

山东省近50年来降水事件变化特征

董旭光¹, 顾伟宗², 孟祥新¹, 刘焕彬¹

(1. 山东省气候中心, 济南 250031;

2. 枣庄市气象局, 枣庄 277800)

摘要: 运用山东省121个气象站1961-2010年逐日降水观测数据, 分析了山东省近50a来的降水日数和降水强度的气候特征、变化趋势和贡献率、变异场、突变、周期性等特征。结果表明: 近50a山东省年降水日数和强度存在着明显的年代际振荡, 降水日数总体呈极显著减少趋势。降水日数和强度呈明显的带状分布, 由东南向西北逐渐减少。各地大雨强度较均匀, 暴雨日数和强度在鲁中山区南侧较多、较大, 北侧则较少、较小。平均年降水日数呈减少变化趋势的站点达116个, 降水强度增强的站点达80个。大雨日数减少和暴雨强度增强趋势较明显。大雨和暴雨日数占比较小, 但对年降水量贡献较大。21世纪以来大雨和暴雨降水量和降水日数比率增大。平均降水日数及其变异系数在20世纪60年代中期、90年代前后和21世纪初年际变化较大。降水事件同一年代际间的变异系数表现出相似的变化特征, 同一降水事件不同年代际间的变异系数表现出明显的差异性。平均降水日数和大雨强度分别在1977和2005年发生了突变。大雨和暴雨日数变化的主周期分别为5a、11a, 降水强度则分别为13a、21a。

关键词: 山东省; 气候变化; 降水日数; 降水强度

DOI: 10.11821/dlxb201405009

在全球变暖的背景下^[1], 我国各区域降水变化存在明显的地域差异, 东北北部、长江中下游的东南部地区和西部广大地区降水增加, 而华北地区以及东北东南部和西北东部地区降水明显减少, 而减少最明显的区域是环渤海地带^[2]。近十几年来, 夏季降水明显增加, 尤其是长江中下游地区、华南地区和西北西部地区。而华北地区夏季降水减少趋势明显^[3]。近年来, 一些气象工作者利用逐日降水资料从降水事件变化和降水非均匀分布等角度探讨了各区域的降水变化特征, 得到了针对区域气候特征、地形地貌特点的许多有意义的结论^[4-14]。段丽瑶^[15]等根据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^[16]等根据山东省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年的振荡周期的研究成果。徐宗学^[17]等利用M-K法分析了山东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^[18]等应用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。迟竹萍^[19]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

收稿日期: 2014-02-03; 修订日期: 2014-03-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(41275073); 中国气象局气候变化专项(CCSF201233) [Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41275073; Special Fund of China Meteorological Administration, No. CCSF201233]

作者简介: 董旭光(1979-), 男, 吉林人, 高级工程师, 硕士, 主要研究方向为气候变化与应用气象研究。

E-mail: dongxugg@sina.com

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。

但是,降水的变化与降水日数和降水强度的变化关系密切,旱涝灾害的发生与降水事件的频率和强度的联系更为密切,极端降水事件对旱涝灾害的作用更大。已有的研究结果对山东省降水事件分析的不够细致,分析精确度较低,使用的资料较少,利用更密集的降水逐日观测数据对山东省降水日数和降水强度以及降水稳定性、均匀性等方面的研究成果仍很少,因此,本文利用山东省121个气象站1961-2010年逐日降水观测数据对山东降水事件的气候特征及变化规律进行研究,以此更深入地了解山东省降水事件的变化情况。

1 资料和方法

1.1 资料情况

降水资料来源于山东省气象信息中心提供的山东省123个气象站1961-2010年逐日降水观测数据,山东大部分气象站在1961年已经有降水观测,个别站观测开始时间晚于1961年,其中河口站于1992年建站,资料年代较短,泰山站海拔1534 m,其气象观测环境仅对站点附近具有较好的代表性,本文的研究结果不包括河口、泰山站数据,对于其他建站晚于1961年,但降水数据缺测较少的站点,以实有整年降水数据进行统计分析。另外,必须考虑各种人为因素引起的气象资料的非均一性问题,有针对性的对观测资料进行均一性检验和订正,气温、风速等观测资料的人为影响显著,在进行这些要素分析的时候应该进行资料的均一性检验和订正,由于降水资料的时间序列对台站变迁等的影响没有气温、风速要素敏感,本文在降水资料的分析过程中对明显错误的的数据进行了检验,尤其对降水极大值进行了合理性判断。

1.2 研究方法

本文主要分析了平均、大雨和暴雨降水日数和降水强度的变化特征,雨日为日降水量 ≥ 0.1 mm日数的总和,日降水量在25.0-49.9 mm为大雨日,日降水量在50.0 mm以上为暴雨日,降水强度为各级降水总量与相应降水日数之比。

采用Mann-Kendall非参数检验进行突变分析,该方法不需要要素样本遵从一定的分布,也不受异常值的干扰,其理论基础较强且应用较多^[20]。采用气候趋势^[21]分析降水场的空间分布特征,气候趋势为正值表示要素序列为上升趋势,负值表示下降趋势,利用降水变异系数^[22]分析降水场的稳定性和均匀性,变异系数越大,表示降水量随时间变化大,出现旱涝几率也越大,变异系数越小,表示降水量波动越小,降水的稳定性越好。

2 山东省降水基本特征

山东多年平均降水日数和强度呈明显的带状分布,由东南向西北逐渐减少(图1)。鲁东南的临沂南部和半岛威海一带降水日数最多,超过82.4 d/a。鲁西北的德州和鲁北的滨州西北部一带降水日数少于67.5 d/a。降水日数空间分布主要受海陆位置和地形的影响,鲁中山区比临近同纬度的鲁西、青岛一带的降水日数多,黄海沿岸比渤海沿岸的降水日数多。降水强度空间分布与降水日数空间分布略有不同,鲁南和鲁东南广大地区雨强超过9.4 mm,鲁西、鲁北和北部沿海相对较小,尤其是莱州湾和烟台北部沿海雨强最小,低于8.1 mm。从黄海方向来的湿润空气受鲁中山区及半岛内陆丘陵的阻挡抬升,形成了鲁东南和半岛南岸的相对多雨区。

