

近 21 年东北雨季变化特征

王明亮¹, 胡犁月², 金磊³, 邵长亮^{4*}, 白宏禹¹ (1. 丹东市气象局, 辽宁丹东 118000; 2. 江西省新干县气象局, 江西吉安 331300; 3. 内蒙古自治区鄂温克族自治旗气象局, 内蒙古呼伦贝尔 021100; 4. 中国气象局气象探测中心, 北京 100081)

摘要 为研究我国东北雨季平均降雨量特征, 将我国东北按照地理位置划为 4 个区域(包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东部), 并利用 1997—2017 年我国 208 个测站观测数据, 采用统计方法、相关性和线性趋势等方法, 统计东北雨季的平均降雨量、持续天数、综合强度、开始/结束时间变化的基本特征。结果表明, 1997—2017 年东北雨季平均起止日期分别为 6 月 27 日和 9 月 9 日。1997—2017 年东北雨季平均降雨量和天数变化均存在较大年际差异, 平均降雨量 1998 年最多(461.7 mm), 2007 年最少(141.4 mm); 天数 2014 年最长(109 d), 2000 年最短(58 d); 且年平均降雨量为 313.21 mm, 年平均持续天数为 84 d。东北雨季平均降雨量受到多个因素的综合影响, 其中东北雨季平均降雨量和雨季持续天数呈现显著正相关, 相关系数为 0.815。

关键词 东北雨季; 变化特征; 起止日期; 降雨量; 综合强度; 持续天数

中图分类号 P 461 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)20-0197-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.051



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Variation Characteristics of Rainy Season in Northeast China in Recent 21 Years

WANG Ming-liang¹, HU Li-yue², JIN Lei³ et al (1. Dandong Meteorological Bureau, Dandong, Liaoning 118000; 2. Xingan County Meteorological Bureau, Ji'an, Jiangxi 331300; 3. Meteorological Bureau of Ewenki Autonomous Banner of Inner Mongolia Autonomous region, Hulun Buir, Inner Mongolia 021100)

Abstract To study the characteristics of average rainfall in the rainy season in Northeast China, Northeast China is divided into four regions (including Heilongjiang, Jilin, Liaoning, eastern Inner Mongolia) according to their geographic location, and using the observation data of 208 stations in my country from 1997 to 2017, statistical methods, correlations and linear trends are used to count the basic characteristics of the average rainfall, duration, comprehensive intensity, and start/end time changes in the northeast rainy season. The results showed that the average start and end dates of the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017 were June 27 and September 9. The average rainfall and the number of days in the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017 had large interannual differences. The average rainfall in 1998 was at most (461.7 mm), and in 2007 at least (141.4 mm); the number of days was the longest in 2014 (109 days), and the shortest in 2000 (58 days). The average annual rainfall was 313.21 mm, and the average annual duration was 84 days. The average rainfall in the rainy season in Northeast China was affected by multiple factors. Among them, the average rainfall in the rainy season in Northeast China and the number of days in the rainy season showed a significant positive correlation, with a correlation coefficient of 0.815.

Key words Northeast rainy season; Variation characteristics; Start and end dates; Rainfall; Comprehensive intensity; Duration

降水具有不同时间和空间尺度的变化特征, 是大气系统非线性耦合作用的结果。降水对某个区域的水资源时空分布以及生态环境的形成与演变等具有决定性的影响^[1-3]。目前在全球变暖的背景下, 水循环加快, 北半球地区极端天气发生的次数和程度都出现增加的形式^[4-6]。我国地处东亚季风区, 会受到东亚季风的影响, 全国不同地区大范围集中降水的开始和结束时间差别较大, 在我国不同区域如江南、华南、华北等天气气候现象均有独特性。其中华南前汛期被定义在每年的 4—6 月经历的第一个多雨时期^[7-8], 西南包括四川、贵州、云南、重庆 4 省(市)雨季在每年的春末夏初至中秋季节即为 5—10 月^[9-10]。我国南方的梅雨季节一般定义在每年的 6—7 月, 并且梅雨对我国长江中下游地区夏季旱涝有重要的影响^[11-13]。华北雨季主要受东亚夏季风向北推进出现集中降雨, 时间一般在每年的 7 月下旬—8 月上旬^[14-16]。2014 年以来, 中国气象局与各地气象部门联合制定了雨季的规范标准, 并对雨季开始的早晚及影响环流系统

