1981 年以来青岛市降水量特征分析

郭丽娜[1,2], 马 艳[2*]

（1. 山东省青岛市气象灾害防御工程技术研究中心, 山东 青岛 266003；
2. 山东省青岛市气象局, 山东 青岛 266003）

摘 要：利用青岛市 1981—2017 年 7 个国家基本气象观测站的年、月、日和小时降水观测数据，分析在气候背景和城市化进程下青岛市降水时空分布特征。结果表明：1981—2017 年青岛市年平均降水日数 75 d，年平均降水量 654.0 mm。青岛市年平均降水量在 1981—2010 年呈现增加、2011—2017 年呈现减小的趋势；南部沿海地区的青岛站、胶南站年降水量增加的趋势较大，中北部地区的即墨站、胶州站相对较小。青岛站、崂山站、胶州站和胶南站在 20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代和 21 世纪 00 年代呈增加趋势，北部地区的莱西站和平度站则表现出 20 世纪 90 年代、21 世纪 00 年代和 21 世纪 10 年代减少的特点。各站降水典型年小时降水频次日变化特征较为明显，降水在凌晨至上午发生最多，出现概率为 2.6%～6.7%，午后至前半夜明显减少。超过 20 $mm \cdot h^{-1}$ 的整点小时降水胶南站最多，达 7 次。降水典型年 7 月期间 500 hPa 高度场表现为“两槽两脊”或“两槽一脊”环流型，高空槽均较常年偏强，西太副高主体位于 120°E 以东，15°～35°N 的西太平洋海面上空，脊线位置在 25°N 附近，青岛地区处于西北太平洋副热带高压的西北侧，易出现降水。

关键词：降水量；青岛；降水典型年；城市化

中图分类号：P467 **文献标志码：**A **文章编号：**1002-3682(2023)01-0099-12

doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20210930001

引用格式：郭丽娜, 马艳. 1981 年以来青岛市降水量特征分析[J]. 海岸工程, 2023, 42(1)：99-110. GUO L N, MA Y. Analysis of precipitation characteristics in Qingdao since 1981[J]. Coastal Engineering, 2023, 42(1)：99-110.

青岛市辖管 7 个市辖区(市南、市北、李沧、崂山、西海岸新区、城阳、即墨)，代管 3 个县级市(胶州、平度、莱西)，处于暖温带半湿润区和北亚热带湿润区过渡带，自西北到东南方向海洋性气候特点愈加明显，是北方重要的沿海城市之一。改革开放初期青岛城市发展主要集中在胶州湾东海岸的市南和市北的老城区以及黄岛地区，1992 年青岛市东部大开发，实现城市中心东移，2001 年建设西海岸经济新区，青岛经济重心西移，城镇范围逐步扩大。在全球气候变暖和快速的城市化发展的共同影响下，青岛的气温、风速以及极端降水发生频次和强度也发生了一系列变化[1-4]。研究表明，一个城市的降水分布除了受天气系统和地形的影响之外，还与城市化进程密切相关[5-9]。2016 年，青岛市入选国家第二批海绵城市建设试点。在海绵城市建设进程中，低影响开发设施和雨水调蓄设施规模的确定以及年径流总量控制率的计算，均需要依托于有效、合理的降水数据[10]。原始的降水监测数据为分钟级数据，分析几十年的历史监测数据，计算工作量大，而且有些年份很相近。为避免长序列计算量太大，同时使计算成果具有良好的代表性，从长序列资料中选择出具有代表性的典型年和典型序列非常重要。本文将利用 1981—2017 年的降水资料分析改革开放之

收稿日期：2021-09-30

资助项目：青岛市海绵城市建设技术咨询项目；青岛市气象局海洋气象研发项目(2019qdqxz01)；山东省气象局科学技术研究项目(2021sdqxz01)

作者简介：郭丽娜(1980—)，女，工程师，硕士，主要从事气候与气候变化、气候趋势预测方面研究. E-mail：yinlingr@163.com

***通信作者：**马 艳(1970—)，女，研究员，博士，主要从事气候与气候变化方面研究. E-mail：qdyanma@163.com

（陈 靖 编辑）

后青岛市降水量变化特征，揭示其对全球变暖和城市化进程的响应，并开展青岛市降水典型年降水序列分析，为青岛市海绵城市建设中的城市排水管网设计、排涝规划设计等水文、水利计算和水资源的优化分配提供科学依据。

1 资料和方法

青岛市共有 7 个国家基本气象观测站：青岛站、崂山站、即墨站、胶州站、胶南站、平度站和莱西站，其中，青岛站是市南区的代表站，反映青岛城市主城区的气候变化特点，崂山站是李沧区的代表站，胶南站是西海岸新区的代表站，用 7 站的平均值来表征整个青岛的结果。本文所用资料为 1981—2017 年 7 个气象站年、月、日和小时降水气象观测数据，其中年、月、日的降水数据均可从气象观测报表中直接读取，逐年的 1 h 年最大降水量是从降水自记纸或每分钟降水量数据文件中逐 60 分钟滑动累计并选取最大值，不受日、月界的限制（但不跨年挑取）。利用上述资料开展青岛市 1981—2017 年降水的年际、年代际变化以及年最大小时雨强的特征分析，并与降水典型年各气象观测站点降水特征进行对比。利用 NCEP（National Centers for Environmental Prediction）逐日大气环流资料（空间分辨率 2.5°×2.5°）分析 500 hPa 高度场，气候场资料来自于 NCEP 提供的 1981—2010 年的 ltm（long term monthly means）数据。

2 青岛市降水量特征

2.1 降水的年际变化

由 7 个气象站观测数据统计可知，青岛市 1981—2017 年平均降水量为 654.0 mm，1981 年降水最少，全市年降水量只有 322.2 mm，2007 年降水最多，年降水量高达 1 051.7 mm[1]。全市年降水量的年际变化存在振荡波动特征，但整体呈现增加的趋势，增加速率为 2.71 $mm \cdot a^{-1}$。其中，在 1981—2010 年长达 30 a 的时间范围内，降水量增加速率为 7.79 $mm \cdot a^{-1}$，之后是减小的趋势，2011—2017 年平均降水量较之前（1980—2010 年）平均值偏少了 72.4 mm。

