

伍红雨, 邹燕, 刘尉. 广东区域性暴雨过程的量化评估及气候特征. 应用气象学报, 2019, 30(2): 233-244.  
DOI: 10.11898/1001-7313.20190210

# 广东区域性暴雨过程的量化评估及气候特征

伍红雨<sup>1)2)</sup>\* 邹燕<sup>3)</sup> 刘尉<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(广东省气候中心, 广州 510641)

<sup>2)</sup>(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, 广州 510641)

<sup>3)</sup>(福建省气候中心, 福州 350001)

## 摘 要

利用 1961—2017 年广东 86 个地面气象观测站逐日降水资料, 定义广东区域性暴雨过程的标准, 构建了综合考虑区域暴雨过程持续时间、暴雨范围、最大日降水量和最大过程降水量 4 个指标的广东区域性暴雨过程综合强度评估方法, 由此分析近 57 年广东区域性暴雨过程次数、强度、雨涝年景等特征和变化。结果表明: 近 57 年来, 广东共出现 1211 次区域性暴雨过程, 平均每年 21.2 次, 主要出现在 4—9 月, 单次过程平均持续时间是 2.3 d; 广东区域性暴雨过程的次数和强度存在明显的月际、年际和年代际变化, 次数最多出现在 5 月, 强度最大出现在 6 月; 广东雨涝年景指数以 0.17/(10 a) 的速率显著上升; 强和较强等级的广东区域性暴雨过程次数呈显著增加趋势, 较弱等级区域性暴雨次数呈显著减少趋势。评估得到广东强降雨涝年有 5 年: 2008 年、2001 年、1973 年、1994 年、1993 年, 其中有 4 年出现在 1990 年以后。

**关键词:** 广东; 区域性暴雨过程; 综合强度指数

## 引 言

广东处于低纬度地区, 属于热带、亚热带季风气候区, 南临南海, 北连大陆, 具有丰富的水汽资源和北高南低的地形地貌特征。广东是全国内陆降水最多的地区, 且前后汛期降水非常突出, 因此, 对华南或广东暴雨的研究一直以来是我国大气科学领域研究热点<sup>[1-2]</sup>。近年来, 气象工作者对华南以及广东暴雨特征和成因进行了大量研究<sup>[3-13]</sup>, 多数研究主要针对暴雨日数、前汛期典型旱涝年的环流特征, 由于区域暴雨过程划分标准不一致, 相应的研究结果也存在差异。目前针对长时间序列的广东区域性暴雨过程的气候特征分析鲜见报道。大范围、持续性的暴雨常引发严重洪涝、泥石流、滑坡和城市内涝等灾害, 因此, 有必要对暴雨过程进行综合评估<sup>[14-17]</sup>。针

对广东的暴雨过程, 李春梅等<sup>[18]</sup>利用 1951—2006 年广东省 86 个气象站气象资料、地理信息资料和灾情等, 对暴雨的致灾因子、综合影响指标及其在灾情评估中的应用进行了研究。罗艳艳等<sup>[19]</sup>利用区域性暴雨过程综合强度评估方法划分华南前汛期雨涝年并分析其环流成因。但目前没有一个客观定量的方法评估广东 1961 年以来所有区域性暴雨过程的综合强度, 而这是广东区域暴雨客观定量评估和防灾减灾、决策服务的迫切需要。因此, 本文利用广东 86 个气象站的日降水资料, 首先定义广东区域性暴雨过程的划分标准, 在此基础上, 根据暴雨过程的持续日数、暴雨范围、最大日降水量、最大过程降水量 4 个指标建立广东区域性暴雨过程综合强度评估方法, 分析 1961—2017 年广东区域性暴雨过程次数、强度等特征及变化, 为广东客观定量的暴雨评估业务和服务提供技术支撑。

2018-08-02 收到, 2019-01-16 收到再改稿。

资助项目: 广东省科技计划项目(2017B020244002, 2017B030314140), 广东省气候中心项目(QH201705)

\* 邮箱: wuhy@grmc.gov.cn

## 1 资料和方法

### 1.1 资料

本文所用资料为1961—2017年广东86个气象站逐日降水量资料。

### 1.2 区域暴雨过程相关指标及定义

参考邹燕等<sup>[20]</sup>对区域性暴雨过程综合强度定量评估方法,选取持续时间、暴雨范围、最大日降水量和最大过程降水量4个因子作为区域暴雨过程的综合强度评估指标,该方法不仅包含这4个指标并综合考虑各指标的权重和自身变率对评估结果的影响,罗艳艳等<sup>[19]</sup>指出该评估方法能客观、定量和合理地描述区域性暴雨过程。各指标定义如下:

单站暴雨日指单个气象站日降水量(20:00—次日20:00,北京时,下同)不低于50 mm的降水日。

区域性暴雨日指广东86个气象站中,不低于4站(5%)出现单站暴雨日。

区域性暴雨过程指区域性暴雨持续日数不低于1 d的过程或间断1 d且间断日不低于1个站日降水量达暴雨及以上的过程。这样定义的区域性暴雨过程就与暴雨成灾结合起来,因为暴雨导致的地质灾害具有滞后性。

区域性暴雨过程的开始日(结束日)指区域性暴雨过程的第1个(最后1个)区域性暴雨日。

区域性暴雨过程的持续时间指区域性暴雨过程开始至结束的持续日数。

区域性暴雨最大过程降水量指区域暴雨过程中,单站总降水量的最大值。

区域性暴雨最大日降水量指区域暴雨过程中,单站日降水量的最大值。

区域暴雨范围指区域性暴雨过程中,出现暴雨日的总站数。

### 1.3 广东区域性暴雨过程综合强度评估方法

文献<sup>[20]</sup>定义的区域性暴雨过程综合强度指数计算公式为

$$I_R = AG_p R_p + BG_d R_d + CG_c R_c + DG_t R_t, \quad (1)$$

式(1)中, $I_R$ 为某次区域暴雨过程的综合强度指数; $G_p, G_d, G_c$ 和 $G_t$ 分别是最大过程降水量、最大日降水量、暴雨范围和暴雨持续时间4个指标的评估等级; $R_p, R_d, R_c$ 和 $R_t$ 分别为标准化后的4个指标; $A, B, C$ 和 $D$ 为权重系数。

