

# 城市化建设对广州夏季降水过程的影响

陈秀洪<sup>1,2</sup>, 刘丙军<sup>1,2</sup>, 李源<sup>1,2</sup>, 邓程予<sup>1,2</sup>, 陈刚<sup>3</sup>

(1. 中山大学地理科学与规划学院水资源与环境系, 广东 广州 510275; 2. 华南地区水循环与水安全广东省普通高校重点实验室, 广东 广州 510275; 3. 广东省水文局广州分局, 广东 广州 510152)

**摘要:** 城市化造成城区下垫面的热力学、动力学特性以及大气成分发生显著变化, 从而对降水过程产生显著影响。基于广州市近 30 年土地遥感数据, 分析了该市城市化历史进程, 并用城区上风向、城区和城区下风向 1984~2015 年夏季逐时降水资料, 分析了城市化建设对城区及周边降水过程的影响, 结果表明: (1) 城市化对城区和下风向降水过程产生显著影响, 对城区上风向降水过程作用不明显; (2) 与城市化前期对比, 城市化后期城区和下风向夏季降水总量、降水日数、降水强度和极端降水等指标均发生明显变化, 具体表现为城市化后期大雨以上级别降水明显增加, 强度增大, 极端降水向短历时演化, 过程雨量分布更加集中。

**关键词:** 城市化; 夏季降水; 降水过程; 盛行风

中图分类号: P463.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-0852(2017)01-0025-08

城市化建设过程中, 大量自然植被、湖泊被硬化地面、城市人为建筑所代替, 造成城区下垫面的热力学<sup>[1]</sup>、动力学特性<sup>[2]</sup>以及大气成分发生显著变化<sup>[3]</sup>, 从而导致降水过程中降水总量、日数、强度以及过程等降水要素发生显著变异。随着城市化进程的不断推进, 城市化建设对区域降水过程的影响已经成为国内外研究的热点问题之一<sup>[4-5]</sup>。

当前, 城市化建设对区域降水过程影响的研究, 大多数利用城区与郊区雨量站降水指标的演变特征进行对比分析。李娜等<sup>[6]</sup>(2006)选取年平均降水量、汛期降水量、分等级降水日数等指标分析苏州城市化对不同降水要素的影响; Wang 等人<sup>[7]</sup>(2009)选取年降水量、夏季降水量和冬季降水量三个指标分析城市化对北京降水的影响; Kishtawal 等人<sup>[8]</sup>(2010)选取降水频次分析城市化对印度暴雨的影响; 丁瑾佳等<sup>[9]</sup>(2010)选取年降水量、汛期降水量、最大日雨量三个指标分析苏州、无锡、常州城市化进程对降水量的影响; 江志红等<sup>[10]</sup>(2014)选取年平均降水量指标探讨我国东部长江三角洲、珠江三角洲及京津唐等三大城市群的发展对降水变化特征的可能影响; 彭莉莉等<sup>[11]</sup>(2015)选取四季极端降水日数和强度指标分析长株潭城市化对极端

降水的影响; Shastri 等人<sup>[12]</sup>(2015)选取平均降水量、最大一日降水量、最大五日降水量、极端降水频次等指标分析城市化对印度夏季极端降水的影响; 等等。

综上所述, 当前城市化建设对区域降水过程影响的相关研究, 大部分利用逐日降水资料, 通过对比城区与郊区降水总量、强度与日数等指标变化特征, 研究城市化建设对区域降水空间分布的影响, 较少考虑城市化建设对降水过程整体性与持续性的影响。此外, 城市化建设导致城区与郊区动力学与热力学条件发生显著变异, 城市化对不同风向区域的降水过程影响程度不一, 但相关研究进展报道较少。基于此, 本文采用广州市近 30 年土地遥感数据刻画城市化建设进程, 并利用 1984~2015 年夏季逐时降水资料, 综合考虑日降水事件和场次降水事件, 选取降水量、日数、强度、历时和过程分布等多个指标, 全面分析城市化建设对广州市不同风向区域降水过程的影响, 以期为该地区城市防洪排涝安全调度提供科学决策。

## 1 研究区概况

广州位于中国南部, 珠江三角洲北缘, 经度 112°57'E~114°03'E, 纬度 22°26'N~23°56'N, 见图 1 所示。

收稿日期: 2015-12-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(91547108; 91547202; 50909106); 广东省水利科技创新项目(2014-20)

作者简介: 陈秀洪 (1992-), 女, 广东汕头人, 硕士研究生, 主要从事水文水资源研究。E-mail: chxiuh@mail2.sysu.edu.cn

通讯作者: 刘丙军 (1976-), 男, 湖南益阳人, 副教授, 博士, 从事水资源系统分析研究。E-mail: liubj@mail.sysu.edu.cn

广州辖市区、花都、番禺、南沙、增城和从化,总面积为7 434.4km<sup>2</sup>。地势东北高,西南低,北部和东北部是山区,中部是丘陵、盆地,南部是珠江三角洲冲积平原。广州属于亚热带季风气候,受环流因素和海陆位置的影响,降水量丰富,多年平均年降水量为1 694mm。降水年内分布不均匀,主要集中在夏季(6~8月),可占全年总降水量的43.3%。夏季降水主要受西南低槽、静止锋、低空急流和热带低压系统的影响,常出现大雨和暴雨;同时在台风和其他热带天气系统的影响下,形成后汛期雨季,出现降水高峰;此外,盛夏季节,由于热岛效应加强,气层处于条件性不稳定状态,城区易出现局部性雷暴(降水率达88%)。

