

刘非凡, 郑永光, 罗琪, 等. 京津冀及周边一般性降水与短时强降水特征对比. 应用气象学报, 2023, 34(5): 619-629.

DOI: 10.11898/1001-7313.20230510

京津冀及周边一般性降水与短时强降水特征对比

刘非凡¹⁾ 郑永光^{1)2)*} 罗琪²⁾ 张恒进³⁾ 公衍铎⁴⁾

¹⁾(中国气象科学研究院, 北京 100081)

²⁾(国家气象中心, 北京 100081)

³⁾(中国船舶重工集团海装风电股份有限公司, 重庆 401122)

⁴⁾(黑龙江省气象台, 哈尔滨 150030)

摘 要

京津冀及周边地区为我国北方强降水的多发区域。基于 1966—2021 年 87 个国家级气象站逐小时降水资料对比分析暖季 5—9 月一般性降水和短时强降水的空间分布及年际变化, 并基于 1980—2021 年 298 个气象站分析日变化等特征。结果表明: 京津冀及周边地区的渤海西侧平原区域存在短时强降水强度极端性显著区域。渤海西侧平原以外区域两类降水平均小时降水量、强度和降水时次百分比均呈增长趋势, 但短时强降水的增幅更高, 而渤海西侧平原区域趋势则均不明显。渤海西侧平原区域和渤海西侧平原以外区域的一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比日变化幅度显著弱于短时强降水; 7—9 月渤海西侧平原区域降水夜发性更明显, 且相比另一区域半峰持续时间多出约 2 h。2005 年后渤海西侧平原区域和渤海西侧平原以外区域短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比下午时段均明显减弱, 但午夜后至清晨明显增加。

关键词: 一般性降水; 短时强降水; 年际变化; 日变化

引 言

华北位于东亚夏季风影响区域的北端, 降水主要集中在夏季。强降水会导致重大灾害, 因此华北强降水受到广泛关注^[1-6]。已有研究^[3-5]表明: 华北暴雨发生频率虽然低于华南, 但其 1 h 极端降水的强度与华南大致相当。京津冀及周边地区是华北的一部分, 也是华北强降水的多发区^[3-4, 6]。

降水具有明显年际和年代际变化特征。20 世纪 70 年代中后期开始, 华北年降水量出现减少趋势^[7], 80 年代华北降水量减少趋势更为明显^[7-8], 至 21 世纪初降水量逐渐增加^[9]。京津冀及周边地区年降水量年际变化与华北区域整体降水变化非常相似^[10], 但日变化特征差异较大^[6]。

日变化特征是降水气候研究的一个重要方面。国内外已有众多研究关注不同区域的降水日变化特

征^[3, 5-6, 11-19]。我国降水日变化整体上存在两个峰值, 分别出现在下午至傍晚和午夜至清晨时段^[3, 5-6, 15]。公衍铎^[6]发现华北平原西部区域小时降水量不小于 20 mm 的短时强降水具有夜间峰值特征。京津冀地区夏季降水总体呈现午后至傍晚和凌晨较强的特点, 而沿海区域呈多夜雨特征^[11, 19]。

不同月份的降水和对流日变化差异较大^[14]。7 月下旬—8 月中旬华北进入主雨季且日降水峰值转变为清晨^[17]; 其中京津冀平原区域在 7—8 月降水发生在清晨的概率最大^[11]。梁苏洁等^[10]研究京津冀地区暖季降水发现, 1970—2015 年 5—6 月午后短时降水事件次数有所增加, 但 7—8 月夜间至凌晨累积降水量自 1997 年之后明显减少, 9 月夜间降水量自 21 世纪初有所增强。

尽管京津冀及周边地区暖季降水特征研究已经取得大量成果, 但针对不同区域不同时段、不同类型降水年际变化和日变化等的对比研究鲜见报道。因

2023-04-12 收到, 2023-06-26 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金项目(42175017), 中国气象局重点创新团队(CMA2022ZD07)

* 通信作者, 邮箱: zhengyg@cma.gov.cn

此,本研究将京津冀及周边地区划分为两个区域,分别研究一般性降水和短时强降水的时间变化特征,以进一步加深对不同强度降水时间演变规律的认识。

1 资料和方法

本研究使用的资料为国家气象信息中心提供的1951—2012年全国2420个国家级地面气象站逐小时降水资料集^[20],并进一步补充了2013—2021年的资料。本研究针对暖季(5—9月)的降水。由于该资料集的全局气象站到1965年才逐渐增加至1000个以上,为了包含尽量多的有长时间观测序列的气象站以反映降水的年际变化特征,选取1966—2021年降水资料,筛选出1966—2021年87个气象

站,主要用于年际变化相关统计;筛选出1980—2021年298个气象站(包含1966—2021年87个气象站),主要用于日变化特征分析。同公衍铎^[6]、Zheng等^[5]筛选站点的方法类似,当年有效记录的时次数不低于该年暖季总体应观测时次数的80%时,认为该气象站当年的观测有效,反之则为无效。

本文所研究的是京津冀及周边地区(图1,范围为 $34^{\circ}\sim 43^{\circ}\text{N}$, $113^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$),已有研究表明:京津冀及周边地区大部分区域年平均降水量超过 500 mm ^[21],渤海西侧平原区域(图1黑框区域,范围为 $37^{\circ}\sim 41^{\circ}\text{N}$, $115^{\circ}\sim 119.5^{\circ}\text{E}$)是其中的暴雨频发区^[21],小时降水量不低于 20 mm 的短时强降水和 12 h 降水量不低于 100 mm 发生频率较高^[3,6]。