按照1.2节区域性暴雨过程的定义统计,1961—

2017年广东共发生1211次区域性暴雨过程,分别以这1211次过程的持续时间、暴雨范围、最大日降水量和最大过程降水量4个指标历史序列为样本,计算各样本序列的第60、第80、第90和第95百分位数作为临界阈值划分出5个等级,划定和计算方法采用Hyndman经验公式<sup>[21]</sup>,确定各次暴雨过程4个评估指标的异常等级,分别标记为 $G_p, G_d, G_c$ 和 $G_t$ ;不同异常等级对应的百分位数范围见表1。罗艳艳等<sup>[19]</sup>采用这个划分方法确定了华南雨涝强、弱年,得出与华南区域历史灾害档案中所记录的事实基本一致。参考邹燕等<sup>[20]</sup>对权重系数的计算方法,即以某一指标系列与其余3个指标系列之间相关系数的平均值占有所有指标间相关系数平均值总和的比值作为该指标的权重系数,通过计算分别得到持续日数、暴雨范围、最大日降水量、最大过程降水量的权重系数分别为0.242, 0.243, 0.238, 0.278,可见最大过程降水量的贡献最大,其次是暴雨范围。某次暴雨的综合强度指数 $I_R$ 值越大(小),表明该次暴雨过程综合强度越强(弱)。对已统计得出的1211次广东区域暴雨过程进行逐次评估,得到逐次区域暴雨过程的综合强度指数 $I_R$ 序列。

表1 不同百分位数( $P$ )与暴雨过程异常等级对应

Table 1 Correspondence between different percentile( $P$ ) and abnormal classes

百分位数范围	暴雨过程异常等级
$0 < P < 60$	1(弱)
$60 \leq P < 80$	2(较弱)
$80 \leq P < 90$	3(中等)
$90 \leq P < 95$	4(较强)
$95 \leq P \leq 100$	5(强)

### 1.4 广东雨涝年景指数

雨涝年景指数为累加一年内强度达较强等级以上的区域性暴雨过程强度值与其等级的乘积,这个雨涝年景指数综合考虑了较强以上区域性暴雨过程的次数和强度,由此得到1961—2017年的雨涝年景指数序列。

以1961—2017年逐年雨涝年景指数57年序列为样本,以第10、第30、第70和第90百分位数作为临界阈值划分出5个等级(表2)。

表 2 不同百分位数(P)与雨涝年景等级对应表  
 Table 2 Correspondence between different percentile(P) and abnormal classes of rain-waterlogging years

百分位数范围	年景等级
$0 < P \leq 10$	1(弱)
$10 < P \leq 30$	2(较弱)
$30 < P \leq 70$	3(一般)
$70 < P \leq 90$	4(较强)
$90 < P \leq 100$	5(强)

## 2 结果分析

### 2.1 广东区域性暴雨过程次数的变化特征

#### 2.1.1 年际和年代际变化

统计表明,1961—2017 年广东共发生区域性暴雨过程 1211 次,平均每年 21.2 次,但存在明显的年际和年代际变化(图 1)。次数最多出现在 2016 年(30 次),其次是 1997 年和 1973 年,均为 29 次;最

少出现在 1963 年,只有 13 次。而 2016 年和 1963 年分别为 1961 年以来广东全省平均年降水量最多和最少的年份。计算 1961—2017 年广东年降水量系列与年区域性暴雨过程次数系列的相关系数为 0.68,达到 0.001 显著性水平,说明区域性暴雨次数与年降水量密切相关,区域暴雨次数多(少)的年份,年降水也多(少),这也说明本文区域性暴雨过程的定义是合适的,能正确反映广东年降水变化情况。近 57 年来,广东区域性暴雨过程次数以 0.08 次/(10 a)的速率微弱上升,趋势线与 1961—2017 年的平均次数线几乎重合,未达到 0.05 显著性水平,增加趋势不显著,这与伍红雨等<sup>[8]</sup>指出的近 48 年来华南暴雨日数的变化趋势不明显相一致。从年次数的多项式变化曲线看到,20 世纪 60 年代、90 年代、21 世纪前 10 年处于区域性暴雨次数偏少的时期,而 20 世纪 70 年代、80 年代以及 2012 年以来处于偏多的时期。

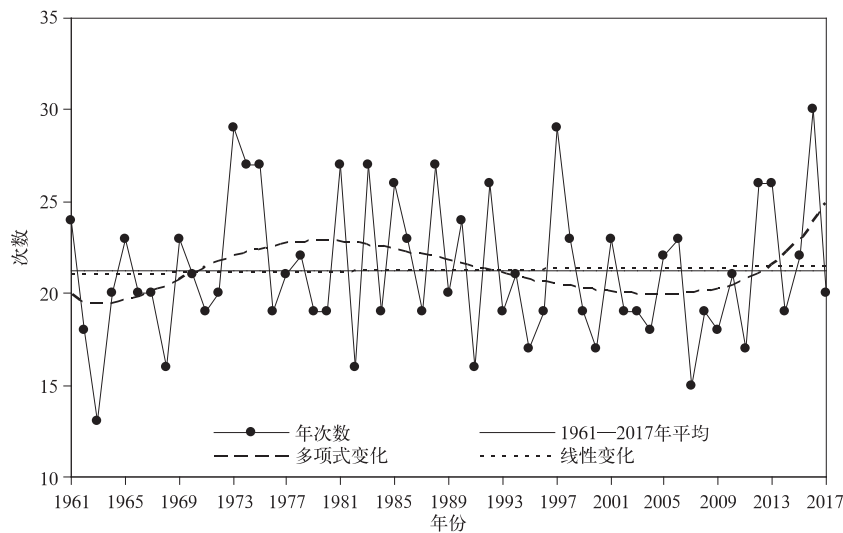


图 1 1961—2017 年广东区域性暴雨过程次数

Fig. 1 Variations of regional heavy rainfall frequency in Guangdong from 1961 to 2017

#### 2.1.2 月际变化

广东近 57 年各月区域性暴雨过程次数所占比率(图 2)统计,区域性暴雨过程一年中均可发生,次数最多出现在 5 月(18.1%),以下依次是 6 月(14.1%),4 月(13.2%),8 月(13.1%);最少出现在 12 月(1.4%)。区域性暴雨过程主要出现在广东汛期 4—9 月,月发生比率为 10.6%~18.1%,近 57 年共发生 992 次,占区域性暴雨总次数的 81.9%,