进行了分析。

东北雨季既受到东北冷涡影响, 又受到盛夏副高(夏季风)影响, 但目前东北雨季的起止日期尚且没有一个统一的、定量的划分标准, 而东北雨季的监测指标在各省也不尽相同, 通常只是按一年中雨带的大致变化粗略地划分雨季的大致时间。然而精确的雨季开始和结束的监测是气象服务的重要内容, 对于农业生产和政府决策等均有十分重要的作用。该研究仅统计 1997—2017 年东北雨季开始/结束时间点、雨季持续时间及雨季平均降雨量的变化趋势, 研究东北雨季变化特征。

1 资料与方法

1.1 资料来源 取东北地区(包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东部)208 个观测站 1997—2017 年雨季降水量资料, 对这些站中资料不连续的台站进行插补。插补方法为选用该站周围半径为 200 km 范围内的台站, 按线性内插法得到该站缺测值。插补之后有 208 个台站 1997—2017 年资料连续, 208 个台站的位置分布及平均降雨量见图 1(来自国家气象信息中心), 可见东北西部台站较少、东北东部台站较密, 且平均降雨量也呈现东北西部较少、东北东部较多。

1.2 分析方法 雨季开始与结束日期之间的天数定义为雨季长度; 雨季各天降水量累积值称为雨季降水总量; 雨季降水总量除以雨季天数得到的值为雨季平均降水强度。

基金项目 中华环境保护基金会美团外卖青山公益专项基金项目(CEPFQS202169-28); 中国气象局气象探测中心观测试验项目(SY2021025); 中国气象局气象探测中心青年科技课题(MOCQN202109)。

作者简介 王明亮(1994—), 男, 辽宁丹东人, 助理工程师, 硕士, 从事生态气象研究。* 通信作者, 高级工程师, 博士, 从事数据质量控制与资料同化研究。

收稿日期 2021-12-19; 修回日期 2022-01-23

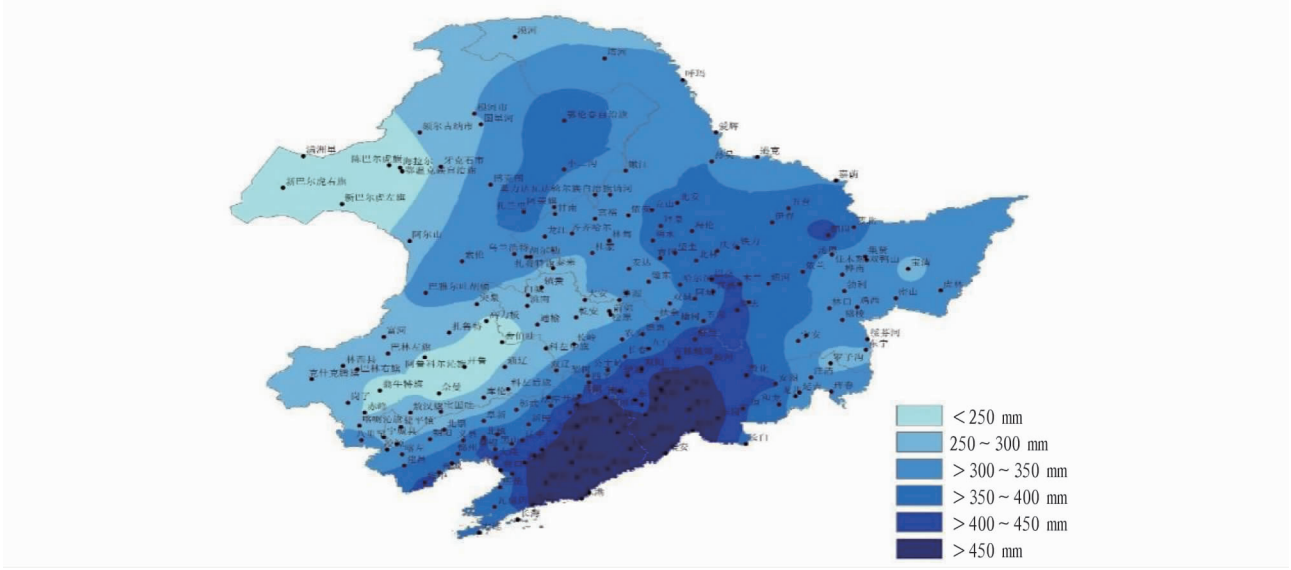


图1 东北地区208个观测站分布及平均降雨量
Fig.1 Distribution and average rainfall of 208 stations in Northeast