大多数研究表明,城市化建设对降水过程的影响,在中尺度对流强迫占主导地位的暖季较为明显<sup>[13]</sup>。因此,本研究选用广州市夏季降水作为研究对象。结合广州850mb夏季盛行风向为东南风来确定城区的风向,选取南沙区的南沙站为城区上风向站,市辖区的中大站为城区站,从化区的黄龙带站为城区下风向站;此外,考虑到区域降水过程受大气环流背景和局地环境(城市化)的共同作用。为重点突出城市化建设等局地环境作用的影响,选择南沙站(22°45'N, 113°34'E)、中大站(23°06'N, 113°18'E)和黄龙带站(23°46'N, 113°44'E)作为研究站点。这三个观测站点间的经纬度差距均不超过2°,属于同一气象分区,气候背景相似<sup>[14]</sup>。

## 2 资料与指标

本文选用的降水资料为南沙站、中大站和黄龙带

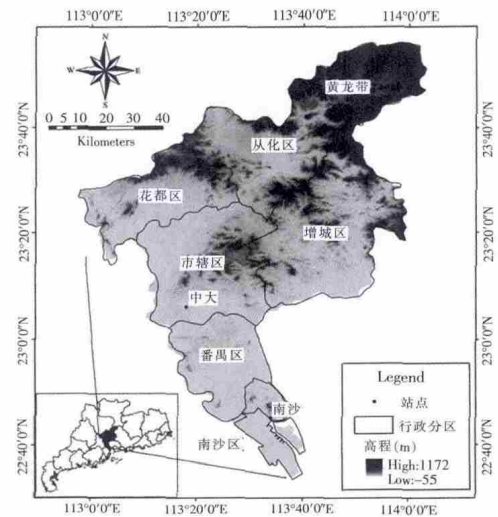


图1 广州市地理位置概况与气象监测站点图  
Fig.1 The location and meteorological stations of Guangzhou city

站1984~2015年夏季(6~8月)逐时降水过程,选用的降水指标包括日降水过程指标与场次降水过程指标,日降水过程包括日降水量、降水日数、强度三个层面,场次降水过程主要考虑极端降水的历时、总量、强度、次数等指标,具体指标定义<sup>[15-16]</sup>见表1。其中,日降水过程定义为<sup>[15]</sup>:北京时间当日8时至次日8时发生的降水视为一次降水过程;场次降水过程定义为<sup>[17]</sup>:一次降水出现的降水间歇时间不足2h视为一次降水过程,间歇时间大于2h则视为两次降水过程;极端降水采用固定值法阈值<sup>[18]</sup>:提取1984~2015年夏季降水,计算各场降水的降水量,当降水的降水量 $\geq 50\text{mm}$ 时,判定为极端降水。

表1 降水指标及其定义  
Table1 Definition of the precipitation indices

指标体系	具体指标	定义
降水量	夏季平均降水量	对多年夏季降水量取平均值
	分等级降水量	对各等级降水量取多年平均值(小雨(<10mm)、中雨(10~25mm)、大雨(25~50mm)、暴雨(50~100mm)、大暴雨(100~250mm)和特大暴雨( $\geq 250\text{mm}$ ))
日降水	降水日数	夏季平均降水日数 对多年夏季降水日数取平均值
	降水强度	夏季平均降水强度 夏季平均降水量与平均降水日数的比值
极端降水	最大1d降水强度	取各年最大一日降水量
	最大1h降水强度	取各年最大一小时降水量
	平均历时	一场降水过程从开始到结束时经历的时间为历时;多场降水过程的历时取平均为平均历时
场次降水	平均雨量	一场降水过程从开始到结束时的总雨量称为雨量;多场降水过程的雨量取平均为平均雨量
	平均强度	平均雨量与平均历时的比值
	年均次数	某时间段内降水过程的场次称为次数;将场次分摊到各年,即得每年平均次数
	次降水达50mm历时	一场降水过程中累积雨量最快达到50mm的历时,反映雨量的集中程度

### 3 结果分析

#### 3.1 城市化进程分析

本研究选取广州市 1980、1990、2000 和 2010 年卫星遥感数据,采用城镇土地比重衡量城市化进程。对比各年城镇用地的情况(见图 2 与表 2)发现,广州城市化进程具有如下特点:

表2 广州市各年城镇土地比重 (%)

Table2 Percentage of urban land-use in Guangzhou city in the various years

区域	1980	1990	2000	2010
南沙区	5.2	5.5	10.4	11.3
市辖区	10.2	12.9	21.3	39.2
从化区	1.1	1.3	1.3	2.6

(1)城市化进程主要集中在市辖区,并逐渐向外围扩散,因此选择市辖区作为主城区。如 2000 年,市辖区、南沙区和从化区城镇土地比重分别为 21.3%、10.4%和 1.3%,市辖区城镇土地比重明显高于郊区。

(2)分析市辖区城镇土地比重时间变化特征,市辖区 1980、1990、2000 和 2010 年的城镇土地比重分别为 10.2%、12.9%、21.3%和 39.2%, 1990 年之前市辖区城

市化进程水平相对较低;1990~2000 年,城镇土地比重增加 8.4%;2000 年之后,广州城镇土地比重持续上升,到 2010 年增加了 17.9%,超过 2000 年水平的 84.1%。

综上分析,2000 年附近城镇土地比重变化显著。因此,选用 2000 年作为分界,分割广州市城市化建设为城市化前期(1984~1999 年)和城市化后期(2000~2015 年)。