年降水日数和强度存在着明显的年代际振荡(图2),降水日数总体呈减少的趋势,为-0.232 d/a,趋势系数为0.380,减少趋势极显著(通过0.01信度检验),降水强度则呈增加

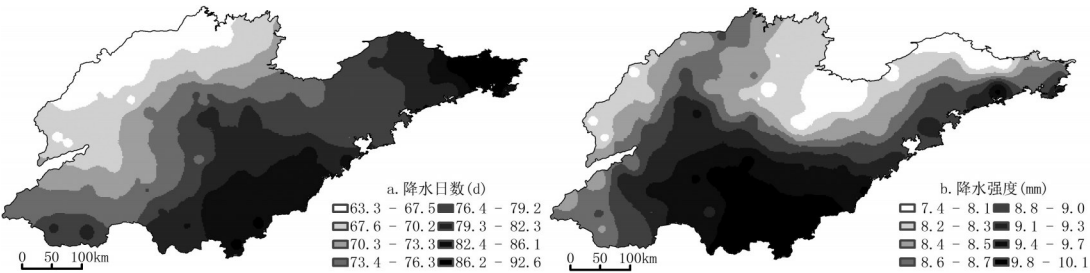


图1 山东省多年平均降水日数和强度

Fig. 1 Spatial distribution of 50-year average precipitation and precipitation day in Shandong Province

的趋势,为0.012 mm,趋势系数为0.150,增加趋势不显著(未通过0.05 信度检验)。20 世纪60 年代前期降水日数较多,1964 年最多,平均为108.9 d,是山东降水日数唯一超过100 d 的年份,同时降水强度也相对较大,超过平均线,造成该时段降水量偏多,是山东洪涝灾害最严重的一段时期。60 年代中后期至70 年代末期降水日数和强度多在平均线附近波动,80 年代中后期开始至90 年代前期,降水日数年际波动较大,80 年代降水强度均在平均线以下,是山东历史上比较严重的持续干旱时期。从90 年代中期开始至今仅有3 年的降水日数达到或超过平均值,降水强度则多在平均线以上,2000-2002 年降水日数和强度均在平均线以下,亦是山东干旱严重期,2003 年降水日数和强度突然增大增强,形成山东大涝。总体上看,20 世纪60 年代中期、90 年代初期和21 世纪初期是山东省年降水事件变化剧烈的时期,降水的急剧变化导致了这段时期出现比较严重的旱涝事件。

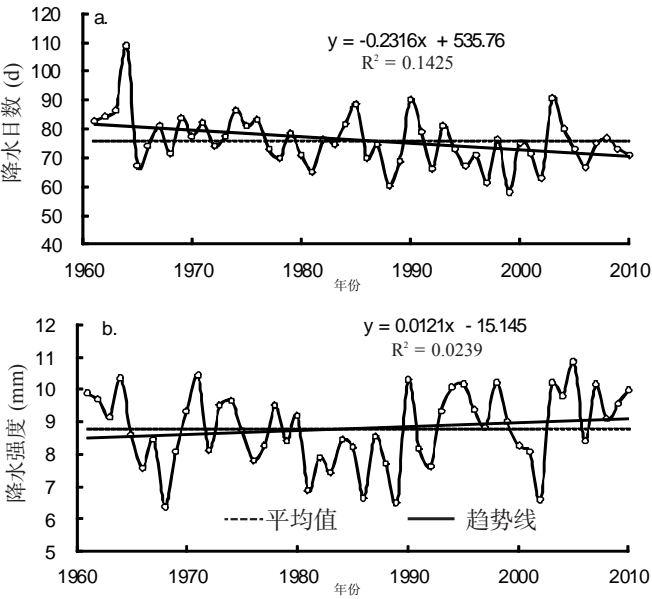


图2 山东省降水日数(a)和强度(b)逐年变化

Fig. 2 The annual changes of annual precipitation days and intensity in Shandong Province from 1961 to 2010

3 强降水的空间分布和变化特征

3.1 多年平均空间分布

山东省大雨和暴雨降水日数的空间分布表现为东南多、西北少,南部沿海多、北部沿海少的分布特征(图3)。大雨日数与平均降水日数空间分布类似,鲁中山区东南侧至鲁东南一带和半岛东部雨日在5.6~6.7 d 之间,鲁中山区西北侧、鲁西南、胶莱平原等地为过渡地带,雨日有所减少,鲁西北、鲁北雨日最少,低于4.3 d。暴雨日数的空间分布明显有别于大雨日数,鲁东南和半岛南岸暴雨日数最多,超过3.2 d,向西北方向暴雨日数显著减少,在莱州湾沿岸和鲁西北一带最少,少于1.8 d。暴雨日数的分布主要受东亚季风 and 地形相互作用造成,在山区南侧暖湿空气受阻被迫抬升形成强降水,而在山区北侧和鲁