其中前汛期 4—6 月,发生 550 次,占区域性暴雨次数的 45.4%;后汛期 7—9 月,发生 442 次,占区域性暴雨总次数的 36.5%。广东前汛期降水主要是锋面降水和夏季风降水,而后汛期降水主要是热带气旋降水<sup>[5]</sup>。10 月—次年 3 月是广东的非汛期,月发生区域性暴雨比率为 1.4%~5.4%,近 57 年共发生 219 次,占区域性暴雨总次数的 18.1%,可见广东区域性暴雨过程具有典型的季风气候特征,主

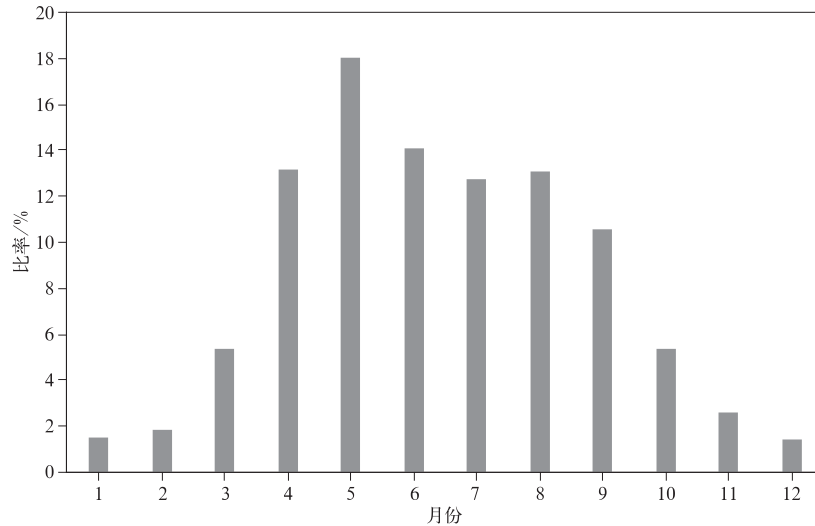


图2 1961—2017年广东平均区域性暴雨过程所占比率

Fig. 2 Ratio of mean regional heavy rainfall in Guangdong from 1961 to 2017

要集中在广东前后汛期。

## 2.2 广东区域性暴雨过程强度的变化特征

### 2.2.1 不同等级区域性暴雨过程统计

根据式(1)计算得到广东1211次区域性暴雨过程每次的综合强度指数,在1.3节,将广东区域性暴雨综合强度等级分为5级:1级(弱),2级(较弱),3级

(中等),4级(较强),5级(强),计算得到弱等级区域暴雨过程共735次,占总次数的60.7%;较弱等级共235次,占总次数的19.4%;中等共119次,占总次数的9.8%;较强等级99次,占总次数的8.2%;强等级23次,占总次数的1.9%(表3),其中以下年份出现了两次强区域性暴雨过程:1994年6月8—20

表3 1961—2017年广东区域性暴雨过程强度等级为5级(强)的过程统计  
Table 3 Regional heavy rainfall processes in Guangdong with composite intensity up to class V (strong) from 1961 to 2017

序号	暴雨发生时间	持续时间/d	范围/站	最大日降水量/mm	最大过程降水量/mm	综合强度指数
1	2005-06-12—24	13	72	420.5	1385.1	29.9
2	2001-06-02—13	12	63	605.3	1283.2	29.3
3	1968-06-09—25	17	68	260.4	1069.3	25.9
4	2003-06-06—16	11	58	566.3	911.2	24.8
5	1994-07-18—28	11	58	560.4	888.6	24.5
6	1994-06-08—20	13	72	523.5	691.2	24.4
7	1977-05-25—06-01	8	44	621.6	1196.5	23.7
8	1975-05-10—22	13	63	300.4	1012.2	22.8
9	1993-06-03—18	16	72	199.1	774.3	22.2
10	1998-06-19—26	8	56	398	1183.9	20.9
11	2017-06-13—22	10	59	362.7	944.9	20.8
12	1987-05-20—22	3	49	620.1	1024.1	20.2
13	1992-06-07—15	9	66	312	871.3	19.5
14	2008-05-29—6-7	10	59	346.9	757.9	19.1
15	1997-07-01—11	11	54	277.6	839.3	18.6
16	1973-05-06—13	8	65	324.2	801.2	18.5
17	2001-08-27—09-05	10	70	286.8	684.5	18.4
18	1998-05-29—06-06	9	42	433.1	761.5	17.9
19	2008-06-10—18	9	72	376.5	611.8	17.5
20	1982-05-10—13	4	23	640.6	823.5	17.2
21	1965-09-27—10-01	5	36	433.1	927.7	16.6
22	2014-05-15—23	9	41	288.7	924.7	16.5
23	1979-09-23—25	3	40	547.3	809.5	16.3

日、7月18—28日,1998年5月29—6月6日、6月19—26日,2001年6月2—13日、8月27—9月5日,2008年5月29日—6月7日、6月10—18日。

表3中的23次广东强区域性暴雨过程大多造成重大的经济损失和人员伤亡。根据1994—2016年《广东省防灾减灾年鉴》<sup>[22]</sup>、《中国气象灾害大典(广东卷)》<sup>[23]</sup>、《广东省志(自然灾害志)》<sup>[24]</sup>、2004—2017年广东省气候公报等的历史气象灾害事件记载,这23次广东区域性暴雨过程与灾情记载相吻合。评估广东最强的暴雨过程出现在2005年6月12—24日,这与“05.6”特大暴雨洪涝相一致,近57年来,广东最大过程降水量1385.1 mm(龙门)就出现在这个过程,“05.6”期间西江<sup>[18]</sup>、北江遭遇百年一遇的洪涝灾害<sup>[25]</sup>,东江、韩江及东南沿海大小河流均发生洪水,“05.6”华南暴雨共造成华南死亡200人,直接经济损失达180亿元<sup>[26]</sup>,其中广东受灾人口443万人,死亡65人,倒塌房屋40多万间,直接经济损失49.7亿元(2005年广东省气候公报,《广东省防灾减灾年鉴》<sup>[22]</sup>)。评估广东综合强度指数排名第2位的暴雨过程出现在2001年6月2—13日。据统计2001年6月上中旬持续性暴雨袭击粤西南,受灾人口200.9万人,因灾死亡19人,直接经济总损失8.8亿元,其中6日20:00(北京时,下同)—8日20:00,广东阳江总降水量达960.3 mm,造成阳江严重灾害,全市直接经济损失3.24亿元<sup>[27]</sup>。评估广东综合强度指数排名第3位的暴雨过程出现在1968年6月9—25日。1968年6月中下旬,广东省出现连续暴雨过程,西江、北江同时发洪,其中北江出现全流域性洪水,使下游地区及珠江三角洲遭受严重洪灾<sup>[28]</sup>。可见评估结果与灾情是一致的,说明广东区域性暴雨过程综合强度指数能客观、全面评估广东区域暴雨过程。