因此,本研究将京津冀及周边地区划分为两个区域(图1)。第1个区域是前文所述的渤海西侧平

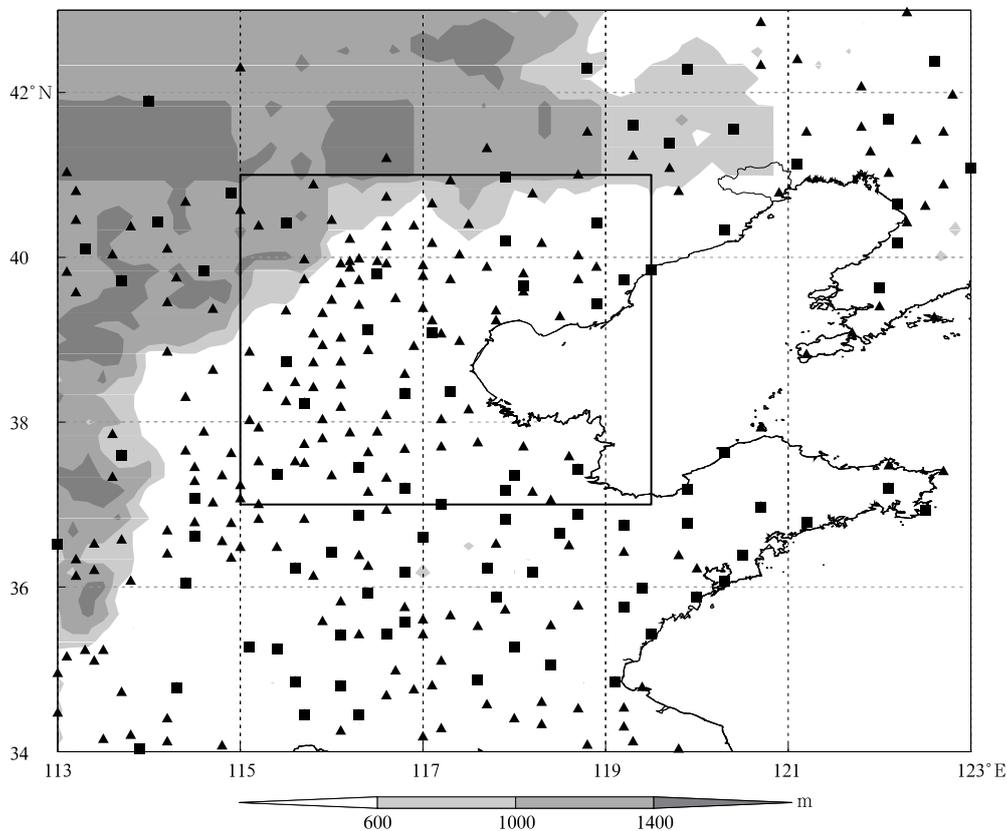


图1 京津冀及周边地区降水观测站分布

(灰度填色表示地形高度;方块为1966—2021年5—9月87个有效测站,1980—2021年5—9月为298个有效测站,三角为较1966—2021年增加的测站;方框表示渤海西侧平原区域)

Fig. 1 Distribution of national meteorological stations in Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas

(the gray shaded denotes terrain height, square symbols denote 87 valid stations from May to Sep from 1966 to 2021 and 298 valid stations from 1980 to 2021, of which the added stations are indicated by triangles, box denotes the west plains of the Bohai Sea Region)

原区域,包含了1966—2021年逐年均符合前述筛选标准的降水观测站21个,1980—2021年则有110个;第2个区域为京津冀及周边地区中渤海西侧平原以外的区域。

本研究基于小时降水量不低于0.1 mm的所有降水。短时强降水指小时降水量不低于20.0 mm^[3],代表对流性降水^[3-4,6];一般性降水指不满足短时强降水定义的降水。对于某一测站和某一时段,短时强降水降水量总和为小时降水量不低于20.0 mm的小时降水量总和,短时强降水时次总和为小时降水量不低于20.0 mm的时次总和;总有效观测时次为有效观测记录的时次总和,一般性降水的有效观测时次为一般性降水有效观测记录的时次总和,短时强降水的有效观测时次为短时强降水有效观测记录的时次总和^[16,22]。

根据已有研究^[6,16]的定义方法,对于某一测站,将一般性降水的平均小时降水量定义为一般性降水量总和与总有效观测时次的比值,一般性降水的降水时次百分比为一般性降水时次总和与一般性降水的有效观测时次比值,一般性降水的平均小时降水强度为一般性降水量总和与一般性降水时次总和的比值。类似地,定义短时强降水的平均小时降水量、

降水时次百分比和平均小时降水强度。

参考Taszarek等^[23]对平均小时降水量、降水时次百分比和平均小时降水强度的年际变化进行3年滑动平均分析年际变化,采用线性倾向估计方法得到三者的时间变化趋势。

参考公衍铎^[6]对降水日变化标准化的定义,1966—2021年降水年际变化的标准化是用每年的平均值与1966—2021年平均值之比的时间序列表示,1980—2021年降水标准化也采用同样方法。降水日变化的标准化则是用01:00—24:00(北京时,下同)逐时降水平均值除以24 h降水平均值得到,日变化年际变化的标准化用每年01:00—24:00逐时平均值除以1966—2021年逐时平均值的时间序列表示。

2 空间分布特征

总体上京津冀及周边地区年平均暖季一般性降水量(图2a填色)是总降水量的主要部分,显著高于年平均暖季短时强降水。从降水时次百分比看,图2c显示京津冀及周边地区一般性降水平均占比约为6%,其中天津与河北中部为一般性降水低值区。

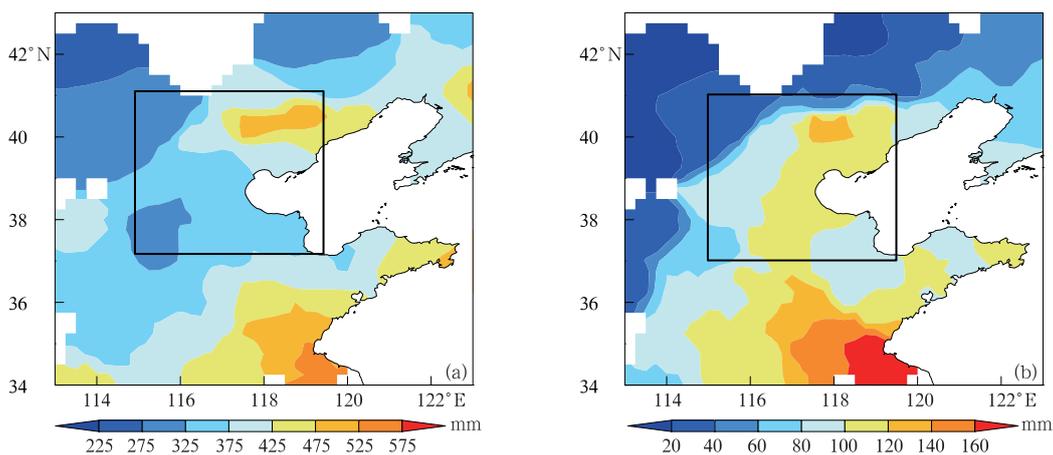


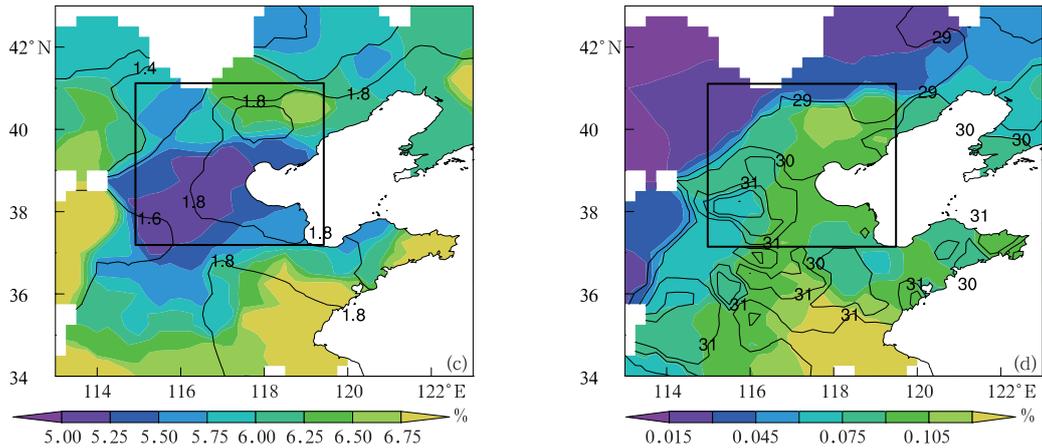
图2 1966—2021年暖季降水分布(黑框表示渤海西侧平原区域)

