

1981—2017 年山东汛期降水时空分布特征

黄 灏^{1,2}, 赵海坤¹, 杨 琳³

(1. 南京信息工程大学 大气科学学院, 南京 210044; 2. 烟台市气象局,
山东 烟台 264003; 3. 烟台市万千气象服务有限责任公司, 山东 烟台 264003)

摘 要: 利用山东省 22 个基本(准)气象站 1981—2017 年汛期(6—9 月)逐日降水数据, 运用降水集中度指数 Q , 统计分析了山东汛期降水分布的时空变化特征, 并分析了有效降水、强降水和极端降水等不同强度降水日数和降水量的分布特征和变化趋势。结果表明: 鲁中山区至鲁东南一带汛期 Q 指数相对较小, 降水相对均匀, 山东半岛北部沿海和鲁西地区汛期 Q 指数相对较大, 降水相对集中。山东省中西部大部分地区 Q 指数呈减小趋势, 降水量和降水日数多为增加趋势, 山东半岛沿海地区 Q 指数呈增加趋势, 降水日数减少, 降水呈更为集中的趋势。大部分地区不同强度的降水量和降水日数呈增加趋势, 山东半岛沿海地区强降水和极端降水日数增加趋势更为明显, 会导致该地区降水更加集中。

关键词: Q 指数; 空间分布; 时间变化; 变化趋势; 山东省

中图分类号: P468

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2019)01-0203-06

Spatial-temporal Distribution Characteristics of Precipitation in Flooding Season in Shandong Province from 1981 to 2017

HUANG Hao^{1,2}, ZHAO Haikun¹, YANG Lin³

(1. College of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science & Technology,
Nanjing 210044, China; 2. Yantai Meteorological Bureau, Yantai, Shandong 264003, China;

3. Yantai Wan Qian Meteorological Service Limited Liability Company, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract: Based on daily precipitation data at 22 basic meteorological stations in Shandong Province during the period from 1981 to 2017, the changes in distribution of precipitation in flooding season in Shandong Province were comprehensively analyzed using the concentration index (Q), and spatial-temporal distribution characteristics and changing trend of different grads precipitation were analyzed. The results indicated that the regions with smaller Q indexes were middle Shandong and south-east Shandong and the areas with the bigger Q indexes were northern coast of Shandong Peninsula and western Shandong; the Q indexes presented the decreasing trends in most regions of middle-west Shandong and increasing trends in coast regions of Shandong Peninsula; the total amount of precipitation and days precipitation in most regions presented the increasing trends; days of strong and extreme precipitation were more obvious and precipitation was more concentrated in coast regions of Shandong Peninsula.

Keywords: Q index; spatial distribution; interannual variations; changing trend; Shandong Province

全球气候变暖是非常明确的, 将影响地球的水循环, 使地球更加干湿分明, 造成的不利影响和危害越来越大^[1]。全球变暖导致了极端天气、气候事件和重大自然灾害频发, 极端气候事件强度和频率的变化越来越成为气候变化领域研究关注的重点^[2-3]。

山东省地处中纬度地区, 属暖温带季风气候区, 雨热同季, 受海陆位置及区域内地形地貌特征差异影

响, 年内降水时空分布差异明显。旱涝是山东最主要的气象灾害, 其中 20 世纪 60 年代前期是山东省洪涝灾害多发期, 80 年代降水持续偏少, 出现了严重的干旱, 90 年代则为旱涝灾害交替发生, 进入 21 世纪以来, 连续出现洪涝灾害^[4-5]。严重的旱涝灾害给当地人们生命财产安全、地方经济特别是农业生产和生态环境带来了诸多不利影响。降水量年内的集中程度

与严重旱涝灾害事件密切相关,随着全球变暖加强,降水量是否会更加集中,从而导致更为严重的旱涝灾害等问题已经受到广泛的关注^[6-7]。山东年降水偏少且主要出现在汛期(6—9月),旱涝、高温等极端气候灾害事件频发,气象灾害带来的损失日益严重,对当地工农业生产、生态环境等领域的影响尤为明显。

