

董旭光, 顾伟宗, 邱燊, 等, 2018. 山东省汛期小时降水过程时空分布特征[J]. 气象, 44(8): 1063-1072.

山东省汛期小时降水过程时空分布特征^{*}

董旭光¹ 顾伟宗² 邱 燊¹ 曹 洁¹

1 山东省气候中心, 济南 250031

2 山东省气象局大气探测技术保障中心, 济南 250031

提 要: 利用山东省74个气象站1961—2012年逐时降水观测数据, 分析了山东省汛期(5—9月)短历时和持续性降水过程的时空分布特征。结果表明: (1) 过程降水量和过程历时显著增大使得山东省汛期总降水量略有增加, 持续性降水过程次数、过程降水量、过程历时的增加对总降水量增加的贡献最大。(2) 短历时总降水量以鲁中山区、鲁东南地区最多, 鲁东南沿海、半岛东部持续性总降水量最多; 短历时过程降水量、平均雨强以鲁东南向西北方向经鲁中山区至德州一带最大, 持续性过程降水量、平均雨强在半岛东部和鲁东南部分地区最大。(3) 短历时峰值雨强以鲁中山区周边地区较大, 持续性峰值雨强以鲁南、鲁东南、半岛东部较大。(4) 鲁中山区、鲁南及半岛个别地区短历时降水一般开始于午后(13—18时), 鲁中山区周边及半岛沿海一带多以夜雨为主, 持续性降水过程开始时间多出现在夜间。

关键词: 降水过程, 短历时降水, 持续性降水, 变化趋势, 山东省

中图分类号: P468

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.08.008

Spatio-Temporal Distribution Characteristics of Hourly Precipitation in Shandong Province in Flood Season

DONG Xuguang¹ GU Weizong² QIU Can¹ CAO Jie¹

1 Shandong Climate Centre, Jinan 250031

2 Atmospheric Sounding and Technical Support Center of Shandong Meteorological Service, Jinan 250031

Abstract: Based on the hourly precipitation data in Shandong Province during 1961—2012 from 74 weather stations, spatio-temporal distribution characteristics of short-duration and long-duration precipitation events in flood season (May—September) in Shandong are analyzed. The results show that: (1) the increase of process precipitation and process duration makes the total precipitation amount in Shandong in flood season increase slightly. The frequency of continuous precipitation processes, the increase of process precipitation, and the increase of process duration make the greatest contribution to the increase of total precipitation. (2) The total precipitation of short-duration is the most in the mountain areas of the central and southeast parts of Shandong while the persistent total precipitation is the most in the southeast coast of Shandong and the eastern part of the peninsula. The short-duration precipitation and the average rainfall intensity are the largest from southeast Shandong to Dezhou region, and, in contrast, the sustained rainfall and the average rainfall intensity are the largest in the eastern part of the peninsula and the southeast part of Shandong. (3) The short-duration rain intensity peak is greater in the surrounding areas of the mountain area in central Shandong, and the sustained rain intensity peak is higher in the southern and southeastern parts of Shandong as well as the eastern part of the peninsula. (4) The short-duration precipitation in

^{*} 国家自然科学基金项目(41275073)和山东省气象局科研项目(2015sdqxm05、2016sdqxz02)共同资助

2017年2月7日收稿; 2017年9月19日收修定稿

第一作者: 董旭光, 主要从事气候变化和气候应用研究. Email: dongxugg@sina.com

the mountain area of central and southern parts of Shandong and some places of the peninsula generally occur from 13:00 BT to 18:00 BT in the afternoon. Around the mountain area in central Shandong and the coastal area of the peninsula, it rains mostly at night and also the beginning time of the continuous precipitation appears at night mostly.

Key words: precipitation process, short-duration rainfall, sustained rainfall, variation trend, Shandong

引 言

全球气候变暖是非常明确的(IPCC, 2014), 将影响地球的水循环, 使地球更加干湿分明, 从而高温、暴雨、干旱、洪涝、台风等极端气候事件频发, 造成的不利影响和危害越来越大。在中国, 最近 50 年(相对于 2005 年)全国总降水量呈微弱减少趋势, 但是区域差异明显, 华北地区年降水量和极端降水量均呈减少趋势(Zhai et al, 2005), 但华北地区极端降水量在总降水量中的比重呈增加趋势(翟盘茂等, 2007)。由逐时降水资料提取的短时强降水的增加速率可能大于由日降水资料提取的极端降水增加速率, 短时强降水对于局地洪涝灾害和土壤侵蚀等都有重要影响(Hichens et al, 2013; 宇如聪等, 2014)。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, 有助于深入理解东亚季风系统和局地降水系统等不同时空尺度的降水影响因子与形成机理。

近年来, 由于时间和空间分辨率更高的降水资料的出现和丰富, 更深层次地增加了对不同地区降水持续性、日变化特征及形成机制的认识。研究表明, 降水变化的海陆差异明显, 物理机制不同, 在复杂地形及海陆分布的影响下, 一些陆地地区存在午夜至凌晨的降水峰值(宇如聪等, 2014; 伍红雨等, 2017)。Yu et al (2004; 2007a; 2007b) 和 Yu and Zhou (2007) 利用长序列的逐时台站降水资料分析发现, 长持续性降水的峰值多出现在夜间和清晨, 短持续性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时降水峰值的原因之一, 持续性降水峰值则多与大尺度环流相联系(Chen et al, 1983; 李建等, 2008)。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(Yuan et al, 2010)。殷水清等(2012)分析了海河流域夏季逐时降水变化趋势, 发现长短历时降水量均呈减少趋势, 但短历时降水