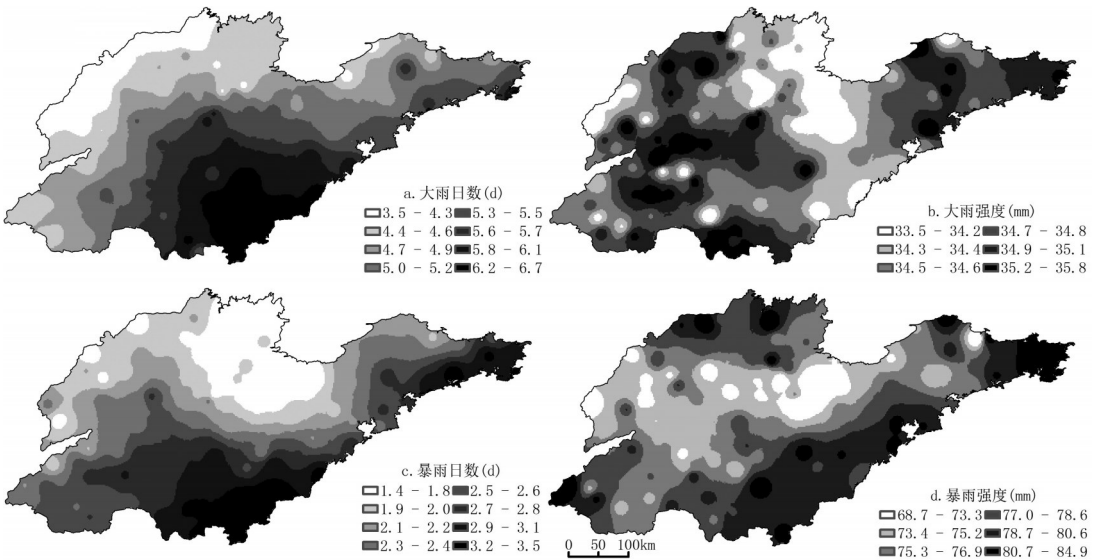


图3 山东省大雨和暴雨降水日数和降水强度空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of day number and intensity of heavy rainfall and extreme rainfall in Shandong Province

西北内陆地区暴雨日数则明显减少。

大雨强度的空间分布相对较均匀，各地差异不大，在33.5~35.5 mm之间，博山、东平、肥城、即墨、龙口、商河、薛城等站大雨强度相对较大，超过35.5 mm，鲁西部分站点、日照至胶莱平原至鲁北一线为低值区。暴雨强度的空间分布与大雨日数空间分布明显不同，各地在68.7~84.9 mm之间，鲁中山区东南侧、半岛东部较多，一般在77.0 mm以上，鲁中山区西北侧最少，低于74.2 mm，鲁北一带雨强高于76.7 mm。

大雨和暴雨降水日数的空间分布总体上表现为自东南向西北、从南部沿海向北部沿海逐渐减少，区域差异表现为随着降水等级提高，降水日数的高值区逐渐向鲁东南和半岛东部南岸移动。大雨雨强各地差异性较小，雨强相对较均匀，暴雨强度空间分布差异更明显，以鲁中山区为界，暴雨日数和强度在南侧和北侧差异显著，南侧的暴雨日数和强度较多、较大，北侧则较少、较小，鲁北地区的暴雨日数较少但强度较大。

3.2 年际变化的空间分布

山东省大雨和暴雨降水日数和强度的变化趋势显示(图4)，近50a来大雨和暴雨降水日数的逐年变化表现为不同的变化趋势，大雨日数呈减少趋势的范围较大，主要分布在半岛、鲁中西侧和鲁北等地，趋势超过-0.019 d/a，最大为-0.045 d/a，增多趋势主要在鲁中山区北侧、鲁西南和鲁南、东南等地，一般在0.008 d/a以上，最大达0.093 d/a，有71站大雨日数减少趋势和21站增多趋势通过0.05信度检验。暴雨日数在鲁南、鲁中山区等地增多趋势最明显，最多超过0.05 d/a，减少趋势最大为-0.04 d/a，主要在鲁中山区周边地区，暴雨日数增加和减少趋势通过0.05信度检验的站点分别为43、47个。

大雨和暴雨强度年际变化空间分布不同，降水强度呈增强趋势的站点较降水日数明显增多，大雨强度在鲁西南、鲁中山区、莱州湾至半岛北部一线为增强趋势较明显区域，可达0.030 mm/a以上，最大为0.106 mm/a，在鲁西北、鲁东南、半岛内陆部分地区呈减弱变化趋势，在-0.021 mm/a以下，最大为-0.093 mm/a。56站大雨强度增强趋势和37站减弱趋势通过0.05信度检验。鲁中山区周边及半岛西部一带暴雨强度有增强趋势，一般在0.135 mm/a以上，最大为0.813 mm/a，鲁中、鲁西南、鲁北和半岛东部有减弱趋势，但不显著，最大为-0.483 mm/a，暴雨强度分别有50、33站的增强、减弱趋势通过0.05信度检验。

总体来看，山东省降水日数减少趋势显著(表1)，116个站平均降水日数减少趋势通

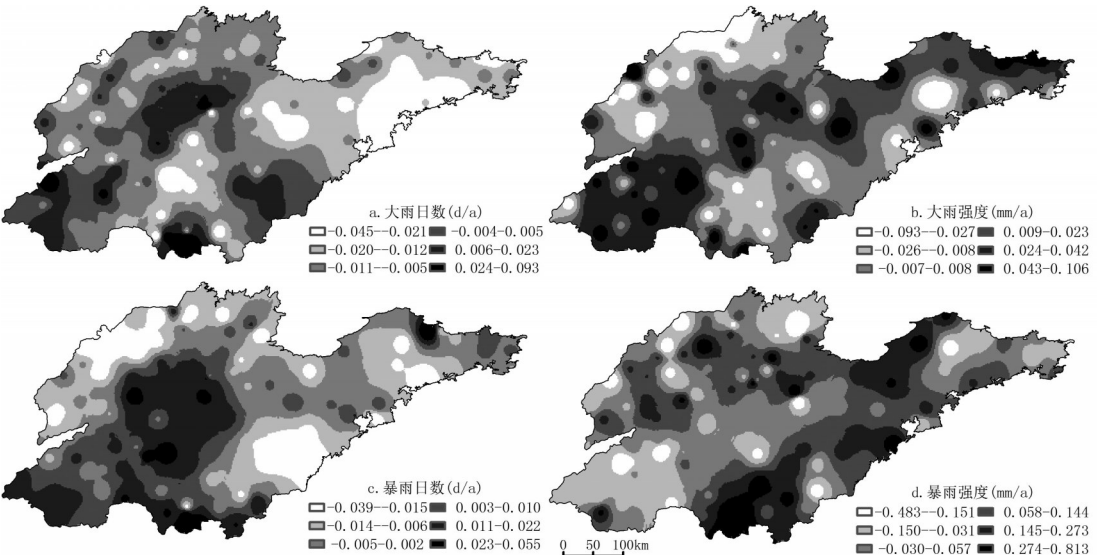


图4 山东省大雨和暴雨降水日数和降水强度年际变化趋势的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of interannual changing trend in day number and intensity of heavy rainfall and extreme rainfall in Shandong Province