1.2.1 雨季降水量等级。其计算公式如下：

$$Z=\frac{P-P_0}{S}$$
(1)

式中, Z 为雨季降水量标准化值; P 为某年雨季降水量; P_0 为雨季降水量的气候平均值; S 为雨季降水量的气候标准差。气候标准差为近3个整年代的标准,计算参见GB/T 34412—2017的7.4.2^[17]。

1.2.2 雨季综合强度。仅用开始和结束早晚、雨季长度、累计降水量、平均降水强度很难科学衡量东北雨季强度,应采用综合指数方法。参考中国气象局《华北雨季监测业务规定》,雨季综合强度(M)计算公式如下：

$$M=\frac{L}{L_0}+\frac{(P/L)/(P_0/L_0)}{2}+\frac{P}{P_0}-2.5$$
(2)

式中, L 为某年雨季长度; L_0 为雨季长度的气候平均值; P 为某年雨季降水量; P_0 为雨季降水量的气候平均值; P/L 为某年雨季内平均日数降水强度; P_0/L_0 为雨季内平均日降水强度的气候平均值。

1.2.3 线性趋势分析。采用公式(3)进行线性趋势分析。

$$y_i=a+bt_i(i=1,2,\cdots,n)$$
(3)

式中, a 是回归常数; b 是回归系数,代表气候变化倾向率, $b>0$ 表示呈现上升趋势, $b<0$ 表示呈下降趋势; a 和 b 可用最小二乘法求出。

对观测数据 x_i 及相应的时间 t_i ,回归系数 b 和常数 a 的最小二乘估计为：

$$b=\frac{\sum_{i=1}^n(x_i\times t_i)-\frac{1}{n}(\sum_{i=1}^nx_i)(\sum_{i=1}^nt_i)}{\sum_{i=1}^nt_i^2-\frac{1}{n}(\sum_{i=1}^nt_i)^2}$$
(4)

$$a=\bar{x}-b\times\bar{t}$$
(5)

$$\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nx_i$$
(6)

$$\bar{t}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^nt_i$$
(7)

2 结果与分析

2.1 东北雨季开始/结束日逐年序列变化 从统计得出的1997—2017年各年份雨季开始/结束日期(图2)可以看出,1997—2017年东北雨季开始时间在6月开始的总共17次,占整体的80.95%,在7月共出现4次,占整体的19.05%;其中雨季开始时间在6月上旬共7次,占整体的33.33%,6月中旬共6次,占整体的28.57%,6月下旬共4次,占整体的19.05%,7月上旬共3次,占整体的14.29%,7月中旬共1次,占整体的4.76%;1997—2017年雨季结束时间在8月共5次,占整体的23.81%,在9月共出现15次,占整体的71.43%,在10月共出现1次,占整体的4.76%;其中雨季结束时间在8月中旬共1次,占整体的4.76%,在8月下旬共4次,占整体的19.05%,在9月上旬共5次,占整体的23.81%,在9月中旬共8次,占整体的38.10%,在9月下旬共2次,占整体的9.52%,在10月上旬共1次,占整体的4.76%。

房一禾等^[18]针对1981—2010年东北区域盛夏雨季前、中、后期的环流场,对比分析了6月1—25日500 hPa位势高度场的多年平均情况,结果发现,高纬地区主要受偏西风的控制,西太平洋副热带高压位脊线位于20°N附近,西伸脊点位于125°E附近。由于副高位置偏南,暖湿气主要影响日本,而东北区域缺少水汽运输条件。在9月1—30日,副高脊线达到26°N附近,但并没有太多的东退,西伸脊点在135°E附近。所以在盛夏雨季期间正好是2次副高北进,而副高脊线一开始略微偏南,当东北雨季结束后开始向南。当东北地区的上空西南气流不在,重新被内陆中高纬的干冷偏西风气流控制,说明东北雨季彻底结束,前人计算得出1981—2010年东北区域气候态平均的盛夏雨季的起止日期分别为每年的6月26日和8月30日^[18]。而该研究计算东北区域1997—2017年东北雨季平均起止日期分别为每年的