量比重增加, 短历时降水过程平均雨强和峰值雨强呈增加趋势, 到达峰值雨强时间略提前, 可能与对流层上下层热力差异加剧有关。Li et al (2011) 对比了华北和长江中下游地区长、短历时降水过程, 表明近 50 年来“北旱”主要与长历时降水减少有关, “南涝”由长短历时降水共同增加造成。原韦华等(2014)指出, 淮河南北地区持续性强降水中的降水强度和频次的日变化峰值差异明显, 淮河北部持续性强降水开始时间较南部早, 同时降水从开始到峰值历时更短。于文勇等(2012)研究表明, 中国东南、江淮和黄淮、东北和华北地区降水平均持续时间夏季季节内变化对应了季风雨带的“北跳和南撤”过程。前期逐时降水方面的研究多关注降水量等方面日变化特征, 针对不同历时降水过程降水量、频次、强度的研究较少。本文利用高时空分辨率的逐时降水资料, 从不同历时降水过程降水量、频次、强度等方面, 详细地比较山东省不同历时降水过程变化特征的异同, 进一步增进对我国东部降水日变化及形成机制的理解。

山东地处中纬度地区, 属暖温带季风气候区, 雨热同季, 下垫面特征复杂, 同时山东年降水偏少且主要出现在汛期(5—9 月), 造成降水时空分布差异明显, 旱涝等自然灾害频发, 气象灾害带来的损失日益严重(王建国, 2005)。受地面观测资料的限制, 以往针对山东降水方面的研究主要侧重利用长时间序列的日、月等尺度上的降水资料研究其平均态(迟竹萍, 2009; 董旭光等, 2014)或单一极端降水指数(郭军等, 2010; Xue and Wang, 2010)时空分布及变化特征(高留喜和刘秦玉, 2005; 徐宗学等, 2007; 杨士恩和王启, 2007)。针对山东省区域的逐时降水及降水过程变化特征方面的研究极少见, 因此, 本文利用山东 74 个气象站点 1961—2012 年汛期逐时降水资料, 研究山东省不同历时降水过程的时空分布特征, 以此更深入地了解山东省不同历时降水过程的变化情况, 可为城市防汛、内涝、中小河流暴雨洪涝风险防范等提供参考。

1 资料和方法

本文所用降水资料为中国国家级地面气象站逐小时降水数据集,该资料由中国气象局气象信息中心提供并经过质量控制。受资料的限制,本文选用了山东省 74 个气象站 1961—2012 年汛期 5—9 月逐时降水资料。

小时降水量 ≥ 0.1 mm 的时次判定为有降水发生(原韦华等,2014),为降水小时(不足 1 h 则按 1 h 计)(殷水清等,2012;宋晓猛等,2015)。为研究不同历时降水过程的时空分布特征,首先识别并统计了各站的降水过程。以 2 h 为界限划分两次降水事件,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。将一次降水过程开始至结束间的小时数定义为降水的持续时间(h),此时段内的小时降水量之和定义为降水过程雨量(mm),降水平均雨强($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)定义为降水过程雨量除以降水过程历时,峰值雨强($\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)定义为一次降水过程中最大的小时降水雨强。到达峰值雨强历时(h)定义为从降水开始至峰值雨强出现时刻之间的历时(殷水清等,2012)。将降水开始最频繁的时刻定义为降水开始时间。降水过程雨量均大于 0.1 mm,降水过程历时均大于 1 h。由于不同历时降水过程表现出不同的时空变化特征和趋势(李建等,2008),将降水持续时间 ≤ 6 h 的降水定义为短历时降水,而降水持续时间 > 6 h 的降水定义为持续性降水(殷水清等,2012;原韦华等,2014,宋晓猛等,2015)。

在研究降水过程长期特征时,采用最小二乘法

计算线性趋势,采用非参数 Mann-Kendall 检验方法进行趋势分析和突变点分析,这是一种非参数的秩序检验法,为世界气象组织所推荐,在全球范围应用广泛(Song et al, 2014)。采用反距离加权(Inverse Distance Weighted,简称 IDW)插值法(张明军等,2009)对短历时和持续性降水过程参数结果进行插值。

2 短历时和持续性降水基本特征

山东省汛期总降水、短历时降水、持续性降水各统计量 74 站平均值和气候倾向率见表 1。汛期总降水各统计量中总降水过程次数和平均雨强呈减小变化趋势,但减小趋势均不显著(通过了 0.05 显著性水平检验, $P < 0.05$),其他各统计量为增大趋势,其中过程降水量、过程历时、达到峰值时间增大趋势极显著($P < 0.01$)。汛期短历时降水量为 $201.7 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$,占汛期总降水量的 40.2%,呈不显著的减少趋势,气候倾向率为 $-0.847 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,持续性降水呈不显著的增加趋势,气候倾向率为 $1.130 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。短历时降水过程次数达到 43.5 次,占总次数的 79.4%,呈极显著的减少趋势,气候倾向率为 $-0.174 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,持续性降水过程次数则呈不显著的增加趋势。短历时和持续性降水过程降水量均呈不显著的增加趋势,降水过程历时均呈显著的增加趋势,平均雨强均呈不显著的减小趋势,短历时降水峰值雨强和达到峰值时间呈不显著的减小趋势,而持续性降水峰值雨强和达到峰值时间则呈不显著的增大趋势。

表 1 山东省汛期短历时和持续性降水过程基本特征

Table 1 Features of short-duration and long-duration rainfall events in Shandong in flood period

	总降水		短历时降水		持续性降水	
	平均	气候倾向率 / $[X \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$	平均	气候倾向率 / $[X \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$	平均	气候倾向率 / $[X \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$
总降水量/mm	502.2	0.349	201.7	-0.847	300.5	1.130
总降水过程次数/次	54.8	-0.139	43.5	-0.174**	11.3	0.033
降水过程降水量/mm	9.2	0.031**	8.6	0.015	26.5	0.032
降水过程历时/h	4.4	0.016**	2.4	0.001*	12.0	0.019*
平均雨强/ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	1.8	-0.001	1.6	-0.002	2.2	-0.001
峰值雨强/ $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$	37.9	0.403	30.4	-0.002	29.3	0.040
达到峰值时间/h	2.4	0.007**	1.5	-0.0001	5.9	0.007

注: X 代表不同统计量。* 代表变化趋势通过 0.05 显著性水平检验,** 代表变化趋势通过 0.01 显著性水平检验。

Note: X stands for different statistic. *, ** indicate the trend past 0.05 and 0.01 significant level test, respectively.