(a)一般性降水的平均年降水量(填色),(b)短时强降水的平均年降水量(填色),

(c)一般性降水的降水时次百分比(填色)和平均小时降水强度(等值线,单位: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$),

(d)短时强降水的降水时次百分比(填色)和平均小时降水强度(等值线,单位: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$)

Fig. 2 Spatial distribution of rainfall during warm season over Beijing, Tianjin, Hebei and its neighbouring areas from 1966 to 2021(the black box denotes the west plains of the Bohai Sea Region)
(a) averaged annual rainfall(the shaded) of light precipitation, (b) averaged annual rainfall(the shaded) of short-term heavy precipitation, (c) hourly precipitation frequency(the shaded) and averaged hourly rainfall intensity(the isolate, unit: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) of light precipitation, (d) hourly precipitation frequency(the shaded) and averaged hourly rainfall intensity(the isolate, unit: $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$) of short-term heavy precipitation



续图 2

一般性降水的时次百分比也显著高于短时强降水的时次百分比,但渤海西侧平原区域的东北部短时强降水占总降水时次百分比显著高于区域内其他地区,进一步表明该区域为短时强降水的高发区。

对比图 2 平均小时降水强度可知,一般性降水的平均小时降水强度仅约为短时强降水平均小时降水强度的 1/15,这与以往研究得到的层状云降水强度^[5]基本一致。还需要指出的是,在渤海西侧平原区域西南部存在一个短时强降水平均小时降水强度最大而平均年降水量、降水时次百分比却为相对低

值的区域,表明该区域短时强降水呈现明显极端性,降水的对流性显著,这可能同该区域的特殊地形(太行山在该区域存在东向开口的喇叭口地形)与石家庄等城市热动力差异和大气环流间相互作用有关。

3 暖季降水的年际变化特征

3.1 不同类型降水年际变化

渤海西侧平原以外区域一般性降水和短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比(图 3)为增长

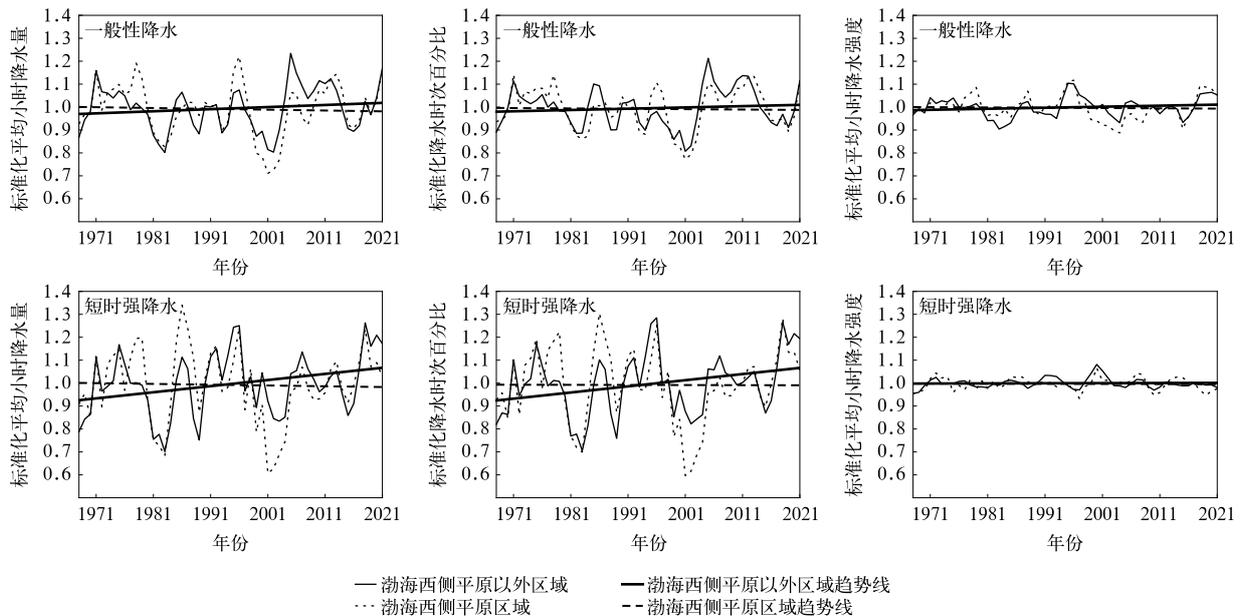


图 3 1966—2021 年暖季渤海西侧平原以外区域和渤海西侧平原区域的平均小时降水量、降水时次百分比和平均小时降水强度 3 年滑动平均

Fig. 3 Three-year running standardized averaged hourly rainfall amount, frequency, intensity over Beijing, Tianjin, Hebei and its neighbouring areas excluding the west plains of the Bohai Sea Region and the west plains of Bohai Sea Region during warm season of 1966—2021

趋势,短时强降水的增加趋势比一般性降水更明显且波动幅度也更大。渤海西侧平原区域一般性降水和短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比的变化趋势为略有减少但不显著,这可能是与该区域年际变化振幅明显大于渤海西侧平原以外区域以及下文给出的暖季不同阶段的变化趋势不同相关。以上结果与 1980—2021 年暖季 298 个气象站计算结果基本一致,但 1980—2021 年暖季渤海西侧平原区域的一般性降水和短时强降水的平均小时降水量和降水时次百分比增加趋势较显著。

对于平均小时降水强度(图 3),两区域一般性降水和短时强降水的平均小时降水强度变化幅度均不大,只是渤海西侧平原以外区域一般性降水略有增加,这是因为该区域一般性降水平均小时降水量增加趋势显著大于降水时次百分比增加趋势。

3.2 暖季不同阶段降水年际变化

由于华北地区强降水主要发生在 7—8 月^[8-9],因此,本文比较春末夏初 5—6 月(图略)、盛夏 7—8 月(图 4)、初秋 9 月(图略)一般性降水和短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比和平均小时