从图 1 中的 5 a 滑动平均曲线可知，青岛站、崂山站、即墨站和胶南站年降水量均具有单峰型变化趋势。其中，青岛站、崂山站和胶南站在 2007 年附近为峰值点，即墨站则推迟到 2009 年达到峰值。平度站表现出了双峰的年际变化特点，分别出现在 1994 年和 2007 年，胶州站则呈现 1981—2017 年期间年降水量一直增加的趋势。以 2007 年为节点，分析可知：1981—2007 年各站点年降水量均呈现增长趋势，年降水量平均增长速率为 8.96 $mm \cdot a^{-1}$；2008—2017 年年降水量呈现明显的下降趋势，10 a 平均降水量减少 231.7 mm，是 37 a 内年降水量减少幅度最大的一个时期。

空间上来看，1981—2017 年青岛站、胶南站年降水量增加速率较大，在胶南站达到最大值 4.37 $mm \cdot a^{-1}$。在胶州、即墨中北部地区相对较小，增加速率最小值 0.89 $mm \cdot a^{-1}$ 出现在即墨站（图 2）。从 7 站年降水量在不同时段的变化速率来看，青岛站在 1981—2007 年增加速率为 1.13 $mm \cdot a^{-1}$，2008—2017 年减少速率为−2.89 $mm \cdot a^{-1}$，不仅是 7 站中年降水量增加速率最大的站点，也是减少速率最大的站点。

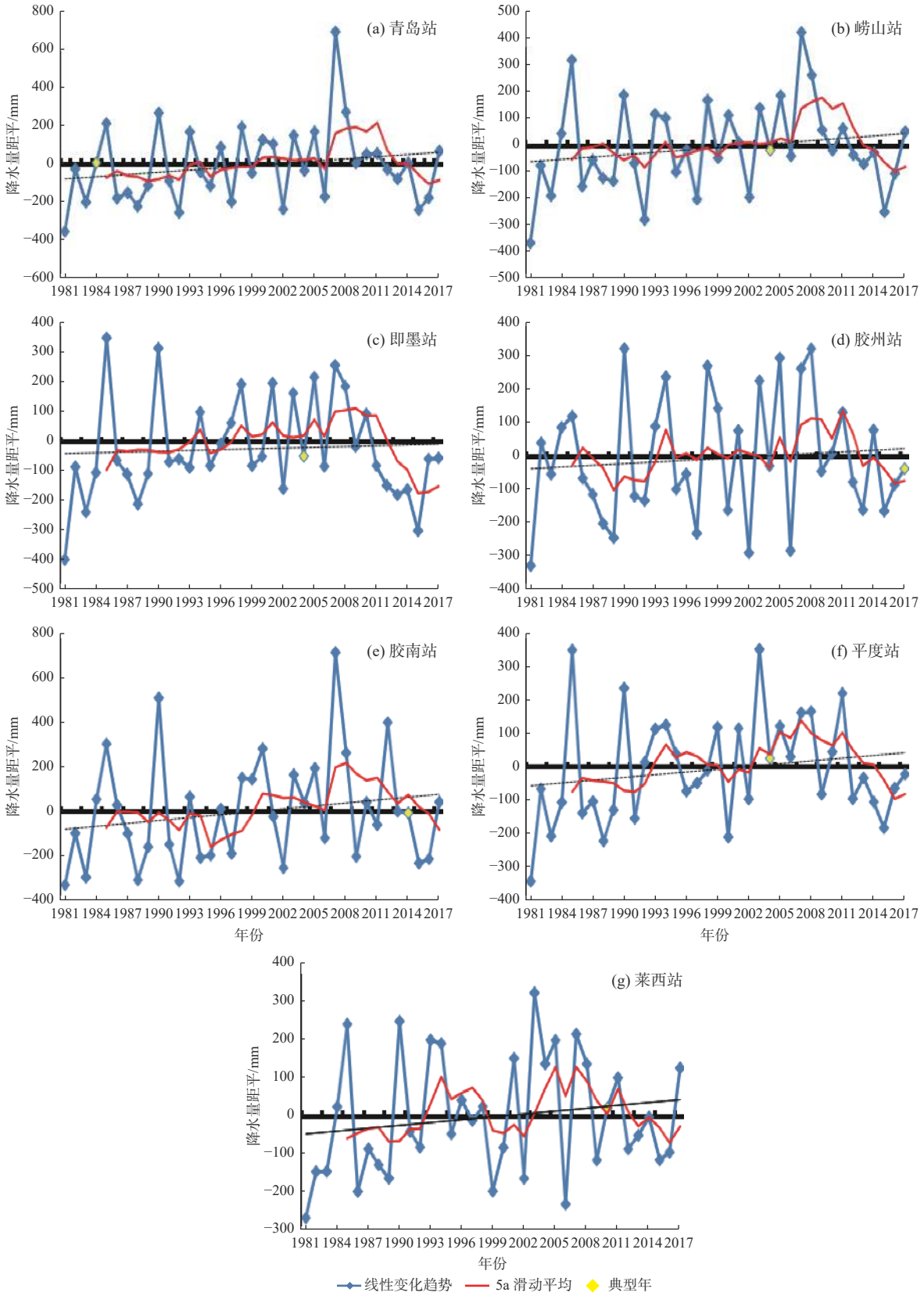


图 1　1981—2017 年青岛市各站年降水量距平

Fig. 1　Anomalies of annual precipitation at the stations in Qingdao City from 1981 to 2017

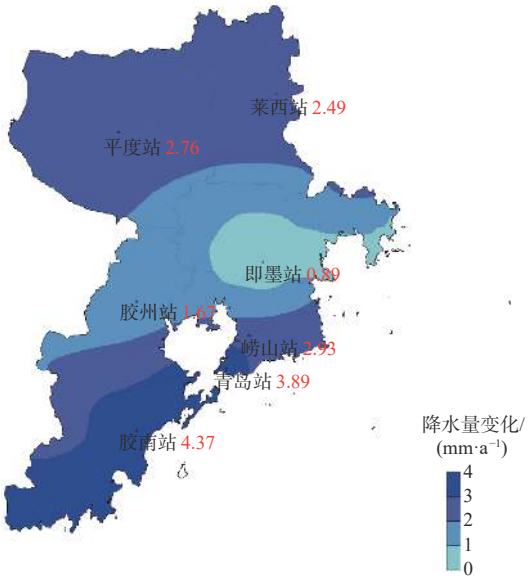


图 2 1981—2017 年青岛市年降水量变化趋势

Fig. 2 Tendency of annual mean precipitation variations in Qingdao from 1981 to 2017