#### 3.2 城市化对夏季降水的影响

##### 3.2.1 城市化对降水总量的影响

(1)城市化对夏季降水总量的影响。分析城市化对夏季降水总量的影响(见图 3),与城市化前期相比,南沙站、中大站和黄龙带站后期分别增长 23.7mm、117.6mm 和 86.5mm,增加比重分别为 3.56%、17.39%和 11.80%。可见,城市化致城区和城区下风向夏季降水总量明显增加,城区上风向夏季降水总量变化不大。

(2)城市化对不同等级降水量的影响。分析城市化对不同等级降水量的影响(见图 4),城市化建设对城区上风向不同等级降水总量的影响不大,但明显导致城区和城区下风向小雨量减少,大雨及以上等级雨量增加。与城市化前期相比,城区中大站城市化后期小雨量显著下降 22.7%,大雨量显著增加 31.0%,暴雨及以上等级雨量增加 33.7%;城区下风向黄龙带站小雨量

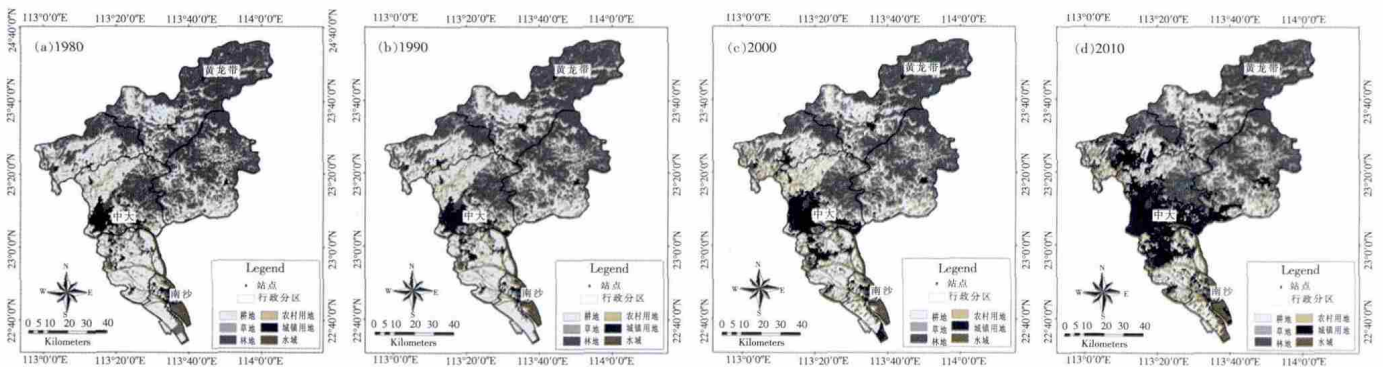


图 2 广州市各年代土地利用类型分布图

Fig.2 Distribution of the land-use in Guangzhou city in the various decades

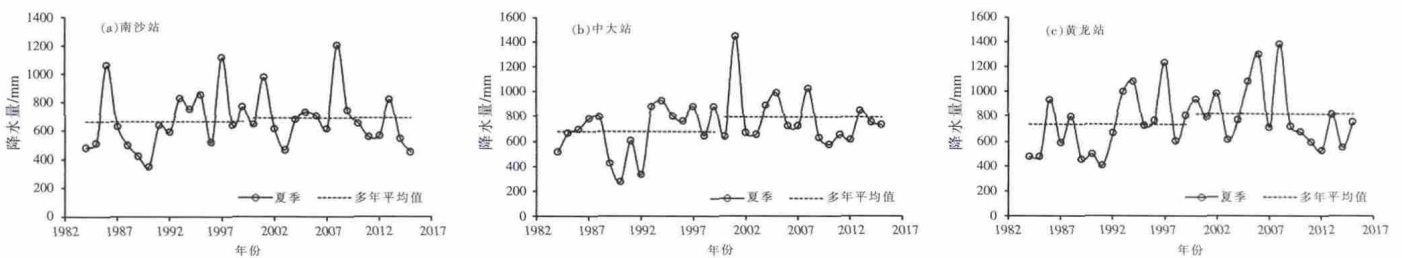


图 3 城市化前后不同风向区域夏季降水总量变化图

Fig.3 The changes of the summer precipitation in the different regions along the prevailing wind in different periods

下降 19.3%,大雨量增加 25.0%,暴雨及以上等级雨量增加 38.2%。

### 3.2.2 城市化对降水日数的影响

(1)城市化对夏季降水日数的影响。城市化建设前后,城区、城区上风向和下风向夏季降水总日数变化不大(见图 5)。城市化前期,城区上风向南沙站、城区中大站和城区下风向黄龙带站的夏季平均降水日数分别为 44d、47d、51d;城市化后期,三站夏季平均降水日数分别为 43d、44d、47d。

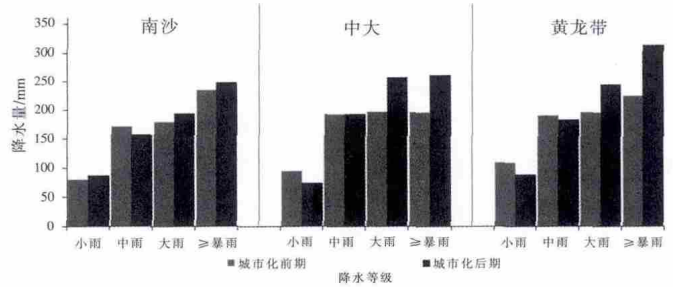


图4 城市化前后不同风向区域不同等级降水事件降水量变化图  
Fig.4 The changes of the precipitation at the various grades in different regions along the prevailing wind in different periods