以往关于山东省区域降水方面的研究多集中在降水量和降水日数变化特征的平均态^[8-9]或极端降水指数^[10-11]的分析,迟竹萍^[8]利用 1961—2005 年山东省 26 个气象站逐日降水资料,分析了山东夏季降水量、雨日和暴雨日数特征,表明山东夏季降水大部分地区为减少趋势,暴雨日降雨强度的变化与夏季降水量的减少关系更为密切;夏季降水量、暴雨日降雨强度和旱涝年有明显的年代际变化特征。董旭光等^[9]利用山东省 121 个气象站 1961—2010 年逐日降水观测数据,分析了山东省近 50 a 来的降水日数和强度的气候特征、变化趋势和变异场、突变、周期性特征。研究表明山东省降水日数总体呈极显著减少趋势,小雨日数和强度减少减弱的趋势相对更显著。李胜利等^[10]利用山东省 117 个气象站 1961—2010 年逐日降水观测数据,选取了 9 个极端降水指数,分析了区域内各极端降水指数的时间变化趋势和空间分布规律,并探讨了各极端降水指数与总降水量、大尺度因子之间的关系。Xue 等^[11]运用 1961—2008 年 78 个气象站降水资料研究表明近 50 a 极端降水有不显著的增加变化趋势,小雨日数呈逐年递减趋势,暴雨频率有增加趋势。段丽瑶等^[12]根据 1961—2008 年降水资料,利用 EOF 和 REOF 方法得到环渤海地区夏季降水存在明显的区域一致性以及年际和年代际变化特征,降水总体呈下降趋势。高留喜等^[13]根据山东省 81 个地面站 1961—1998 年共 38 年的降水资料,应用自然正交函数展开(EOF)方法,分析了山东省 38 年春季月、季降水量的时空变化特征,山东春季易出现干旱,春季降水存在明显的年际变化,有 4.8~6 a 的振荡周期的研究成果。徐宗学等^[14]利用 M-K 法分析了山东省 14 个气象站 1958—2008 年气温和降水的变化,表明除济南降水量呈略微上升趋势外,其余地区的降水倾向率均为负值。杨士恩等^[15]应用 1961—1998 年的山东省 40 个代表站夏季降水资料,分析了山东夏季降水的气候特征,得出山东夏季降水呈现出整体一致性,即降水的同多(同少)型。在总体一致的趋势下还有明显的东、西差异和南、北差异,存在 3.8 年震荡周期,并且在 1978 年出现了一

次降水突变。

相对于山东省降水量、降水日数和降水强度的研究成果,山东省针对降水量年内分配非均匀性特征方面的研究成果还很少,仅万明波等^[16]利用 PCD 方法对山东省降水量的非均匀性进行了研究,该方法是基于张录军等^[17]根据河川月径流集中度和集中期^[18]的思路,提出的用降水集中度(PCD)和集中期(PCP)来度量降水量非均匀性分配。该方法能够很好地反映过程内降水的时空非均匀性分布特征。张录军等^[17]对长江流域、杨玮等^[19]对青藏高原、杨金虎等^[20]对西北地区、张运福等^[21]对东北地区等利用这种方法分别对不同区域的降水非均匀性特征进行了研究。PCD 方法能够反映降水量非均匀分配特性,但不同强度降水过程非均匀分配特征及其累积效应仍难以得到很好的描述^[22]。因此,定量分析山东区域内降水事件的非均匀性变化特征仍有重要的意义。因此,本文采用山东省信息化后的较完整的 22 个基本(准)气象站 1981—2017 年日降水观测数据,结合降水集中程度的 Q 指数来揭示山东省汛期降水分布特征,可为更好地认识区域内气候背景和水资源变化特征,为气象科学防灾减灾和水资源管理以及防洪抗灾提供依据。

1 研究资料和方法

1.1 研究资料

山东省 22 个气象站 1981—2017 年逐日降水观测数据由山东省气象信息中心提供,降水观测数据已经经过了质量控制和检验。在降水资料的分析过程中有针对性地对观测资料进行均一性检验和订正,对明显错误的数据进行检验,尤其对降水极大值进行合理性判断。