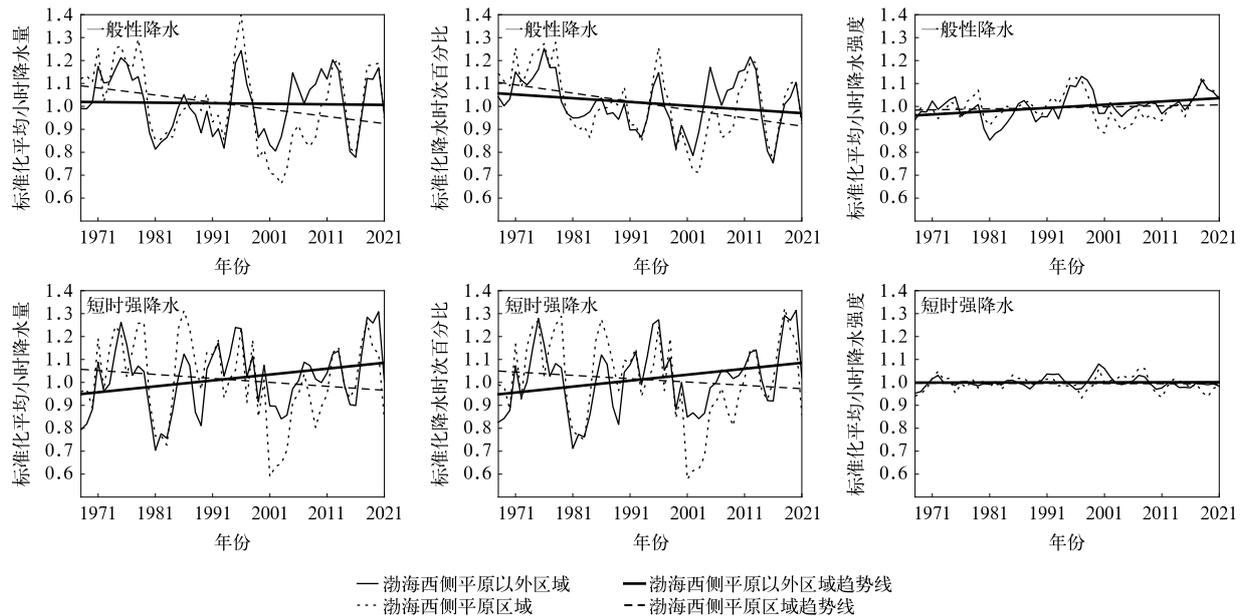


图 4 同图 3,但为 1966—2021 年 7—8 月

Fig. 4 The same as in Fig. 3, but for Jul and Aug from 1966 to 2021

降水强度的年际变化。

对于平均小时降水量、降水时次百分比,5—6 月两个区域一般性降水和短时强降水均为增加趋势,与整个暖季变化趋势一致;7—8 月渤海西侧平原以外区域一般性降水和短时强降水也为增加趋势,而渤海西侧平原区域则均为减小趋势;9 月渤海西侧平原以外区域一般性降水和短时强降水均大幅减小,但渤海西侧平原区域变化趋势不明显。

对于平均小时降水强度,两个区域暖季不同阶段的短时强降水年际变化趋势均不明显,同整个暖季年际变化趋势(图 3)基本一致,但 7—8 月渤海西侧平原以外区域一般性降水强度的增加趋势较整个暖季明显。

5—8 月渤海西侧平原以外区域一般性降水和

短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比在整个暖季均为增加趋势;对于渤海西侧平原区域,5—6 月一般性降水和短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比呈增加趋势、7—8 月呈减少趋势(图 4)和 9 月无明显趋势,且平均小时降水量和降水时次百分比的年际变化波动性明显大于渤海西侧平原以外区域(图 3),因此该区域整个暖季的年际变化变化趋势不明显。

4 暖季降水日变化特征

4.1 不同类型降水总体日变化

本节分析两个区域一般性降水和短时强降水标准化的日变化特征。分别采用 1966—2021 年和

1980—2021年有效观测站降水资料进行日变化特征分析,二者特征非常类似,由于1980—2021年有效观测站数量更多,且日变化特征更为清晰,因此图5和图6均采用1980—2021年降水数据。

渤海西侧平原区域较渤海西侧平原以外区域降水的夜发性更显著,一般性降水和短时强降水峰值

持续时间也更长,这与渤海西侧平原区域主要为平原和沿海,而渤海西侧平原以外区域包括较多山地相关,夜间降水的成因与地形和海陆等不同下垫面分布导致的局地环流日变化有关^[17,24-26],也与低空急流位置及其日变化密切相关^[27]。