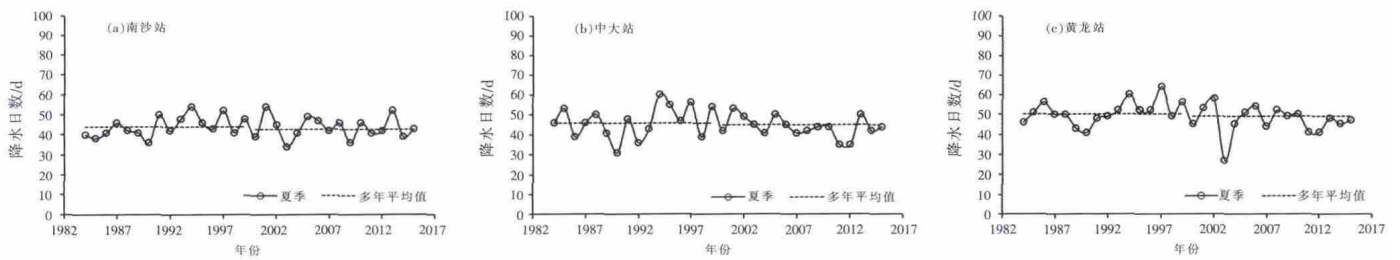


图5 城市化前后不同风向区域夏季降水日数变化图

Fig.5 The changes of summer precipitation days in different regions along the prevailing wind in different periods

(2)城市化对不同等级降水日数的影响。与城市化前期相比,城市化后期城区中大站小雨日数显著下降 18.1%,大雨日数显著上升 28.9%,暴雨及以上等级降水日数增加 22.7%;城区下风向黄龙带站小雨日数显著下降 20.0%,大雨日数稳定上

升 29.6%,暴雨及以上等级降水日数增加 35.56%(见图 6)。可见,城市化建设对城区上风向不同等级降水日数的影响不大,但城市化建设导致城区和城区下风向小雨日数减少,大雨及以上等级日数增加。

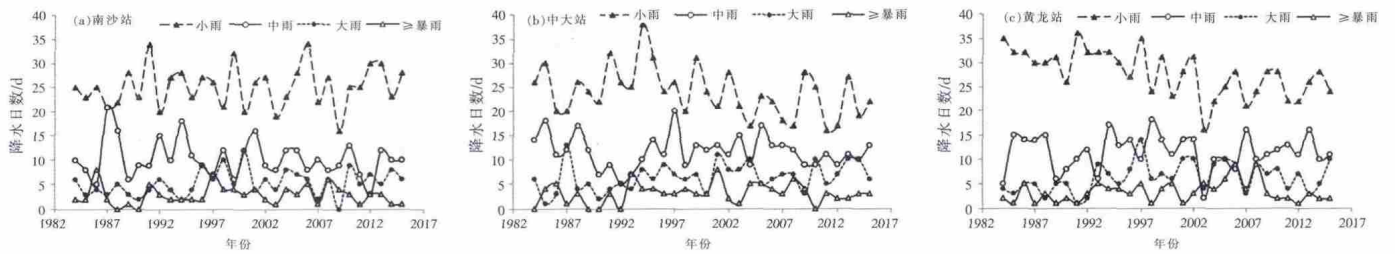


图6 城市化前后不同风向区域不同等级降水事件降水日数变化图

Fig.6 The changes of the precipitation at the various grades in different regions along the prevailing wind in different periods

### 3.2.3 城市化对降水强度的影响

(1)城市化对夏季降水强度的影响。城市化后期城区上风向南沙站、城区中大站和城区下风向黄龙带站夏季降水强度分别比城市化前期增长 0.8mm/d、3.4mm/d 和 3.8mm/d,增加比重分别为 5.4%、23.7%和 27.5%(见图 7)。可见,城市化建设导致城区和城区下风向夏季降水强度增强,而城区上风向夏季降水强度

变化不大。

(2)城市化对最大 1d 降水强度的影响。与城市化前期相比,城市化后期城区上风向南沙站、城区中大站和城区下风向黄龙带站最大 1d 降水强度分别增长 3.0mm、20.2mm 和 14.2mm,增加比重分别为 2.7%、26.2%和 14.9%,城市化建设对城区最大 1d 降水强度的增强幅度最大,城区下风向次之,对城区上风向影响不大。

(3)城市化对最大 1h 降水强度的影响。与比城市化前期,城市化后期城区上风向南沙站、城区中大站和城区下风向黄龙带站分别增长 2.2mm/h、9.3mm/h 和 5.0mm/h, 增加比重分别为 5.33%、23.01%和 11.66%。可见,城市化建设对城区最大 1h 降水强度的增强幅度最大,城区下风向次之,对城区上风向影响不大。

### 3.2.4 城市化对极端降水的影响

(1) 城市化对极端降水年均次数的影响。城市化建设导致城区和城区下风向极端降水年均次数增加, 而城区上风向极端降水年均次数变化不大。与城市化前期相比,南沙站、中大站和黄龙带站后期年均频次分别增加 0.2、0.8 和 0.8 次, 分别超过前期水平的 5.1%、43.3%和 31.7% (见图 8)。