将本文识别的广东区域性暴雨过程(简称本文暴雨过程)与广东省气候中心2012—2017年的广东省气候公报中的暴雨过程(仅这几年业务上有暴雨过程次数的统计)(简称业务暴雨过程)进行比较(表略)。广东在这6年业务暴雨过程有129次,本文暴雨过程有143次,其中129次业务暴雨过程均被识别出来,没有过程缺漏,本文暴雨过程比业务暴雨过程多14次,年次数差距为1~7次,平均年差距是2.3次。主要有两个原因:①持续性强降水过程出现间歇期,按本文区域性暴雨过程定义可能分割成两段或更多段,而业务中由于缺乏区域性暴雨过程

定义标准,在业务服务需求下常常会进行主观拼接;②持续日数较少或范围较小的暴雨过程,业务部门未进行统计。

以2012—2017年中总差距最大的2013年为例。业务暴雨过程有19次,本文暴雨过程有26次,本文识别暴雨过程比业务暴雨过程多7次。对比得出:①1991年的19次业务暴雨过程,本方法得到的结果无缺漏;②业务暴雨过程的开始日/结束日与本文结果有差异;对差异日的日降水量分析显示,有的业务暴雨过程的开始日并无暴雨站,结束日还往往有多站暴雨,这可能是由于业务暴雨过程的确定是基于更为稠密的区域站实时观测资料;③本文增加的暴雨过程中,既有1~2 d的短暂暴雨过程,也有持续3~4 d的暴雨过程,如本文识别出2013年7月26日、28日、30日出现了3次区域暴雨过程,业务上就是2013年7月26—30日的一次暴雨过程;本文识别出2013年7月14—16日、7月20日两次区域暴雨过程,业务上就是2013年7月14—21日的一次暴雨过程。因此,本文暴雨过程更为完整和符合实际。罗艳艳等<sup>[19]</sup>、邹燕等<sup>[20]</sup>采用这个区域暴雨过程相关指标及定义对华南、福建的区域降水过程进行识别,也得到客观和符合实际的结果。

### 2.2.2 广东雨涝年景指数年际和年代际变化特征

根据1.4节广东雨涝年景指数定义,计算了1961—2017年逐年广东雨涝年景指数变化(图3),可见,雨涝年景指数存在明显的年际和年代际变化,最大出现在2008年(2.8),其次是2001年(2.3),第三是1973年(2.2),最小出现在1963年(-1.7)。近57年来,广东雨涝年景指数以0.17/(10 a)的速率上升(趋势系数0.28),达到0.05显著性水平,增加趋势显著。线性趋势还表示在20世纪90年代初雨涝年景指数由之前偏弱转为之后的偏强,李丽平等<sup>[29]</sup>、徐雨晴等<sup>[30]</sup>也指出华南在20世纪90年代以来发生极端雨涝的情况明显增多,伍红雨等<sup>[8]</sup>指出华南年暴雨强度有微弱增加趋势。

计算得到近57年中广东年景雨涝强年有5年:2008年、2001年、1973年、1994年、1993年,其中有4年发生在1990年以后。雨涝弱年有5年:1963年、1989年、1962年、2004年、1967年。这与广东历史灾害档案<sup>[24]</sup>和1994—2016年《广东省防灾减灾年鉴》<sup>[22]</sup>记录的事实基本一致。雨涝强年广东均出现造成重大社会影响或严重经济损失和人员伤亡的极端区域性暴雨过程。雨涝弱年常常是大旱年,雨

涝灾害轻。本文与罗艳艳等<sup>[19]</sup>选出的华南雨涝强、弱年部分年份相同,如2008年、1994年、2001年既是华南,也是广东的雨涝强年。2008年全球极端天气气候事件频发,许多地方出现了洪灾、持续性严重干旱、冰雪风暴、热浪和寒潮等<sup>[30]</sup>。张培群等<sup>[31]</sup>指出2008年赤道中东太平洋总体处在冷水位相,受海洋异常强迫和海气相互作用的影响,2008年我国气候显著异常,其中华南夏季降水异常偏多。据统计,2008年广东暴雨洪涝灾害造成全省直接经济损失83.81亿元,死亡36人。其中5月下旬至6月中旬广东出现了史上最强“龙舟水”<sup>[32]</sup>,造成直接经济损失64.5亿元,死亡33人。2001年广东西南部和珠江三角洲洪涝成灾<sup>[18]</sup>;“94.6”、“94.7”这两次华南大范围持续性暴雨导致特大洪涝,广东、广西直接经济损失540亿元<sup>[33]</sup>,北江、西江出现1950年以来的最大洪水,造成广东死亡254人,直接经济损失170亿元。1993年5月、7月北江、韩江、增江大洪水,导致37人死亡,直接经济损失15.2亿元。1973年北江、东江、韩江大洪水造成广东184人死亡。雨涝年景指数最小是1963年,广东年降水量为有气象记录以来最少,是广东大旱年。

表4为1994—2017年广东雨涝年景指数逐年变化与直接经济损失统计。计算得到1994—2017年的广东雨涝年景指数与广东直接经济损失的相关系数为0.43,达到0.05显著性水平,说明两个系列相关显著,即广东雨涝年景指数与实况灾损吻合,能

客观定量反映广东雨涝的年总体特征。由于广东区域暴雨过程造成的暴雨洪涝损失,在7—9月台风最

表4 1994—2017年广东雨涝年景指数  
与直接经济损失统计

Table 4 Interannual variations of the harvest  
pattern index of rain-waterlogging and direct  
economic loss in Guangdong from 1994 to 2017

年份	雨涝年景指数	评估等级	直接经济损失/亿元
1994	2.11	5	170.00
1995	0.53	4	10.83
1996	-0.46	3	4.86
1997	0.86	4	37.10
1998	1.21	4	54.11
1999	-1.13	2	0.00
2000	0.45	3	5.61
2001	2.25	5	11.47
2002	0.34	3	16.11
2003	0.2	3	6.42
2004	-1.27	1	2.96
2005	0.74	4	56.32
2006	1.28	4	21.00
2007	-0.63	3	19.75
2008	2.81	5	83.81
2009	-0.44	3	8.22
2010	1.02	4	54.81
2011	-0.88	2	10.55
2012	-0.98	2	29.16
2013	0.34	3	189.65
2014	-0.1	3	79.52
2015	0.29	3	16.07
2016	0.57	4	27.36
2017	-0.06	3	21.60

