广东小时强降水量、降水频次和强度的峰值时间位相出现在不同时次的台站情况数占总台站数的百分比 (图 3)。对于整个汛期 (图 3a), 有 78.1% 的观测站小时降水峰值出现在 13 - 19 时, 其中 21.9% 出现在 17 时, 12.5% 分别出现在 15、16 和 18 时, 9.4% 分别出现在上午 8 时, 其余有 3 - 6% 的观测站峰值出现在 5 - 7 时, 而在 20 - 4 时以及白天 9 - 12 时没有观测站出现过降水峰值。对于小时强降水频次, 有 84.4% 的观测站小时降水频次峰值出现在 12 - 19 时, 其中 21.9% 出现在 15 时, 18.9% 出现在 17 时, 15.6% 出现在 16 时, 9.4% 出现在 18 时, 其余有 3% ~ 6% 的观测站峰值出现在 6 时和 8 - 14 时, 而在 20 - 5 时以及白天 7 时没有观测站出现过频次峰值。对于小时强降水强度, 峰值出现的时间变化相对较小, 有 9.4% 的观测站在 18 和 22 时出现强度峰值, 而在 10 - 12 时和 14 - 16 时没有观测站出现强度峰值, 其余时次观测站出现峰值的比率在 3% ~ 6.3% 之间。

在前汛期 (图 3b), 有 78.1% 的观测站小时强降水量峰值出现在 12 - 19 时, 其中 21.9% 出现在 15 时, 12.5% 分别出现在 16 和 18 时, 9.4% 分别出现在 17 和 19 时, 其余有 3% ~ 6.3% 的观测站峰值出现在 4 - 6、8 和 11 - 12 时, 而在 21 - 3 时以及白天 7、9、10、13 时没有观测站出现过降

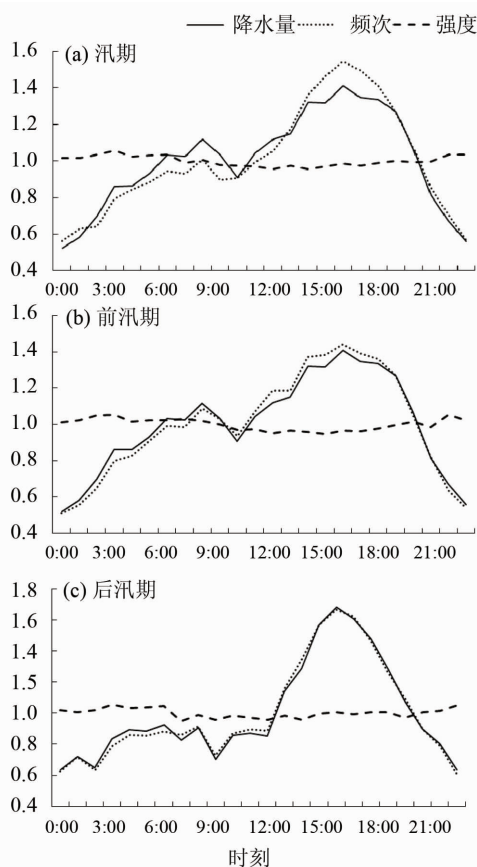


图 2 1961 - 2014 年广东区域平均的小时强降水量、频次和强度的日变化演变

Fig. 2 Diurnal variations of the mean hourly heavy precipitation amount (black solid line), frequency (short-dashed line) and intensity (long-dashed line) in Guangdong during 1961 - 2014