(2)城市化对极端降水平均雨量的影响(图略)。城市化前期,城区上风向南沙站、城区中大站和城区下风

向黄龙带站的极端降水平均雨量分别为 92mm、79mm、85mm, 城市化后期, 三站平均雨量分别为 92mm、83mm、84mm。可见,城市化建设对城区、城区上风向和下风向极端降水平均雨量影响不大。

(3)城市化对极端降水平均历时的影响。与城市化前期相比,城市化后期南沙站、中大站、黄龙带站平均历时分别减少 0.5h、2.2h 和 3.9h, 分别缩短 3.9%、17.1%和 28.1%。可见,城市化建设导致城区和城区下风向极端降水平均历时缩短, 而城区上风向极端降水平均历时变化不大; 分析三个站点不同历时的极端降水的频次(见图 9),与城市化前期(1984~1999 年)相比,城市化后期(2000~2015 年)中大站历时 1~15h 的极端降水的频次增加 14 次,累计概率达到 14.4%。黄龙带站历时 1~10h 的极端降水频次也增加 16 次,累计概率达到 20.8%。可见,城市化建设导致城区和城区下风向短历时极端降水事件明显增加。

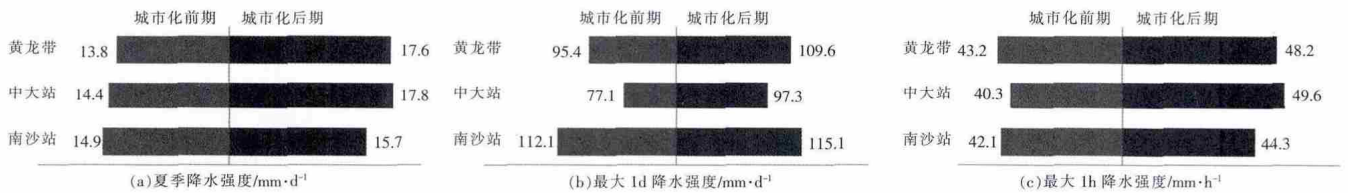


图 7 城市化前后不同风向区域降水强度变化图

Fig.7 The changes of the precipitation intensity in different regions along the prevailing wind in different periods

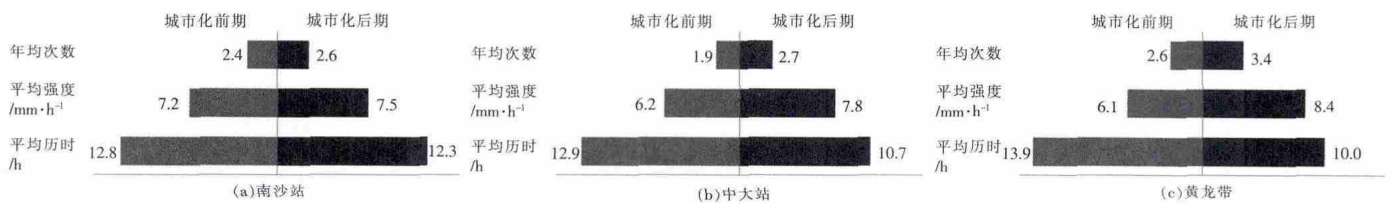


图 8 城市化前后不同风向区域极端降水过程次数-历时-强度指标变化图

Fig.8 The changes of the extreme precipitation process in different regions along the prevailing wind in different periods

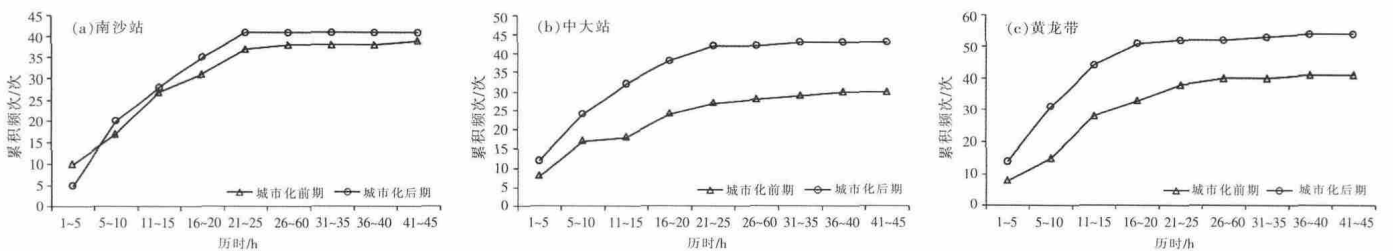


图 9 城市化前后不同风向区域不同历时极端降水累积频次分布图

Fig.9 The cumulative frequency of different duration of precipitation in different regions along the prevailing wind in different periods

(4)城市化对极端降水平均强度的影响。城市化建设导致城区和城区下风向极端降水平均强度明显增强,城区上风向极端降水平均强度变化不大。城市化后期南沙站、中大站、黄龙带站极端降水平均强度分别较城市化前期增加 0.3mm/h、1.6mm/h 和 2.3mm/h, 增强幅度分别为 4.2%、25.8%和 37.7%,上风向南沙站极端降水增强幅度明显小于中心城区中大站和下风向黄龙带站。

(5)城市化对次降水达 50mm 历时的影响。分析城市化对次降水达 50mm 历时的影响,城市化建设对城区和城区下风的影响明显高于城区上风向,极端降水

过程的雨量分布更加集中。对比城市化建设前后期,城市化后期南沙站、中大站和黄龙带站“次降水达 50mm 历时”分别减少 0.6h、1.4h、1.7h,分别缩短 13.6%、26.2%和 28.1%;进一步分析三个站点不同历时的极端降水累积频率(见图 10),城市化后期中大站 1h 雨量达到 50mm 降水的频次较城市化前期增加 7 次,2h 雨量达到 50mm 降水的频次增加 10 次,累积增加频率达到 39.7%。相应地,城市化后期黄龙带站 1h 雨量达到 50mm 降水的频次较城市化前期增加 8 次,2h 雨量达到 50mm 降水的频次增加 5 次,累积增加频率达到 17.0%。