过0.05 信度检验, 80 个站降水强度增强趋势通过0.05 信度检验。大雨和暴雨降水日数呈减少趋势站点均多于增加趋势站点, 降水强度则相反。暴雨日数减小趋势的站点比大雨日数站点更少, 增加趋势的站点更多。大雨和暴雨降水强度增加趋势通过0.05 信度检验的站点更多, 减弱趋势的站点更少。表明山东省近50a 来平均降水日数减少趋势, 强度增强趋势更显著, 暴雨日数和强度的增加增强趋势更明显。

表1 山东省平均、大雨和暴雨降水日数和降水强度变化趋势通过0.05 显著性水平检验的站点数

Tab. 1 Numbers of station with trend coefficient of annual precipitation day and intensity at different grades passing the significance level at 0.05 in Shandong Province from 1961 to 2010

趋势	降水日数 (d)			降水强度 (mm)		
	大雨	暴雨	全部	大雨	暴雨	全部
增加	21	43	1	56	50	80
减少	71	47	116	37	33	16

4 降水的多年平均时间分布

4.1 年际变化

山东省大雨和暴雨历年平均降水日数分别为5.1、2.4 d/a, 从降水日数年际变化 (图5) 可知, 近50a 来大雨和暴雨降水日数均呈减少变化趋势, 减少趋势分别为-0.0106、-0.002 d/a, 均没有通过0.05 信度检验, 虽然大雨日数减少趋势大于暴雨日数, 但减少趋势都不显著。降水日数在20 世纪60 年代中期、90 年代前后、21 世纪初期年际变化较大。1964 年降水日数最多, 分别为8.7、4.5 d。60 年代、70 年代初期为大雨和暴雨日数较多期, 80 年代前后为较少期, 90 年代前期至21 世纪初期为波动变化期, 21 世纪前10 年中后期变化较平稳。

大雨和暴雨强度分别为34.6、76.7 mm, 从降水强度年际变化图 (图5) 可看出, 近50a 来大雨和暴雨强度均有不同程度的增强, 趋势分别为0.0065、0.0377 mm/a, 均没有通过0.05 信度检验。暴雨强度增强趋势相对更明显。大雨强度在20 世纪80 年代中期以前年际变化较小, 80 年代末期至21 世纪初期年际变化明显增大, 1989 年最小为33.2 mm, 1994 年最大为35.7 mm。暴雨强度在20 世纪70 年代前后、90 年代中后期年际变化较大, 1997 年暴雨强度最强, 平均为96.8 mm, 其它年代波动相对较小。

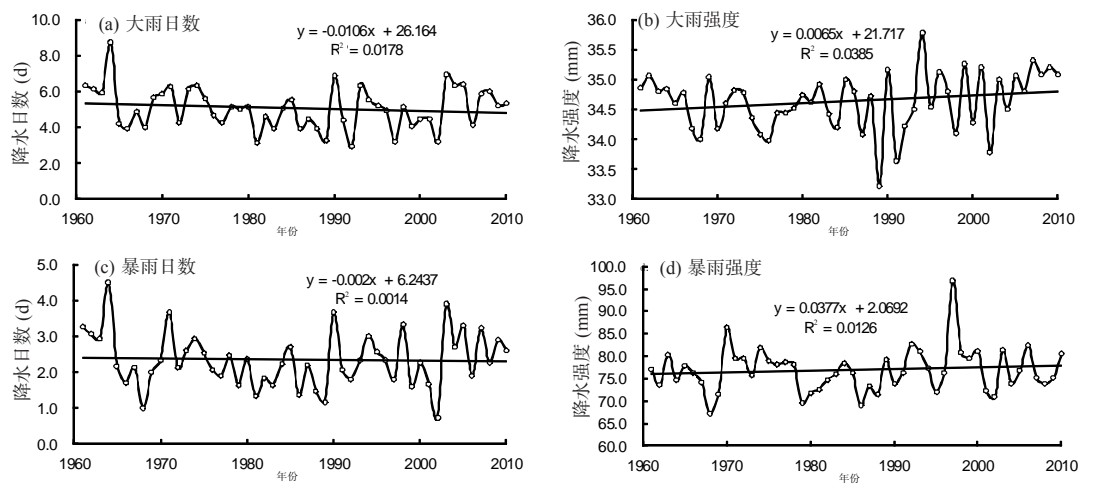


图5 山东省大雨和暴雨降水日数和降水强度的年际变化

Fig. 5 Interannual change trend of day number and intensity of heavy rainfall and extreme rainfall in Shandong Province from 1961 to 2010

4.2 贡献率

从山东省大雨和暴雨降水量和降水日数对不同时间尺度总降水量和降水日数的贡献率可看出(表2), 春、夏、秋季大雨雨量占总降水量比率均超过23.0%, 夏季最大为29.3%, 冬季最小仅3.7%。暴雨量对夏季降水的贡献率最大, 达到35.5%, 秋季次之, 冬季没有出现暴雨。历年大雨和暴雨降水量比率分别为26.3、26.9%, 各年代际大雨和暴雨降水量比率均超过20.0%, 大雨比率在21世纪以来最大, 暴雨比率在90年代以来明显增大, 总体表现为21世纪以来大雨和暴雨雨量比率增大。

夏季大雨和暴雨日数比率均比其他季节大, 暴雨日数主要出现在夏季。历年大雨和暴雨降水日数比率分别为6.7、3.1%, 20世纪80年代大雨、暴雨比率在各年代际中最小, 分别为6.0、2.6%, 21世纪以来大雨、暴雨比率最大, 分别为7.3、3.4%, 与降水量变化类似, 表现为21世纪以来大雨和暴雨日数比率增大。