由图5可知,两个区域一般性降水的平均小时

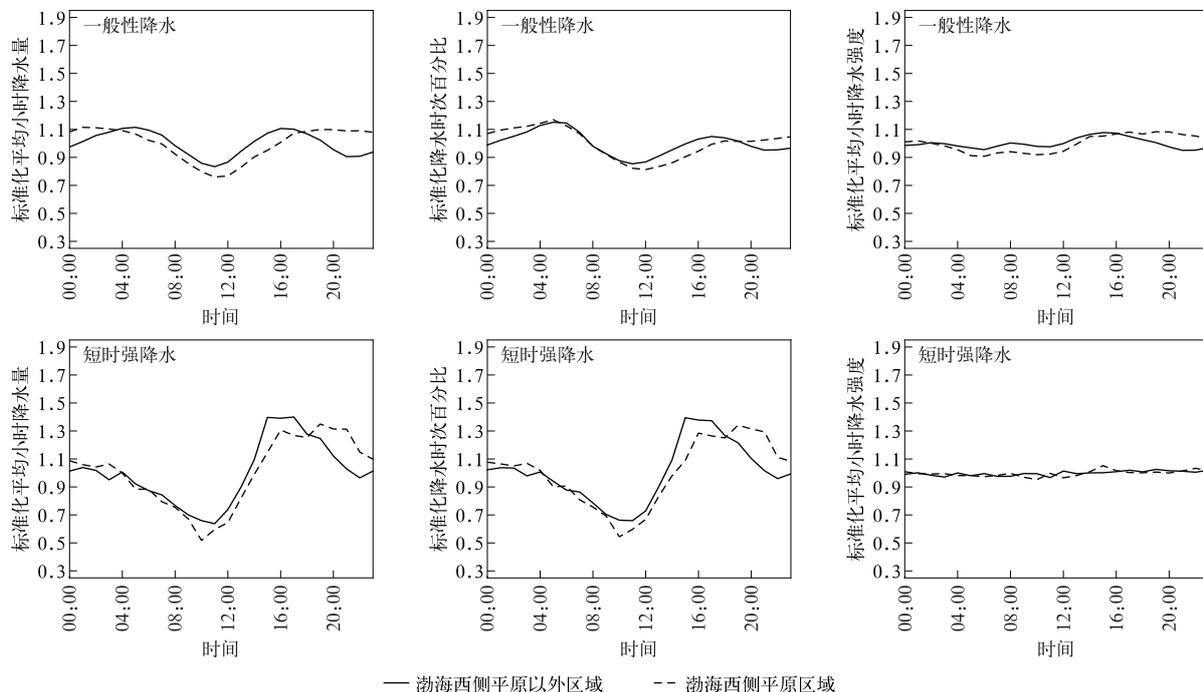


图5 1980—2021年暖季渤海西侧平原以外区域和渤海西侧平原区域标准化的平均小时降水量、降水时次百分比和平均小时降水强度日变化

Fig. 5 Standardized diurnal variations of averaged hourly rainfall amount, frequency and intensity over Beijing, Tianjin, Hebei and its neighbouring areas excluding the west plains of the Bohai Sea Region and the west plain of Bohai Sea Region during warm season from 1980 to 2021

降水量、降水时次百分比均存在午夜后至清晨与傍晚两个持续时间较长的峰值时段;午夜后一般性降水平均小时降水量峰值与傍晚时段大致相当,而降水时次百分比午夜后的峰值显著高于傍晚时段。渤海西侧平原区域一般性降水的平均小时降水量和降水时次百分比峰值持续时间显著大于渤海西侧平原以外区域,且午夜后的峰值较前半夜变化不大,这可能与两个区域的下垫面分布差异密切相关。值得注意的是,一般性降水平均小时降水强度仅傍晚1个峰值,表明一般性降水在傍晚时段显著强于午夜后。

图5两个区域的短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比日变化幅度较一般性降水更显著,均呈主峰在傍晚时段、次峰在午夜后的特征;渤海西

侧平原区域的短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比的傍晚主峰持续时间较渤海西侧平原以外区域更长,约为2 h,且渤海西侧平原区域接近中午时段的谷值更低,而渤海西侧平原以外区域的主峰值略高于渤海西侧平原区域。此外,相比于一般性降水,短时强降水平均小时降水量、降水时次百分比的峰值持续时间明显较短,平均小时降水强度则几乎无明显日变化。

4.2 暖季不同阶段降水日变化

两个区域在5—6月(图6)、7—8月(图略)和9月(图略)的午夜后至清晨以及傍晚时段均是一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比的峰值时段,但5—6月主峰值为傍晚时段,体现了春末夏初

对流主要发生在傍晚的特点;7—8 月和 9 月一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比的主峰值为午夜后至清晨,且与渤海西侧平原以外区域相比,渤海西侧平原区域午夜后至清晨的一般性降水平均小时降水量更大,降水时次百分比的峰值维持时间更长,这体现了受东亚夏季风影响的夏季降水日变化特征。

对于短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比,5—6 月两个区域的短时强降水主要由傍晚时段对流导致;7—8 月与暖季整体日变化分布相似,

其中渤海西侧平原区域午夜后至清晨的次峰值明显高于渤海西侧平原以外区域且半峰持续时间也更长,超过约 2 h;9 月前半夜时段与后半夜至清晨的对流降水活跃度大致相当,不过渤海西侧平原区域的两个峰值更为突出。

两个区域降水日变化的年际变化也存在较多差异,主要表现为渤海西侧平原以外区域午夜后至清晨短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比增加显著,这可能是由于渤海西侧平原以外区域包括了暖季降水量更多的山东和河南北部等区域。

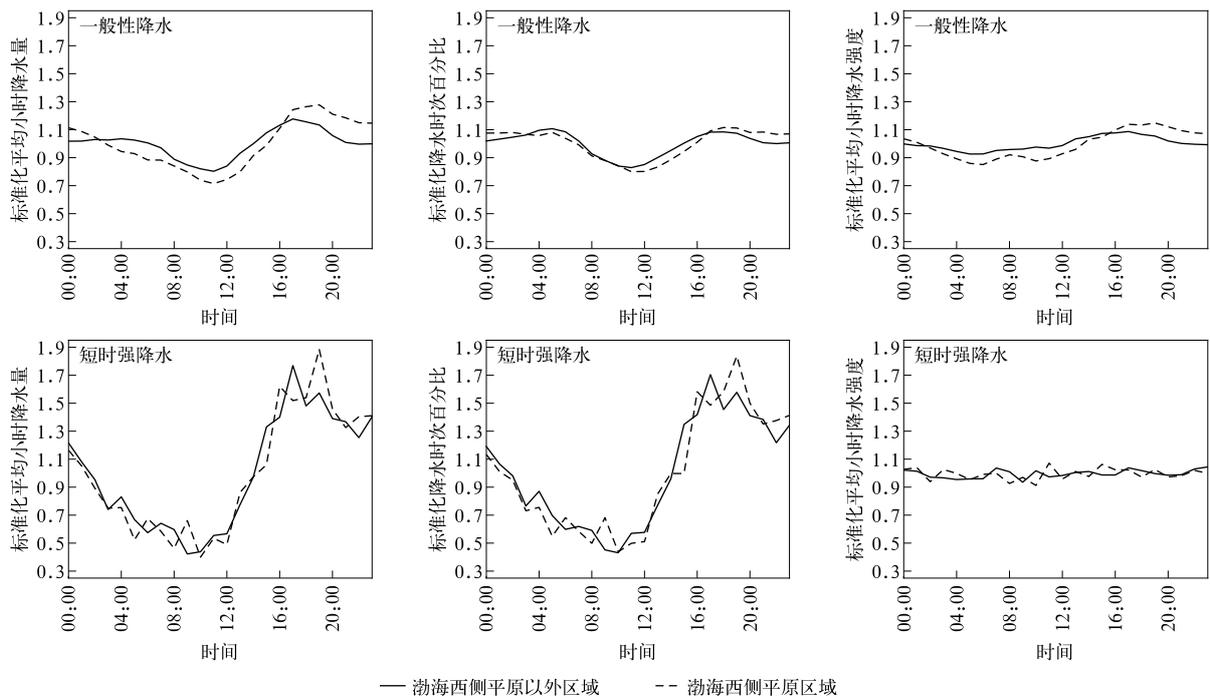


图 6 同图 5,但为 1980—2021 年 5—6 月

Fig. 6 The same as in Fig. 5, but for May to Jun from 1980 to 2021

4.3 暖季降水日变化的年际变化

本节考察暖季一般性降水和短时强降水日变化的年际变化特征。从图 7 平均小时降水量、降水时次百分比看,渤海西侧平原以外区域和渤海西侧平原区域一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比在 1970—1980 年和 2010 年之后较多,但 12:00—17:00 下午时段一般性降水平均小时降水量存在明显减少趋势。2010 年以后两个区域短时强降水 18:00 左右傍晚时段有所增加,在 12:00—17:00 下午时段有所减弱,午夜后至清晨时段增加非常明显,但渤海西侧平原区域显著性略差。

