

杨学斌,代玉田,王宁,等.2006—2015年山东短时强降水时空分布特征[J].海洋气象学报,2018,38(2):103-109.  
Yang Xuebin, Dai Yutian, Wang Ning, et al.Spatial and temporal distribution of short-term heavy rainfall in Shandong from 2006 to 2015[J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(2):103-109. DOI:10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.02.013. (in Chinese)

## 2006—2015年山东短时强降水时空分布特征

杨学斌,代玉田,王宁,周成  
(德州市气象局,山东 德州 253078)

**摘要:** 利用山东2006—2015年5—9月123个国家级气象观测站10 a逐小时降水量资料,统计分析山东短时强降水的时空分布特征,结果表明:1)站次时空分布不均。鲁南易出现短时强降水,2013年最多,达到了564站次,7月最多,平均207站次,多出现在傍晚前后和凌晨。2)极值时空分布差异较大。10 a单站极值大值区分布在鲁西北、鲁南和半岛东部,2009年最多,为17站,且多夜间发生;10 a中年度极值均出现在13:00—次日02:00,8月最多,为7次。3)5、6、9月局地和小范围短时强降水天气过程所占比例较大,7—8月大范围短时强降水过程明显增加。

**关键词:** 山东; 短时强降水; 时空分布

**中图分类号:** P466 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-3599(2018)02-0103-07

**DOI:**10.19513/j.cnki.issn2096-3599.2018.02.013

## Spatial and temporal distribution of short-term heavy rainfall in Shandong from 2006 to 2015

YANG Xuebin, DAI Yutian, WANG Ning, ZHOU Cheng  
(Dezhou Meteorological Bureau, Dezhou 253078, China)

**Abstract** Based on hourly precipitation data from 123 national meteorological observation stations in Shandong from May to September from 2006 to 2015, the spatial and temporal distribution characteristics of short-term heavy rainfall are analyzed. The results are as follows. 1) The spatial and temporal distribution was uneven. It is found that short-term strong rainfall was more likely to appear in the south of Shandong. In 2013, it amounted to 564 stations and topped in July, mostly at dusk and dawn. The average was 207 stations. 2) The spatial and temporal distribution of extrema differed greatly. Single station of high value lied in the northwest and the south of Shandong and the east of the Shandong Peninsula. Seventeen stations had high value in 2009 mostly during the night. The annual extrema all appeared from 13:00 to 02:00 next day. There were 7 extrema in August. 3) There were more local and small-scale short-term strong rainfall in May, June and September. And large-scale short-term strong rainfall obviously increased from July to August.

**Key words** Shandong; short-term strong rainfall; spatial and temporal distribution

### 引言

短时强降水是指短时间内降水强度较大,降水

量达到或超过某一量值的天气现象,此类天气具有历时短、雨强大、局地性强的特点。很多气象工作者对短时强降水进行了研究,袁晨和马力<sup>[1]</sup>利用观

收稿日期:2016-11-18; 修订日期:2017-12-19

基金项目:中国气象局预报员专项(CMAYBY2016-040);山东省气象局重点课题(2012sdqxz04,2015sdqxz03)

作者简介:杨学斌,男,正高级工程师,主要从事灾害性天气研究, yxb\_5@163.com。

测站 5 min 雨量资料,分析了四川都江堰地区短时强降水的时空分布变化特征。廖晓农等<sup>[2]</sup>研究了城市短时强降雨的中尺度特征。高留喜等<sup>[3]</sup>对山东短时极端强降水特征进行了分析。韩宁和苗春生<sup>[4]</sup>对陕西、甘肃、宁夏三省(区)的短时强降水特征做了统计分析。俞小鼎<sup>[5]</sup>对短时强降水主观临近预报的主要思路和方法进行综述。文献<sup>[6-8]</sup>对短时强降水的气候特征和环流形势特征进行了分析和研究。随着数值预报的发展和人们对短时强降水发生发展机理的认识加深,殷雪莲等<sup>[9]</sup>通过对沿祁连山两次典型强降水的对比分析得出“东高西低”切变辐合及低空急流是区域性强降水产生的关键。段鹤等<sup>[10]</sup>、郝莹等<sup>[11]</sup>利用多普勒天气雷达、探空和逐小时降水量资料,分析了短时强降水时空分布特征,分别建立了三种概念模型。Chen et al.<sup>[12]</sup>利用逐小时降水资料对我国台湾地区的强降水过程进行了气候统计分析,结果表明在山区的迎风坡,暴雨过程的发生次数最多。李健等<sup>[13]</sup>对北京市夏季降水的日变化特征做了深入研究,指出午后到次日清晨为降水量的高值区,而中午前后降水量为最低值。