1.2 研究方法

1.2.1 Q 指数 熵的概念在物理学中得到广泛的运用,它不仅可以衡量不可预测性的信息内容,而且可以表征信息传达的方法。一般而言,一种信息出现的概率越高,表明被传播地越广泛,被引用的程度也就越高。当变量的不确定性增大时,熵值也就增大,认识变量所需要的信息量也就越大^[22-23]。降水为偏态分布,常规统计方法不适用直接分析,而熵具有不必考虑研究变量分布模态的优点,因此根据 Li 等^[24]定义的表征单站降水量时间分配特征的降水集中度 Q 指数方法,研究时段内逐日降水对降水总量的降水集中度。降水集中度 Q 指数见表达式(1):

$$Q_i=1+\sum_{i=1}^N\frac{1}{\ln N}\cdot [P(x_i)\cdot \ln P(x_i)]\quad (1)$$

式中： N 为研究时段的总日数，本研究为山东汛期时段（6—9 月）共计 122 d。 $P(x_i)$ 为第 i 日降水量对研究时段降水的贡献率。降水总量多，若 Q 值接近 1，那么多数的降水集中在少数天里，容易产生洪涝灾害；降水总量少，若 Q 值接近 1，则很少的降水也集中在了少数天里，没有降水的天数就很多，容易产生干旱灾害。所以，无论降水多与少； Q 值接近 1 时，都容易出现由降水主导的灾害；而 Q 值若很小，降水很平均，造成干旱或洪涝灾害的可能性就相对减少很多^[24]。

1.2.2 降水量等级 参照国标《降水量等级 GB/T28952—2012》^[25] 中关于降雨量等级划分标准，将 ≥ 1.0 mm 的 24 h 降水量定义为有效降水， ≥ 25.0 mm 的 24 h 降水量定义为强降水， ≥ 50.0 mm 的降水量定义为极端降水，分析山东省 1981—2017 年汛期不同强度降水量、降水日数的时空变化特征。

1.2.3 气候倾向率 采用线性趋势估计法推断极端气候指数的年际变化趋势和大小，气候倾向率（为线性趋势的 10 a 的变化量）为正时表示极端气候指数随时间呈现上升趋势，反之则为下降趋势。并通过显著性相关统计检验判断变化趋势是否显著。

2 山东省汛期降水特征

2.1 时间变化特征

山东省 1981—2017 年汛期历年 Q 指数、降水量、降水日数变化见图 1。山东省汛期 Q 指数历年平均值为 0.390，历年在 0.33~0.540 之间，其中 2003 年最小，1997 年最大，气候倾向率为 $-0.005/10$ a，呈微弱减小的变化趋势，减小趋势不显著（ $p>0.05$ ）（没有通过 0.05 置信度水平检验）。20 世纪 80 年代和 21 世纪以来 Q 指数历年波动相对较小，20 世纪