2.2 降水的年代际变化

分析青岛市各站点年降水量的年代际变化(表 1)，青岛站、崂山站、胶州站和胶南站表现出相似的年代际变化特点：20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代和 21 世纪 00 年代年平均降水量都呈增加趋势，且大多在 20 世纪 80 年代增加的速率大；而进入 2010 年后呈减小趋势，胶南站减少趋势最为明显(减少速率为−411.4 mm·(10 a)$^{-1}$)。北部地区的平度站和莱西站年平均降水量则在 20 世纪 80 年代呈现增加趋势，其后 20 世纪 90 年代、21 世纪 00 年代和 21 世纪 10 年代均为减少趋势，且 20 世纪 90 年代和 21 世纪 00 年代莱西站的降水量减少趋势幅度均大于平度。在青岛市 7 个国家基本气象站中，只有即墨站 1980—2017 年降水量都呈现增加趋势，但增长率从 20 世纪 80 年代的 359.9 mm·(10 a)$^{-1}$ 降到 21 世纪 10 年代的 48.4 mm·(10 a)$^{-1}$，增长速率减小。

表 1 不同站点年降水量年代际变化趋势(mm·a^{-1})

Table 1 Trends of inter-era changes of annual precipitation at different stations(mm·a^{-1})

时 间	青岛站	崂山站	即墨站	胶州站	胶南站	平度站	莱西站
20 世纪 80 年代	242.9	250.9	359.9	141.3	384.1	255.7	231.4
20 世纪 90 年代	197.4	161.5	82.7	66.7	470.7	−62.2	−155.4
21 世纪 00 年代	222.5	194.1	48.1	113.2	190.4	−69.4	−118.6
21 世纪 10 年代(2010—2017 年)	−151.1	−125.8	48.4	−187.1	−411.4	−291.1	−1.8

1981—2017 年全市年最大小时雨强整体表现为增大趋势，增加速率为 0.50 mm·(10 a)$^{-1}$，但在 1990—2017 年期间却是呈现出减小的特点，减小速率为−1.09 mm·(10 a)$^{-1}$，从趋势的变化可以看出，年最大小时雨强的明显增加趋势主要在 20 世纪 80 年代。青岛市不同站点年最大小时雨强的 37 a 平均值在胶南站(49.8 mm)和即墨站(45.2 mm)较大，青岛站(38.6 mm)和崂山站(38.9 mm)较小。青岛大部分区域不易出现短时强降水[11]，大于 30 mm 的小时降水量在胶南站和即墨站出现最多，均为

每年 1.3 站次[4]。

3　青岛地区降水典型年特征

3.1　降水典型年选取方法

采用青岛海绵城市建设推荐使用的方法，参考规划部门在排水防涝规划中的做法[10,12-16]，以青岛站为例，考虑 1981—2017 年的年降水量距平、各量级降水日数、月降水量离散程度等方面，按照各项权重计算，综合得分最高的年份确定为降水典型年。

$$Y=\sum_{i=1}^{5}(R_i\times X_i)/\left(\sum_{i=1}^{5}R_i\right), \tag{1}$$

式中：Y 为综合得分；X_i 为第 i 个因素根据排名的赋分；R_i 为第 i 个因素的权重系数。

①选取年降水量与 1981—2017 年年平均降水值（652.8 mm）的差异不超过 10% 的年份为候选年份，分别为 1982 年、1984 年、1994 年、1999 年、2004 年、2009 年、2010 年、2011 年、2012 年和 2014 年，按照差异的绝对值从小到大排序。②比较不同降水量级（小雨、中雨、大雨、暴雨、大暴雨和特大暴雨）日数，计算候选年各量级降水日数与多年平均降水日数均方差，按均方差从小到大排序，找出降水日数最接近平均值的年份为 2009 年，相差最大的年份为 1999 年。③对比候选年的月降水量曲线与多年平均月降水量曲线偏差、最大月降水量与多年平均的最大月降水量差异，分别对候选年份按差异从小到大排序，其中 1984 年的月降水量与多年平均月降水量的均方差最小，1994 年月降水量峰值最接近多年平均的最大月降水量（151.2 mm），2009 年和 2011 年的月降水量峰值超过 250 mm，与多年平均的最大月降水量相差较大。④根据年总降水量排名、各强度降水分布排名、月降水量均方差、月降水量峰值排名和年份趋势排名的权重分别为 5、4、3、2、1，各因素的年份排名从 1 到 10 分别赋分 10 到 1，逐名递减 1。各因素的候选年份赋分与相应权重乘积的和除以权重之和即为加权得分，满分为 10 分，加权得分最高的年份为降水典型代表年。由计算结果得知，加权得分最高的年份为 1984 年，得分最低的为 1999 年（表 2）。综合分析后认为，1984 年为青岛站降水典型代表年。

表 2　青岛站候选年份加权得分

Table 2　Weighted scores for the candidate years at Qingdao Station

序　号	考虑因素	权　重	按各因素排名得分									
			1982 年	1984 年	1994 年	1999 年	2004 年	2009 年	2010 年	2011 年	2012 年	2014 年
1	年总降水量	5	7	8	4	3	5	10	2	1	6	9
2	各量级雨日均方差	4	2	9	3	1	4	10	6	8	7	6
3	月降水量均方差	3	3	10	9	1	7	2	8	5	5	6
4	月降水量的峰值	2	7	4	10	9	8	1	5	2	6	3
5	年份时间趋势	1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
加权得分			4.5	7.7	5.5	2.9	5.5	6.9	5.0	4.3	6.3	6.9

依据上述方法，挑选出各站的降水典型年分别为：青岛站 1984 年，崂山站、即墨站和平度站 2004 年，莱西站 2010 年，胶州站 2017 年，胶南站 2014 年。