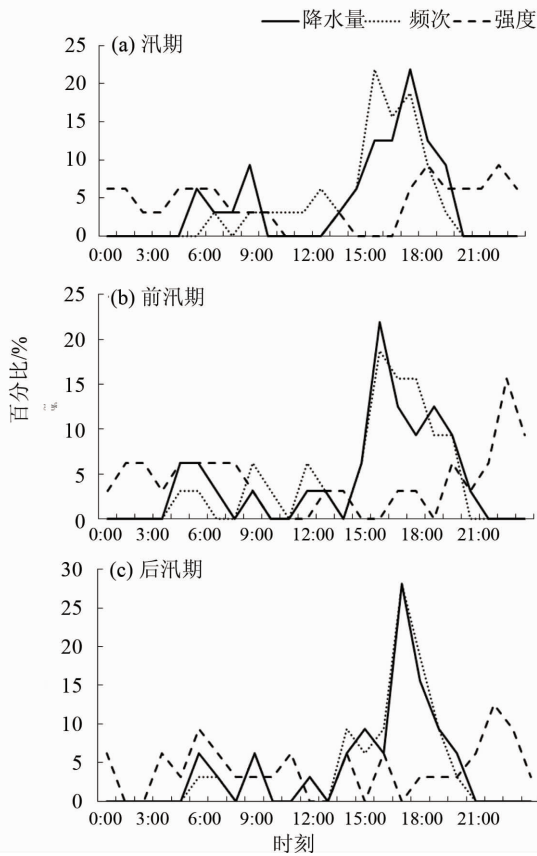


图 3 1961 - 2014 年广东区域平均的小时强降水峰值时间位相出现在不同时刻的台站数占总台站数的百分比
Fig. 3 Diurnal variations of the mean hourly heavy precipitation for the number of stations percentage to the total number of stations at the different hours in Guangdong during 1961 - 2014

水峰值。对于小时强降水频次，有 78.1% 的观测站小时降水频次峰值出现在 12 - 19 时，其中 18.8% 出现在 15 时，15.6% 出现在 16、17 时，9.4% 出现在 18、19 时，其余有 3% ~ 6% 的观测站峰值出现在 4、5、8、9、11、12、14、6 时和 8 - 14 时，而在 20 - 3 时以及 6、7、10、13 时没有观测站出现过频次峰值。对于小时强降水强度，分别有 15.6%、9.4% 的观测站强度峰值出现在 22、23 时，在 9、10、11 和 14、15、18 时没有观测站出现强度峰值，其余时次观测站出现峰值的比率在 3% ~ 6.3% 之间，相对小时强降水量和频次的峰值观测站变化，强度的峰值观测站数变化要小。

在后汛期（图 3c），小时强降水量和降水频次峰值观测站的变化很相近。分别有 81.3%、84.4% 的观测站小时降水量和降水频次峰值出现在

13 - 19 时，其中出现在 16 时均为 28.1% 的观测站，分别有 15.6 和 18.8% 的观测站出现在 17 时，有 9.4% 的观测站降水量峰值分别出现在 14、18 时，有 9.4% 的观测站强降水频次峰值分别出现在 15、18 时。其余有 3% ~ 6.3% 的观测站峰值出现在 5、6、8、9、10 和 12 时，而在晚上 20 时 - 凌晨 4 时以及白天 7、9、10、13 时没有观测站出现过降水量峰值和频次峰值。对于小时强降水强度，有 12.5% 观测站强度峰值出现在晚上 21 时，有 9.4% 的观测站强度峰值出现在早上 5 时和晚上 22 时，在 1、2、11、12、14、16 时没有观测站出现强度峰值，其余时次观测站出现峰值的比率在 3% ~ 6.3% 之间。

可见对于广东观测站的小时强降水的降水量和降水频次峰值出现的时次具有明显的变化特征，有近 8 成的观测站出现在下午，特别集中在 15 - 17 时，而 21 - 4 时没有观测站出现峰值。而小时强降水强度出现的峰值观测站数变化相对降水量和频次要小很多，观测站峰值主要出现在晚上 18 - 22 时。