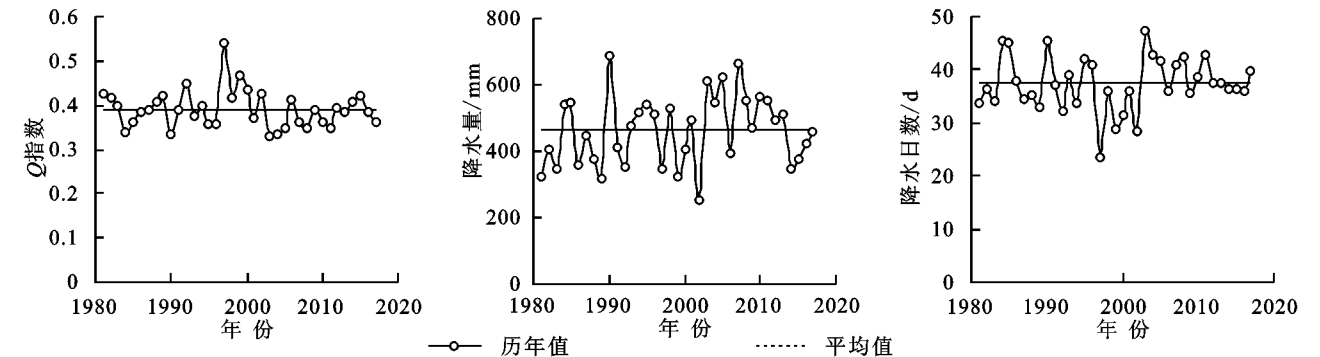


图 1 山东省 1981—2017 年汛期 Q 指数、降水量、降水日数年际变化

2.3 空间变化特征

山东省 1981—2017 年汛期各站 Q 指数、降水

90 年代波动较大，21 世纪前 10 a 的 Q 指数多在平均值以下。山东省汛期降水量历年平均值为 462.6 mm，历年在 250.6~685.8 mm 之间，其中 1990 年最大，2002 年最小，气候倾向率为 19.91 mm/10 a，呈不显著的增加变化趋势（ $p>0.05$ ）。汛期降水量历年波动较大，其中 20 世纪 80 年代多在平均值以下，2003—2013 年则多高于平均值。汛期降水日数的历年变化和降水量类似，降水量多的年份基本上降水日数也较多，降水日数平均为 37.3 d，历年在 23.5~47.2 d 之间，其中 2003 年多，1997 年最少，气候倾向率为 0.35 d/10 a，呈不显著的增加变化趋势（ $p>0.05$ ）。总体上看，汛期降水日数多（少）的年份对应着 Q 指数低（高），虽然山东省汛期降水量历年波动较大，但对于降水日数少的年份，降水更容易集中，从而降水强度增加，易发生局地洪涝灾害。

2.2 空间分布特征

山东省 1981—2017 年汛期各站 Q 指数、降水量、降水日数的空间分布差异显著（图 2）。1981 年以来山东省各地 Q 指数在 0.348~0.429 之间，其中沂源站最小，成山头站最大，鲁中山区至鲁东南一带汛期 Q 指数相对较小，大部分地区 Q 指数小于 0.380，这些区域降水相对分散，即降水较均匀地分布在整个汛期，表明降水日数相对较多，山东半岛北部沿海和鲁西地区汛期 Q 指数最大，超过 0.401，表明这些地区降水相对较集中。汛期降水量和降水日数的空间分布类似，但与 Q 指数的空间分布相反，即降水量和降水日数多（少）的站点其 Q 指数低（高），山东省各地降水量在 357.6~596.6 mm 之间，其中郯城站最多，莘县站最少，降水日数为 32.1~42.1 d，其中费县站最多，长岛站最少。鲁中山区至鲁东南一带汛期降水量和降水日数相对较多，降水量达 480.0 mm 以上，降水日数超过 37.2 d，山东半岛北部和鲁西一带相对较小，降水量小于 422.8 mm，降水日数小于 35.4 d。

量、降水日数的变化趋势空间分布差异显著（图 3）。

山东各地 Q 指数在 $-0.016\sim0.022/10$ a 之间，

中西部大部分地区呈减小的变化趋势,但减小趋势不显著($p>0.05$),说明山东大部分地区降水有微弱的分散趋势,山东半岛的威海、成山头、青岛、长岛、福山等部分沿海地区 Q 指数有增大的变化趋势,但最大不超过 $0.022/10\text{ a}$,增大趋势不显著($p>0.05$),说明这些地区汛期降水呈现集中的变化趋势。山东各地降水量在 $-5.700\sim38.761\text{ mm}/10\text{ a}$ 之间,大部分地区呈增多的变化趋势,其中仅长岛站增多趋势较显著($p<0.05$),降水量呈减小变化趋势的地区出现在

陵城、海阳和费县,但减小趋势不显著($p>0.05$)。各地降水日数变化趋势在 $-1.406\sim1.624\text{ d}/10\text{ a}$ 之间,但变化趋势均不显著($p>0.05$)。整体上看,山东半岛沿海地区汛期降水呈现集中的趋势,而这些地区的降水量普遍也呈增多趋势,降水日数则有减小趋势,说明更多的降水量集中在更少的雨日内,从而导致单日降水强度增加了。虽然山东中部一带汛期降水量有增多趋势,但降水日数亦增多,使得 Q 指数变化较小甚至有减小的趋势。