6 月 27 日和 9 月 9 日。

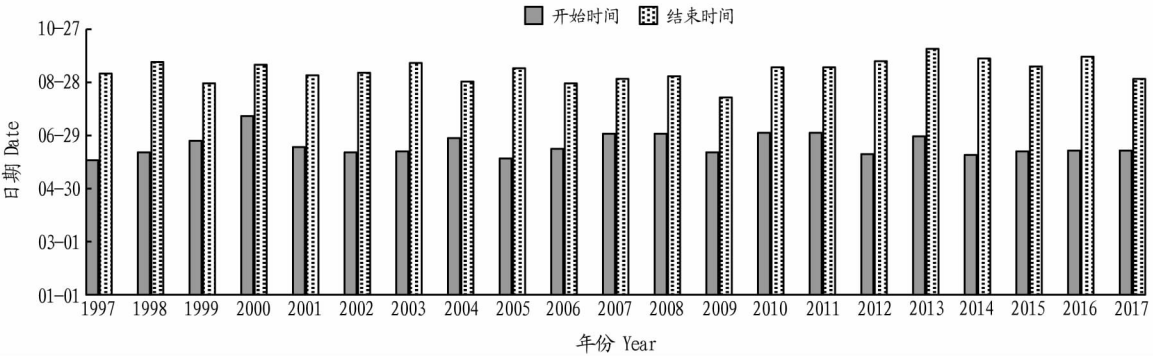


图 2 1997—2017 年东北雨季开始/结束日逐年变化

Fig 2 Year by year changes in the start/end days of the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017

2.2 东北雨季平均雨量及天数变化 从图 3 可以看出, 1997—2017 年东北雨季平均降雨量变化存在较大年际差异, 1998 年最多(461.7 mm), 2007 年最少(141.4 mm)。1997—2017 年东北雨季平均雨量超过 400 mm 的分别为 1998 年(461.7 mm)、2003 年(448.4 mm)、2012 年(437.5 mm)、2013 年(457.0 mm)、2016 年(430.2 mm), 平均降雨量低于 200 mm 的分别为 2007 年(141.4 mm)和 2008 年(174.9 mm)。2007 年开始东北雨季平均降雨量较 2007 年以前平均降雨量有变大趋势, 且 1997—2017 年东北雨季平均降雨量为 313.2 mm。

图 3 显示, 1997—2017 年东北雨季天数变化存在较大年际差异, 2014 年最长, 为 109 d, 2000 年最短, 为 58 d。1997—2017 年东北雨季持续天数超过 100 d 的总共出现 5 次, 分别为 1998 年(102 d)、2005 年(102 d)、2012 年(105 d)、2014 年(109 d)和 2016 年(106 d)。其中 1997—2017 年东北雨季持续天数在 60 d 以下总共出现 1 次, 持续天数在 60~100 d(包括 100 d)总共出现 15 次, 持续天数在 100 d 以上总共出现 5 次; 且近 21 年东北雨季持续天数平均为 84 d。

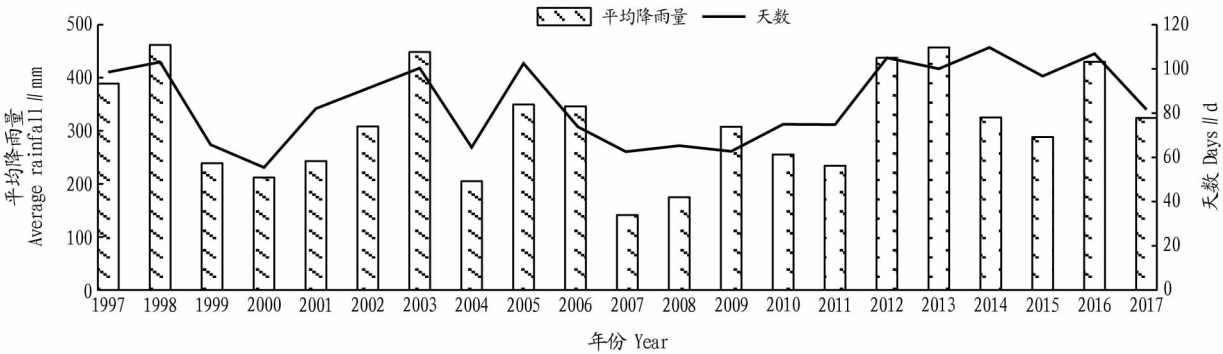


图 3 1997—2017 年东北雨季平均降雨量及天数变化

Fig.3 Changes of average rainfall and days in the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017