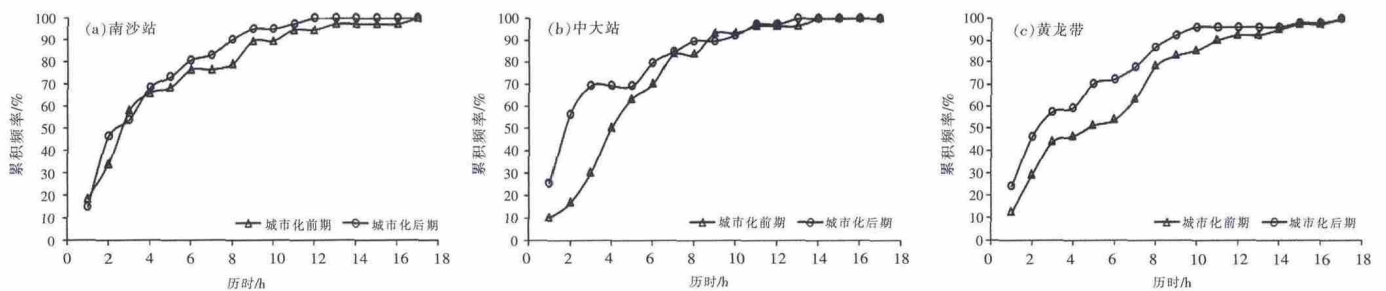


图 10 城市化前后不同风向区域次降水达 50mm 历时分布图

Fig.10 The duration distribution of the precipitation over 50mm in different regions along the prevailing wind in different periods

上述分析表明,广州市城市化建设对城区上风向降水过程的作用不明显,对城区和下风向降水过程产生显著影响,具体表现为城市化后期大雨以上级别降水频次明显增加,强度增大,极端降水向短历时演化,过程雨量分布更加集中,该结果与相关研究结果一致<sup>[19-20]</sup>。造成这种现象的可能原因是在广州城市化快速发展背景下,城郊下垫面的热力与动力条件形成差异,2010~2013 年城区年平均气温比郊区高 1.6~1.8℃<sup>[21]</sup>。这种差异影响区域水汽的输送和空间分布,增强城区和城区下风向区域的对流活动并使降水系统移动滞缓,从而提高城区大雨及以上等级降水事件的比例。美国 METROMEX 试验发现城市化对对流系统有触发作用,并指出城市化对降水的影响在中尺度对流强迫占主导地位的暖季较为明显<sup>[22]</sup>。Yang 等人<sup>[23]</sup>(2014)认为强对流系统在城市上风向分裂后又在下风向合并导致城市下风向强降水增多。城区和下风向极端强降水事件频率增加且降水过程更加集中,必然导致产汇流过程明显加快,内涝事件逐渐增加。以广州城区为例,随着城市化进程的发展,暴雨内涝事件逐渐增加。20 世纪 80 年代,广州城区严重暴雨内涝事件点有 7 个,90 年代增加到 51 个,2000 年以后(截至 2012 年),内涝事件达到 113 个;且暴雨内涝点的空间分布从早期主

要集中于老中心区域的越秀区和荔湾区逐渐转移到后期城市化发展较快的白云区 and 天河区等区域<sup>[24]</sup>。

## 4 结论

本文基于近 30 年土地遥感数据,将广州市城市化建设进程划分成前期(1984~1999 年)与后期(2000~2015 年)两个阶段,并利用城区上风向、城区和城区下风向 1984~2015 年夏季逐时降水资料,分析了城市化建设对城市及周边降水过程的影响,结果表明:

(1) 城区上风向各项降水指标在城市化不同阶段的变化值远小于城区和下风向的情况。城市化对城区和下风向降水过程产生显著影响,而城区上风向城市化作用不明显。

(2) 城市化后期城区和下风向夏季降水量分别较城市化前期增加 17.39%、11.80%,以大雨以上等级降水量贡献为主,大雨量分别增加 31.0%、25.0%,暴雨量分别增加 33.7%、38.2%。

(3) 与城市化前期相比,城市化后期城区和下风向夏季降水日数变化不大,小雨降水日数分别减少 18.1%、20.0%,大雨日数分别增加 28.9%、29.6%,暴雨及以上等级降水日数分别增加 22.7%、35.56%。

(4) 城市化建设导致城市化后期城区和下风向夏

季降水强度分别增强 23.7%、27.5%，最大 1d 降水强度分别增强 26.2%、14.9%，最大 1h 降水强度分别增强 23.01%和 11.66%。

(5)与城市化前期相比,城市化后期城区和下风向极端降水频次分别增加 43.3%和 31.7%，以短历时 1~15h 降水贡献为主，其频次增加的累计概率分别达到 14.4%、20.8%；过程雨量分布更加集中,1~2h 雨量达 50mm 的降水事件分别增加 39.7%、17.0%，极端降水平均强度分别增加 25.8%和 37.7%。

参考文献:

- [1] 张珊,黄刚,王君,等. 城市地表特征对京津冀地区夏季降水的影响研究[J]. 大气科学, 2015,(5):911-925. (ZHANG Shan, HUANG Gang, WANG Jun, et al. Impact of urban surface characteristics on summer rainfall in the Beijing-Tianjin-Hebei area [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2015,(5):911-925. (in Chinese))
- [2] Zhang C L, Chen F, Miao S G, et al. Impacts of urban expansion and future green planting on summer precipitation in the Beijing metropolitan area [J]. J. Geophys. Res., 2009,114:D02116-D02141, doi: 10.1029/2008JD010328.
- [3] 吴风波,汤剑平. 城市化对长江三角洲地区夏季降水、气温的影响[J]. 热带气象学报, 2015,(2):255-263. (WU Fengbo, TANG Jianping. The impact of urbanization on summer precipitation and temperature in the Yangtze River delta[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2015,(2): 255-263. (in Chinese))
- [4] Han J Y, Baik J J, Lee H. Urban impacts on precipitation[J]. Asia-Pac. J. Atmos. Sci., 2014,50(1):17-30.
- [5] Russell A, Hughes M. Is the changing precipitation regime of Manchester, United Kingdom, driven by the development of urban areas[J]. J. Climatol. 2012,32(6):967-974.
- [6] 李娜,许有鹏,陈爽. 苏州城市化进程对降雨特征影响分析[J]. 长江流域资源与环境, 2006,(3):335-339. (LI Nan, XU Youpeng, CHEN Shuang. Influence of urbanization on precipitation in Suzhou city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2006,(3):335-339. (in Chinese))
- [7] Wang X Q, Wang Z F, Qi Y B, Guo H. Effect of urbanization on the winter precipitation distribution in Beijing area [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009,52(2):250-256.
- [8] Kishtawal C M, Niyogi D, Tewari M, et al. Urbanization signature in the observed heavy rainfall climatology over India [J]. J. Climatol., 2009,30(13):1908-1916.
- [9] 丁瑾佳,许有鹏,潘光波. 苏锡常地区城市发展对降雨的影响[J]. 长江流域资源与环境, 2010,(8):873-877.(DING Jinjia, XU Youpeng, PAN Guangbo. Effect of urbanization on regional precipitation in Suzhou-Wuxi-Changzhou area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010,(8):873-877. (in Chinese))
- [10] 江志红,李杨. 中国东部不同区域城市化对降水变化影响的对比研究[J]. 热带气象学报, 2014,(4):601-611.(JIANG Zhihong, LI Yang. Impact of urbanization in different regions of eastern China on precipitation and its uncertainty [J]. Journal of Tropical Meteorology, 2014,(4):601-611. (in Chinese))
- [11] 彭莉莉,罗伯良,孙佳庆. 长株潭城市化进程中极端降水变化特征[J]. 暴雨灾害, 2015,(2):191-196. (PENG Lili, LUO Boliang, SUN Jiaqing. Variation of extreme precipitation during the urbanization of Ghangsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. Torrential Rain and Disasters, 2015,(2):191-196. (in Chinese))
- [12] Shastri H, Paul S, Ghosh S, et al. Impacts of urbanization on Indian summer monsoon rainfall extremes[J]. J. Geophys. Res. Atmos., 2015,120(2):496-516.
- [13] Changnon S A Jr. Rainfall changes in summer caused by St. Louis[J]. Science. 1979,205(4404): 402-404.
- [14] 廖镜彪,王雪梅,李玉欣,等. 城市化对广州降水的影响分析[J]. 气象科学, 2011,(4):384-390. (LIAO Jingbiao, WANG Xuemei, LI Yuxin, et al. An analysis study of the impacts of urbanization on precipitation in Guangzhou [J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2011,(4):384-390. (in Chinese))
- [15] 孙鸿烈. 中国资源科学百科全书[M]. 中国石油大学出版社, 2000. (SUN Honglie. China Encyclopedia of Resources Science [M]. China University of Petroleum Press, 2000. (in Chinese))
- [16] Yu R C, Xu Y P, Zhou T J, et al. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China[J]. Geophys Res Lett, 2007,34(13):13703(1-4).
- [17] 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, 2008,7:829-832. (LI Jian, YU Rucong, WANG Jianjie. Diurnal variation of summer precipitation in Beijing [J]. Science Bulletin, 2008,7:829-832. (in Chinese))
- [18] 陈金明,陆桂华,吴志勇,等. 长江流域极端降水过程事件的年内分布特征 [J]. 长江流域资源与环境, 2014,(4):588-594. (CHEN Jinming, LU Guihua, WU Zhiyong, et al. Inner annual distribution characteristics of the extreme precipitation processes events over the Yangtze River basin [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin. 2014,(4):588-594. (in Chinese))
- [19] Huff F A, Changnon S A Jr. Climatological assessment of urban effects on precipitation at St Louis [J]. Journal of Applied Meteorology, 1972,(11):823-842.
- [20] 吴息,王晓云,曾宪宁,等. 城市化效应对北京市短历时降水特征的影响 [J]. 南京气象学院学报, 2000,(1):68-72. (WU Xi, WANG Xiaoyun, ZENG Xianning, et al. The effect of urbanization on short duration precipitation in Beijing [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000,(1):68-72. (in Chinese))
- [21] 汤超莲,陈特固,蔡兵,等. 近百年广州中心城区(天河)地表年平均气温变化趋势 [J]. 热带地理, 2014,(6):729-736. (TANG Chaolian, CHEN Teguo, CAI Bing, et al. Process of the annual mean surface air temperature of Guangzhou (Tianhe) over the last 100 years[J]. Tropical Geography, 2014,(6):729-736. (in Chinese))
- [22] Changnon S A Jr. Urban effects on severe local storms at St Louis[J]. Journal of Applied Meteorology, 1978,17:578-586.
- [23] Yang L, Tian F Q, Smith J, et al. Urban signatures in the spatial clustering of summer heavy rainfall events over the Beijing metropolitan region [J]. Journal of Geophysical Research - Atmosphere, 119(3):1203-1217.