本文利用山东省 123 个国家级观测站逐小时降水量资料,分析了 2006—2015 年 5—9 月间短时强降水(以降雨强度  $\geq 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  为标准)时空分布特征,为山东短时强降水临近预警及防灾减灾提供参考依据。为分析方便,统计中定义了站数和站次两个名词,站数是指一天气过程中出现短时强降水的站点数量,同一站点不重复统计;站次是指一天气过程中出现短时强降水的站点次数,若同一站点出现多次,重复统计。因此,同一天气过程,站次不小于站数。

## 1 短时强降水时间变化特征

### 1.1 年变化特征

#### 1.1.1 站次年变化特征

2006—2015 年平均每年出现短时强降水为 449 站次,2013 年出现短时强降水的站次最多,达 564 站次,2014 年出现站次最少,仅为 269 站次,5 年低于平均值,除 2011、2014 和 2015 年以外,其余几年短时强降水均在 400 站次以上(图 1)。

#### 1.1.2 站数和极值年变化特征

山东全省 123 个站点中,平均每年 117 个站出现短时强降水。2014 年出现站数最少,为 107 站,2007、2013 年最多,达到了 122 站。高青和沾化 3

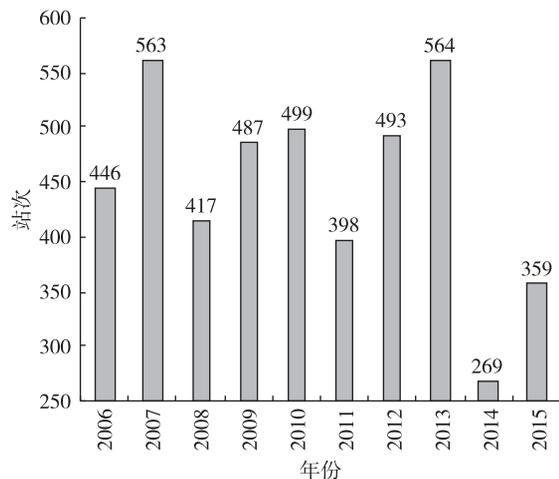


图 1 短时强降水站次年度变化

Fig.1 Annual number of stations with short-term strong rainfall

年未出现短时强降水,其中 7 站 2 年未出现,41 站 1 年未出现(表略)。由短时强降水极值统计(表 1)看,2009 年 8 月 18 日 02:00 费县出现了近 10 a 最强短时强降水,达到了  $137.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,其次为 2011 年 7 月 25 日 20:00 出现在乳山的短时强降水,达到了  $127.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。10 a 中,8 月出现年极值次数最多,达到了 7 次,7 月出现了 2 次,9 月出现 1 次,5—6 月未出现年度极值。由极值站点分布(表 1)来看,鲁南出现 4 次,鲁西北 4 次,鲁中和半岛各 1 次,其中东营站出现了 2 次年度极值。由发生时间来看,10 a 极值均出现在 13:00—次日 02:00 之间,尤其以 20:00 出现次数最多,达到了 4 次。