3 短历时和持续性降水时空变化特征

3.1 降水量

山东省汛期短历时总降水量以鲁中山区、鲁东南地区最多,超过 224.2 mm(图 1),向东、向西递减,鲁西、半岛东部最少,不足 191.0 mm。持续性总降水量由东南向西北、由半岛向内陆递减,鲁东南沿海、半岛东部总降水量最多,超过 357.8 mm,鲁西北、鲁北等地最少,低于 270.0 mm。过程降水量和总降水量空间分布类似,短历时过程降水量以鲁东南向西北方向经鲁中山区至德州一带最大(>5.0 mm),分别向东、向西递减,鲁西、鲁西南西部地区低于 4.7 mm,半岛东部则不足 4.3 mm;持续性过程降水量在半岛东部和鲁东南部分地区最大,超过 29.6 mm,鲁中山区以北包括鲁西、鲁中等地最小,低于 25.6 mm。

3.2 降水次数

山东省汛期短历时和持续性降水过程次数空间分布类似(图 2)。短历时、持续性过程降水次数以鲁中山区至鲁东南沿海,半岛东南部一带最多,短历时年平均降水过程次数大于 46.1 次,持续性则超过 12.6 次,均向西北方向逐渐递减,短历时降水过程次数以鲁西、鲁西北以及半岛西北部一带最少,年平均降水过程低于 41.9 次,持续性降水过程次数以鲁

西、鲁西北、鲁北一带最少,低于 10.7 次。

3.3 降水强度

山东省汛期短历时降水平均雨强空间分布与过程降水量类似(图 3),以鲁东南向西北方向经鲁中山区至德州一带最大(>1.8 mm·h⁻¹),分别向东、向西递减,半岛东部最小(<1.6 mm·h⁻¹)。持续性降水平均雨强以鲁中山区中南部至鲁东南、半岛东部一带最大(>2.4 mm·h⁻¹),鲁中山区西北部至莱州湾沿海较小(<2.1 mm·h⁻¹)。

短历时峰值雨强空间分布较零散,鲁中山区周边地区峰值雨强较大,普遍超过 72.1 mm·h⁻¹,部分地区超过 97.4 mm·h⁻¹,鲁中山区东部至半岛一带较小,多小于 72.1 mm·h⁻¹。持续性峰值雨强以鲁南、鲁东南、半岛东部最大,普遍大于 85.0 mm·h⁻¹,部分地区超过 102.6 mm·h⁻¹,鲁中山区以北至鲁北一带最小,普遍小于 71.0 mm·h⁻¹。

3.4 降水历时

山东省汛期短历时降水过程历时(各地在 2.4~2.6 h)和降水开始到峰值雨强历时(各地在 1.46~1.61 h)空间分布类似(图 4),鲁中山区、鲁北、半岛北部一带,短历时降水过程历时为 2.6 h,开始到峰值雨强历时大于 1.53 h。

持续性降水过程历时(各地在 11.1~13.0 h)、开始到峰值雨强历时(各地在 5.2~6.4 h)空间分布与短历时大致相反,持续性降水过程历时在鲁西

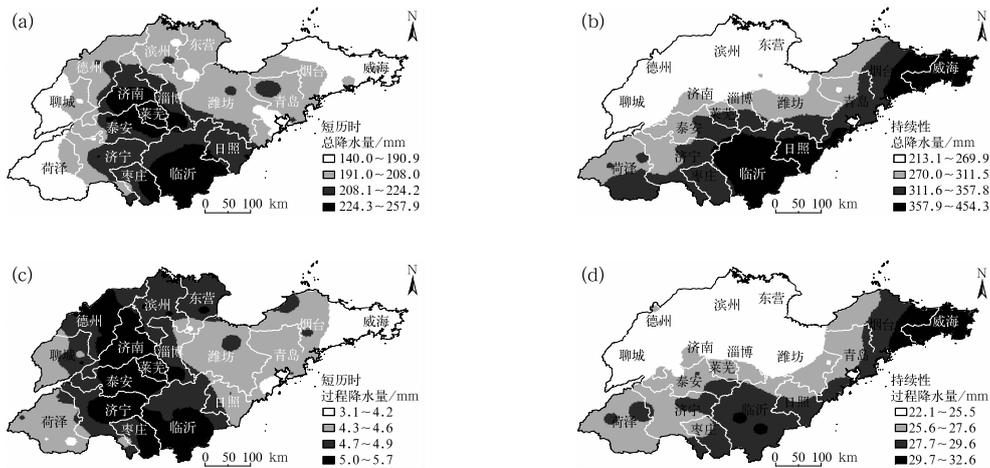


图 1 短历时(a,c)和持续性(b,d)总降水量(a,b)、过程降水量(c,d)空间分布
 Fig. 1 Spatial distribution of short-duration (a, c) and long-duration (b, d) total precipitation amounts (a, b), and process precipitation amounts (c, d)