3.2　各站降水典型年降水特征

为了直观比较青岛地区典型年降水量的分布和各区市间的差异，图 3 给出了典型年降水量的空

间分布。各站点典型年降水量均表现为南部地区大于北部地区：位于中部的胶州和即墨是降水量的相对低值区；北部莱西和南部的西海岸新区是降水量的 2 个高值区，也是暴雨的多发区[17]；青岛市区总体处于降水的低值区。

青岛属于半湿润温带季风气候，雨热同季，6—8 月降水总量占全年降水总量的 60 % 以上。如图 4 所示，降水日数各站差异不大，平均降水日数为 75 d，胶州站 67 d 最少，青岛站 80 d 最多，胶州站和青岛站的小雨日数占比分别为 68.7% 和 74.4%。胶南站出现了 2 次大暴雨，应是此站点年降水量高达 735.9 mm 的主要贡献。最大小时雨强在即墨站最大，达到了 69.8 mm·h^{-1}（2004年 7 月 30 日）；青岛站最小，为 23.5 mm·h^{-1}（图 4）。青岛地处南北气候过渡带，影响其降水的天气系统不仅有低槽冷锋、低涡切变线，还有从南方生成并北移影响的江淮气旋、台风等。根据青岛市统计局统计公报（http://qdtj.qingdao.gov.cn/），2017 年李沧区和莱西市常驻人口比 2008 年同比增长分别为 85.6% 和 4.4%，青岛市城市化程度南北也存在差异。天气系统和城市局地环流相互作用机制复杂，在年降水量空间分布呈南多北少的背景下，小时降水次数和降水强度分布则表现出了差异性，其原因还有待于进一步探讨。

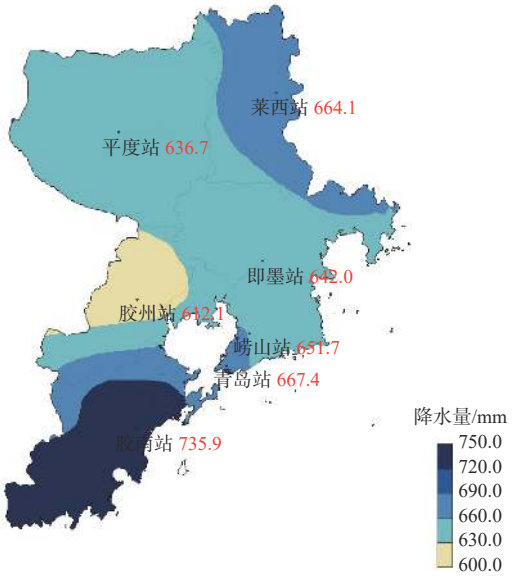
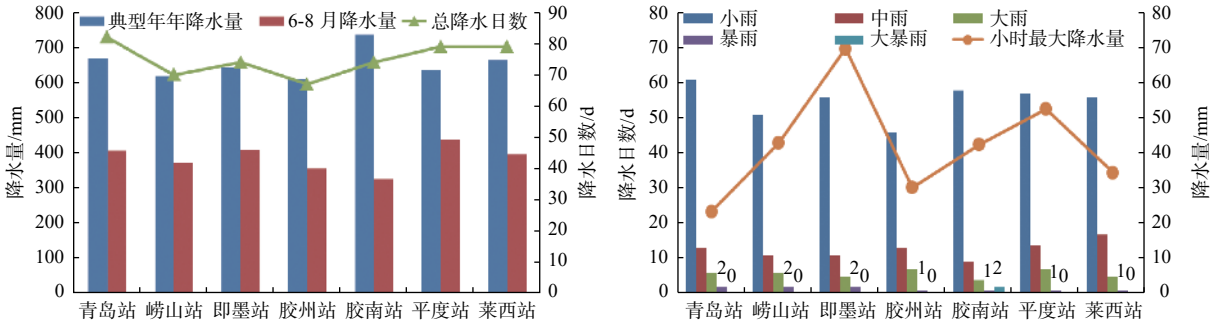


图 3 青岛市典型年降水量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of annual precipitation during the period of typical year in Qingdao



(a) 年降水量和总降水日数 (b) 各级别降水日数和小时最大降水量

图 4 降水典型年降水量、总降水日数和不同级别降水日数、小时最大降水量

Fig. 4 Precipitation, total precipitation days and maximum hourly precipitation in typical precipitation years

以当月降水量大于前一月降水量 20% 以上作为峰值的判别依据，综合各站月降水气候特征，得到各站降水典型年降水量月际变化序列分布（图 5）。由图 5 可知各典型年的月降水量呈现多个峰值的变化型态。7 个站的月降水量主峰值均出现在 7 月和 8 月份，青岛站、即墨站、胶南站和莱西站的月降水量次峰值出现在 5 月，即典型年 5 月降水量高于 6 月，这和典型年春末夏初高空冷涡系统带来的强对流天气有关，4 个典型年中有 3 个年份的 5 月东北冷涡频率高于常年平均，1 个接近常年平均值的年份，东北冷涡的强度明显增强。高空冷涡是影响华北、东北和山东半岛地区的重要天气系统，因冷涡移动比较缓慢，一般为 3～5 d，最长可达 10 余天，受其影响的区域易形成连续数天的阵性降水天气[18-22]。另外，青岛站、崂山站、即墨站和平度站 11 月降水量高于 10 月。

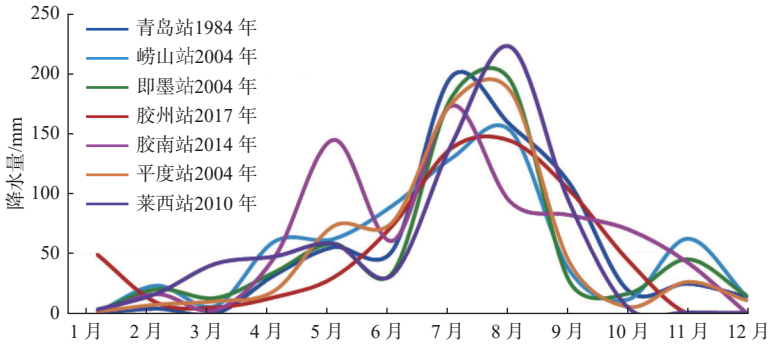


图 5　降水典型年降水量月际变化序列

Fig. 5　Monthly changes of precipitation at seven stations in typical precipitation years