表 1 短时强降水年极值特征

Table 1 Characteristics of annual extrema of short-term strong rainfall

年份	降水极值/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	极值 站点	极值出现时间	年短时强 降水站数/个
2006	89.5	东营	20060803T19	118
2007	104.2	商河	20070718T16	122
2008	80.1	临沭	20080821T20	115
2009	137.2	费县	20090818T02	120
2010	101.8	长清	20100809T02	118
2011	127.9	乳山	20110725T20	116
2012	97.4	日照	20120921T20	117
2013	98.2	沂水	20130818T00	122
2014	69.8	东营	20140818T13	107
2015	102.5	惠民	20150802T20	114

### 1.1.3 站次的空间分布特征

为了分析站次的空间分布特征, 统计分析 2006—2015 年 10 a 山东 123 个站出现短时强降水次数。结果表明, 平均每站达到了 37 站次, 禹城、临沂和兰陵出现次数最多, 达到了 56 站次, 寿光最少, 仅 16 站次(图略)。由站次的空间分布(图 2)来看, 临沂、济宁、济南、泰安是短时强降水易发生地区, 聊城、东营、菏泽、潍坊、淄博则出现较少, 淄博、潍坊和青岛的大部分区域不易出现短时强降水。

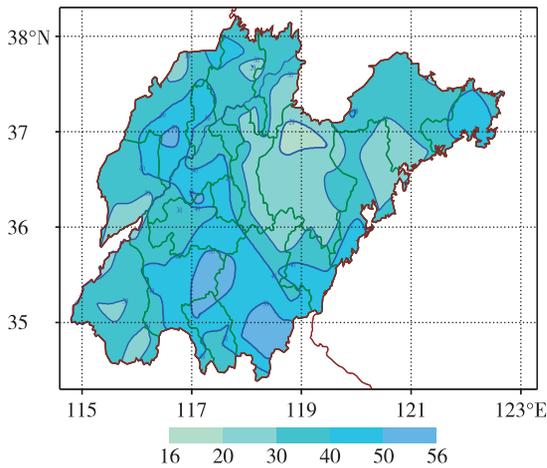


图 2 短时强降水站次的空间分布特征(单位: 站次)  
Fig.2 Spatial distribution of the number of stations with short-term strong rainfall (units: stations)

## 1.2 短时强降水月变化特征

### 1.2.1 站次月变化特征

由短时强降水站次月度变化(图 3)分析可见, 2006—2015 年 10 a 中, 7 月短时强降水累计站次最多, 达 2 074 站次。其次为 8 月, 为 1 551 站次, 5 月最少, 为 180 站次。由逐月各站点短时强降水统计分析(表略), 5 月, 黄岛、章丘和邹平出现次数最多, 为 7 站次, 38 站未出现过短时强降水; 6 月, 鱼台最多, 为 12 站次, 其次为禹城 11 站次, 6 站未出现过短时强降水; 7 月, 邹城、泗水最多, 达 30 站次, 最少为寿光和诸城, 仅 6 站次; 8 月, 临沂最多, 为 26 站次, 郯城、青岛和泰安仅出现 6 站次; 9 月黄岛最多, 为 13 站次, 35 站未出现过短时强降水。

### 1.2.2 站数和极值月变化特征

由短时强降水极值月变化特征(表 2)分析可见, 2006—2015 年 10 a 中, 7—8 月山东 123 个站点全部出现过短时强降水。6 月次之, 为 107 个站点。5 月、9 月约 30% 的站点未出现过短时强降水。由月极值分布来看, 8 月最大, 为  $137.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , 其次为 7 月, 为  $127.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。最小为 5 月, 为

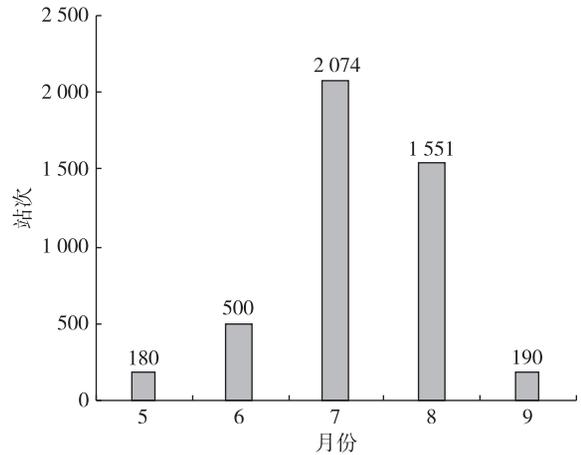


图 3 短时强降水站次月度变化  
Fig.3 Monthly number of stations with short-term strong rainfall