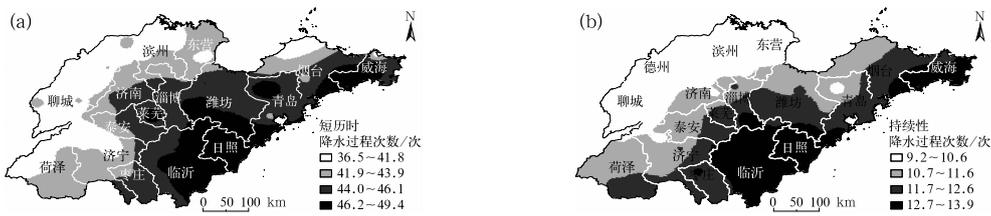


图 2 短历时(a)和持续性(b)降水过程次数空间分布
 Fig. 2 Spatial distribution of short-duration (a) and long-duration (b) precipitation frequencies

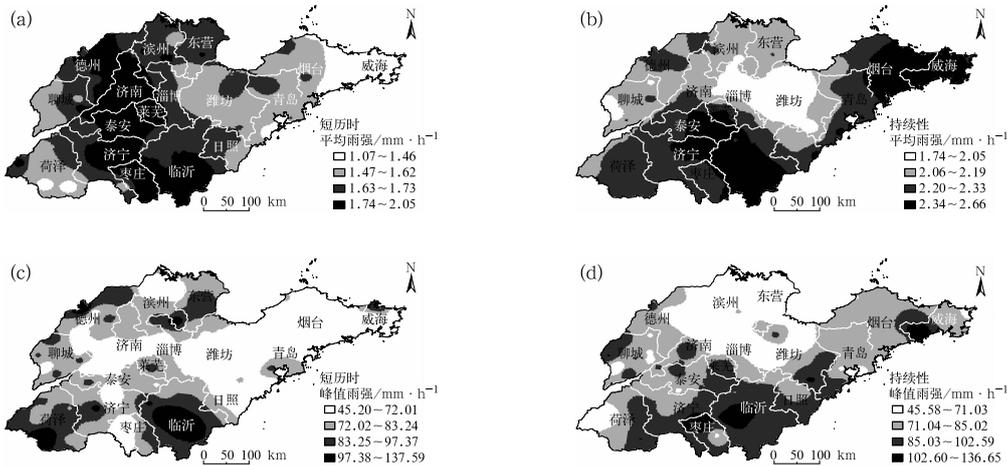


图 3 同图 1, 但为降水过程平均雨强(a,b)、峰值雨强(c,d)
 Fig. 3 Same as Fig. 1, but for average (a, b) and peak (c, d) precipitation intensities

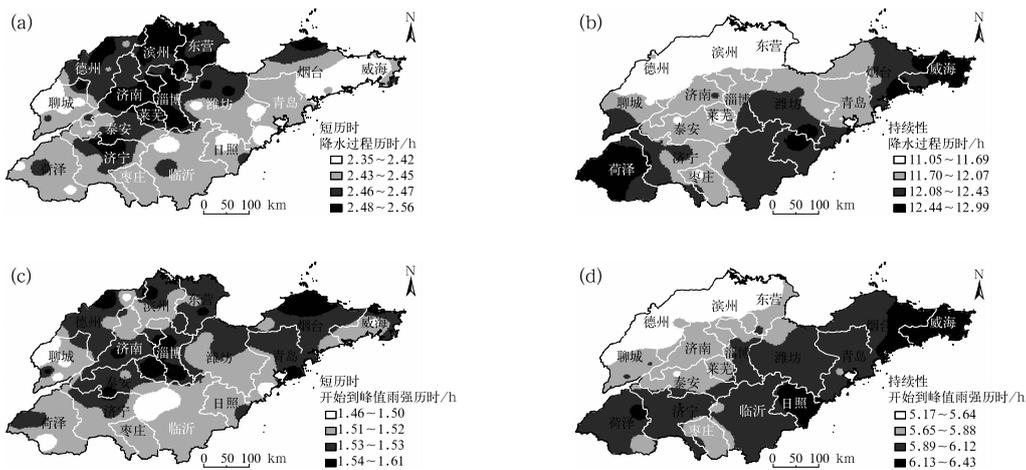


图 4 同图 1, 但为降水过程历时(a,b)、降水开始到峰值雨强历时(c,d)
 Fig. 4 Same as Fig. 1, but for precipitation duration (a, b) and the duration of precipitation from beginning to peak (c, d)

南、鲁东南、半岛东部一带最长, 超过 12.5 h, 鲁西北、鲁北一带最短, 低于 11.7 h, 持续性开始到峰值雨强历时在鲁南、鲁东南、半岛东部一带最长, 超过 6.2 h, 鲁西北、鲁北一带最短, 不足 5.7 h。

3.5 降水过程开始时间

山东各地短历时降水过程开始时间差异明显(图5), 鲁中地区、鲁南及半岛个别地区降水一般开

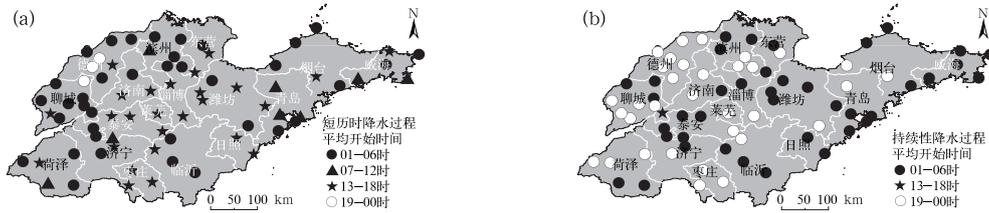


图 5 同图 2, 但为降水过程开始时间

Fig. 5 Same as Fig. 2, but for the onset time of precipitation

始于午后(13—18时),鲁中山区周边及半岛沿海一带多以夜雨为主,降水开始时间多在夜间。这与林之光(1995)的研究结果一致,他指出山区以日雨为主,平原、盆地以夜雨为主。持续性降水过程开始时间多发生在夜间(图 5),鲁西北、鲁西、鲁南等地多发生在前半夜(19—00时),鲁东南、鲁北、鲁中山区西部、半岛沿海等地多发生在后半夜(01—06时)。山东沿海地区短历时和持续性降水多发生在后半夜,主要原因是海陆热力差异引起的海陆风日变化。夏季下午和傍晚,陆地上空的大气温度高于海洋,而午夜到凌晨,海洋上空的大气温度高于陆地,导致与白天相反的海陆循环(Dai, 2001)。另外,夜晚云层顶部的辐射冷却致使边界层变得不稳定,促进海洋上空对流发展(殷水清等, 2012)。因此,海上降水一般在凌晨发生,受其影响,沿海地区降水日变化也表现出同样特征。