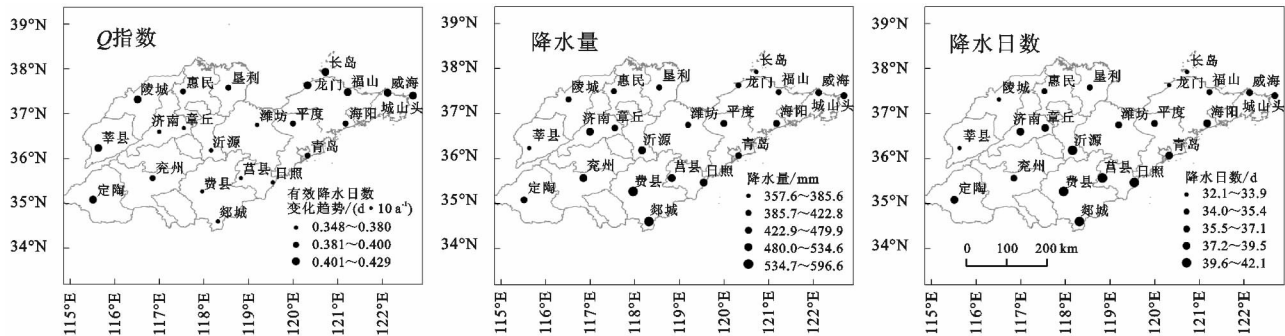


图2 山东省1981—2017年汛期 Q 指数、降水量、降水日数空间分布特征

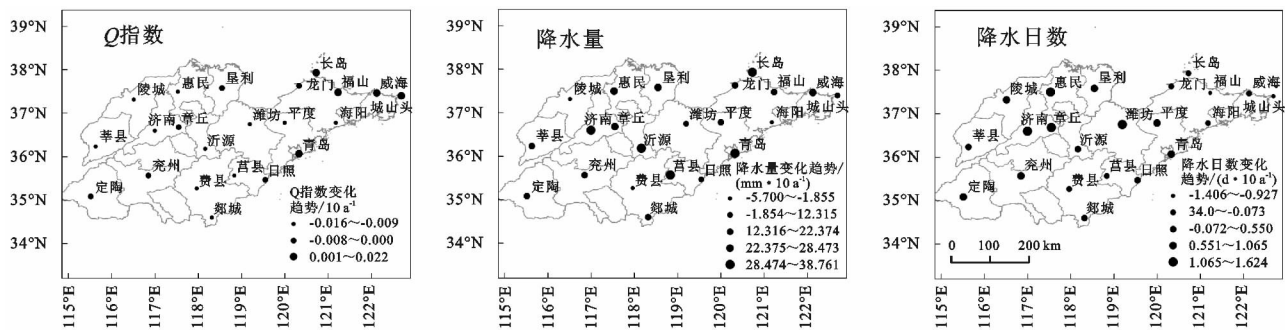


图3 山东省1981—2017年汛期 Q 指数、降水量、降水日数变化趋势空间分布特征

2.4 不同强度降水日数时间变化

参考国标《降水量等级 GB/T 28952—2012》^[25]中关于降雨量等级划分标准,将日降水量划分为 1.0 mm 以上的降水(有效降水), 25.0 mm 以上的超过大雨强度的降水(强降水)和 50.0 mm 以上的超过暴雨强度的降水(极端降水)3个量级,以此分析山东各地不同强度日降水的时空变化特征。

山东省汛期1981—2017年历年有效降水、强降水、和极端降水日数(图4)和降水量年际变化类似,各强度降水日数和降水量均有增加趋势,其中有效降水、强降水、极端降水日数气候倾向率分别为 $0.72\text{ d}/10\text{ a}$, $0.31\text{ d}/10\text{ a}$, $0.14\text{ d}/10\text{ a}$,有效降水、强降水、极端降水量气候倾向率分别为 $20.02\text{ mm}/10\text{ a}$, $16.54\text{ mm}/10\text{ a}$, $10.48\text{ mm}/10\text{ a}$,但均没有通过 0.05 置信度水平检验,各强度降水日数和降水量增加趋势不显著。各强度降水日数年际波动较大,20世纪80年代除了1985年、1986年各强度降水日数均低于平均