由图 7 平均小时降水强度可知,两个区域的一

般性降水和短时强降水的年际变化均不突出,但由于两类降水平均小时降水量和降水时次百分比存在变化,2005 年后午夜后至清晨时段(约为 00:00—08:00)两类降水平均小时降水强度总体有所增强,但渤海西侧平原区域显著性略差。

结合 3.2 节可知,渤海西侧平原以外区域短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比年际变化增加趋势对应该区域午夜后至清晨短时强降水显著增加;而渤海西侧平原区域短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比年际变化不显著是该区域午夜后时段增加幅度不显著且与下午时段的减弱相抵消的结果。

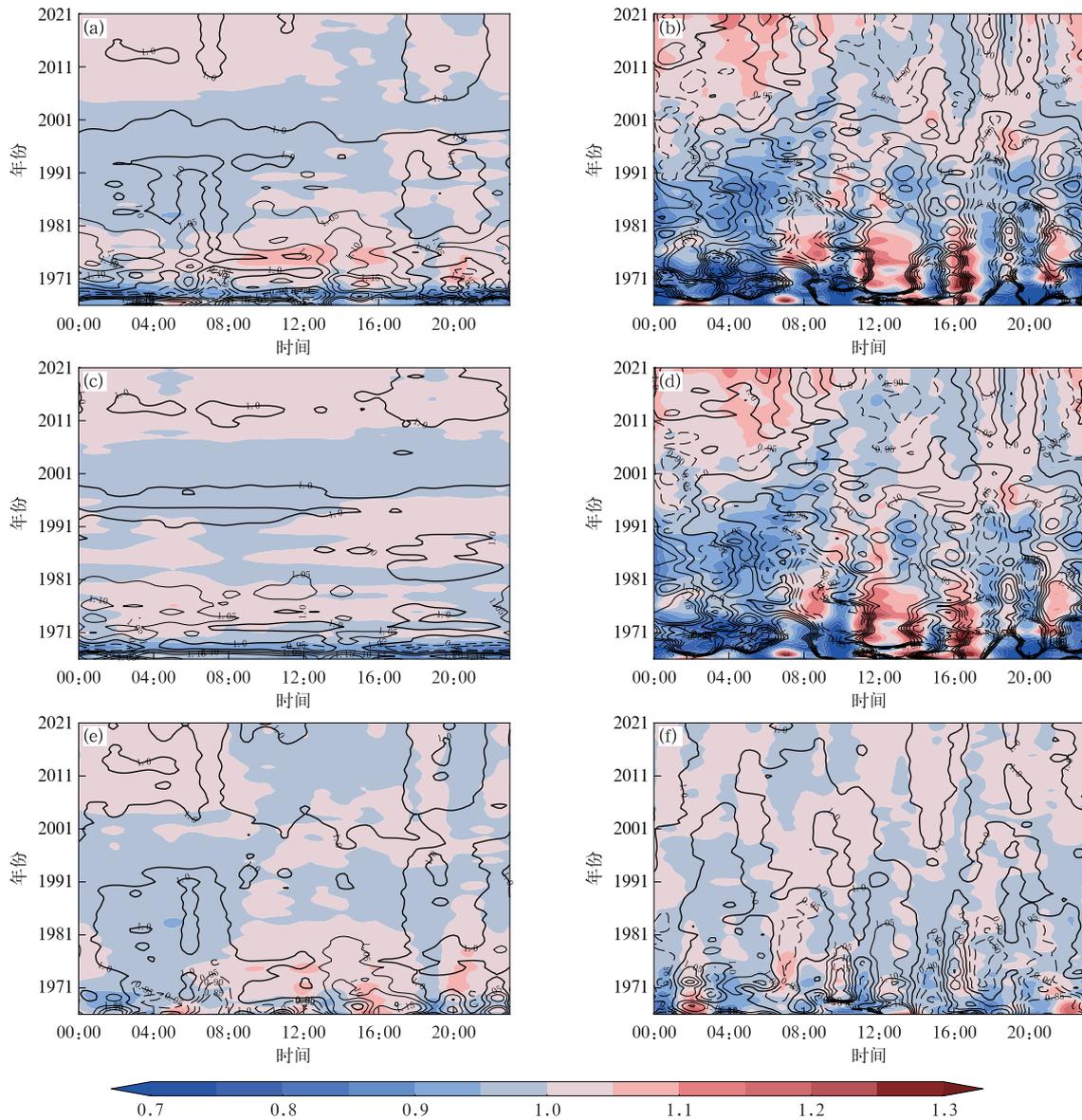


图7 渤海西侧平原以外区域(填色)和渤海西侧平原区域(等值线)暖季标准化降水日变化的年际变化
(细实线表示大于1.0,粗实线表示等于1.0,细虚线表示小于1.0)

(a)一般性降水的平均小时降水量,(b)短时强降水的平均小时降水量,

(c)一般性降水的降水时次百分比,(d)短时强降水的降水时次百分比,

(e)一般性降水的平均小时降水强度,(f)短时强降水的平均小时降水强度

Fig. 7 Interannual changes of standardized diurnal variation during warm season over Beijing, Tianjin, Hebei and its neighbouring areas excluding the west plains of Bohai Sea Region(the shaded) and the west plains of the Bohai Sea Region(the isolate)(thin solid lines denote values greater than 1.0, thick solid lines denote values equal to 1.0, thin dashed lines denote values less than 1.0)

(a)average hourly rainfall amount of light precipitation,(b)average hourly rainfall amount of short-term heavy precipitation,(c)average hourly rainfall frequency of light precipitation,(d)average hourly rainfall frequency of short-term heavy precipitation,(e)average hourly rainfall intensity of light precipitation,(f)average hourly rainfall intensity of short-term heavy precipitation

5 结论与讨论

利用国家级气象站小时降水长时间序列统计分

析暖季京津冀及周边地区两个区域(渤海西侧平原区域和渤海西侧平原以外区域)的一般性降水和短时强降水的空间分布、年际变化、日变化以及日变化的年际变化特征及差异的原因,主要结论如下:

1) 京津冀及周边地区暖季一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比显著高于短时强降水,但渤海西侧平原区域中存在短时强降水的平均小时降水强度大而平均小时降水量、降水时次百分比均为相对低值的区域,相比于渤海西侧平原以外区域的邻近区域短时强降水具有更强的极端性,降水的对流性更显著。