从图 6 短历时和持续性降水过程开始时间台站数可以看出,共计 92% 的台站短历时降水开始时间出现在早晨 05—07 时以及午后 15—19 时,早晨 05—07 时台站占比为 53%,其中 06 时最多,午后 15—19 时台站占比为 39%。持续性降水开始时间出现在夜间 21 时至次日 03 时的台站占比达到 92%,持续性降水开始时间出现在 00—02 时各时次的台站均超过 10 个,合计台站占比达到 59%。

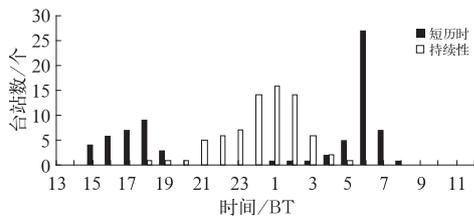


图 6 短历时和持续性降水过程开始时间台站数

Fig. 6 The number of weather stations of short-duration and long-duration precipitation events at the beginning time

4 短历时和持续性降水变化趋势

4.1 降水量

山东省各地汛期短历时总降水量气候倾向率在 $-32.99 \sim 11.59 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (图 7), 有 59 个站点呈减少变化趋势, 其中有 14 个站点减少趋势显著 ($P < 0.05$)。仅鲁西、鲁西北及半岛少数地区有不显著的增加趋势。持续性总降水量气候倾向率在 $-12.93 \sim 69.28 \text{ mm} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 呈增加趋势的站点有 64 个, 其中有 22 个站点增加趋势显著 ($P < 0.05$)。仅鲁西北、半岛少数地区有不显著的减少趋势。

短历时过程降水量呈减少趋势的站点有 35 个, 仅东明站减少趋势显著, 乐陵、济阳、临邑站增加趋势显著。持续性过程降水量有 54 站呈增加趋势, 其中位于鲁中东部、半岛地区的 8 站增加趋势显著, 其他站点减少趋势不显著。

4.2 降水次数

短历时降水过程次数气候倾向率在 $-3.96 \sim 0.98 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (图 8), 呈减少趋势的站点达到 70 个, 其中鲁中山区周边、半岛南部地区的 25 个站点减少趋势显著。鲁西、鲁南、鲁中山区、半岛东部少数地区有不显著的增加趋势。持续性降水过程次数气候倾向率在 $-0.39 \sim 1.70 \text{ 次} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$, 呈增加趋势的站点达到 67 个, 其中鲁西、鲁西北、鲁西南、鲁东南等地增加趋势显著。仅半岛中东部地区有不显著的减少趋势。

4.3 降水强度

短历时过程平均雨强气候倾向率在 $-0.29 \sim 0.09 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (图 9), 鲁西、鲁南、鲁东

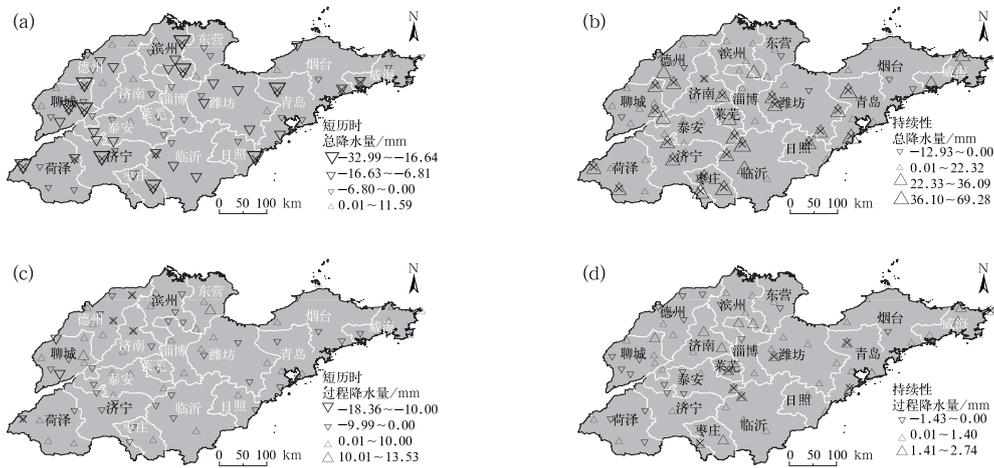


图 7 短历时(a,c)和持续性(b,d)总降水量(a,b)、过程降水量(c,d)变化趋势
 Fig. 7 Variation trend of short-duration (a, c) and long-duration (b, d) total precipitation amounts (a, b), and process precipitation amounts (c, d)

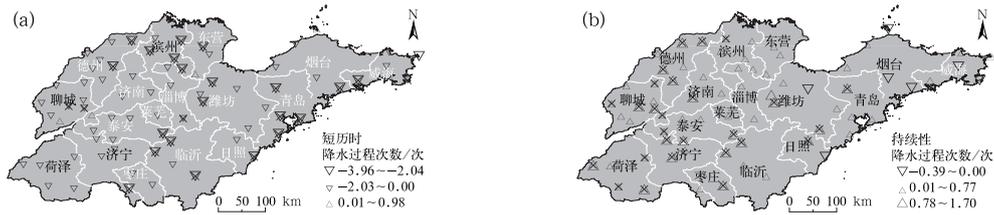


图 8 短历时(a)和持续性(b)降水过程次数变化趋势
 Fig. 8 Variation trend of short-duration (a) and long-duration (b) precipitation frequencies