总体上看, 大雨和暴雨虽不是山东的主要降水形式, 占比较小, 但对年降水量贡献较大, 合计超过52.0%。21世纪以来大雨和暴雨降水量和降水日数比率增大。

4.3 稳定性特征

从山东省降水日数和强度变异系数的时间变化(图6)可看出, 山东省降水日数在月际尺度上变化相对不大, 变异系数多小于0.7。降水日数的变异系数存在较明显的年代际振荡周期, 20世纪60年代至80年代后期变异系数持续减小, 90年代较平稳, 近年来呈持续上升趋势, 降水日数各月分布差异增大。其变异系数经历了逐年下降到较平稳, 近年来又不断上升的变化趋势。20世纪60年代、90年代前后和21世纪初期前后变异系数年际波动较大, 说明降水日数年内分配差异较大。降水强度变异系数的年际变化不如降水日数剧烈, 其年内变化差异相对较小。降水强度变异系数最大值出现在1963年, 为0.94, 最小

表2 山东省大雨和暴雨降水事件对不同时间尺度总降水事件的贡献率

Tab. 2 The contribution rates of heavy rainfall and extreme rainfall to precipitation case at different time scales in Shandong Province from 1961 to 2010

项目		春季	夏季	秋季	冬季	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1961-2010
降水量	大雨 (%)	0.230	0.293	0.238	0.037	0.269	0.263	0.260	0.251	0.272	0.263
	暴雨 (%)	0.093	0.355	0.177	0.000	0.265	0.268	0.246	0.283	0.280	0.269
降水日数	大雨 (%)	0.041	0.110	0.049	0.003	0.068	0.068	0.060	0.066	0.073	0.067
	暴雨 (%)	0.008	0.060	0.016	0.000	0.030	0.031	0.026	0.032	0.034	0.031

值出现在1979年,为0.42。

从山东省各年代际大雨和暴雨降水日数和强度的变异系数(表3)可看出,大雨日数变异系数除70年代外,其他各时段均超过0.2,暴雨日数各年代际的变异系数更大,尤其是20世纪60年代、80年代和21世纪前10年(特别是前6年)变化幅度相对较大,表明暴雨日数在此期间年际分布变得不均匀。平均降水日数变异系数年代际变化与大雨和暴雨类似。降水强度变异系数与降水日数年代际变化差异明显,大雨强度各年代际变异系数较小,最大不超过0.017,尤以70年代最小,仅0.008,表明大雨强度相对较稳定,变化不大。暴雨强度变异系数明显大于大雨强度,90年代最大,为0.078,80年代最小。变异系数越大,说明降水日数或强度在该时段内年际分配相对不均匀。平均降水强度变异系数70年代和90年代最小,小于0.1,80年代最大为0.135。

总体看来,各降水事件同一年代际间的变异系数表现出相似的年代际变化特征,同一降水事件不同年代际间的变异系数表现出明显的差异性。暴雨日数和强度变异系数较大,即波动性较大,有较强的不稳定性。

4.4 降水突变特征

山东省平均、大雨和暴雨降水日数和降水强度的Mann-Kendall突变检验结果图略。在0.05信度水平下,山东省平均、大雨和暴雨降水日数和降水强度发生突变的较少,平均降水日数和大雨强度分别在1977和2005年发生了突变,突变前分别为81.7 d、34.6 mm,突变后分别为73.2 d、35.0 mm,平均降水日数减少了8.5 d,大雨强度则增加了0.4 mm。降水日数和降水强度的变化都会导致年降水量的变化。大雨强度增强导致大雨年降水量增加19.1 mm。平均降水日数减少,总降水量同为减少,表明山东省降水量的降水强度增强,反映了降水的年内分布不均匀,降水的稳定性减弱。

4.5 降水周期性

山东省大雨和暴雨降水日数和强度在不同时间尺度上振荡周期表明(图7),大雨日数存在2a、5a、10a、16a左右的周期振荡,以5a左右的周期振荡最强,为第一主周期,其次分别为10a、16a、2a,5a左右的周期在90年代以后最明显,10a左右周期则在70年代中期前最明显,与16a左右的周期相叠加。暴雨日数存在2a、4a、7a、11a、16a左右的周期

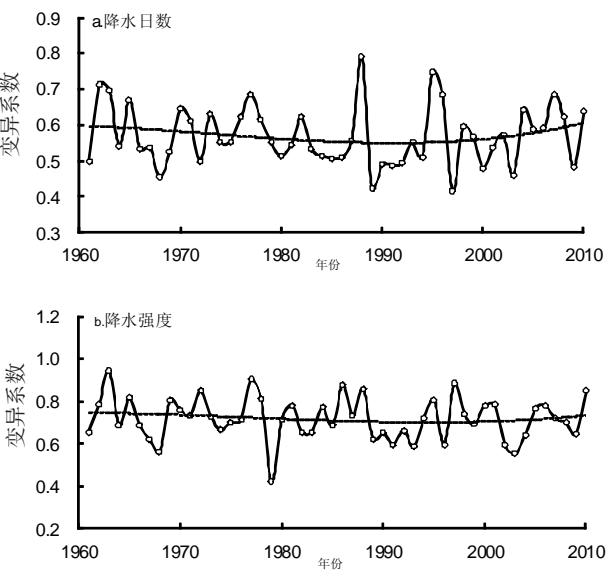


图6 山东省降水日数和强度变异系数的时间变化曲线
Fig. 6 The change of coefficient of precipitation days and intensity with time in Shandong Province from 1961 to 2010

表3 山东省各年代际大雨和暴雨降水事件变异系数

Tab. 3 The change of coefficient of heavy rainfall and extreme rainfall in each decade from 1961 to 2010

降水事件	项目	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	1961-2010
降水日数	大雨	0.244	0.140	0.235	0.213	0.204	0.227
	暴雨	0.364	0.221	0.368	0.224	0.342	0.323
	总量	0.132	0.067	0.120	0.101	0.096	0.117
降水强度	大雨	0.010	0.008	0.016	0.017	0.012	0.014
	暴雨	0.064	0.046	0.040	0.078	0.049	0.063
	平均	0.128	0.087	0.135	0.093	0.129	0.128