2) 1966—2021年暖季渤海西侧平原以外区域一般性降水和短时强降水的平均小时降水量、降水时次百分比呈增长趋势,其中短时强降水增幅更为显著;而渤海西侧平原区域整个暖季降水年际变化趋势不明显,是由该区域年际变化波动幅度大、且7—8月一般性降水和短时强降水均减少、其他月份均增加所致。

3) 两个区域短时强降水较一般性降水均具有更明显的日变化。渤海西侧平原以外区域暖季午夜后短时强降水较傍晚时段显著减弱;渤海西侧平原区域具有更明显的夜发性,尤其7—9月相比于渤海西侧平原以外区域,渤海西侧平原区域的两类降水平均小时降水量和降水时次百分比午夜后至清晨次峰明显、半峰持续时间超过约2 h。

4) 从降水日变化的年际变化看,两个区域的一般性降水平均小时降水量和降水时次百分比具有不同的年际变化特征,但下午时段一般性平均小时降水量均呈明显减少趋势。2005年以后渤海西侧平原以外区域和渤海西侧平原以外区域短时强降水平均小时降水量和降水时次百分比下午时段明显减弱,而午夜后至清晨增加较明显。

本文得到暖季京津冀及周边地区两个区域一般性降水和短时强降水的地理分布、时间演变特征,这两个区域二类降水年际变化差异形成的根本原因是大气环流、水汽条件和对流条件的差异;除了大尺度大气环流的影响,还可能与下垫面分布差异密切相关,后续工作将在前人降水机制研究^[28-30]基础上使用多源观测、再分析和数值模拟等资料研究其物理机制。

参考文献

- [1] 宝兴华,夏茹娣,罗亚丽,等.“21·7”河南特大暴雨气象和水文雨量观测对比. *应用气象学报*,2022,33(6):668-681.
Bao X H, Xia R D, Luo Y L, et al. Comparative analysis on meteorological and hydrological rain gauge observations of the extreme heavy rainfall event in Henan Province during July 2021. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(6): 668-681.
- [2] 齐道日娜,何立富,王秀明,等.“7·20”河南极端暴雨精细观测及热动力成因. *应用气象学报*,2022,33(1):1-15.
Chi D, He L F, Wang X M, et al. Fine observation characteristics and thermodynamic mechanisms of extreme heavy rainfall in Henan on 20 July 2021. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(1): 1-15.
- [3] Chen J, Zheng Y G, Zhang X L, et al. Distribution and diurnal variation of warm-season short-duration heavy rainfall in relation to the MCSs in China. *Acta Meteor Sinica*, 2013, 27(6): 868-888.
- [4] Zheng Y G, Xue M, Li B, et al. Spatial characteristics of extreme rainfall over China with hourly through 24-hour accumulation periods based on national-level hourly rain gauge data. *Adv Atmos Sci*, 2016, 33(11): 1218-1232.
- [5] Zheng Y G, Gong Y D, Chen J, et al. Warm-season diurnal variations of total, stratiform, convective, and extreme hourly precipitation over central and eastern China. *Adv Atmos Sci*, 2019, 36(2): 143-159.
- [6] 公衍铎. 中国中东部暖季降水与极端强降水时空分布特征研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2018.
Gong Y D. Warm-season Spatiotemporal Distribution Characteristics of Precipitation and Extreme Heavy Precipitation over Central Eastern China. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2018.
- [7] 卫捷,张庆云,陶诗言. 近20年华北地区干旱期大气环流异常特征. *应用气象学报*, 2003, 14(2): 140-151.
Wei J, Zhang Q Y, Tao S Y. Characteristics of atmospheric circulation anomalies during persistent droughts in North China for last two decades. *J Appl Meteor Sci*, 2003, 14(2): 140-151.
- [8] 刘海文,丁一汇. 华北夏季降水的年代际变化. *应用气象学报*, 2011, 22(2): 129-137.
Liu H W, Ding Y H. The interdecadal variability of summer precipitation over North China. *J Appl Meteor Sci*, 2011, 22(2): 129-137.
- [9] 杨若子,邢佩,杜吴鹏,等. 1961—2017年华北区域降水气候特征分析. *地理科学*, 2020, 40(9): 1573-1583.
Yang R Z, Xing P, Du W P, et al. Climatic characteristics of precipitation in North China from 1961 to 2017. *Scientia Geographica Sinica*, 2020, 40(9): 1573-1583.
- [10] 梁苏洁,程善俊,郝立生,等. 1970—2015年京津冀区域暖季小时降水变化特征. *暴雨灾害*, 2018, 37(2): 105-114.
Liang S J, Cheng S J, Hao L S, et al. Analysis on the characteristics of hourly precipitation variations in Beijing-Tianjin-Hebei Region during 1970—2015. *Torrential Rain and Disasters*, 2018, 37(2): 105-114.
- [11] 吴正华. 京津冀夏季短历时降水气候分析. *大气科学*, 1993, 17(3): 268-273.
Wu Z H. Climate analysis of summer short-period precipitation in Beijing-Tianjin-Hebei Area. *Chinese J Atmos Sci*, 1993, 17(3): 268-273.