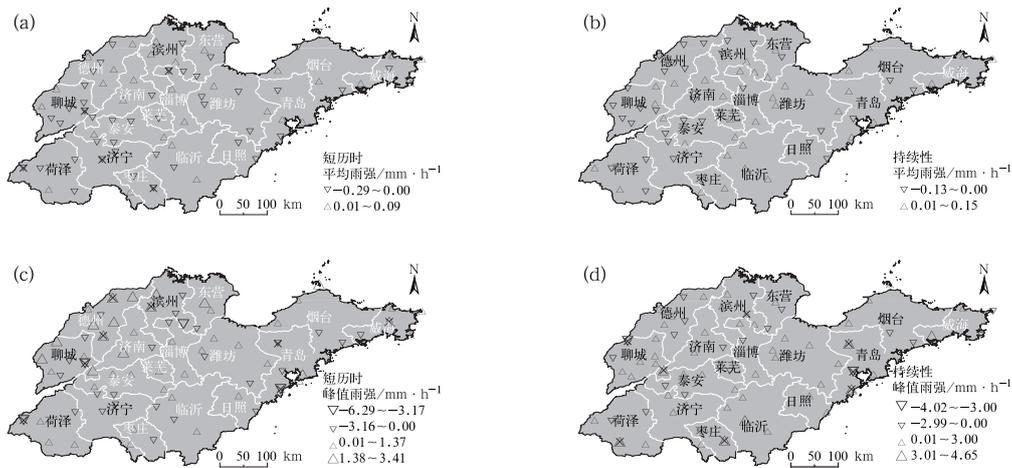


图 9 同图 7,但为平均雨强(a,b)、峰值雨强(c,d)
 Fig. 9 Same as Fig. 7, but for average (a, b), and peak (c, d) precipitation intensities

南、半岛等地有 43 站呈减小趋势,其中 5 站减小趋势显著,其他站点趋势不显著。持续性过程平均雨强气候倾向率在 $-0.13 \sim 0.15 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot$

$(10 \text{ a})^{-1}$,鲁中山区西部和西南部、鲁北、半岛南部等地有 32 站呈不显著地减少趋势,鲁中山区东北部和东部、鲁南、半岛北部和东部等地呈不显著的增加

趋势。

短历时过程峰值雨强气候倾向率在 $-6.29 \sim 3.41 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,鲁西北、鲁北、鲁西南、鲁中、半岛北部和东部等地共计45站呈增大趋势,其中4站增大趋势显著。鲁南、半岛南部等地有39站呈减小趋势,其中4站减小趋势显著。持续性过程峰值雨强气候倾向率在 $-4.02 \sim 4.65 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,鲁西、鲁西北、鲁南、鲁东南、半岛北部等地有54站呈增大趋势,其中4站增大趋势显著,有2站减小趋势显著。

4.4 降水历时

短历时过程降水历时气候倾向率在 $-0.06 \sim 0.08 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ (图9),鲁西、鲁中山区西部、鲁南、半岛东部等地有21站呈减小趋势,仅威海站减小趋势显著,鲁北、鲁东南、鲁中山区东部、半岛南部沿海等地有53站呈增大趋势,其中有10站增大趋势显著。持续性过程降水历时气候倾向率在 $-0.14 \sim 0.72 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,全省大部地区共66站呈增大趋势,其中鲁中东部、鲁南、胶州湾等地有13站增大趋势显著,其他站点减小趋势均不显著。

短历时过程开始到峰值雨强历时气候倾向率在 $-0.04 \sim 0.04 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,鲁北、鲁西、鲁南、半岛中部和东部等地36站呈减小趋势,其中聊城、威海、泰安3站减小趋势显著,其他地区临清、诸城、青岛、胶州4站增大趋势显著。持续性过程开始到峰值雨强历时气候倾向率在 $-0.18 \sim 0.43 \text{ h} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,鲁

西北等地有17站呈减小趋势,但均不显著,其他全省大部地区均呈增大趋势,其中高清、青岛、崂山3站增大趋势显著。

5 结论与讨论

(1) 山东省汛期降水过程降水量、过程历时、达到峰值时间均呈极显著地增加趋势;短历时降水过程次数的极显著减少是山东降水次数减少的主要原因;降水过程历时的延长是短历时和持续性降水共同影响的结果;虽然短历时总降水量减少,但持续性总降水量增加更多,造成汛期总降水量增加;汛期平均雨强略有减小;总降水和持续性降水峰值雨强有增大的趋势,短历时降水峰值雨强略有减小;总降水和持续性降水达到峰值雨强时间有增加趋势,短历时降水则略有减小。

(2) 山东省汛期短历时总降水量以鲁中山区、鲁东南地区最多,鲁东南沿海、半岛东部持续性总降水量最多;短历时过程降水量、平均雨强以鲁东南向西北方向经鲁中山区至德州一带最大,持续性过程降水量、平均雨强在半岛东部和鲁东南部分地区最大;短历时、持续性过程降水次数以鲁中山区至鲁东南沿海,半岛东南部一带最多;短历时峰值雨强以鲁中山区周边地区较大,持续性峰值雨强以鲁南、鲁东南、半岛东部最大;短历时降水过程历时、降水开始到峰值雨强历时以鲁中山区、鲁北、半岛北部一带较长,持续性降水过程历时、降水开始到峰值雨强历时