值,2003—2013年则多高于平均值。

2.5 不同强度降水日数空间分布

山东省汛期1981—2017年各地有效降水、强降水、和极端降水日数空间分布类似(图5)。鲁中山区至鲁东南一带是各强度降水日数和降水量较多的地区,有效降水日数超过 27.7 d ,强降水日数超过 5.5 d ,极端降水日数超过 2.0 d ,山东半岛东部地区、鲁西地区强降水和极端降水日数比有效降水日数明显增多,有效降水日数一般低于 26.2 d ,强降水日数可达 5.5 d 左右,极端降水日数达 2.0 d 以上,说明虽然山东半岛东部地区、鲁西地区有效降水日数相对其他地区较少,但强降水和极端降水日数更多,因此强降水和极端降水日数占比更大,更容易出现产生洪涝灾害的强降水,使得该地区 Q 指数也更大。

山东中西部绝大部分地区有效、强降水、和极端降水日数呈增多的变化趋势(图5),其中有效降水日数变化趋势在 $-0.514\sim1.811\text{ d}/10\text{ a}$ 之间,仅济

南站增加趋势显著($p<0.05$),呈减小变化趋势的地区仅威海和成山头两站,但减少趋势不显著($p>0.05$),强降水日数变化趋势在 $-0.085\sim0.842\text{ d}/10\text{ a}$ 之间,仅长岛站增加趋势显著($p<0.05$),呈减小变化趋势的地区仅陵城和惠民两站,但减少趋势不显著($p>0.05$),极端降水日数变化趋势为 $-0.405\sim0.479\text{ d}/10\text{ a}$,其中长岛和青岛站增加趋势显著($p<$

0.05),呈减小变化趋势的地区共有 6 站,但减少趋势都不显著($p>0.05$)。山东半岛沿海地区强降水和极端降水日数增加趋势比有效降水日数和降水量(图略)更明显,说明该地区强降水和极端降水有增加的趋势,弱降水则增加不明显甚至有减少趋势,因此,强降水和极端降水日数和降水量的增加趋势会导致降水更加集中。