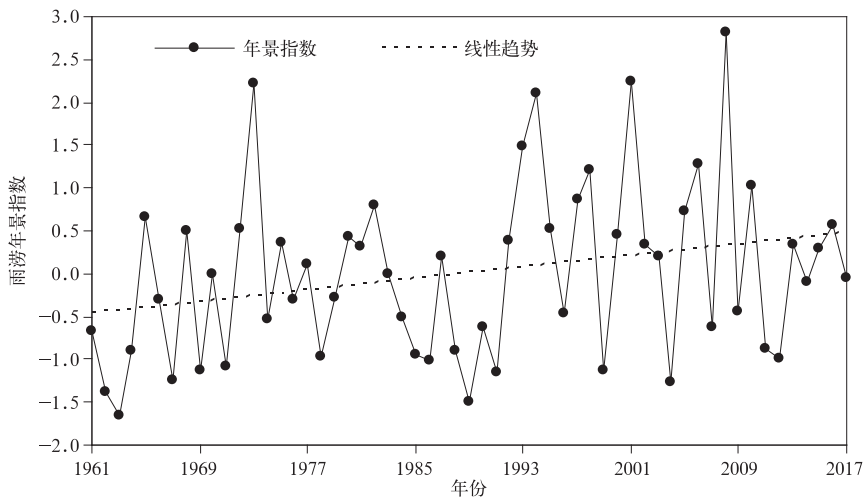


图3 1961—2017年广东雨涝年景指数变化

Fig. 3 Variations of the harvest index of rain waterlogging  
in Guangdong from 1961 to 2017

活跃季节,与台风造成的损失密切相关,如 2013 年的雨涝灾害的直接经济损失达 189.7 亿元,但评估是一般年份,主要是因为 2013 年 8 月 14—19 日的强台风尤特与西南季风共同影响<sup>[34]</sup>,造成广东直接经济损失达 168.6 亿元,其中包含了台风的影响。

统计 1961—2017 年区域性暴雨过程 5 个等级逐年的发生次数(图 4)可见,近 57 年弱等级区域性暴雨过程次数以 0.09 次/(10 a)的速率上升(趋势系数 0.04),但未达到 0.05 显著性水平,变化趋势不明显。较弱等级区域性暴雨过程次数以 -0.28 次/(10 a)的速率下降(趋势系数 0.26),达到 0.05 显著性水平,减少趋势显著。中等强度区域性暴雨

过程次数以 0.11 次/(10 a)的速率上升(趋势系数 0.17),未达到 0.05 显著性水平,增加趋势不明显。较强和强等级区域性暴雨过程次数分别以 0.21 次/(10 a)(趋势系数 0.32)和 0.09 次/(10 a)的速率上升(趋势系数 0.32),达到 0.05 显著性水平,增加趋势显著。可见,虽然近 57 年区域性暴雨过程总次数和强度变化不显著,但不同等级的区域暴雨过程次数的变化趋势存在明显差异,较强、强等级区域性暴雨过程次数呈显著增加趋势,较弱区域性暴雨次数呈显著减少的趋势,说明极端的区域暴雨事件呈显著增加趋势。