图 6 给出了青岛站、崂山站、胶州站、胶南站和莱西站降水典型年整点小时平均降水量、最大降水量和降水次数分布特征。

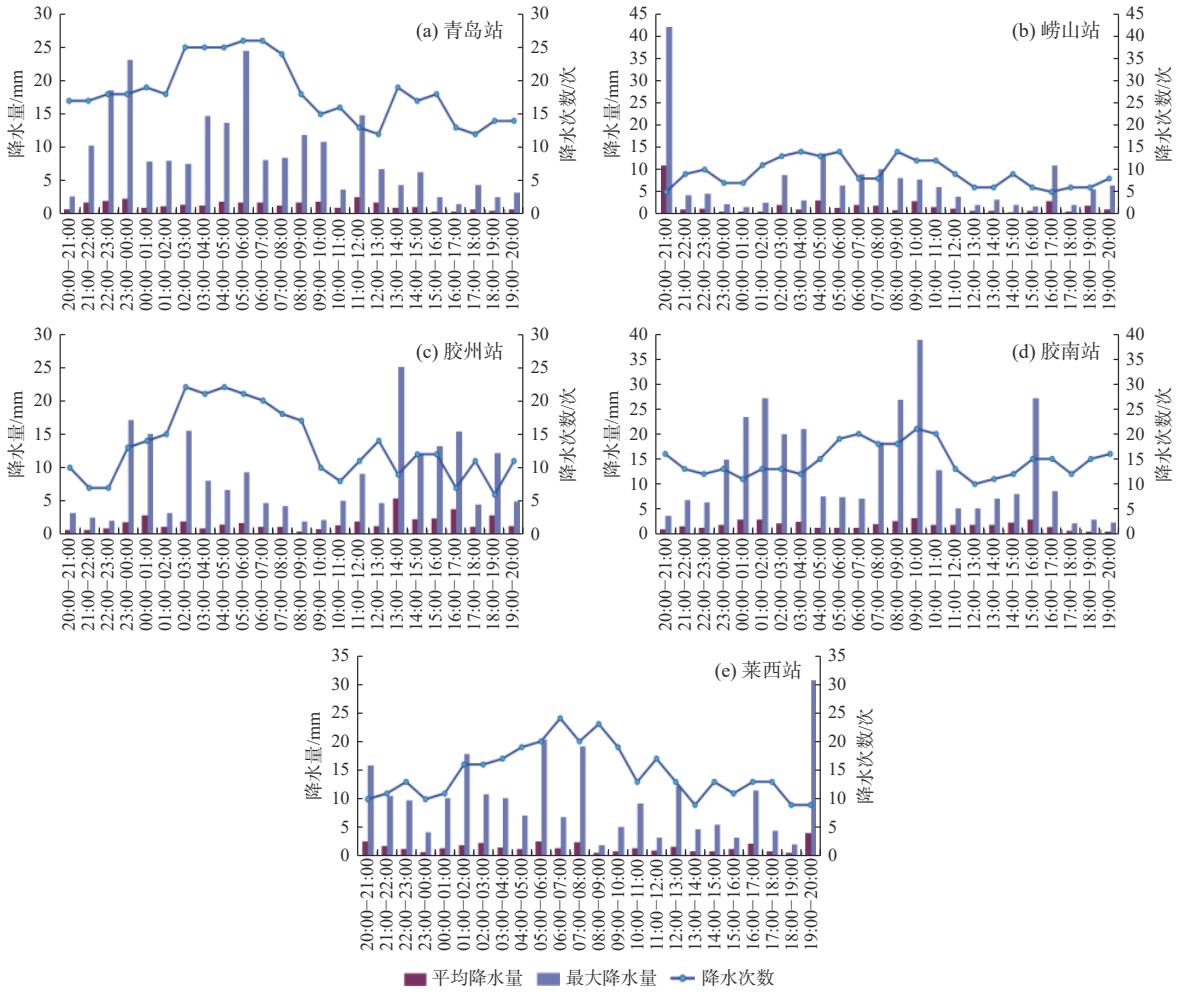


图 6　典型年各站逐时降水量分布

Fig. 6　Distributions of hour by hour precipitation at the stations in typical precipitation years

降水次数各站差异不大，年平均降水 13.97 次，青岛站最多（18.3 次），崂山站最少（9.08 次）。青岛站各时段均有可能发生降水，凌晨相对更多；无论是降水强度，还是降水出现概率，13:00—20:00 时都是一个相对低值区间。崂山站、胶州站和莱西站的降水较多发生在凌晨到上午时段：崂山站在 02:00—06:00 时和 08:00—11:00 时平均出现降水达 13.0 次，出现概率为 2.6%；胶州站 02:00—09:00 时平均出现降水 24.4 次，出现概率 6.7%；莱西站在 01:00—10:00 时平均出现降水 19.3 次，出现概率为 5.3%。胶南站在早晨到上午时段（05:00—11:00）易出现短时强降水，降水次数略多（平均 19.3 次，出现概率 5.3%）。

小时平均降水量胶南站最大（12.99 mm），崂山站最小（7.09 mm）；小时最大降水量崂山站最大（42.0 mm），青岛站最小（24.6 mm）。从整点小时降水量≥20 mm 的分布（图 6）可知，青岛站最大为 24.6 mm（8 月 30 日 05:00—06:00），其次为 23.2 mm（8 月 6 日 23:00—24:00）；崂山站最大高达 42.0 mm（7 月 30 日 20:00—21:00）；胶州站最大为 25.0 mm（8 月 9 日 13:00—14:00）；胶南站最大为 38.8 mm（8 月 6 日 09:00—10:00），其次为 27.2 mm（7 月 22 日 15:00—16:00 和 5 月 11 日 01:00—02:00），再次为 26.8 mm（7 月 25 日 08:00—09:00），加上 5 月 11 日 00:00—04:00 共有 7 次小时降水量≥20 mm；莱西站最大为 30.6 mm（8 月 11 日 19:00—20:00），其次为 20.4 mm（7 月 21 日 05:00—06:00）。