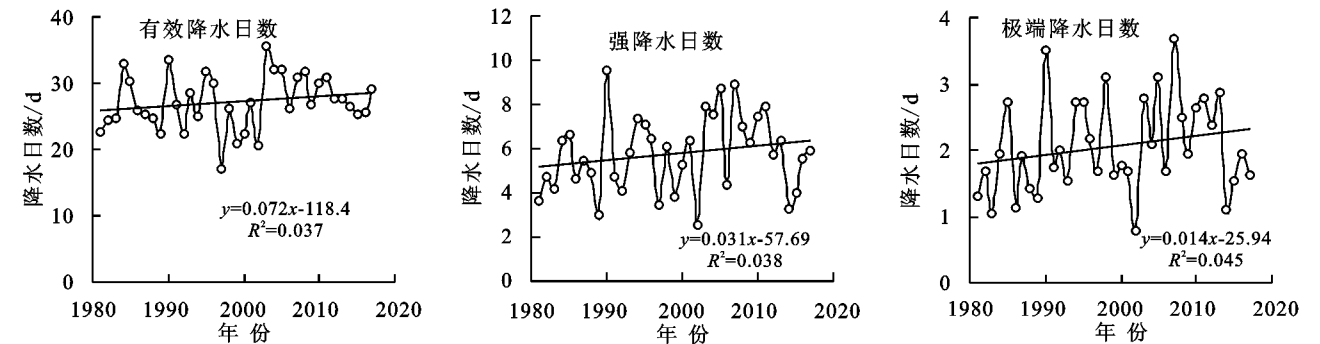


图 4 山东省 1981—2017 年汛期有效降水日数、强降水日数、极端降水日数年际变化

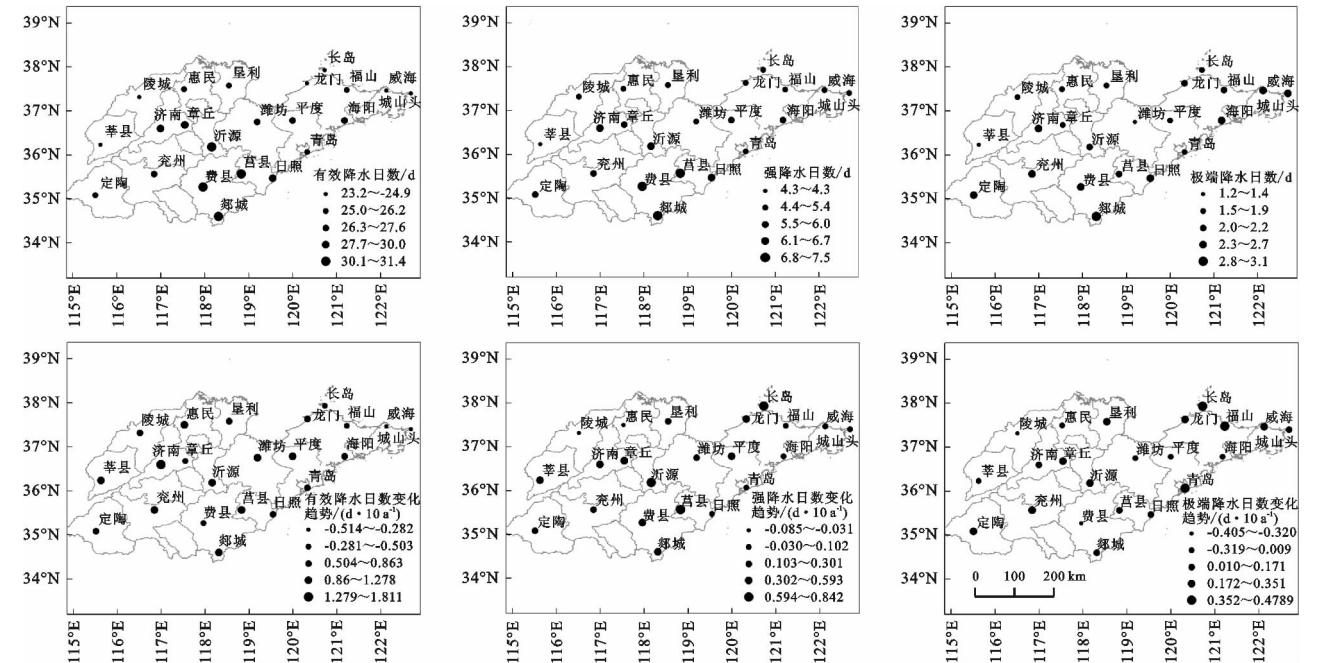


图 5 山东省 1981—2017 年各地汛期有效降水日数、强降水日数、极端降水日数的空间分布(上)和变化趋势(下)

3 结论

(1) 山东省汛期 Q 指数历年平均值为 0.390,气候倾向率为 $-0.005/10\text{ a}$,汛期降水量历年平均值为 462.6 mm,气候倾向率为 19.91 mm/10 a,降水日数平均为 37.3 d,气候倾向率为 0.35 d/10 a,汛期降水日数多(少)的年份对应着 Q 指数低(高)。

(2) 山东省各地 Q 指数为 0.348~0.429,鲁中山区至鲁东南一带汛期 Q 指数相对较小,大部分地区 Q 指数小于 0.380,这些区域降水相对分散,即降水较均匀地分布在整个汛期,表明降水日数相对较

多,山东半岛北部沿海和鲁西地区汛期 Q 指数相对较大,超过 0.401,表明这些地区降水相对较集中。汛期降水量和降水日数的空间分布类似,但与 Q 指数的空间分布相反,即降水量和降水日数多(少)的站点其 Q 指数低(高)。

(3) 山东中西部大部分地区 Q 指数呈不显著的减小变化趋势,但降水量和降水日数多为增加趋势,说明这些地区降水分布更加均匀,山东半岛沿海地区 Q 指数则有不显著的增大变化趋势,降水日数为减小趋势,说明更多的降水量集中在更少的雨日内,从而导致单日降水强度增加了。