$72.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。由短时强降水发生时段来看, 5—9 月均出现在 20:00—次日 02:00。由极值空间分布来看, 5—6 月多出现在鲁中山区, 7—9 月多出现在鲁东南和半岛南部。

表 2 短时强降水极值月变化特征

Table 2 Monthly variation of precipitation extrema of short-term strong rainfall

月份	降水极值/ ( $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ )	站点	出现时间	月短时强降水 站数/个
5 月	72.3	平阴	20060504T23	85
6 月	94.8	崂山	20090622T21	107
7 月	127.9	乳山	20110725T20	123
8 月	137.2	费县	20090818T02	123
9 月	97.4	日照	20120921T20	88

### 1.3 短时强降水站次日变化特征

由于月气候特征差异, 出现短时强降水的站次差异较大, 不同月份、同一时次的短时强降水出现次数难以比较, 影响到数据分析的结果, 为了消除这种差异的影响, 对数据进行标准化处理, 使各指标处于同一数量级, 适合进行综合评价, 以解决数据指标之间的可比性。

本文采用归一化方法进行数据处理, 以离差标准化对各月逐时次的站次进行线性变换, 使结果值映射到  $[0, 1]$ 。转换函数如下:

$$y = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (1)$$

按月统计每个时次出现短时强降水的总站次, 其中:  $x$  是一天 24 h 内逐时短时强降水站次;

$\max(x)$ 为24 h内逐时短时强降水站次的最大值;  
 $\min(x)$ 为24 h内逐时短时强降水站次的最小值; $y$   
是归一化后数据。

分析短时强降水日变化特征(图4)可以得出:

1)5月短时强降水日变化呈“M”型。午后逐渐增加,后半夜逐渐减少,20:00—次日04:00为短时强降水易发生时段,21:00和01:00最易出现,05:00—17:00不易发生,14:00未出现(图4a)。

2)6月短时强降水日变化特征为单峰型,14:00—20:00以增加为主,21:00后为减少趋势。20:00是短时强降水最易发生的时间,是6月短时强降水站次的峰值,20:00、00:00、18:00较易发生。08:00—17:00不易出现,13:00未出现(图4b)。

3)7月短时强降水易出现在下午和后半夜,中午不发生,其日变化为两次上升、两次下降,即12:00—18:00、20:00—次日03:00是强降水站次增加,03:00最易发生;19:00—20:00、04:00—12:00减少,12:00未出现(图4c)。

4)8月短时强降水日变化呈“W”型,08:00—12:00、20:00—23:00减少,23:00未出现,13:00—19:00、00:00—07:00呈增加趋势,19:00最易出现。