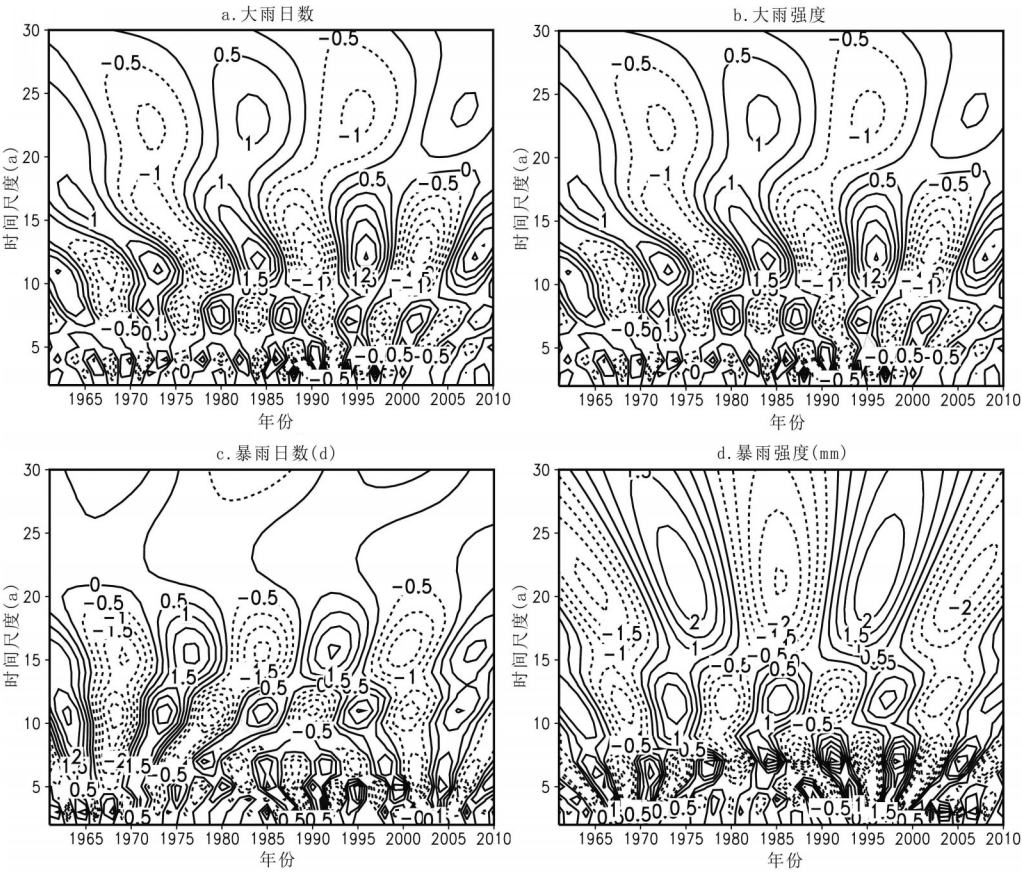


图7 山东省各等级降水日数和强度变化的周期

Fig. 7 Change cycles of precipitation days and intensity in Shandong Province from 1961 to 2010

振荡，以11a左右的周期振荡最强，为第一主周期，其次分别为42a、16a、2a，第一主周期在80年代以前最明显，16a左右的周期在80年代中后期至21世纪初期存在且与11a左右的周期相叠加，4a和7a左右的周期在90年代以来尤为明显。

大雨强度存在较明显的2a、4a、7a、13a、23a左右的周期振荡，以13a左右的周期振荡最强，为第一主周期，其次分别为2a、7a、4a，13a左右的周期在80年代以来最明显，2a左右的周期在90年代前后和2000年前后最明显，7a左右的周期在80年代前后明显，4a左右的周期在90年代前后明显。暴雨强度存在3a、7a、12a、21a左右的周期振荡，以21a左右的周期振荡周期，为第一主周期，其次分别为7a、3a、12a，21a左右的周期一致存在，但在70年代至2000年前后最明显，7a左右的周期也一直存在，在70年代前后和80年代中期以来最明显，3a左右的周期最明显的时期与7a左右的周期相叠加，12a左右的周期在90年代以前较明显。

5 结论

与以往的山东省降水相关的研究成果相比较，本文运用更为详尽的降水观测数据，以降水日数和降水强度为基础，讨论了山东省降水事件气候倾向率、贡献率、稳定性、突变及周期性等方面的时空变化特征，结论如下：

(1) 近50年来，山东省年降水日数和强度存在明显的年代际振荡，降水日数总体呈极

显著减少趋势,降水强度则呈不明显的增加趋势。降水日数和强度呈明显的带状分布,由东南向西北逐渐减少。鲁东南的临沂南部和半岛威海一带多年平均降水日数最多。鲁西北的德州和鲁北的滨州西北部一带降水日数较少。降水强度空间分布与降水日数空间分布略有不同,鲁南和鲁东南广大地区雨强相对较大,鲁西、鲁北和山东北部沿海相对较小,尤其是莱州湾和烟台北部沿海雨强最小。

(2) 大雨和暴雨降水日数的空间分布表现为东南多、西北少,南部沿海多、北部沿海少的分布特征,大雨雨强各地差异性较小,暴雨强度空间分布差异更明显。以鲁中山区为界,南侧的暴雨日数和强度较多、较大,北侧则较少、较小,鲁北地区的暴雨日数较少但强度较大。平均降水日数减少趋势,强度增强趋势更明显,暴雨日数和强度呈增加增强趋势的站点更多。大雨和暴雨降水日数和强度变化趋势空间差异明显。

(3) 大雨和暴雨降水日数均呈减少变化趋势,大雨日数减幅更大。降水日数在20世纪60年代中期、90年代前后、21世纪初期年际变化较大。降水强度均有不同程度的增强,但都没有通过0.05信度检验。大雨和暴雨虽不是山东的主要降水形式,占比较小,但对年降水量贡献较大,合计超过52.0%。21世纪以来大雨和暴雨降水量和降水日数占比增大。

(4) 降水日数的变异系数存在较明显的年代际振荡周期,20世纪60年代、90年代前后和21世纪初期前后变异系数年际波动较大,年内分配差异较大。降水强度变异系数的年际变化不如降水日数剧烈,其年内变化差异相对较小。各等级降水事件同一年代际间的变异系数表现出相似的年代际变化特征,同一降水事件不同年代际间的变异系数表现出明显的差异性。