2.1.3 峰值振幅变化 从 1961 - 2014 年广东区域平均的小时强降水的降水量、降水频次和降水强度的日变化峰值振幅（图 4）可见，对于整个汛期（图 4a），降水量和降水频次的日变化峰值振幅大值都是出现在下午，最大出现在下午 15 时，而上午峰值振幅小于下午，在 8 时出现峰值振幅次大值，峰值振幅小值出现在夜晚，谷值出现在 00 时。在前汛期（图 4b），小时强降水的降水量和降水频次的峰值振幅也是出现在下午，其中降水量出现在 17 时，频次出现在 18 时，降水量在上午 8 时出现了相对大值，夜间峰值振幅小，最小出现在 00 时。而强度的峰值振幅日变化相对较小，在汛期和前汛期，最大分别出现在凌晨 4 时和 2 时。在后汛期（图 4c），降水量和频次的峰值振幅下午大于上午，降水量振幅峰值出现在 15 时，频次峰值出现在 18 时。而振幅谷值都是出现在 00 时。强度的振幅日变化相对汛期和前汛期变动大，峰值振幅最大出现在 21 时，在凌晨 4 时出现了次达值。可见，对广东汛期，包括前后汛期的小时强降水量和频次的峰值振幅日变化下午大于上午，最大出现在 15 时或 18 时，谷值出现在晚上 00 时，而强度的峰值振幅日变化相对较小。

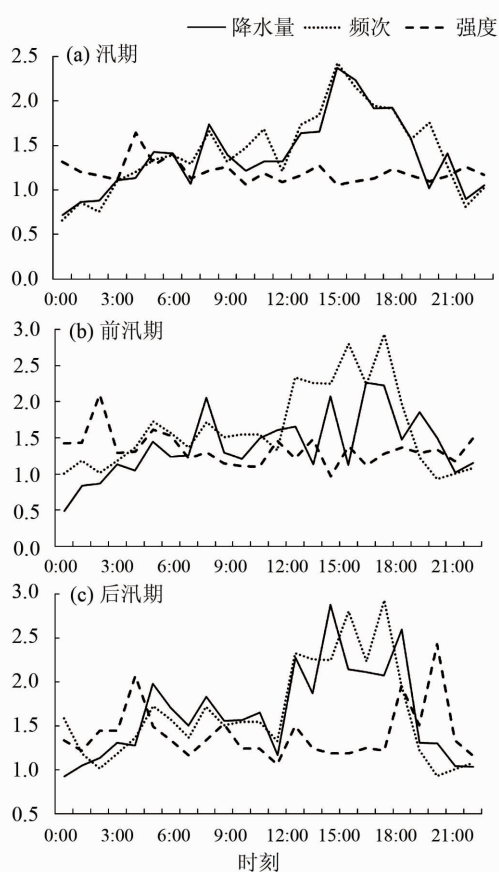


图 4 1961–2014 年广东区域平均的小时强降水峰值时间位相出现在不同时段区域平均日变化峰值振幅

Fig. 4 Diurnal variations of the mean hourly heavy precipitation for the regional mean diurnal amplitudes at which the diurnal peaks occur at the different hours in Guangdong during 1961–2014

2.2 广东小时强降水日变化的区域差异

2.2.1 峰值变化 上面分析了广东小时强降水的总体特征，下面分析广东小时强降水的区域差异。图 5 为前汛期广东 32 个观测站小时强降水各要素日变化峰值时间位相的空间分布。从小时强降水量峰值分布 (图 5a) 可见，南部沿海的日降水量峰值主要出现在早晨到中午，雷州半岛和除南部沿海的广东大部地区出现在下午，只有汕尾、曲江和从化这 3 站出现在夜间。从小时强降水频次峰值分布 (图 5b) 可见，南部沿海的日降水频次峰值主要出现在早晨到中午，雷州半岛和我省除南部沿海的地区出现在下午，曲江出现在夜间。可见小时强降水量和频次的峰值区域分布差异与午后对流发展和海陆差异有关。南部沿海受海陆热力差异影响，导致风场日变化，引起早晨到中午从南海向华南的水汽辐合，出现降水峰值^[25]，而广东其余大部分地区主要是在下午受热对流活动影响，出现降水峰值。