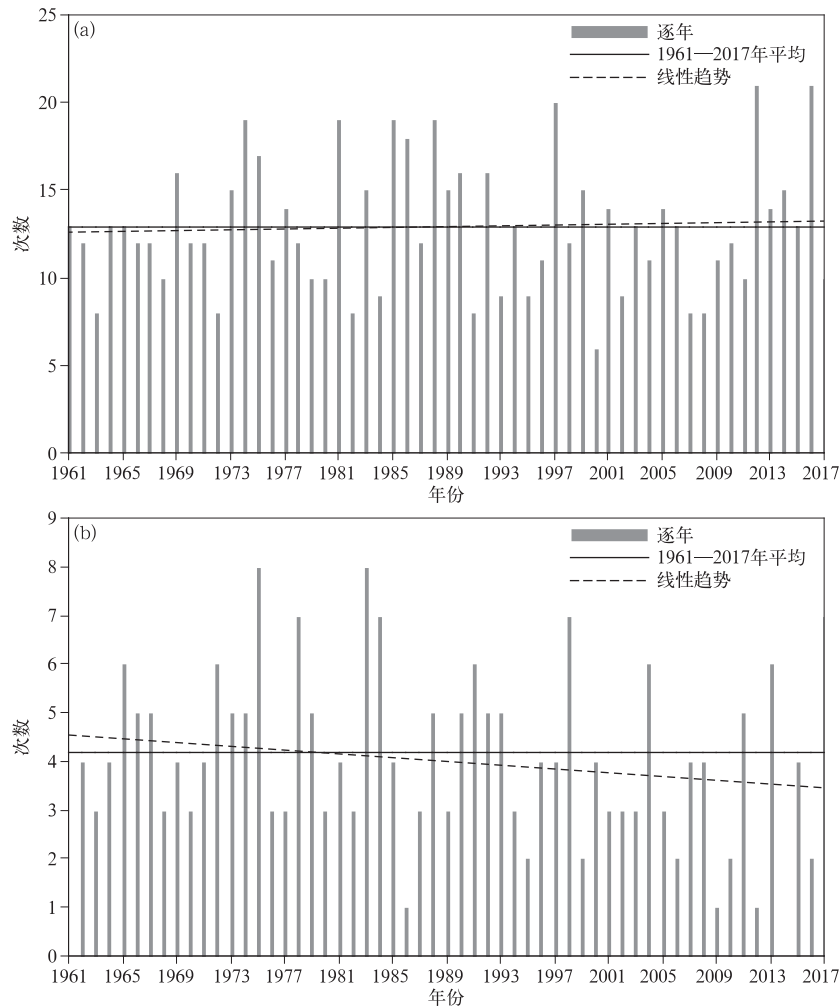
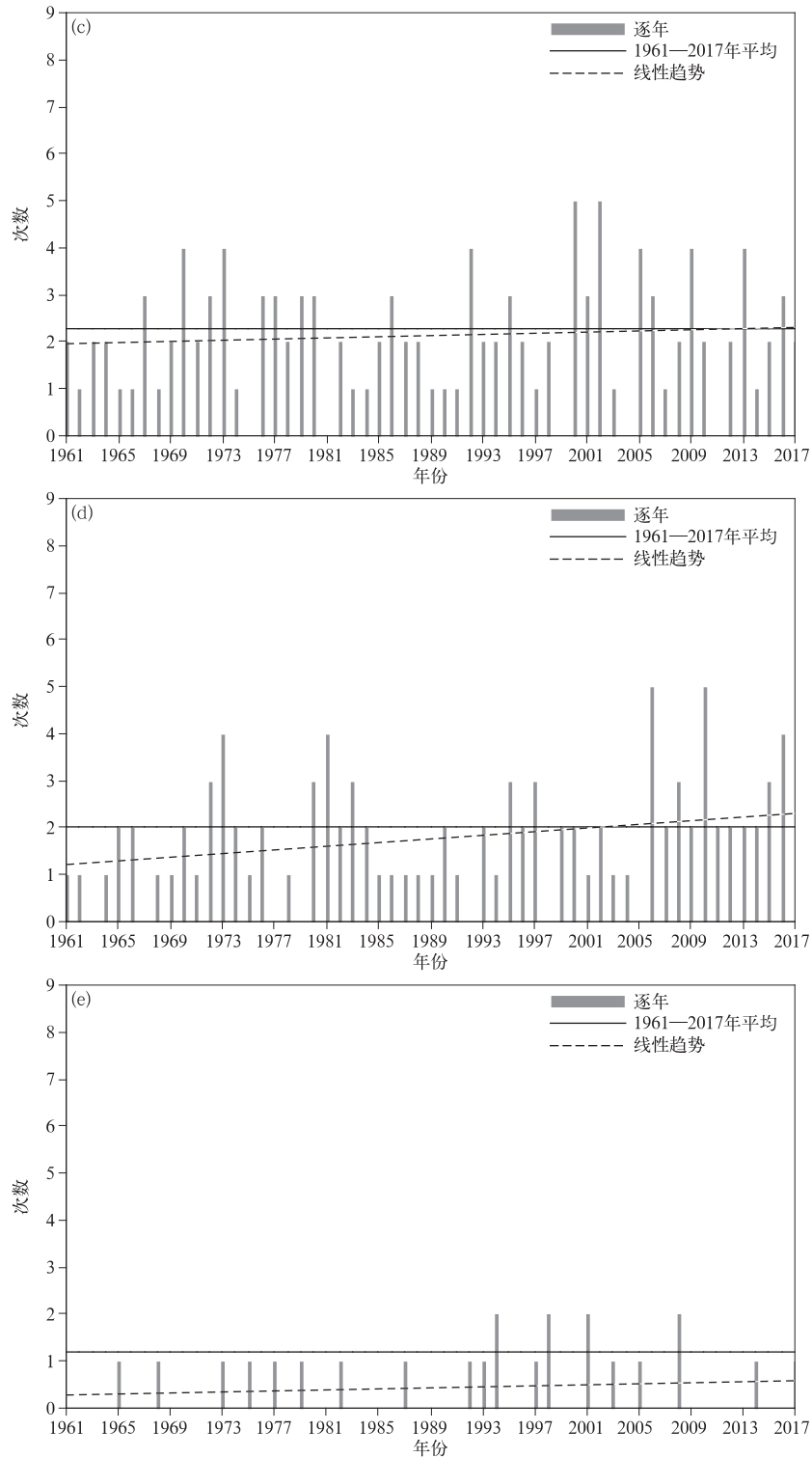


图 4 1961—2017 年广东区域性暴雨过程不同等级发生次数

(a)弱,(b)较弱,(c)中等,(d)较强,(e)强

Fig. 4 Variations of regional heavy rainfall frequency with different class in Guangdong from 1961 to 2017

(a) weak, (b) relatively weak, (c) medium, (d) relatively strong, (e) strong



续图 4

### 2.2.3 月际变化特征

统计 1961—2017 年的区域性暴雨综合强度近 57 年的各月平均强度指数(图 5)得到,区域性暴雨强度指数变化明显,最高出现在 6 月(强度指数 4.9),其次为 5 月(3.6),第三为 7 月(3.5),强度指

数超过 2.0 以上月份均出现在 4—10 月,主要为广东的汛期,而非汛期的 11 月—次年 3 月强度指数均不大于 1.5,最弱出现在 2 月,其次是 12 月,而 1 月是非汛期强度指数最大的,这与 1 月容易出现强冬季暴雨有关(如 2016 年 1 月广东最大范围的冬季



暴雨)。与图 2 比较得出,区域性暴雨过程平均月次数最多出现在 5 月,而强度最大出现在 6 月,次数和强度峰值出现的月份不同。

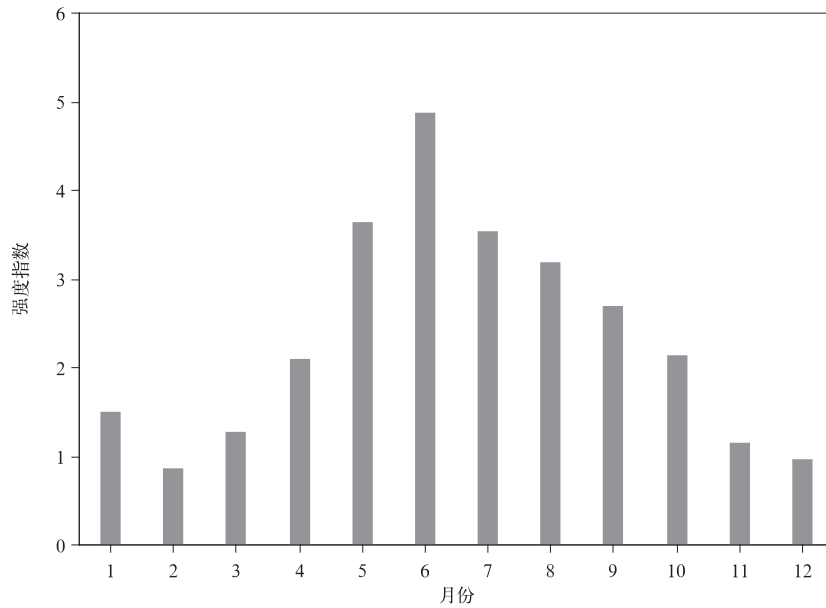


图 5 1961—2017 年广东区域性暴雨过程月平均综合强度指数  
Fig. 5 Variations of the monthly mean strength index of regional heavy rainfall in Guangdong from 1961 to 2017