青岛站所在的市南区、崂山站所在的李沧区和胶南站所在的西海岸新区是青岛城市化程度相对较高的地区，城市化的不断推进使得城市降水频数、强降水频次增大以及降水强度增强。也有研究表明，北京城市化使城市边缘地区的降水增强，区域内的总累计降水量明显减少[23]，城市化对城市区域降水的影响随城市发展的不同阶段而不同，区域差异很大，城市化可造成降水量的变化[24-25]。

3.3 降水典型年 7 月环流特征简析

为了解降水典型年的大气环流特征，选取典型年中降水相对较多的 7 月，分析 500 hPa 的月平均环流形势。由降水典型年 7 月东北半球 500 hPa 高度场（图 7）可知，1984 年和 2017 年中高纬度环流呈“两槽两脊”环流型，2004 年和 2014 年中高纬度呈“两槽一脊”环流型，而 2010 年中高纬度则为“两脊一槽”环流型，5 个年份除 2017 年外槽和脊都分别对应着明显的位势高度负距平和正距平中心。1984 年和 2004 年高纬度地区与常年相比为明显的正距平，我国大部分地区为负距平，影响我国的冷空气与常年相比势力增强，低纬度地区普遍为高度负距平，西北太平洋副热带高压（简称西太副高）较常年偏弱但位置偏北或偏西。2010 年、2014 年和 2017 年我国大部分地区为正距平，说明影响我国的冷空气较常年偏弱；低纬度地区普遍为正距平，说明西太副高面积较常年同期偏大，强度显著偏强或者持平。

综合分析 7 站次降水典型年环流形势可知，在较常年偏强的中高纬度“两槽两脊”或者“两槽一脊”环流形势下，西太副高主体位于 120°E 以东，15°～35°N 的西太平洋海面上空，脊线位置在 25°N 附近，青岛地区处于西太副高的西北侧，当冷空气东移南下与西太副高边缘地区充沛的暖湿气流共同作用，在青岛极易造成明显降水。

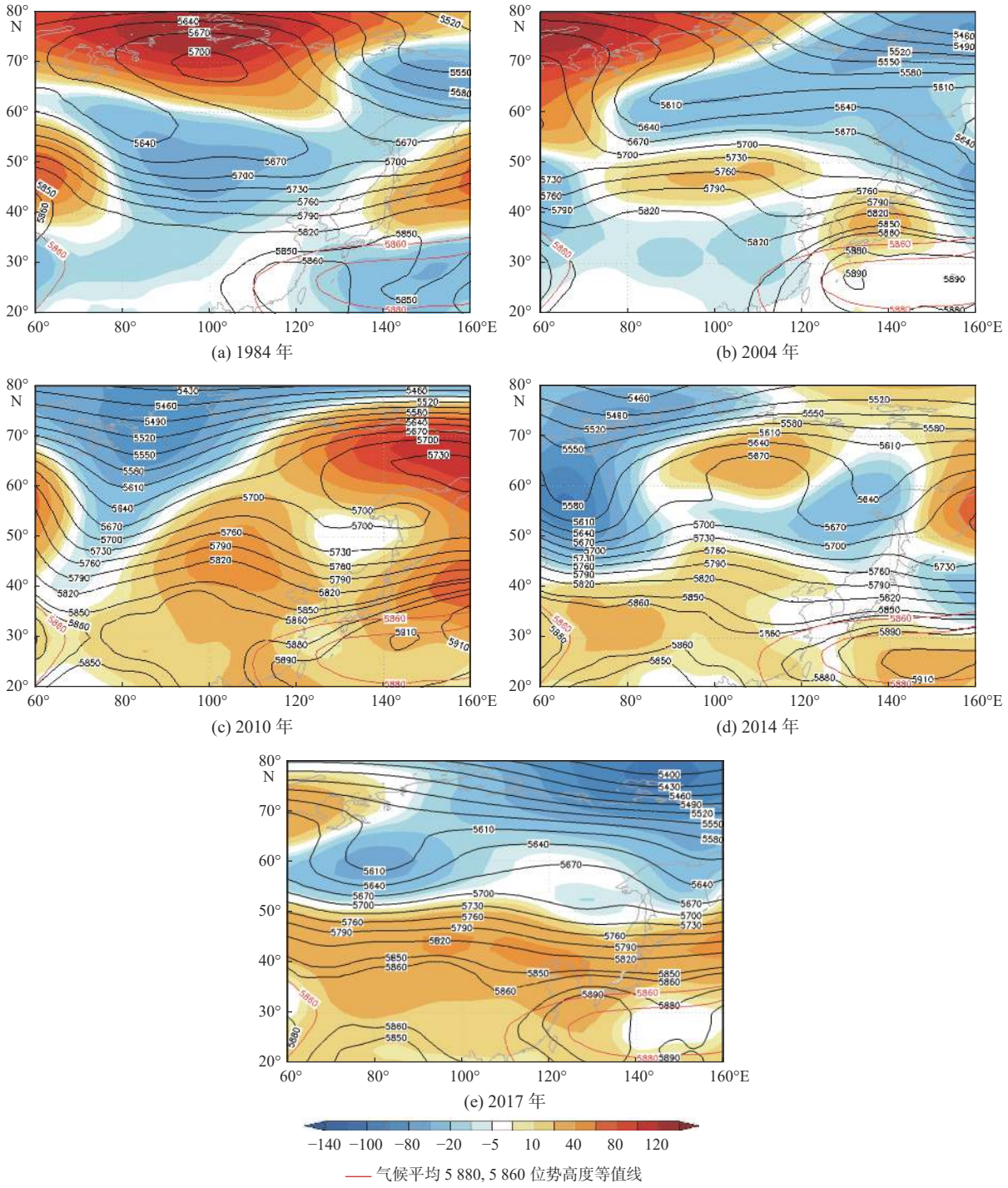


图 7　青岛市典型年 7 月 500 hPa 位势高度场

Fig. 7　The 500 hPa geopotential height in July of typical precipitation years in Qingdao City