(5) 降水日数和降水强度发生突变的较少,全部降水日数和大雨强度分别在1977和2005年发生了突变。大雨和暴雨日数变化的主周期分别为5a、11a,降水强度变化的主周期分别为13a、21a。

6 讨论

受气候背景、下垫面等因素的影响,不同区域不同等级降水日数和降水强度的时空变化区域差异明显^[23-25]。观测事实表明,近50a来山东省的降水事件总体变化特征表现为各等级降水日数减少,降水强度增强,特别是20世纪90年代初期和21世纪初期年际降水的剧烈波动,造成山东干旱化日趋严重,而暴雨强度变异系数的增大引发的洪涝灾害也十分严重。山东省各等级的降水日数均存在一定的下降趋势,与我国多数地区的小雨日数在减少的研究结论一致^[26-29]。小雨日数的减少可能与人类活动大气环流的年代尺度振荡有联系。

山东省年降水量呈减少的趋势,但减少趋势不显著^[17],这不一定会使干旱程度加重。即便是降水量相对多的年份,也可能产生不同的干旱情况,小雨日数的减少,对应着连续无降水日数增多,这可能加剧干旱程度。大雨和暴雨日数的微弱减少,而强度相对增强的较明显,使得区域内产生极端强降水的可能性提高。

参考文献 (References)

- [1] IPCC. Climate Change 2007//Solomon S, Qin D, Manning M et al. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [2] Ren Guoyu, Guo Jun. Climate changes of China's mainland over the past half century. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 942-956. [任国玉, 郭军. 近50年中国地面气候变化基本特征. *气象学报*, 2005, 63(6): 942-955.]
- [3] Wang Zunya, Ding Yihui. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 2004, 62(2): 228-236. [王遵娅, 丁一汇. 近50年来中国气候变化特征的再分析. *气象学报*, 2004, 62(2): 228-236.]
- [4] Liu Xiaoyan, Li Guoping, Fan Guangzhou et al. Spatial and temporal characteristics of precipitation resource in Southwest China during 1961-2000. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 783-791. [刘晓冉, 李国平, 范广洲 等.]

- 我国西南地区1960-2000年降水资源变化的时空特征. 自然资源学报, 2007, 22(5): 783-791.]
- [5] Zhang Hao, Feng Liping. Characteristics of spatio-temporal variation of precipitation in North China in recent 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(2): 270-279. [张皓, 冯利平. 近50年华北地区降水量时空变化特征研究. 自然资源学报, 2010, 25(2): 270-279.]
- [6] She Dunxian, Xia Jun, Zhang Yongyong et al. The trend analysis and statistical distribution of extreme rainfall events in the Huaihe river basin in the past 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(9): 1200-1210. [余敦先, 夏军, 张永勇等. 近50年来淮河流域极端降水的时空变化及统计特征. 地理学报, 2011, 66(9): 1200-1210.]
- [7] Liu Dedi, Li Mei, Lou Zhonghua et al. Analysis of precipitation characteristics variation in Zhejiang Province in the past 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(11): 1973-1983. [刘德地, 李梅, 楼章华等. 近50年来浙江省降水特性变化分析. 自然资源学报, 2009, 24(11): 1973-1983.]
- [8] Li Bangzhong, Zhou Xu, Zhao Zhongjun et al. Changes features of different types and grades of precipitation event in northwest China in recent 50 years. *Plateau Meteorology*, 2013, 32(5): 1415-1424. [李邦中, 周旭, 赵中军等. 近50年中国东北地区不同类型和等级降水事件变化特征. 高原气象, 2013, 32(5): 1415-1424.]
- [9] Zhou Changyan, Cen Sixian, Li Yueqing et al. Precipitation variation and its impacts in Sichuan in the past 50 years. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(5): 620-630. [周长艳, 岑思弦, 李跃清等. 四川省近50年降水的变化特征及影响. 地理学报, 2011, 66(5): 620-630.]
- [10] Wang Baolong, Zhang Mingjun, Wei Junlin et al. The change in extreme events of temperature and precipitation over Northwest China in recent 50 years. *Journal of Natural Resources*, 2012, 27(10): 1720-1732. [汪宝龙, 张明军, 魏军林等. 西北地区近50a气温和降水极端事件的变化特征. 自然资源学报, 2012, 27(10): 1720-1732.]
- [11] Zhang Yongmin, Xiao Fengjin. Study on precipitation and temperature change in western Henan mountain area. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(12): 2132-2141. [张永民, 肖凤劲. 豫西山区降水与气温的波动规律研究. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2132-2141.]
- [12] Zou Liyao, Ding Yihui, Wang Ji. Spatial and temporal characteristics of heavy precipitation long-term changes in Northeast China and causation analysis. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(1): 137-147. [邹尧尧, 丁一汇, 王冀. 东北强降水时空变化的特征和原因分析. 自然资源学报, 2013, 28(1): 137-147.]
- [13] Zhang Shunqian, Ma Zhenfeng. Change tendency and cyclicity analysis of extreme precipitation over Sichuan province during 1961-2009. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(11): 1918-1929. [张顺谦, 马振峰. 1961-2009年四川极端强降水变化趋势与周期性分析. 自然资源学报, 2011, 26(11): 1918-1929.]
- [14] Meng Xiujing, Zhang Shifeng, Zhang Yongyong. The temporal and spatial change of temperature and precipitation in Hexi Corridor in recent 57 years. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(11): 1482-1492. [孟秀敬, 张士锋, 张永勇. 河西走廊57年来气温和降水时空变化特征. 地理学报, 2012, 67(11): 1482-1492.]
- [15] Duan Liyao, Yang Yanjuan, Li Mingcai. Spatial-temporal changes of summer precipitation in the Bohai Rim in recent 50 years. *Plateau Meteorology*, 2013, 32(1): 243-249. [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. 高原气象, 2013, 32(1): 243-249.]
- [16] Gao Liuxi. Analysis on spring rainfall spatial and temporal changes of Shandong province using EOF. *Plateau Meteorology*, 2005, 24(5): 811-815. [高留喜. 山东春季降水的时空变化特征分析. 高原气象, 2005, 24(5): 811-815.]
- [17] Xu Zongxue, Meng Cuiling, Zhao Fangfang. Long-term trend analysis for temperature and precipitation in Shandong province. *Scientia Meteorologica Sinica*, 2007, 27(4): 387-393. [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. 气象科学, 2007, 27(4): 387-393.]
- [18] Yang Shi'en, Wang Qi. The climate characteristics of precipitation and origin cause of formation in summer of Shandong province. *Journal of Tropical Meteorology*, 2007, 23(1): 65-71. [杨士恩, 王启. 山东夏季降水的气候特征及其成因. 热带气象学报, 2007, 23(1): 65-71.]
- [19] Chi Zhuping. Spatial and temporal distributions and climatic change of summer precipitation in Shandong province. *Plateau Meteorology*, 2009, 28(1): 220-226. [迟竹萍. 近45年山东夏季降水时空分布及变化趋势分析. 高原气象, 2009, 28(1): 220-226.]
- [20] Fu Congbin, Wang Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change. *Scientia Atmospherica Sinica*, 1992, 16(4): 482-493. [符淙斌, 王强. 气候突变的定义与检测方法. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493.]
- [21] Shi Neng, Chen Luwen, Feng Guolin. Climate characters and changes in global land precipitation field from 1920 to 2000. *Plateau Meteorology*, 2004, 23(4): 435-443. [施能, 陈绿文, 封国林. 1920-2000年全球陆地降水场气候特征与气候变化. 高原气象, 2004, 23(4): 435-443.]
- [22] Xia Jun, Ou Chunping. The analysis of Haihe River Basin hydrometeorological spatial-temporal variability based on GIS and information difference measure. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(3): 409-416. [夏军, 欧春平. 基于GIS和差异信息测度的海河利于水温要素时空变异性分析. 自然资源学报, 2007, 22(3): 409-416.]
- [23] Liao Yaoming, Chen Deliang, Xie Yun. Spatial and temporal distribution of dry spells in China. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(9): 321-336. [廖要明, 陈德亮, 谢云. 中国日降水量小于不同阈值日数时空分布特征. 地理学报, 2011, 66(9): 321-336.]