- [24] 李彬焯,赵耀龙,付迎春. 广州城市暴雨内涝时空演变及建设用地扩张的影响 [J]. 地球信息科学学报, 2015,(4):445-450. (LI Binye, ZHAO Yaolong, FU Yingchun. Spatio-temporal characteristics of urban storm waterlogging in Guangzhou and the impact of urban growth [J]. Journal of Geo-information Science, 2015,(4):445-450. (in Chinese))

### Impact of Urbanization on Summer Precipitation Process in Guangzhou

CHEN Xiuhong<sup>1,2</sup>, LIU Bingjun<sup>1,2</sup>, LI Yuan<sup>1,2</sup>, DENG Chengyu<sup>1,2</sup>, CHEN Gang<sup>3</sup>

(1. Department of Water Resources and Environment, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. Key Laboratory of Water Cycle and Water Security in Southern China of Guangdong High Education Institute, Guangzhou 510275, China; 3. Guangzhou Hydrology Bureau of Guangdong Province, Guangzhou 510150, China)

**Abstract:** With the process of urbanization, the special ground constructions and changes of atmosphere layers affect the precipitation process in the related urban regions. The urbanization process of Guangzhou is identified with the method of MODIS land cover. Based on hourly summer precipitation data in upwind of the urban, urban and downwind of the urban during 1984-2015, the possible effects of urbanization on precipitation process were analyzed. The results show that (1) the urbanization made significant impacts on precipitation process of urban and the downwind, but had no obvious effect in upwind; (2) comparing with rainfall in the early period, the precipitation indices, including summer precipitation, precipitation days, precipitation intensity, precipitation duration etc., have obviously changed in the late period, in which urban and its downwind region experienced higher occurrences of short diachronic strong precipitation.

**Key words:** urbanization; summer precipitation; precipitation process; prevailing wind

(上接 95 页)

- [5] 康玲玲,史玉品,王金花,等. 黄河唐乃亥以上地区径流对气候变化的敏感性分析[J]. 水资源与水工程学报, 2005,16(4):1-4. (KANG Lingling, SHI Yupin, WANG Jinhua, et al. Analysis on the sensitivity of natural runoff in Tangnaihai and its upstream of the Yellow River to climate variation [J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2005,16(4):1-4. (in Chinese))
- [6] 陈利群,刘昌明. 黄河源区气候和土地覆被变化对径流的影响[J]. 中国环境科学, 2007,27(4):559-565. (CHEN Liqun, LIU Changming. Influence of climate and Land-cover change on runoff of the source region of Yellow River [J]. China Environmental Science, 2007,27(4):559-565. (in Chinese))
- [7] 王随继,闫云霞,颜明,等. 皇甫川流域降水和人类活动对径流量变化的贡献率分析[J]. 地理学报, 2012,67(3):388-397. (WANG Suiji, YAN Yunxia, YAN Ming, et al. Contribution of precipitation and human activities to the runoff change of the Huangfuchuan drainage basin: application of comparative method of the slope changing ratio of cumulative quantity [J]. Journal of Geographical Science, 2012,67(3):388-397. (in Chinese))
- [8] 何旭强,张勃,孙力炜,等. 气候变化和人类活动对黑河上中游径流量变化的贡献率[J]. 生态学杂志, 2012,31(11):2884-2890. (HE Xuqiang, ZHANG Bo, SUN Liwei, et al. Contribution rates of climate change and human activity on the runoff in upper and middle reaches of Heihe River basin [J]. Chinese Journal of Ecology, 2012,31(11):2884-2890. (in Chinese))
- [9] 邵全琴,樊江文,刘纪远,等. 三江源生态保护和建设一期工程生态成效评估[J]. 地理学报, 2016,71(1):3-20. (SHAO Quanqin, FAN Jiangwen, LIU Jiyuan, et al. Assessment on the effects of the first-stage ecological conservation and restoration project in Sanjiangyuan region[J]. Journal of Geographical Science, 2016,71(1):3-20. (in Chinese))

### Analysis of Runoff Variation in Source Region of Yangtze River

LI Yan, LI Qijiang, LIU Xisheng, DUAN Shuiqiang, CAI Yiqing

(Hydrology and Water Resources Survey Bureau of Qinghai Province, Xining 810001, China)

**Abstract:** Based on the hydrological data in the source region of the Yangtze River during 1960-2012, the mutation test was made using Mann-Kendall method. The result shows that the mutation point of the runoff is the year 2008. According to the mutation point of the runoff, the time series were divided into the periods of 1960-2008 and 2009-2012, and the relationship between the accumulative runoff, accumulative precipitation and time series were obtained. The contribution rates of precipitation and non-precipitation factors to the increase of runoff are 22.89% and 77.11% in the reach above the Tuotuohe Station. These contribution rates are 67.85% and 32.15% in the reach above the Zhimenda Station. The results of this study shows an increasing trend of the runoff in the source region of the Yangtze River.

**Key words:** source region of the Yangtze River; runoff; precipitation; contribution rate; ecological conservation and restoration