从小时强降水强度峰值分布 (图 5c) 可见，强度峰值大部出现在夜间，珠江口附近和沿海部分观测站出现在早晨，连州出现在中午，梅州、汕头、广宁、台山出现在下午。

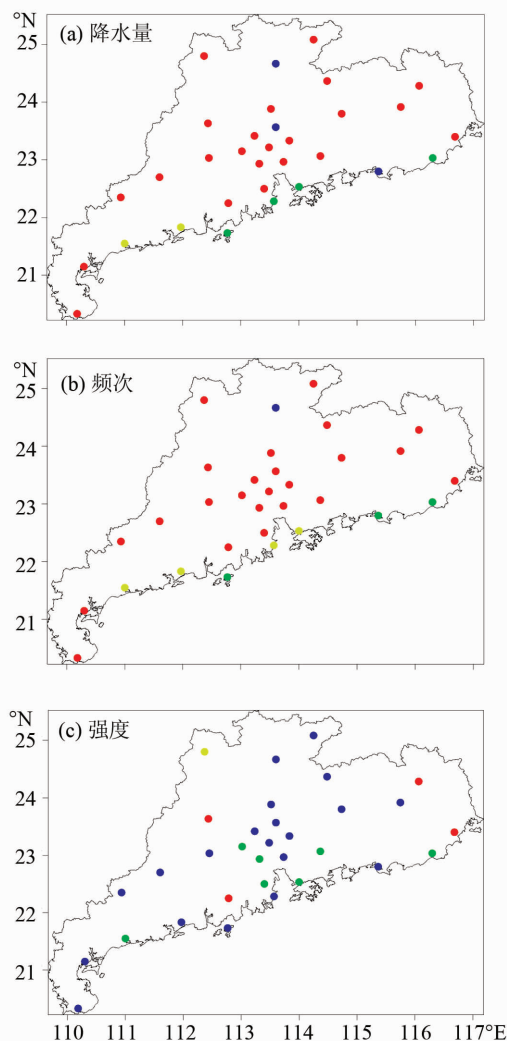


图 5 前汛期广东小时强降水日变化峰值时间位相的空间分布 (每个台站用颜色标示出峰值时间所在时段: 蓝色为夜间, 绿色为清晨, 黄色为中午, 红色为下午)

Fig. 5 Spatial distributions of the diurnal peak phases of the hourly heavy precipitation in the first flood season in Guangdong (the colored dots denote the peaks occurring in the different periods of time; blue for night, green for early morning, yellow for noon, and red for afternoon)

图 6 为后汛期广东 32 个观测站小时强降水各要素日变化峰值时间位相的空间分布。从小时强降水量峰值分布 (图 6a) 和频次 (图 6b) 分布完全相同, 说明小时强降水频次多, 对应降水量也多。小时强降水量和降水频次的日峰值除上川岛出现在中午, 珠江口东西两侧沿海出现在早晨外, 其余大

部分地区的峰值都是出现在下午。可见广东前后汛期的小时强降水量和降水频次的峰值时间日位相空间分布是大部分相似的，这与 Zhou 等^[26]分析指出中国夏季降水量和降水频次的日位相没有显著差异的结论相一致。日变化峰值有明显的区域差异，白爱娟等^[27]分析指出四川盆地夜雨与高原地形对周边地区降水日变化影响有关，这种影响类似于热带地区海陆边界的影响。从小时强降水强度峰值分布（图 6c）可见，强度峰值广东沿海主要出现在早晨，其余地区主要出现在下午和晚上。