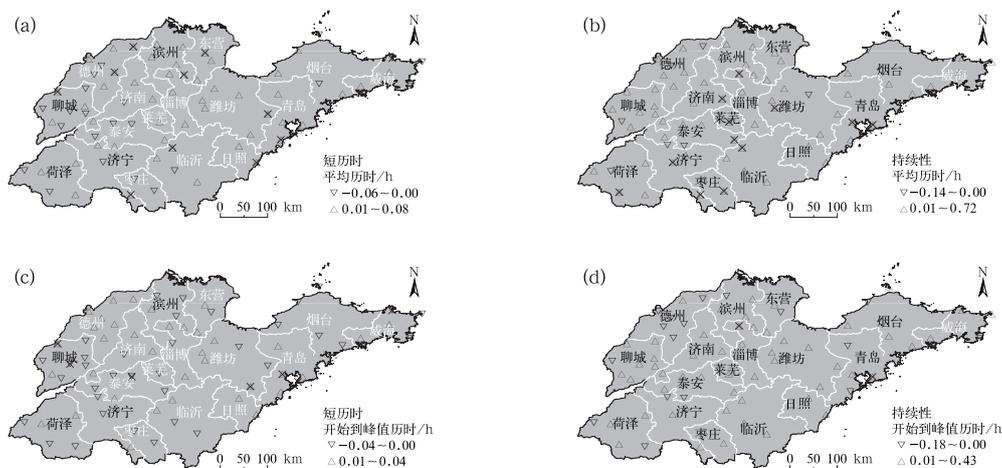


图10 同图7,但为平均历时(a,b)、开始到峰值雨强历时(c,d)

Fig. 10 Same as Fig. 7, but for average duration (a, b) and the duration of precipitation from beginning to peak (c, d)

以鲁西南、鲁东南、半岛东部一带较长;鲁中地区、鲁南及半岛个别地区短历时降水开始时间一般于午后(13—18时),鲁中山区周边及半岛沿海一带多以夜雨为主,持续性降水过程平均开始时间多发生在夜间。

(3) 山东省汛期短历时总降水量以鲁中山区周边、半岛南部部分站点减少趋势最显著,而持续性总降水量以鲁中山区、鲁南、半岛西南部增加趋势最显著;短历时过程降水量东明站减少趋势,乐陵、济阳、临邑站增加趋势显著,持续性过程降水量以鲁中东部、半岛地区的8站增加趋势显著;短历时降水过程次数呈减少趋势的站点达70个,其中鲁中山区周边、半岛南部地区的25个站点减少趋势显著,持续性降水过程次数呈增加趋势的站点达到67个,其中鲁西、鲁西北、鲁西南、鲁东南等地增加趋势显著;短历时过程平均雨强在鲁西、鲁南、鲁东南、半岛等地有43站呈减小趋势,其中5站减小趋势显著,持续性过程平均雨强在鲁中山区西部和西南部、鲁北、半岛南部等地呈不显著地减少趋势,鲁中山区东北部和东部、鲁南、半岛北部和东部等地呈不显著地增加趋势;短历时过程峰值雨强在鲁西北、鲁北、鲁西南、鲁中、半岛北部和东部等地共计45站呈增大趋势,其中4站增大趋势显著,持续性过程峰值雨强鲁西、鲁西北、鲁南、鲁东南、半岛北部等地有54站呈增大趋势,其中4站增大趋势显著,2站减小趋势显著;短历时过程降水历时在鲁北、鲁东南、鲁中山区东部、半岛南部沿海等地有53站呈增大趋势,其中有10站增大趋势显著,持续性过程降水历时全省大部地区共66站呈增大趋势,其中鲁中东部、鲁南、胶州湾等地有13站增大趋势显著;短历时过程开始到峰值雨强历时仅聊城、威海、泰安3站减小趋势显著,临清、诸城、青岛、胶州4站增大趋势显著,持续性过程开始到峰值雨强历时全省大部地区均呈增大趋势,其中高清、青岛、崂山3站增大趋势显著。

山东省汛期总降水量略有增加,主要是由过程降水量和过程历时显著增大造成,持续性降水次数、过程降水量、过程历时的增加对总降水量的增加贡献最大。下垫面特征(林之光,1995;苏锦兰等,2015;王丛梅等,2017)是影响短历时和持续性总降水量、过程降水量、平均雨强等的空间分布差异和变化的主要原因之一。

山东省汛期短历时降水开始时间主要集中在凌晨和午后,持续性降水开始时间主要出现在夜间。

鲁中地区、鲁南及半岛个别地区短历时降水一般开始于午后(13—18时),鲁中山区周边及半岛沿海一带多以夜雨为主,这与林之光(1995)的研究结果一致,他指出山区以日雨为主,平原、盆地以夜雨为主。山东沿海地区短历时和持续性降水多发生在后半夜,主要原因是海陆热力差异引起的海陆风日变化。夏季下午和傍晚,陆地上空的大气温度高于海洋,而午夜到凌晨,海洋上空的大气温度高于陆地,导致与白天相反的海陆循环(Dai,2001)。另外,夜晚云层顶部的辐射冷却致使边界层变得不稳定,促进海洋上空对流发展(殷水清等,2012)。因此,海上降水一般在凌晨发生,受其影响,沿海地区降水日变化也表现出同样特征。

下午至傍晚的短历时降水可能源于太阳辐射加热的局地对流活动的影响,由于太阳辐射加热的日变化,低层大气在下午和傍晚易于达到不稳定状态,并激发出局地湿对流活动,形成短时降水(Yu et al, 2007a)。而开始于夜间至清晨的降水可能反映了东亚夏季风的影响。近几十年来中国北部地区夏季对流层上层冷却,东亚夏季风减弱(Yu et al, 2004; Yu and Zhou, 2007)。同时山东低层大气显著升温的背景下,使得区域内静力稳定度降低,更易于在午后和傍晚产生强对流活动,形成该时段短历时降水。