2.3 东北雨季平均降雨量与持续天数的相关性 东北雨季平均降雨量受到多个因素的综合影响, 其中雨季持续天数直接影响雨季平均降雨量。因此为了了解 2 个因素之间的关系, 对其进行相关性分析。从表 1 可以看出, 东北雨季平均降雨量和雨季持续天数呈现显著正相关, 相关系数为 0.815。由图 4 可以得到, 1997—2017 年东北雨季平均降雨量与持续天数有很好的线性关系。王学忠等^[19]针对 1951—2001 年东北雨季降雨量, 采用 NCEP/NCAR 再分析 850 hPa 逐日风场资料求旬平均, 并得出雨季开始早则持续期长, 降水量大, 反之亦然。这一结果与该研究的结果完全一致。

2.4 东北雨季等级及综合强度变化 从 1997—2017 年东北雨季等级变化(图 5)可以看出, 1997—2017 年东北雨季降水量最多的一次发生在 2013 年的显著偏多, 东北雨季降水量最少的一次发生在 2007 年的显著偏少。近 21 年东北雨季降水量等级显著偏少共出现 2 次, 占整体的 9.52%; 偏少共

出现 6 次, 占整体的 28.57%; 正常共出现 7 次, 占整体的

表 1 1997—2017 年东北雨季平均降雨量与持续天数的相关性

Table 1 Correlation between average rainfall and duration in the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017

因子 Factor	项目 Item	平均降雨量 Average rainfall	天数 Days
平均降雨量 Average rainfall	皮尔逊相关性	1	0.815**
	Sig.(双尾)		0.000
	平方和与叉积	189 842.792	27 819.043
	协方差	9 492.140	1 390.952
	个案数	21	21
天数 Days	皮尔逊相关性	0.815**	1
	Sig.(双尾)	0.000	
	平方和与叉积	27 819.043	6 138.571
	协方差	1 390.952	306.929
	个案数	21	21

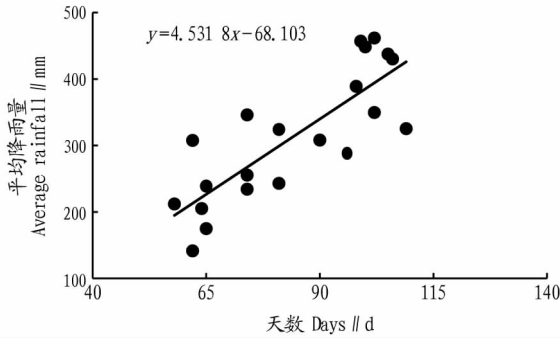


图4 1997—2017年东北雨季平均降雨量与持续天数的线性关系
Fig.4 Linear relationship between the average rainfall and duration in the rainy season in Northeast China from 1997 to 2017

33.33%;偏多共出现4次,占整体的19.05%;显著偏多共出现2次,占整体的9.52%。

从1997—2017年东北雨季综合强度变化(图5)可以看出,1997—2017年东北雨季综合强度最强达到1级发生在2013和1998年,东北雨季综合强度最弱到5级发生在2007和2008年。近21年东北雨季综合强度弱共出现2次,占整体的9.52%;偏弱共出现6次,占整体的28.57%;正常共出现7次,占整体的33.33%;偏强共出现4次,占整体的19.05%;强共出现2次,占整体的9.52%。

3 结论

该研究通过统计方法、相关性分析和线性趋势分析等方法对1997—2017年东北雨季变化进行分析,得到以下结论:

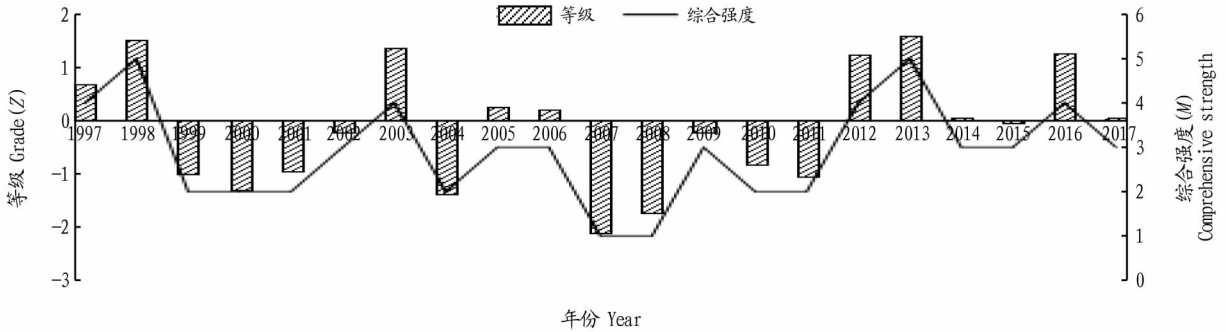


图5 1997—2017年东北雨季等级与综合强度变化
Fig.5 The changes of rainy season grade and comprehensive intensity in Northeast China from 1997 to 2017