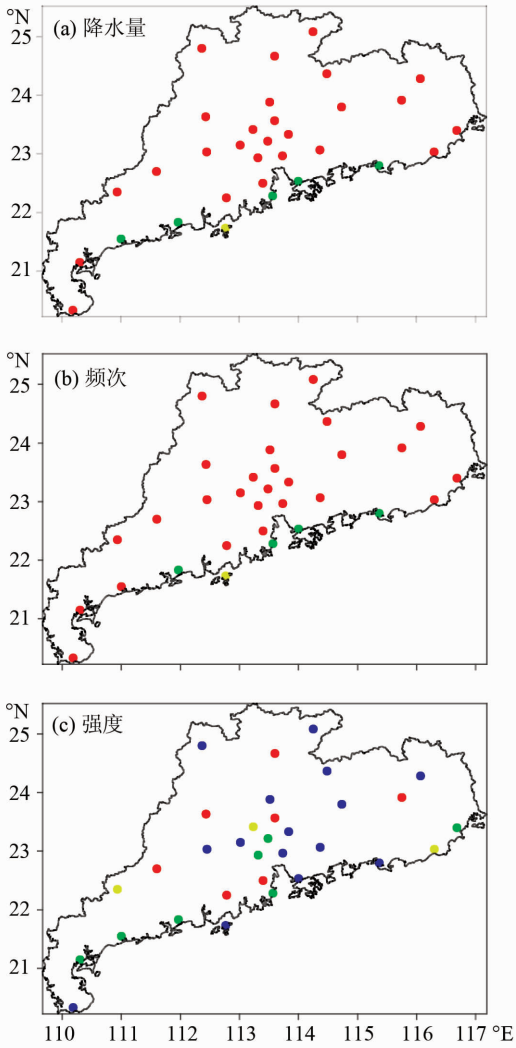


图 6 后汛期广东小时强降水日变化峰值时间位相的空间分布（每个台站用颜色标示出峰值时间所在时段：蓝色为夜间，绿色为清晨，黄色为中午，红色为下午）

Fig. 6 Spatial distributions of the diurnal peak phases of the hourly heavy precipitation in the second flood season in Guangdong (the colored dots denote the peaks occurring in the different periods of time; blue for night, green for early morning, yellow for noon, and red for afternoon)

2.2.2 日峰值振幅变化 图 7 为前汛期广东 32 个观测站小时强降水各要素日峰值振幅分布。从小时强降水量日峰值振幅分布（图 7a）可见，日峰值振幅介于 1.5 ~ 3.8 之间，存在 3 个大值中心，分别位于西部的罗定（3.8），东部的五华（3.4）和北部的南雄（2.5），沿海观测站的峰值振幅较小，大都在 2.0 以下；小时强降水频次日峰值振幅（图 7b）介于 1.5 ~ 3.3 之间，总体呈从沿海向内陆增加的趋势，最大位于西部的罗定（3.3），第二、第三分别是北部的曲江（3.0）和连平（2.9），沿海观测站的日峰值振幅较小，最小是深圳（1.5）；小时强降水强度日峰值振幅（图 7c）除罗定最大为 2.1 外，其余观测站介于 1.1 ~ 1.6 之间，强度的日峰值振幅差异明显小于降水量和频次，变化相对较小。

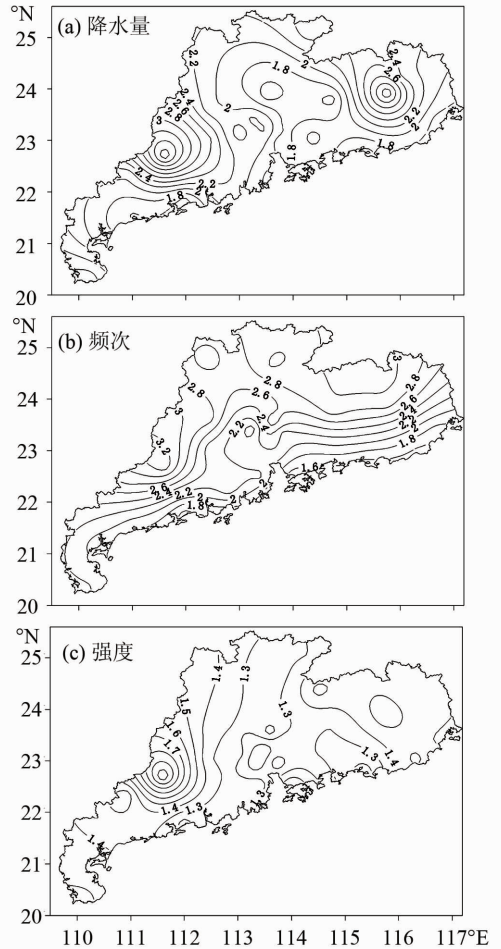


图 7 前汛期广东小时强降水的日峰值振幅分布

Fig. 7 Spatial distributions of the diurnal peak amplitude of the hourly heavy precipitation in the first flood season in Guangdong