研究表明,山东省短历时降水量、过程降水强度并没有表现出明显的增加趋势,这可能与使用的资料长度、选取的站点、降水长短历时的划分规则等因素有关,为进一步得到短时和长持续性降水事件变化特征,可针对不同下垫面的站点数据进行更细致的降水过程划分,如降水历时在3h内的划分为短时降水过程或对逐时、逐分钟降水数据进行短时强降水的统计分析,舍弃参与统计的小时或分钟弱降水数据,可能会更细致地刻画降水过程的演变规律。

参考文献

- 迟竹萍,2009.近45年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析[J].高原气象,28(1):220-226.
- 董旭光,顾伟宗,孟祥新,等,2014.山东省近50年来降水事件变化特征[J].地理学报,69(5):661-671.
- 高留喜,刘秦玉,2005.山东春季降水的时空变化特征分析[J].高原气象,24(5):811-815.
- 郭军,任国玉,李明财,2010.环渤海地区极端降水事件概率分布特征[J].气候与环境研究,15(4):425-432.
- 李建,宇如聪,王建捷,2008.北京市夏季降水的日变化特征[J].科学通报,53(7):829-832.
- 林之光,1995.地形降水气候学[M].北京:科学出版社.

- 宋晓猛, 张建新, 刘九夫, 等, 2015. 北京地区降水结构时空演变特征[J]. 水利学报, 46(5): 525-535.
- 苏锦兰, 李建, 杨桂荣, 等, 2015. 横断山系云岭余脉点苍山东西侧小时降水特性对比分析[J]. 气象, 41(1): 17-24.
- 王丛梅, 俞小鼎, 李芷霞, 等, 2017. 太行山地地形影响下的极端短时强降雨分析[J]. 气象, 43(4): 425-433.
- 王建国, 2005. 山东气候[M]. 北京: 气象出版社: 24-46.
- 伍红雨, 李春梅, 刘蔚琴, 2017. 1961—2014 年广东小时强降雨的变化特征[J]. 气象, 43(3): 305-314.
- 徐宗学, 孟翠玲, 赵芳芳, 2007. 山东省近 40a 来的气温和降水变化趋势分析[J]. 气象科学, 27(4): 387-393.
- 杨士恩, 王启, 2007. 山东夏季降水的气候特征及其成因[J]. 热带气象学报, 23(1): 65-71.
- 殷水清, 高歌, 李维京, 等, 2012. 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, 42(2): 256-266.
- 于文勇, 李建, 宇如聪, 2012. 中国地区降水持续性的季节变化特征[J]. 气象, 38(4): 392-401.
- 宇如聪, 李建, 陈昊明, 等, 2014. 中国大陆降水日变化研究进展[J]. 气象学报, 72(5): 948-968.
- 原韦华, 宇如聪, 傅云飞, 2014. 中国东部夏季持续性降水日变化在淮河南北的差异分析[J]. 地球物理学报, 57(3): 752-759.
- 翟盘茂, 王萃萃, 李威, 2007. 极端降水事件变化的观测研究[J]. 气候变化研究进展, 3(3): 144-148.
- 张明军, 李瑞雪, 贾文雄, 等, 2009. 中国天山山区潜在蒸发量的时空变化[J]. 地理学报, 64(7): 798-806.
- Chen Taijie, 1983. Observational aspects of the Mei-Yu phenomenon in sub-tropical China[J]. J Meteor Soc Japan, 61: 306-312.
- Dai Aiguo, 2001. Global precipitation and thunderstorm frequencies. Part II: Diurnal variations[J]. J Climate, 14(6): 1112-1128.
- Hichens N M, Brooks H E, Schumacher R S, 2013. Spatial and temporal characteristics of heavy hourly rainfall in the United States [J]. Mon Wea Rev, 141(12): 4564-4575, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00297.1.
- IPCC. 2014. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability[M/OL]. Cambridge: Cambridge University Press, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/>.
- Li Jian, Yu Rucong, Yuan Weihua, et al, 2011. Changes in duration-related characteristics of late-summer precipitation over eastern China in the past 40 years[J]. J Climate, 24(21): 5683-5690, DOI: 10.1175/JCLI-D-11-00009.1.
- Song Xiaomeng, Zhang Jianyun, AghaKouchak A, et al, 2014. Rapid urbanization and changes in spatiotemporal characteristics of precipitation in Beijing metropolitan area[J]. J Geophys Res: Atmos, 119(19): 11250-11271, DOI: 10.1002/2014JD022084.
- Xue Deqiang, Wang Xingtang, 2010. The variation of extreme temperature and precipitation in Shandong Province during 1961—2008[J]. Meteor Environ Res, 1(5): 51-57.
- Yu Rucong, Wang Bin, Zhou Tianjun, 2004. Tropospheric cooling and summer monsoon weakening trend over East Asia[J]. Geophys Res Lett, 31(22): L22212, DOI: 10.1029/2004GL021270.
- Yu Rucong, Xu Youping, Zhou Tianjun, et al, 2007a. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China[J]. Geophys Res Lett, 34(13): L13703, DOI: 10.1029/2007GL030315.
- Yu Rucong, Zhou Tianjun, Xiong Anyuan, et al, 2007b. Diurnal variations of summer precipitation over contiguous China[J]. Geophys Res Lett, 34(1): L01704.
- Yu Rucong, Zhou Tianjun, 2007. Seasonality and three-dimensional structure of interdecadal change in the East Asian monsoon[J]. J Climate, 20(21): 5344-5355.
- Yuan Weihua, Yu Rucong, Chen Haoming, et al, 2010. Subseasonal characteristics of diurnal variation in summer monsoon rainfall over central eastern China[J]. J Climate, 23(24): 6684-6695.
- Zhai Panmao, Zhang Xuebin, Wan Hui, et al, 2005. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China[J]. J Climate, 18(7): 1096-1108, DOI: 10.1175/JCLI-3318.1.