### 2.3 广东区域性暴雨过程强度和次数的年代际变化

各年代出现区域性暴雨过程不同等级次数和比率见表 5。由表 5 可知,区域性暴雨过程等级和强度年代际变化明显,区域性暴雨过程发生总次数在 20 世纪 70 年代、80 年代最多,90 年代后逐年代减少。区域性暴雨强度综合指数在 21 世纪头 10 年最强,其次是 20 世纪 90 年代,第三是 70 年代,最弱出现在 60 年代和 80 年代,2011 年以来较 21 世纪头 10 年强度明显减弱。

近 57 年,发生各等级区域性暴雨过程的比率在

各年代也存在明显差异。强等级区域性暴雨过程发生的比率在 20 世纪 90 年代和 21 世纪头 10 年最高(3.0%~3.4%),较强等级发生的比率在 21 世纪头 10 年最高(11.2%),中等等级发生的比率在 21 世纪头 10 年最高(12.7%),较弱等级发生的比率在 20 世纪 60 年代最高(22.7%),而弱等级发生的比率在 20 世纪 80 年代最高(65.8%)。可见 21 世纪头 10 年较强等级区域性暴雨过程增多明显。年代际变化分析得到和前面分析相一致的结果。

表 5 1961—2017 广东出现区域性暴雨过程的不同等级次数及比率  
Table 5 Frequency and ratio of different level of regional heavy rainfall processes in Guangdong from 1961 to 2017

年份	1 级		2 级		3 级		4 级		5 级		平均强度指数
	次数	比率/%	次数	比率/%	次数	比率/%	次数	比率/%	次数	比率/%	
1961—1970 年	121	61.1	45	22.7	19	9.6	11	5.6	2	1.0	2.7
1971—1980 年	128	57.6	49	22.1	24	10.8	17	7.7	4	1.8	3.0
1981—1990 年	150	65.8	43	18.9	15	6.5	18	7.9	2	0.9	2.7
1991—2000 年	119	57.8	42	20.4	22	10.7	16	7.7	7	3.4	3.3
2001—2010 年	113	57.4	37	15.7	25	12.7	22	11.2	6	3.0	3.7
2011—2017 年	104	65.0	25	15.6	14	8.8	15	9.4	2	1.2	2.9

## 2.4 广东区域性暴雨过程各指标特征

区域性暴雨过程的强度与暴雨过程持续时间、暴雨范围、最大日降水量和最大过程4个指标关系密切。统计近57年广东1211次区域性暴雨过程的4个指标可知,广东区域性暴雨过程平均持续时间是2.3 d,最长是17 d,出现在1968年的6月9—25日,最短为1 d。平均区域性暴雨过程范围为20.3站,最大暴雨范围出现在2016年的1月28日,暴雨站数达83。区域性暴雨过程最大单日降水量平均为159.2 mm,最大为640.6 mm,出现在1982年5月12日清远站。区域性暴雨过程最大过程平均降水量为212.3 mm,最大过程降水量为1385.1 mm,出现在2005年6月12—24日的龙门站。统计得出,1961—2017年广东年最早的区域性暴雨过程出现在1964年1月1日,年最晚的区域性暴雨过程出现在1988年12月30—31日,这与林建等<sup>[35]</sup>指出华南全年均可出现暴雨是一致的。

## 3 结 论

1) 1961—2017年广东共发生了1211次区域性暴雨过程,平均每年21.2次,但存在明显的年际和年代际变化。次数最多出现在2016年(30次),最少出现在1963年(13次)。近57年来,区域性暴雨过程年次数以0.08次/(10 a)的速率上升,但增加趋势不显著。20世纪60年代、90年代、21世纪前10年处于区域性暴雨次数偏少的时期,而20世纪70年代、80年代以及2012年以来处于偏多的时期。

2) 广东区域性暴雨过程一年中均可发生,主要出现在4—9月,占全年区域性暴雨次数的81.9%,其中45.4%出现在前汛期(4—6月),36.5%出现在后汛期(7—9月)。最多发生在5月,占总次数的18.1%,其次6月,占总次数的占14.1%,最少出现在12月,占总次数的1.4%。

3) 广东平均区域性暴雨过程持续时间为2.3 d,最长为17 d(1968年的6月9—25日),平均范围为20.3站,最大范围为83个站,出现在2016年的1月28日。综合强度指数最强的暴雨过程出现在2005年的6月12—24日,该过程出现了最大过程降水量1385.1 mm(龙门站),这与“05.6”广东特大暴雨洪涝相吻合。

4) 根据广东雨涝年景指数定义计算,近57年中广东年景雨涝强年有5年:2008年、2001年、1973年、1994年、1993年,与历史上洪涝灾害一致。近57年来,广东雨涝年景指数以0.17/(10 a)的速率显著上升。区域性暴雨过程的次数和强度存在明显的月际变化,强度最大出现在6月,次数最多出现在5月。