图 8 为后汛期广东 32 个观测站小时强降水各要素日峰值振幅分布。从小时强降水量的日峰值振幅分布 (图 8a) 可见, 日峰值振幅介于 1.4 ~ 3.5 之间, 存在 3 个大值中心, 分别位于西部的罗定 (3.5), 东部的五华 (3.2) 和北部的连平 (3.2), 日峰值振幅从沿海向内陆递增, 日峰值振幅沿海观

测站 1.4 ~ 2.0, 中北部 2.0 ~ 3.5; 从小时强降水频次和降水量的日峰值振幅变化 (图 8b) 很相似, 振幅介于 1.5 ~ 3.3 之间, 主体呈从沿海向内陆增加的趋势, 最大位于西部的罗定 (3.3), 北部的曲江 (3.0) 和连平 (2.9), 最小是位于南部沿海的深圳 (1.5); 从小时强降水强度日峰值振幅 (图 8c) 分布可见, 日峰值振幅呈北高南低的分布, 最大前 3 位分别是北部的连州 (2.5)、曲江 (2.2) 和佛冈 (2.1), 最小位于南部的台山 (1.1), 强度的日峰值振幅介于 1.1 ~ 2.5 之间, 明显小于降水量和频次的日峰值的区域差异。

3 结 论

利用 1961 - 2014 年广东 32 个地面气象观测站逐小时降水资料, 分析了广东小时强降水的降水量、降水频次和降水强度在整个汛期以及前、后汛期的日变化整体特征和区域差异。主要结论如下:

1) 广东区域平均的汛期小时强降水的降水量、降水频次的峰值都是出现在下午 16 时, 次峰值出现在上午 8 时, 而小时强降水的强度日变化不明显。

2) 广东汛期小时强降水量和降水频次的峰值分布存在区域差异, 南部沿海峰值出现在早晨 (6 - 9 时) 和中午 (10 - 13 时), 雷州半岛和其余地区出现在下午 (14 - 20 时)。小时强降水的强度峰值在白天和夜晚都可以出现。

3) 在汛期, 包括前后汛期, 广东区域平均的小时强降水量和频次的振幅日变化下午大于上午, 峰值出现在 15 时或 18 时, 谷值出现在晚上 00 时, 而强度的振幅日变化相对较小。

4) 前、后汛期小时强降水量日峰值振幅存在 3 个大值中心, 分别位于西部的罗定, 东部的五华和北部的南雄、连平。小时强降水频次日峰值振幅总体呈从沿海向内陆增加的趋势, 而强度日峰值振幅区域差异小。

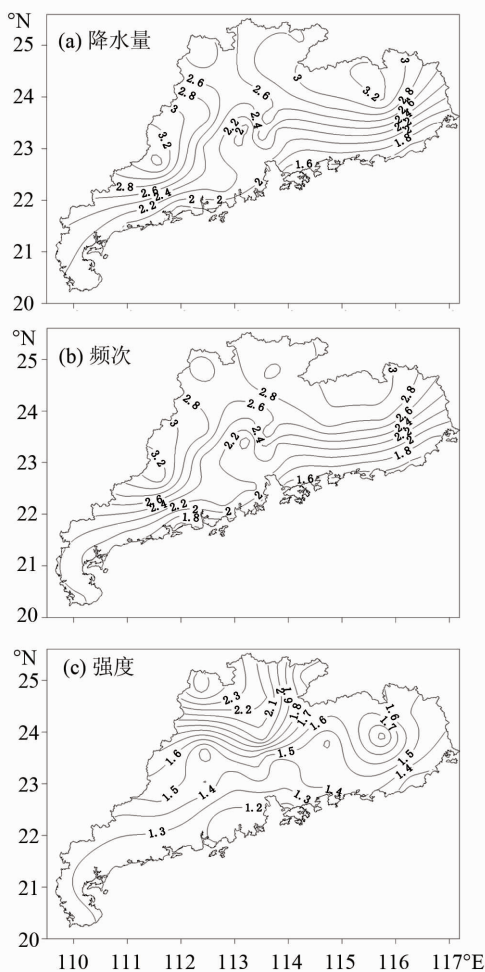


图 8 后汛期广东小时强降水的日峰值振幅分布
Fig. 8 Spatial distributions of the diurnal peak amplitude of the hourly heavy precipitation in the second flood season in Guangdong

参考文献:

- [1] 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 R C, LI J, CHEN H M, et al. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2014, 72(5): 948 - 968.
- [2] 宇如聪, 李建. 中国大陆日降水峰值时间位相的区域特

征分析[J]. 气象学报, 2016, 74(1): 18 - 30.