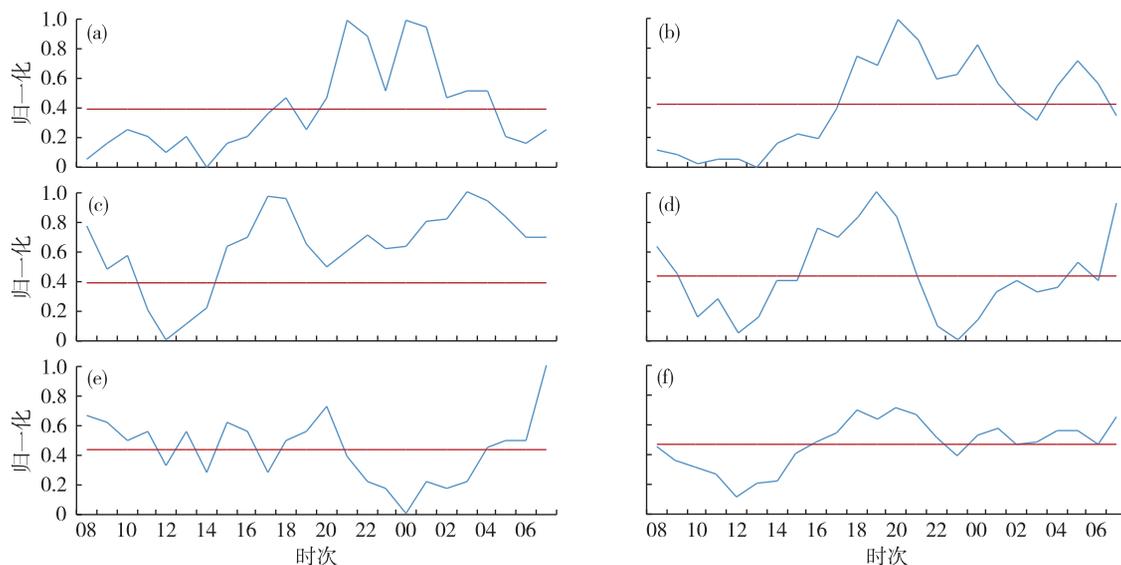


图4 短时强降水日变化特征(a. 5月, b. 6月, c. 7月, d. 8月, e. 9月, f. 5—9月)

Fig.4 Daily variation of short-term strong rainfall (a. May, b. June, c. July, d. August, e. September, f. from May to September)

## 2 短时强降水极值分布特征

### 2.1 各月短时强降水的极值分布特征

1)5月短时强降水极值空间分布不均(图5a),中心位于济南、聊城、泰安和德州西部,极大值为 $72.3 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ;次中心位于济宁、鲁西北东部和半岛

从中可以看出,上午和前半夜短时强降水站次减少,下午和后半夜增加(图4d)。

5)9月短时强降水日变化较大,白天振荡频率较大,夜间变化为“V”型。20:00—次日00:00减小,00:00未发生,01:00—07:00增加,07:00最易出现(图4e)。

6)5—9月山东短时强降水平均状况,上午(08:00—12:00)减少,12:00最少;下午到前半夜(13:00—21:00)逐渐增加,18:00和20:00最多(图4f)。

综上所述,5—9月短时强降水日变化特征差异较大,这种规律与大气环流调整紧密相联,5—8月,夏季风向北推进,南方水汽向北输送,水汽和热力条件有利于短时强降水的产生。由于大气环流的渐变因素,热力因素变化随着纬度升高,影响减弱。但边界层的升温 and 升湿易导致大气在垂直方向上的不稳定,造成对流性降水,这种对流以高低空不稳定的最为明显,一般情况下,这种不稳定最易出现在日最高气温前后,因此,这种变化规律可作为短时强降水日变化预报的参考依据。

北部。鲁东南、鲁中和半岛大部短时强降水极值在 $20 \sim 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

2)6月极值区域较5月明显增多(图5b),崂山是6月强降水极值地,达到了 $94.8 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,鲁西北东部、半岛、鲁中和鲁东南为 $20 \sim 40 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 的强降水,其他区域为 $30 \sim 50 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

3) 7 月短时强降水强度和范围较 6 月明显增大 (图 5c), 各站点雨强在  $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  以上, 大值中心位于半岛东部, 极大值为  $127.9 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , 次大值中心位于鲁西北, 为  $104.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , 鲁中和半岛西部降水强度相对较小。

4) 8 月短时强降水各站点雨强一般在  $30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  以上 (图 5d), 形成以鲁南和鲁西北西部为两个大值中心, 极大值为  $137.2 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ , 两个大值中心之间为雨强较小区域。

5) 9 月短时强降水极值中心区域和降水强度明显减小 (图 5e), 大值中心主要位于鲁东南、半岛北

部和鲁西北, 其他区域降水强度均在  $20 \sim 30 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$  之间。