4　结　论

本文利用 1981—2017 年青岛 7 个站点的降水资料分析改革开放之后青岛市降水量变化特征，挑选各站点降水典型年并进行降水序列分析，得出以下结论。

1)改革开放以来，青岛市 1981—2010 年降水量呈现为增加的特点，2011—2017 年则呈现出减小的趋势；1981—2017 年年降水量整体为增加的趋势，增加速率为 2.71 $mm \cdot a^{-1}$。

2)青岛站、崂山站、即墨站和胶南站年降水量均呈单峰型分布，平度站表现出了双峰的年际变化特点，胶州站则反映出了 1981—2017 年期间年降水量一直增加的趋势；位于南部沿海地区的青岛站、胶南站年降水量增加趋势较大(胶南最大 4.37 $mm \cdot a^{-1}$)，在中北部地区的胶州站、即墨站相对较小(即墨站最小 0.89 $mm \cdot a^{-1}$)。

3)降水量年代际变化特征明显，青岛站、崂山站、胶州站和胶南站表现为 20 世纪 80 年代、20 世纪 90 年代和 21 世纪 00 年代是增加趋势，进入 20 世纪 10 年代后为减小趋势的特点；北部地区的平度站和莱西站则表现出了 20 世纪 80 年代增加，20 世纪 90 年代、21 世纪 00 年代和 21 世纪 10 年代减少的特点。

4)降水典型年期间，青岛年降水量整体表现为南部地区大于北部地区，位于中部的即墨和胶州是降水量的相对低值区，北部莱西和南部的西海岸新区是降水量的 2 个高值区；降水日数南北差异不大。

5)各站降水典型年小时降水概率的日变化特征较为明显，凌晨至上午发生最多，午后至前半夜明显减少，胶南站以早上到上午为主，青岛站、崂山站、胶州站和莱西站的降水较多发生在凌晨到上午时段。

6)典型年降水较为集中的 7 月，中高纬地区槽脊活动配合低纬度地区面积较大的西太平洋副高，致使冷空气东移南下与西太平洋副高西北侧充沛的暖湿气流交汇相互作用，这时青岛地区易出现对流性天气，形成明显降水。但不同典型年，环流形势差异明显，形成典型年降水的环流形势也不尽相同。

参考文献 (References):

[1] GUO F Y, MA Y, ZHANG K J, et al. The climate change in Qingdao during1899—2015 and its response to global warming[J]. Journal of Geoscience and Environment Protection, 2018, 6(9): 58-70.

[2] 马艳, 郭飞燕, 郭丽娜, 等. 基于1899—2015年观测资料的青岛风环境变化特征[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(3): 67-74. MA Y, GUO F Y, GUO L N, et al. Characteristics of wind speed changes in Qingdao based on observation data from 1899 to 2015[J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(3): 67-74.

[3] 田咏梅, 马艳, 于进付, 等. 气候变化背景下青岛地区气候环境特征分析[J]. 海洋湖沼通报, 2012(4): 10-15. TIAN Y M, MA Y, YU J F, et al. Characteristics of Qingdao City climate under the background of global climate change[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2012(4): 10-15.

[4] 张凯静, 江敦双, 丁锋. 青岛市短时强降水的气候特征和天气系统分型[J]. 海洋气象学报, 2018, 38(1): 108-114. ZHANG K J, JIANG D S, DING F. Analysis of climate characteristics and synoptic system classification on short-time severe precipitation in Qingdao[J]. Journal of Marine Meteorology, 2018, 38(1): 108-114.

[5] 杨瑜峰. 中国西北东部近50a降水异常分布及变化特征[J]. 干旱气象, 2014, 32(5): 701-705. YANG Y F. Characteristics of precipitation anomalies in the last 50 years in eastern part of northwest China[J]. Journal of Arid Meteorology. 2014, 32(5): 701-705.

[6] 吴风波, 汤剑平. 城市化对2008年8月25日上海一次特大暴雨的影响[J]. 南京大学学报(自然科学), 2011, 47(1): 71-81. WU F B, TANG J P. The impact of urbanization on a heavy rainfall case in Shanghai on 25 August 2008[J]. Journal of Nanjing University Natural Sciences, 2011, 47(1): 71-81.

[7] 李书严, 马京津. 城市化进程对北京地区降水的影响分析[J]. 气象科学, 2011, 31(4): 414-421. LI S Y, MA J J. Impact of urbanization on precipitation in Beijing area[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2011, 31(4): 414-421.

[8] 孙小丽, 梁永礼, 刘爱梅, 等. 济南市城市化发展对降水的影响分析[J]. 山东气象, 2016, 36(4): 29-33. SUN X L, LIANG Y L, LIU A M, et al. Impact of urbanization on precipitation in Jinan[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2016, 36(4): 29-33.

[9] 马雨露, 赖成光, 习树峰, 等. 南方高度城市化地区极端降雨特征分析及阈值确定——以深圳市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2017, 28(2): 76-81. MA Y L, LAI C G, XI S F, et al. Analysis and determination of extreme precipitation threshold in highly urbanized areas of Southern China: a case from Shenzhen[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2017, 28(2): 76-81.

[10] 白永强, 刘绪为, 李成江, 等. 基于年径流总量控制率的降雨典型年的研究及确定[J]. 中国给水排水, 2018, 34(1): 106-109. BAI Y Q, LIU X W, LI C J, et al. Determination of typical rainfall year based on volume capture ratio of annual rainfall[J]. China Water & Wastewater, 2018, 34(1): 106-109.

[11] 杨学斌, 代玉田, 王宁. 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 X B, DAI Y T, WANG N, 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.

[12] 姚丽娟, 陈金凤. 深圳河流域降雨典型年分析[J]. 人民长江, 2006, 37(8): 38-39. YAO L J, CHEN J F. Analysis of typical years of rainfall in the Shenzhen River Basin[J]. Yangtze River, 2006, 37(8): 38-39.

[13] 褚桂红, 史文娟. 基于模糊相似优先比法的灌区降雨典型水文年选取研究[J]. 山西水利科技, 2015(2): 72-75. CHU G H, SHI W J. A research rainfall typical hydrologic years irrigation area based fuzzy similarity priority ratio method[J]. Shanxi Hydrotechnics, 2015(2): 72-75.