YU R C, LI J. Regional characteristics of diurnal peak phases of precipitation over contiguous China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2016, 74(1): 18 - 30.

- [3] YU R C, ZHOU T J, XIONG A Y, et al. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China [J].

- Geophys Res Lett, 2007, 34(1): L01704.
- [4] LI J, YU R C, ZHOU T J. Seasonal variation of diurnal cycle of rainfall in southern contiguous China[J]. J Climate, 2008, 21(22): 6036-6043.
- [5] 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 J, YU R C, WANG J J. Characteristics of summer precipitation diurnal variations in Beijing[J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 21(22): 6036-6043.
- [6] 戴泽军, 宇如聪, 陈昊明. 湖南夏季降水日变化特征[J]. 高原气象, 2009, 28(6): 1463-1470.
DAI Z J, YU R C, CHEN H M. Characteristics of summer precipitation diurnal variations in Hunan[J]. Plateau Meteorology, 2009, 28(6): 1463-1470.
- [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]. J Climate, 2010, 23(24): 6684-6695.
- [8] XU W X, ZIPSER E J. Diurnal variation of precipitation, deep convection, and lightning over east of the eastern Tibetan Plateau[J]. J Climate, 2011, 24(2): 448-465.
- [9] 张运福, 严晓瑜, 赵春雨, 等. 辽宁省5-9月降水日变化特征[J]. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1529-1534.
ZHANG Y F, YAN X Y, ZHAO C Y, et al. Diurnal variation patterns of precipitation in Liaoning province from May to September[J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(7): 1529-1534.
- [10] 费启乐, 杨建全, 阿不都外力·阿不力克木, 等. 江苏南部汛期降水日变化特征分析[J]. 气象科学, 2014, 34(6): 678-683.
FEI Q L, YANG J Q, ABUDUWAILI A B, et al. Characteristics analysis on diurnal variation of precipitation in flood season of southern Jiangsu[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2014, 34(6): 678-683.
- [11] 林春泽, 刘琳, 林文才, 等. 湖北省夏季降水日变化特征[J]. 大气科学学报, 2016, 39(4): 490-500.
LIN C Z, LIU L, LIN W C, et al. Characteristics of summer precipitation diurnal variations in Hubei Province[J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2016, 39(4): 490-500.
- [12] 朱小凡, 张明军, 王圣杰, 等. 2008-2013年新疆夏季降水的日变化特征[J]. 生态学杂志, 2016, 35(2): 478-488.
ZHU X F, ZHANG M J, WANG S J, et al. Diurnal variation characteristics of precipitation of Xinjiang in summer during 2008-2013[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(2): 478-488.
- [13] 薛羽君, 白爱娟, 李典. 四川盆地降水日变化特征分析和个例模拟[J]. 地球科学进展, 2012, 27(8): 885-894.
XUE Y J, BAI A J, LI D. Analysis and numerical simulation of diurnal variation of precipitation in Sichuan Basin[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(8): 885-894.
- [14] 唐红玉, 顾建峰, 俞胜宾, 等. 西南地区降水日变化特征分析[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 376-384.
TANG H Y, GU J F, YU S B, et al. Analysis on diurnal variation of precipitation in southwest China[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(2): 376-384.
- [15] 王夫常, 宇如聪, 陈昊明, 等. 我国西南部降水日变化特征分析[J]. 暴雨灾害, 2011, 30(2): 117-121.
WANG F C, YU R C, CHEN H M, et al. The Characteristics of rainfall diurnal variation over the southwestern China[J]. Torrential Rain and Disasters, 2011, 30(2): 117-121.
- [16] 戴泽军, 宇如聪, 李建, 等. 三套再分析资料的中国夏季降水日变化特征[J]. 气象, 2011, 37(1): 21-30.
DAI Z J, YU R C, LI J, et al. The characteristics of summer precipitation diurnal variations in three reanalysis datasets over China[J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(1): 21-30.
- [17] 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): 91-98.
LI J N, WANG A Y, MENG W G, et al. The climatological characteristics of precipitation of the presummer rainy season and second rainy season in Guangdong Province[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyateni, 2002, 41(3): 91-98.
- [18] 林爱兰, 李春晖, 郑彬, 等. 南海夏季风爆发与华南前汛期锋面降水异常变化的联系[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(5): 127-133.
LIN A L, LI C H, ZHENG B, et al. Relationship between onset of South China Sea summer monsoon and south China frontal precipitation in the first raining period on climatological mean[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyateni, 2010, 49(5): 127-133.
- [19] 陈思, 简茂球. 影响华南前汛期降水异常的准双周振荡传播特征[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(3): 130-137.
CHEN S, JIAN M Q. Propagation of the quasi-biweekly oscillations related to rainfall abnormality in the first rainy season over southern China[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyateni, 2015, 54(3): 130-137.
- [20] 陈子燊, 黄强, 李鸿皓, 等. 珠江三角洲城市短时强降水概率分布模型的对比分析[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2015, 54(2): 127-140.