6) 山东 5—9 月短时强降水中心主要出现在鲁西北、鲁东南和半岛东部三个区域, 鲁中和半岛西部降水强度相对较弱 (图 5f)。

综上所述, 5—9 月, 山东各月短时强降水产生极值的区域和时间存在明显差异。鲁西北、鲁东南和半岛东部易出现短时强降水, 鲁中和半岛西部不易出现, 尤其鲁中不易出现强度较大的短时强降水。7—8 月出现短时强降水的强度大、范围广; 5、6 和 9 月强度和范围较小。

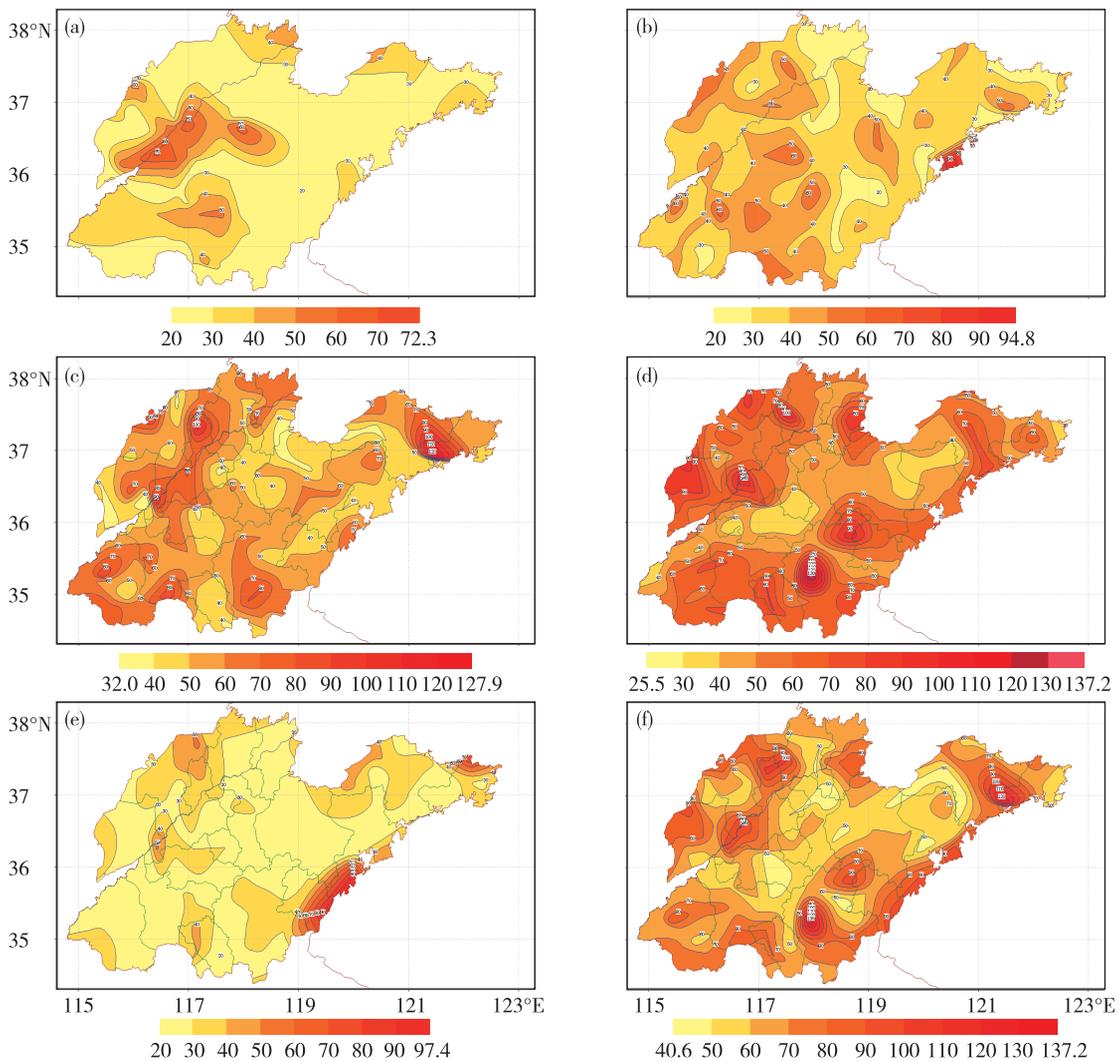


图 5 短时强降水极值空间分布特征 (a. 5 月, b. 6 月, c. 7 月, d. 8 月, e. 9 月, f. 5—9 月; 单位: mm)  
 Fig.5 Spatial distribution of precipitation extrema of short-term strong rainfall (a. May, b. June, c. July, d. August, e. September, f. from May to September; units; mm)