[14] 夏莉敏, 张玮. 基于模糊聚类迭代模型的典型水文年选取研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2009, 33(4): 695-698. XIA L M, ZHANG W. Study on selection of typical year with water-sediment based on fuzzy clustering iterative model[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2009, 33(4): 695-698.

[15] 刘绪为, 李成江, 徐洁, 等. 海绵城市年径流总量控制率计算方法及应用探讨[J]. 中国给水排水, 2017, 33(5): 130-133. LIU X W, LI C J, XU J, et al. Calculation and discussion on volume capture ratios of annual rainfalls in sponge city[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(5): 130-133.

[16] 王文亮, 李俊奇, 车伍, 等. 海绵城市建设指南解读之城市径流总量控制指标[J]. 中国给水排水, 2015, 31(8): 18-23. WANG W L, LI J Q, CHE W, et al. Explanation of sponge city development technical guide: planning index for urban total runoff volume capture[J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 18-23.

[17] 马艳, 黄容, 于进付, 等. 青岛环胶州湾地区暴雨特征及暴雨灾害风险分析[J]. 灾害学, 2012, 27(4): 42-46. MA Y, HUANG R, YU J F, et al. Characteristics of rainstorm and its disaster risk assessment around the region of Jiaozhou Bay[J]. Journal of Catastrophology, 2012, 27(4): 42-46.

[18] 蒋大凯, 王江山, 闫琦, 等. 1961-2010年5-9月东北冷涡气候特征及其对辽宁气温的影响[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(2): 5-9. JIANG D K, WANG J S, YAN Q, et al. Climatic characters of northeast cold vortex and its effect on air temperature in Liaoning Province from May to September during 1961—2010[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2012, 28(2): 5-9.

[19] 董海鹰, 王建林, 梁卫芳. 冷涡背景下两次强对流天气对比分析[J]. 山东气象, 2014, 34(3): 10-16. DONG H Y, WANG J L, LIANG W F. Comparative analysis of two strong convective weather events under the background of cold vortex[J]. Journal of Shandong Meteorology, 2014, 34(3): 10-16.

[20] 郁珍艳, 何立富, 范广洲, 等. 华北冷涡背景下强对流天气的基本特征分析[J]. 热带气象学报, 2011, 27(1): 89-94. YU Z Y, HE L F, FAN G Z, et al. The basic features of the severe convection at the background of cold vortex over North China[J]. Journal of Tropical Meteorology, 2011, 27(1): 89-94.

[21] 李江波, 王宗敏, 王福侠, 等. 华北冷涡连续降雹的特征与预报[J]. 高原气象, 2011, 30(4): 1119-1131. LI J B, WANG Z M, WANG F X, et al. Characteristic and forecasting of continuous hail shooting processes caused by the North China cold vortex[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(4): 1119-1131.

[22] GUO X L, FU D H, WANG J. Mesoscale convective precipitation system modified by urbanization in Beijing

City[J]. Atmospheric Research, 2006, 82(1/2): 112-126.

[23] 张朝林, 苗世光, 李青春, 等. 北京精细下垫面信息引入对暴雨模拟的影响[J]. 地球物理学报, 2007, 50(5): 1373-1382. ZHANG C L, MIAO S G, LI Q C, et al. Impacts of fine-resolution land use information of Beijing on a summer severe rainfall simulation[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2007, 50(5): 1373-1382.

[24] 吴婕, 徐影, 师宇. 华南地区城市化对区域气候变化的影响[J]. 气候与环境研究, 2015, 20(6): 654-662. WU J, XU Y, SHI Y. Urbanization effects on local climate change in South China[J]. Climatic and Environmental Research, 2015, 20(6): 654-662.

[25] 陈圣劼, 尹东屏, 李玉涛, 等. 南京地区城郊降雨差异特征分析[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(6): 27-33. CHEN S J, YIN D P, LI Y T, et al. Analysis of differences of rainfall between urban and rural regions in Nanjing[J]. Climatic and Environmental Research, 2016, 32(6): 27-33.

Analysis of Precipitation Characteristics in Qingdao Since 1981

GUO Lina[1,2], MA Yan[2]

(1. *Qingdao Engineering Technology Research Center for Meteorological Disaster Prevention of Shandong Province*, Qingdao 266003, China;

2. *Qingdao Meteorological Bureau of Shandong Province*, Qingdao 266063, China)

Abstract: The temporal and spatial distributions of precipitation in Qingdao City are analyzed under the climate background and the urbanization process and based on the annual, monthly, daily and hourly precipitation data observed at 7 national basic meteorological stations in Qingdao from 1981 to 2017. The results show that from 1981 to 2017 the average annual precipitation days in Qingdao were 75 days and the average annual precipitation was 654.0 mm, which had a tendency of increasing from 1981 to 2010 and a tendency of decreasing from 2011 to 2017. The annual precipitation had a larger increasing trend at Qingdao Station and Jiaonan Station in the southern coastal area and a relatively small trend at Jimo Station and Jiaozhou Station in the central and northern area. The annual precipitation at Qingdao, Laoshan, Jiaozhou and Jiaonan stations had an increasing trend in the 1980s, the 1990s, the 2000s and the 2010s, whereas at Pingdu Station and Laixi Station located in the north region showed a decreasing trend in the 1990s, the 2000s and the 2010s. Diurnal variation of hourly precipitation frequency at the stations in typical precipitation year had obvious characteristics: the precipitation occurred the most from the wee hours to the morning with the probability of occurrence being 2.6% to 6.7%, and from the afternoon to the first half of the night the precipitation reduced significantly. The hourly precipitation over 20 mm • h^{-1} occurred the most at Jiaonan Station, being up to 7 times. In July of typical precipitation years the 500 hPa shows a circulation pattern of "two troughs and two ridges" or "two troughs and one ridge" and the upper troughs are stronger than the usual. The main body of the Western Pacific subtropical high lies over the Western Pacific Ocean at 15°— 35°N, East of 120°E, with its ridge line being near 25°N. The Qingdao area is located in the northwest side of the Northwest Pacific subtropical high so that it is prone to precipitation.

Key words: precipitation; Qingdao; typical precipitation years; urbanization

Received: September 30, 2021