(4) 山东各地大部分地区有效降水、强降水、极端降水量和日数均有不显著的增加趋势,山东半岛沿海地区强降水和极端降水日数增加趋势比有效降水日数和降水量更明显,会导致该地区降水更加集中。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability, Cambridge: Cambridge University Press in press <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> [2014-04-10].
- [2] 丁一汇,任国玉. 中国气候变化科学概论[M]. 北京:气象出版社,2008.
- [3] 秦大河,陈振林,罗勇,等. 气候变化科学的最新认知[J]. 气候变化研究进展,2007,3(2):63-73.
- [4] 李君,邵庆国,韩国泳,等. 山东伏期旱涝特征与大气环流异常[J]. 气象科学,2009,29(1):106-109.
- [5] 高留喜,刘秦玉. 山东省春季旱年与涝年对应的大气环流[J]. 青岛海洋大学学报,2003,33(4):512-518.
- [6] 严中伟,杨赤. 近几十年中国极端气候变化格局[J]. 气候与环境研究,2000,5(3):267-271.
- [7] 冯强,王昂生,李吉顺. 我国降水的时空变化与暴雨洪涝灾害[J]. 自然灾害学报,1998,7(1):87-93.
- [8] 迟竹萍. 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,2009,28(1):220-226.
- [9] 董旭光,顾伟宗,孟祥新,等. 山东省近50年来降水事件变化特征[J]. 地理学报,2014,69(5):661-671.
- [10] 李胜利,巩在武,石振彬. 近50年来山东省极端降水指数变化特征分析[J]. 水土保持研究,2016,23(4):120-127.
- [11] Xue D Q, Wang X T. The Variation of Extreme Temperature and Precipitation in Shandong Province during 1961—2008[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010,1(5):51-57.
- [12] 段丽瑶,杨艳娟,李明财. 近50年环渤海地区夏季降水时空变化特征[J]. 高原气象,2013,32(1):243-249.
- [13] 高留喜,刘秦玉. 山东春季降水的时空变化特征分析[J]. 高原气象,2005,24(5):811-815.
- [14] 徐宗学,孟翠玲,赵芳芳. 山东省近40a来的气温和降水变化趋势分析[J]. 气象科学,2007,27(4):387-393.
- [15] 杨士恩,王启. 山东夏季降水的气候特征及其成因[J]. 热带气象学报,2007,23(1):65-71.
- [16] 万明波,董旭光. 山东省1961—2010年降水的非均匀性特征[J]. 干旱气象,2015,33(4):566-573.
- [17] 张录军,钱永甫. 长江流域雨季降水集中度和旱涝关系研究[J]. 地球物理学报,2003,47(4):622-630.
- [18] 杨远东. 河川径流年内分配的计算方法[J]. 地理学报,1984,39(2):218-227.
- [19] 杨玮,何金海,王盘兴,等. 近42年来青藏高原年内降水时空不均匀性特征分析[J]. 地理学报,2011,66(3):376-384.
- [20] 杨金虎,王鹏祥,白虎志,等. 中国西北降水年内非均匀性特征分析[J]. 气候变化研究进展,2007,3(5):276-281.
- [21] 张运福,胡春丽,赵春雨,等. 东北地区降水年内分配的不均匀性[J]. 自然灾害学报,2009,18(2):89-94.
- [22] 李慧,周顺武,陆尔,等. 1961—2010年中国华南地区夏季降水结构变化分析[J]. 气候变化研究进展,2018,14(3):247-256.
- [23] 王皖,陆尔,赵玮,等. 一种新的反映我国降水季节内非均匀性特征的方法[J]. 热带气象学报,2015,31(5):655-663.
- [24] Li H, Zhai P M, Lu E, et al. Changes in temporal concentration property of summer precipitation in China during 1961—2010 based on a new index [J]. Journal of Meteorological Research, 2017,31(2):336-349. DOI:10.1007/s13351-017-6020-y.
- [25] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. GB/T 28592-2012 降水量等级[S]. 北京:中国标准出版社,2012:1-2.