- [12] Dai A G, Lin X, Hsu K L. The frequency, intensity, and diurnal cycle of precipitation in surface and satellite observations over low-and mid-latitudes. *Climate Dyn*, 2007, 29(7): 727-744.
- [13] Zhou T J, Yu R C, Chen H M, et al. Summer precipitation frequency, intensity, and diurnal cycle over China: A comparison of satellite data with rain gauge observations. *J Climate*, 2008, 21(16): 3997-4010.
- [14] Chen G X, Sha W M, Iwasaki T. Diurnal variation of precipitation over southeastern China: Spatial distribution and its seasonality. *J Geophys Res Atmos*, 2009, 114. DOI: 10.1029/2008JD011103.
- [15] Yu R C, Xu Y P, Zhou T J, et al. Relation between rainfall duration and diurnal variation in the warm season precipitation over central eastern China. *Geophys Res Lett*, 2007, 34(13). DOI: 10.1029/2007GL030315.
- [16] Yuan W H, Yu R C, Li J. Changes in the diurnal cycles of precipitation over eastern China in the past 40 years. *Adv Atmos Sci*, 2013, 30(2): 461-467.
- [17] 宇如聪, 李建, 陈昊明, 等. 中国大陆降水日变化研究进展. *气象学报*, 2014, 72(5): 948-968.
Yu R C, Li J, Chen H M, et al. Progress in studies of the precipitation diurnal variation over contiguous China. *Acta Meteor Sinica*, 2014, 72(5): 948-968.
- [18] 韩函, 吴昊旻, 黄安宁. 华北区域夏季降水日变化的时空分布特征. *大气科学*, 2017, 41(2): 263-274.
Han H, Wu H M, Huang A N. Temporal and spatial distributions of the diurnal cycle of summer precipitation over North China. *Chinese J Atmos Sci*, 2017, 41(2): 263-274.
- [19] Cheng C L, Li Q C, Dou Y J, et al. Diurnal variation and distribution of short-duration heavy rainfall in Beijing-Tianjin-Hebei Region in summer based on high-density automatic weather station data. *Atmosphere*, 2021, 12(10): 1263.
- [20] 张强, 赵煜飞, 范邵华. 中国国家级气象台站小时降水数据集研制. *暴雨灾害*, 2016, 35(2): 182-186.
Zhang Q, Zhao Y F, Fan S H. Development of hourly precipitation datasets for national meteorological stations in China. *Torrential Rain and Disasters*, 2016, 35(2): 182-186.
- [21] 叶殿秀, 张存杰. 中国极端降水气候图集. 北京: 气象出版社, 2014.
Ye D X, Zhang C J. Climatic Atlas of Extreme Precipitation in China. Beijing: China Meteorological Press, 2014.
- [22] 李建, 宇如聪, 孙激. 从小时尺度考察中国中东部极端降水的持续性和季节特征. *气象学报*, 2013, 71(4): 652-659.
Li J, Yu R C, Sun W. Duration and seasonality of the hourly extreme rainfall in the central-eastern part of China. *Acta Meteor Sinica*, 2013, 71(4): 652-659.
- [23] Taszarek M, Allen J T, Groenemeijer P, et al. Severe convective storms across Europe and the United States. Part I: Climatology of lightning, large hail, severe wind, and tornadoes. *J Climate*, 2020, 33(23): 10239-10261.
- [24] 高晓梅, 俞小鼎, 王令军, 等. 山东半岛两次海风锋引起的强对流天气对比. *应用气象学报*, 2018, 29(2): 245-256.
Gao X M, Yu X D, Wang L J, et al. Comparative analysis of two strong convections triggered by sea-breeze front in Shandong Peninsula. *J Appl Meteor Sci*, 2018, 29(2): 245-256.
- [25] 王成鑫, 高守亭, 冉令坤, 等. 四川地形扰动对降水分布影响. *应用气象学报*, 2019, 30(5): 586-597.
Wang C X, Gao S T, Ran L K, et al. Effects of topographic perturbation on the precipitation distribution in Sichuan. *J Appl Meteor Sci*, 2019, 30(5): 586-597.
- [26] Pan H, Chen G X. Diurnal variations of precipitation over North China regulated by the mountain-plains solenoid and boundary-layer inertial oscillation. *Adv Atmos Sci*, 2019, 36(8): 863-884.
- [27] 罗然. 华北夜间强降水统计特征和机理个例研究. 北京: 中国气象科学研究院, 2020.
Luo R. Statistical Characteristics of Nocturnal Heavy Rainfall and a Case Study of Mechanism in North China. Beijing: Chinese Academy of Meteorological Sciences, 2020.
- [28] 李欣, 张璐. 北上台风强降水形成机制及微物理特征. *应用气象学报*, 2022, 33(1): 29-42.
Li X, Zhang L. Formation mechanism and microphysics characteristics of heavy rainfall caused by northward-moving typhoons. *J Appl Meteor Sci*, 2022, 33(1): 29-42.
- [29] 常祎, 郭学良, 唐洁, 等. 青藏高原夏季对流云微物理特征和降水形成机制. *应用气象学报*, 2021, 32(6): 720-734.
Chang Y, Guo X L, Tang J, et al. Microphysical characteristics and precipitation formation mechanisms of convective clouds over the Tibetan Plateau. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(6): 720-734.
- [30] 蔡金圻, 谭桂容, 牛若芸. 基于迁移 CNN 的江淮持续性强降水环流分型. *应用气象学报*, 2021, 32(2): 233-244.
Cai J Q, Tan G R, Niu R Y. Circulation pattern classification of persistent heavy rainfall in Jianghuai Region based on the transfer learning CNN model. *J Appl Meteor Sci*, 2021, 32(2): 233-244.

Comparison of Characteristics of Light Precipitation and Short-time Heavy Precipitation over Beijing, Tianjin, Hebei and Neighbouring Areas

Liu Feifan¹⁾ Zheng Yongguang¹⁾²⁾ Luo Qi²⁾ Zhang Hengjin³⁾ Gong Yanduo⁴⁾

¹⁾ (Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

²⁾ (National Meteorological Center, Beijing 100081)

³⁾ (CSIC Haizhuang Wind Power Co., Ltd., Chongqing 401122)

⁴⁾ (Heilongjiang Meteorological Office, Harbin 150030)

Abstract

Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas ($34^{\circ} - 43^{\circ}\text{N}$, $113^{\circ} - 123^{\circ}\text{E}$) are located at the north edge of the East Asian summer monsoon, and they are also the main heavy-rain areas in northern China. The hourly precipitation data of 87 national meteorological stations from 1966 to 2021 are used for the analysis of spatial distribution and interannual variations, while the data of 298 stations from 1980 to 2021 are used to statistically analyze the diurnal variations and interannual variations of light precipitation ($0.1 - 20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) and short-time heavy precipitation (no less than $20 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$) for the warm season (May–September) over the region. The results show that the annual average light precipitation and frequency in Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas during the warm season are much higher than those of short-time heavy precipitation. However, there is an area in the west of the Bohai Sea Region ($37^{\circ} - 41^{\circ}\text{N}$, $115^{\circ} - 119.5^{\circ}\text{E}$) with high short-time heavy rainfall intensity but weak rainfall amount and frequency, which means the convective characteristics of short-time precipitation over this area are more extreme and significant. The interannual variations of two kinds of precipitation amount, frequency, and intensity in Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas excluding the west of Bohai Sea Region both present an overall growing trend in the warm season, in which the increasing trend of short-time heavy precipitation is more obvious, but the trend in the west of the Bohai Sea Region is not obvious. The diurnal variation amplitudes of light precipitation amount and frequency in Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas excluding the west of the Bohai Sea Region are significantly weaker than those of short-time heavy precipitation, but the peak durations are significantly longer. Compared to Beijing, Tianjin, Hebei and neighbouring areas excluding the west of the Bohai Sea Region, two types of precipitation in the west of the Bohai Sea Region from July to September are more frequent and the rainfall peak durations are longer. The interannual variations of precipitation in different periods of the whole day show that the light precipitation in two regions both decrease in the afternoon, while the short-time heavy precipitation has weakened significantly in the afternoon since 2005, but increased significantly from midnight to early morning.

Key words: light precipitation; short-time heavy precipitation; interannual variation; diurnal variation