(1)1997—2017年东北雨季开始时间在6月的占整体的80.95%,在7月的占整体的19.05%;结束时间在8月的占整体的23.81%,在9月的占整体的71.43%,在10月的占整体的4.76%;近21年东北雨季平均起止日期分别为6月27日和9月9日。

(2)1997—2017年东北雨季平均降雨量变化存在较大年际差异,1998年最多(461.7 mm),2007年最少(141.4 mm)。近21年东北雨季天数变化也存在较大年际差异,2014年最长(109 d),2000年最短(58 d),年平均降雨量为313.2 mm,年平均持续天数为84 d。

(3)1997—2017年东北雨季降水量最多的一次发生在2013年的显著偏多,最少的一次发生在2007年的显著偏少;综合强度最强达到1级发生在2013和1998年,最弱5级发生在2007和2008年。

(4)东北雨季平均降雨量受到多个因素的综合影响,其中东北雨季平均降雨量和雨季持续天数呈现显著正相关,相关系数为0.815。

参考文献

[1] 王秀娜,丁永建,王建,等.1960—2017年河西地区降水时空变化特征[J].冰川冻土,2021,43(4):1179—1189.
[2] 布帕提曼·艾拜都拉,买买提阿布都拉·依米尔,阿依夏木古丽·买买提,等.1961—2015年新疆和田地区不同级别降水事件变化特征[J].冰川冻土,2017,39(6):1326—1335.
[3] 鲍名,黄荣辉.近40年我国暴雨的年代际变化特征[J].大气科学,2006,30(6):1057—1067.

[4] 徐晓明,张雪芹.1961—2019年深圳市极端降水变化[J].自然灾害学报,2021,30(3):43—51.
[5] 程瑛,吴晶,李红,等.1961—2017年甘肃省霜冻演变特征及其对农业的影响[J].自然灾害学报,2019,28(6):37—46.
[6] 张庆奎,项阳,吉振明,等.近55年安徽省结冰现象气候特征及趋势分析[J].自然灾害学报,2020,29(6):218—226.
[7] DING Y H,CHAN J C L.The East Asian summer monsoon:An overview[J].Meteorology and atmospheric physics,2005,89(1/2/3/4):117—142.
[8] 梁巧倩,蒙伟光,孙喜艳,等.广东前汛期锋面强降水和后汛期季风强降水特征对比分析[J].热带气象学报,2019,35(1):51—62.
[9] 晏红明,李清泉,孙丞虎,等.中国西南地区雨季开始和结束日期划分标准的研究[J].大气科学,2013,37(5):1111—1128.
[10] 贾孜拉·拜山.中国西南区域干湿季变化特征及其成因分析[D].南京:南京信息工程大学,2016.
[11] 丁一汇,柳俊杰,孙颖,等.东亚梅雨系统的天气—气候学研究[J].大气科学,2007,31(6):1082—1101.
[12] 赵俊虎,陈丽娟,熊开国.基于新监测指标的江南入梅早晚的气候特征及影响系统分析[J].气象学报,2018,76(5):680—698.
[13] 赵俊虎,陈丽娟,王东轩.2016年我国梅雨异常特征及成因分析[J].大气科学,2018,42(5):1055—1066.
[14] 刘芸芸,丁一汇.印度夏季风与中国华北降水的遥相关分析及数值模拟[J].气象学报,2008,66(5):789—799.
[15] 于晓澄,赵俊虎,杨柳,等.华北雨季开始早晚与大气环流和海表温度异常的关系[J].大气科学,2019,43(1):107—118.
[16] 于晓澄.华北雨季的年际和年代际气候特征及其影响因子研究[D].兰州:兰州大学,2019.
[17] 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.地面标准气候值统计方法:GB/T 34412—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
[18] 房一禾,龚志强,赵连伟,等.中国东北区域盛夏雨季的客观识别[J].物理学报,2014,63(20):422—433.
[19] 王学忠,孙照渤,谭言科,等.东北雨季的划分及其特征[J].南京气象学院学报,2006,29(2):203—208.