### 2.2 短时强降水极值的出现时间特征

统计山东省 123 个站 10 a 单站短时强降水极值及其出现时间, 根据极值出现时间按年、月、时统

计站数。按年、月、时分别统计山东 123 个站单站的 10 a 极值, 结果显示, 年、月、日差异较大。由极值站数的年变化 (图 6a) 来看, 极值出现在 2009 年的

站数最多,有17站,极值出现在2014年的站数最少,仅为3站。由月变化(图6b)来看,极值出现在7月的站数最多,达到了59站,占48%,出现在8月的次之,有54站,约占44%,出现在5月的最少,仅为2站;5、6和9月仅占8%。

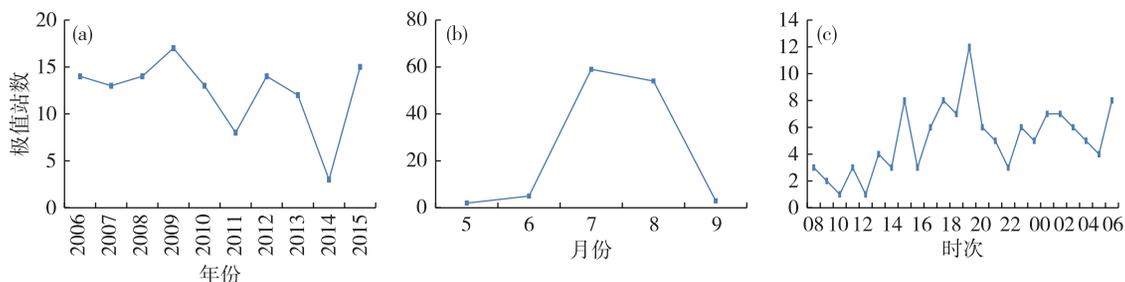


图6 极值站数年(a)、月(b)和时(c)变化

Fig.6 Annual (a), monthly (b) and hourly (c) number of stations with precipitation extrema

### 3 山东短时强降水过程等级划分

短时强降水一般由中尺度系统产生,因其尺度小、发生时间短、来势凶猛,造成的破坏特别严重,降水过程中常伴有强对流。根据山东近10 a 短时强降水站数统计和出现短时强降水的范围,将山东短时强降水过程分为三级:

1)局地短时强降水过程。全省范围内,同一天气过程有1~5站出现。

2)小范围短时强降水过程。全省范围内,同一天气过程有6~20站出现。

3)大范围短时强降水过程。全省范围内,同一天气过程有 $\geq 21$ 站出现。

#### 3.1 山东逐年短时强降水过程等级特征

由短时强降水天气过程年度变化统计数据(表3)分析,10 a 山东短时强降水过程,每年出现次数在24~40次之间,平均每年29次,年度差异较大,2014年最多,达到42次,2011年最少,为23次。由等级来看,以局地短时强降水天气过程最多,平均每年16次,2014年最多,为29次,2013年最少,为9次。小范围次之,平均每年8次,2008、2009、2014年最多,为12次,2010年最少,为2次;大范围最少,平均每年6次,2013年最多,为9次,2014年最少,仅为1次。等级越高,天气过程越少。

#### 3.2 山东逐月短时强降水过程等级特征

由短时强降水天气过程月度变化数据(表4)分析可见,10 a 中,5、6、9月局地和小范围两个等级短时强降水天气过程所占比例较大,达到了90%,尤其5月和9月,局地和小范围过程达到了95%以上,