- CHEN Z S, HUANG Q, LI H H, et al. Comparative analysis on probability distribution models of short - time strong rainfall in the cities of Pearl River Delta [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyateni*, 2015, 54 (2): 127 - 140.
- [21] 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 H Y, LI C M, LIU W Q. Variation characteristics of hourly heavy precipitation in Guangdong during 1961 - 2014 [J]. *Meteorological Monthly*, 2017, 43(3): 305 - 314.
- [22] 李建, 宇如聪, 孙微. 从小时尺度考察中国中东部极端降水的持续性和季节特征[J]. *气象学报*, 2013, 71(4): 652 - 659.
LI J, YU R C, SUN W. Duration and seasonality of the hourly extreme rainfall in the central - eastern part of China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2013, 71(4): 652 - 659.
- [23] 陈炯, 郑永光, 张小玲, 等. 中国暖季短时强降水分布和日变化特征及其与中尺度对流系统日变化关系分析[J]. *气象学报*, 2013, 71(3): 367 - 382.
CHEN J, ZHENG Y G, ZHANG X L, et al. Analysis of the climatological distribution and variations of the short - duration heavy rain and its relation with diurnal variations of the MCSs over China during the warm season [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2013, 71(3): 367 - 382.
- [24] 周秋雪, 刘莹, 冯良敏, 等. 2008 - 2012 年四川强小时雨强的时空分布特征[J]. *高原气象*, 2015, 34(5): 1261 - 1269.
ZHOU Q X, LIU Y, FENG L M, et al. Analysis on temporal and distribution characteristics of strong hour rainfall intensity in Sichuan during 2008 - 2012. [J]. *Plateau Meteorology*, 2015, 34(5): 1261 - 1269.
- [25] HUANG W R, CHAN J C L. Maintenance mechanisms for the early - morning maximum summer rainfall over southeast China [J]. *Quart J Roy Meteor Soc*, 2011, 137(657): 959 - 968.
- [26] ZHOU T J, YU R C, CHEN H M, et al. Summer precipitation frequency, intensity and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations [J]. *J Climate*, 2008, 21(16): 3997 - 4010.
- [27] 白爱娟, 刘晓东, 刘长海. 青藏高原与四川盆地夏季降水日变化的对比分析[J]. *高原气象*, 2011, 30(4): 852 - 859.
BAI A J, LIU X D, LIU C H. Contrast of diurnal variations of summer precipitation between the Tibetan plateau and Sichuan basin [J]. *Plateau Meteorology*, 2011, 30(4): 852 - 859.