5) 近57年来,广东不同等级区域性暴雨过程的变化趋势存在明显差异。较强和强等级的区域性暴雨过程次数呈显著增加趋势,较弱等级区域性暴雨次数呈显著减少趋势。

## 参 考 文 献

- [1] 何立富,陈涛,孔期. 华南暖区暴雨研究进展. 应用气象学报, 2016,27(5):559-569.
- [2] 赵玉春,王叶红. 近30年华南前汛期暴雨研究概述. 暴雨灾害, 2009,28(3):193-202;228.
- [3] 谢炯光,纪忠萍,谷德军,等. 广东省前汛期连续暴雨的气候背景及中期环流特征. 应用气象学报, 2002,24(2):17-19.
- [4] 彭丽英,王谦谦,马慧. 华南前汛期暴雨气候特征的研究. 南京气象学院学报, 2006,29(2):249-253.
- [5] 郑彬,梁建茵,林爱兰,等. 华南前汛期的锋面降水和夏季风降水1. 划分日期的确定. 大气科学, 2006,50(6):1207-1216.
- [6] 张婷,魏凤英. 华南地区汛期极端降水的概率分布特征. 气象学报, 2009,67(3):442-451.
- [7] 王东海,夏茹娣,刘英. 2008年华南前汛期致洪暴雨特征及其对比分析. 气象学报, 2011,69(1):137-148.
- [8] 伍红雨,杜尧东,秦鹏. 华南暴雨的气候特征及变化. 气象, 2011,37(10):1262-1269.
- [9] 伍红雨,杜尧东,陈桢华,等. 华南雨日、雨强的气候变化. 热带气象学报, 2011,27(6):877-888.
- [10] 张瑞禹,徐明,汪小康,等. 华南前汛期持续暴雨环流特征分析. 暴雨灾害, 2012,31(3):264-271.
- [11] 林爱兰,李春晖,郑彬,等. 广东前汛期持续性暴雨的变化特征及其环流形势. 气象学报, 2013,71(4):628-642.
- [12] 林爱兰,谷德军,郑彬,等. 6月广东持续性暴雨过程概念模型的建立. 热带气象学报, 2015,31(3):289-299.
- [13] 林爱兰,谷德军,李春晖,等. 广东6月持续性暴雨期间的大气环流异常. 气象学报, 2015,73(5):803-818.
- [14] 卞洁,李双林,何金海. 长江中下游地区洪涝灾害风险性评估. 应用气象学报, 2011,22(5):604-611.
- [15] 郑国,薛建军,范广洲,等. 淮河上游暴雨事件评估模型. 应用气象学报, 2011,22(6):753-759.
- [16] 扈海波,轩春怡,诸立尚. 北京地区城市暴雨积涝灾害风险预防评估. 应用气象学报, 2013,24(1):99-108.
- [17] 甘衍军,徐晶,赵平,等. 暴雨致洪预报系统及其评估. 应用气象学报, 2017,28(4):385-398.

- [18] 李春梅,刘锦鉴,潘蔚娟,等.暴雨综合影响指标及其在灾情评估中的应用.广东气象,2008,30(4):1-4.
- [19] 罗艳艳,何金海,邹燕,等.华南前汛期雨涝强、弱年的确定及其环流特征对比.气象科学,2015,35(2):160-166.
- [20] 邹燕,叶殿秀,林毅,等.福建区域性暴雨过程综合强度定量化评估方法.应用气象学报,2014,25(3):360-364.
- [21] Hyndman R J, Fan Y N. Sample quantiles in statistical packages. *Am Statist*, 1996, 50(4):361-365.
- [22] 广东省防灾减灾年鉴编写组.广东省防灾减灾年鉴(1994—2016年卷).广州:岭南美术出版社,1995-2017.
- [23] 宋丽莉.中国气象灾害大典(广东卷).北京:气象出版社,2006.
- [24] 广东省地方史志编纂委员会编.广东省志(自然灾害志).广州:广东人民出版社,2001.
- [25] 叶萌,张东,何夏江.“05.6”广东致洪暴雨过程的预报着眼点.广东气象,2006,28(1):35-38.
- [26] 何立富,周庆亮,陈涛.“05.6”华南暴雨中低纬度系统活动及相互作用.应用气象学报,2010,21(4):387-394.
- [27] 张德苏,刘作挺,梁国锋,等.阳江市 2001 年 6 月 7 到 8 日连续特大暴雨过程分析.广东气象,2002,24(2):17-19.
- [28] 李丽平,章开美,王超,等.近 40 年华南前汛期极端降水时空演变特征.气候与环境研究,2010,15(4):443-450.
- [29] 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.南京气象学院学报,2012,35(5):570-577.
- [30] 徐雨晴,苗秋菊,沈永平.2008 年:气候持续变暖,极端事件频发.气候变化研究进展,2009,5(1):56-60.
- [31] 张培群,贾小龙,王永光.2008 年海洋和大气环流异常及对对中国气候的影响.气象,2009,35(4):112-116.
- [32] 王婷,胡娅敏,潘蔚娟.2008 年广东“史上最强大龙舟水”的气候成因.广东气象,2008,30(4):5-7.
- [33] 薛纪善.1994 年华南夏季特大暴雨研究.北京:气象出版社,1999.
- [34] 陈超,卢山,任志杰,等.强西南季风背景下 1311 号台风“尤特”的暴雨特征分析.广东气象,2015,37(2):13-17.
- [35] 林建,杨贵名.近 30 年中国暴雨时空特征分析.气象,2014,40(7):816-856.

## Quantitative Assessment of Regional Heavy Rainfall Process in Guangdong and Its Climatological Characteristics

Wu Hongyu<sup>1)2)</sup> Zou Yan<sup>3)</sup> Liu Wei<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Guangdong Provincial Climate Center, Guangzhou 510641)

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

<sup>3)</sup> (Fujian Provincial Climate Center, Fuzhou 350001)

### Abstract

Using daily precipitation data of 86 meteorological stations in Guangdong from 1961 to 2017, the standard of regional heavy rainfall process is defined. Assessment methods on composite intensity of regional heavy rainfall process in Guangdong are constructed, which take duration, range, maximum daily precipitation and maximum accumulated precipitation during the process into consideration. Characteristics and changes of the frequency, intensity and rain-waterlogging years of regional heavy rainfall process in Guangdong in recent 57 years are studied. 1211 regional heavy rainfall processes are captured, and the annual average frequency is 21.2 times. There are obvious interannual and interdecadal variations, the highest frequency occurs in 2016 (30 times), and the lowest occurs in 1963 (13 times). The annual frequency of regional heavy rainfall process in Guangdong increases at a rate of 0.08/(10 a) in recent 57 years, though not quite significant. The regional heavy rainfall process in Guangdong mainly occurs from April to September, accounting for 81.9% in the year, among which 45.4% processes occur in the first flood season (April—June), and 36.5% processes occur in the second flood season (July—September). The average duration of single regional heavy rainfall process in Guangdong is 2.3 d, and the longest is 17 d (9—25 June 1968). The average range of a single process covers 20.3 stations, and the process occurring on 28

January 2016 is observed by the most stations (83). The regional heavy rainfall process with the maximum composite intensity index occurs during 12–24 June 2005, reaching 1385.1 mm (Longmen), and this coincides “05.6” torrential rains and floods in Guangdong. The frequency and strength of the regional heavy rainfall process in Guangdong have intermonth, interannual and inter-decade variations, the frequency in May is the highest, and the strength in June is the highest. The annual harvest index of the rain waterlogging in Guangdong increases obviously at a rate of 0.17/(10 a) in recent 57 years. Regional heavy rainfall processes of relatively strong and strong class increase significantly, while those of relatively weak class decrease obviously in recent 57 years. Evaluation results show that there are five heavy rain waterlogging years, i. e. , 2008, 2001, 1973, 1994, 1993.

**Key words:** Guangdong; regional heavy rainfall process; composite intensity index