布(图6c)看,有74站在夜间出现极值,49站在白天出现极值,即夜间短时强降水极值比白天多,其中在20:00、15:00、18:00和07:00四个时次出现极值的站点最多,分别达到12站、8站、8站、8站。

大范围过程发生次数较少,仅出现1次。7—8月,局地短时强降水过程所占比例减小,大范围短时强降水天气过程次数明显增加,同时发生短时强降水天气过程的总次数也大大增加。

表3 短时强降水天气过程年度变化

Table 3 Annual grade variation of short-term strong rainfall 次

年份	局地	小范围	大范围	合计
2006	14	6	7	27
2007	14	8	8	30
2008	17	12	5	34
2009	21	12	7	40
2010	14	2	8	24
2011	10	6	7	23
2012	12	9	7	28
2013	9	8	9	26
2014	29	12	1	42
2015	21	6	4	31

表4 短时强降水天气过程月度变化

Table 4 Monthly grade variation of short-term strong rainfall 次·(10 a)<sup>-1</sup>

月份	局地	小范围	大范围	合计
5月	15	9	1	25
6月	40	14	7	61
7月	39	30	29	98
8月	48	21	25	94
9月	19	7	1	27

## 4 小结

通过以上分析可以得出,山东短时强降水存在

明显的年、月和日变化,年度、月度极值差异较大,极值的时空分布具有明显差异。

1)短时强降水站次时空分布不均。2013年最多,达到564站次,2014年最少,仅269站次;7月最易出现,平均每年207站次;最易出现在13:00—次日07:00;鲁南是山东短时强降水易发区域。

2)短时强降水极值时空分布差异较大。10 a年度极值多出现鲁西北和鲁南,8月最多,时间集中在20:00—次日02:00,20:00最多,为4次。10 a单站极值中,2009年站数最多,且易发生在13:00—次日02:00,5—6月极值多出现在鲁中山区,7—9月多出现在鲁东南和半岛南部,鲁中和半岛西部降水强度相对较弱。

3)短时强降水以局地天气过程最多,等级越高,天气过程越少。2014年最多,出现了42次,2011年最少,为23次。5月最少,为25次,7月最多,为98次。5、6、9月局地和小范围所占比例较大,占有所有天气过程的90%,7—8月大范围短时强降水天气过程次数明显增加,总次数也大大增加。

#### 参考文献:

- [1] 袁晨,马力.都江堰短时强降水时空分布统计分析[J].气象科技,2013,41(6):1086-1090.
- [2] 廖晓农,魏东,石增云,等.连续少雨背景下北京暴雨的若干特征[J].高原气象,2011,30(3):749-759.
- [3] 高留喜,李静,刘畅,等.山东短时极端强降水研究[J].气象科技,2014,42(3):482-487.
- [4] 韩宁,苗春生.近6年陕甘宁三省5—9月短时强降水统计特征[J].应用气象学报,2012,23(6):691-701.
- [5] 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.
- [6] 姚莉,李小泉,张立梅.我国1小时雨强的时空分布特征[J].气象,2009,35(2):80-87.
- [7] 樊李苗,俞小鼎.中国短时强对流天气的若干环境参数特征分析[J].高原气象,2013,32(1):156-165.
- [8] 李一平,德勒格日玛,江靖,等.呼和浩特市连续两日短时强降水天气对比分析[J].高原气象,2014,33(6):1654-1664.
- [9] 殷雪莲,郭建华,董安祥,等.沿祁连山两次典型强降水天气个例对比分析[J].高原气象,2008,27(1):184-192.
- [10] 段鹤,夏文梅,苏晓力,等.短时强降水特征及临近预警[J].气象,2014,40(10):1194-1206.
- [11] 郝莹,姚叶青,郑媛媛,等.短时强降水的多尺度分析及临近预警[J].气象,2012,38(8):903-912.
- [12] Chen C-S, Chen Y-L, Liu C-L, et al. Statistics of heavy rainfall occurrences in Taiwan [J]. Wea Forecasting, 2007,22(5):981-1002.
- [13] 李健,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.