2012, 67(3): 321-336.]

- [24] Li Jianfeng, Zhang Qiang, Bai Yungang et al. Spatio-temporal probability behaviors of the maximum consecutive wet days in Xinjiang, China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(3): 312-320. [李剑锋, 张强, 白云岗 等. 新疆地区最大连续降水事件时空变化特征. *地理学报*, 2012, 67(3): 312-320.]
- [25] Fan L, Lu C H, Yang B et al. Long-term trends of precipitation in the north China plain. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(6): 989-1001.
- [26] Wang Xiaoling, Zhai Panmao. Change in China's precipitation in various categories during 1957-2004. *Journal of Tropical Meteorology*, 2008, 24(5): 459-466. [王小玲, 翟盘茂. 1957-2004年中国不同强度级别降水的变化趋势特征. *热带气象学报*, 2008, 24(5): 459-466.]
- [27] Ning Liang. Analysis on trends of annual and seasonal four kinds of daily precipitation in China. *Plateau Meteorology*, 2008, 27(5): 1010-1020. [宁亮. 中国年和各季等级日降水量的变化趋势分析. *高原气象*, 2008, 27(5): 1010-1020.]
- [28] Sun Fenghua, Yang Suying, Ren Guoyu. Decade variations of precipitation event frequency, intensity and duration in the Northeast China. *Journal of Applied Meteorology Science*, 2007, 18(5): 610-618. [孙凤华, 杨素英, 任国玉. 东北地区降水日数, 强度和持续时间的年代际变化. *应用气象学报*, 2007, 18(5): 610-618.]
- [29] Duan Jing. Affection on regional precipitation of atmospheric aerosol in North China. *Chinese Science Bulletin*, 2008, 53(23): 2947-2955. [段婧. 华北地区气溶胶对区域降水的影响. *科学通报*, 2008, 53(23): 2947-2955.]

Change features of precipitation events in Shandong Province from 1961 to 2010

DONG Xuguang¹, GU Weizong², MENG Xiangxin¹, LIU Huanbin¹

(1. *Shandong Climate Center, Jinan 250031, China*;

2. *Zaozhuang Meteorological Bureau, Zaozhuang 277800, Shandong, China*)

Abstracts: Based on daily precipitation data of 121 weather stations in Shandong Province from 1961 to 2010, this paper analyzed the features of precipitation days and intensity including climate characteristics, trends, contribution rate, variation field, abrupt change and periodicity. The results indicated that with a significant drop of days, both annual precipitation days and intensity showed an obvious decadal oscillation. Annual precipitation days and intensity presented evident zonal distribution and gradually decreased from southeast to northwest. Precipitation intensity of heavy rainfall in various places were more uniform, meanwhile days and intensity of extreme rainfall were more and higher in mountain area of southern Shandong than in the northern part. There were 116 stations showing a decreasing trend of annual rainfall days and 80 stations presenting an increase of intensity. Furthermore, days of heavy rainfall decreased and intensity of extreme rainfall had become higher apparently. Heavy and extreme rainfall days on a small proportion, however contributed significantly to the annual precipitation. Since the 21st century, the days and precipitation percentage of heavy rainfall and extreme rainfall had an increasing trend. The average rainfall days and variation coefficient changed greatly in the mid-1960s, 1990s and early 21st century. Variation coefficient of different precipitation events showed similar decadal changes, while that of the same precipitation event in different decadal differentiated evidently. The average rainfall days and heavy rainfall intensity mutated in 1977 and 2005 respectively. Heavy rainfall and extreme rainfall days had variation major periods of 5 years and 11 years respectively, while precipitation intensity of different grades had periods of 13 years and 21 years respectively.

Key words: Shandong Province; climatic feature; precipitation days; precipitation intensity