

Statistical Analysis of the Characteristics Difference of Rainfall over Bohai Bay and the Land

Ling Guo, Meiling Sun*, Xuejiao Wang, Hui Lan

Tianjin Meteorological Service Centre, Tianjin
Email: guoling1014@126.com, *308366124@qq.com

Received: Nov. 5th, 2019; accepted: Nov. 20th, 2019; published: Nov. 27th, 2019

Abstract

Using precipitation observed data from 1988 to 2015 from Platform A of Chengbei Oilfield over Bohai Bay and Tanggu and Xiqing observation stations, the climatic characteristic and changing trend of rainfall amount and rainfall days and diurnal variation of summer rainfall events over Bohai Bay and the land (coast and inland) were analyzed. The results show that the annual rainfall amount and rainfall days of Bohai Bay are less than the land in nearly 30 years. The annual rainfall amount and rainfall days of Bohai Bay and coast appear linear upward trend, while inland appearing linear downward trend. The seasonal rainfall amount and rainfall days of Bohai Bay are also less than the land, while seasonal distribution characteristic is the same. Compared with other seasons, the rainfall amount and days in summer are the most, followed by spring and autumn, and winter is the least. The diurnal variation of rainfall in summer is different between Bohai Bay and the land. The high value area of rainfall amount and frequency of Bohai Bay and coast concentrates on the period from night to morning. However, the high value period of rainfall amount and frequency of inland is from afternoon to fore midnight. The diurnal precipitation variation of Bohai Bay lags behind that of inland obviously.

Keywords

Rainfall over Bohai Bay, Rainfall Characteristic, Diurnal Variation

渤海湾与陆地降水特征差异的统计分析

郭玲, 孙玫玲*, 王雪娇, 兰辉

天津市气象服务中心, 天津
Email: guoling1014@126.com, *308366124@qq.com

收稿日期: 2019年11月5日; 录用日期: 2019年11月20日; 发布日期: 2019年11月27日

*通讯作者。

摘要

利用1988~2015年渤海湾埕北油田A平台、塘沽和西青气象观测站的降水资料,对比分析了渤海湾与陆地(沿岸、内陆)降水量、降水日数的气候特征和变化趋势,以及夏季降水的日变化规律。分析结果表明:近30年来渤海湾年降水量、降水日数与陆地相比均偏少。渤海湾与沿岸年降水量和降水日数呈线性上升趋势,内陆呈线性下降趋势。渤海湾季降水量、降水日数与陆地相比偏少,且季节分布特征相同,降水量和日数以夏季最多,春季和秋季次之,冬季最少。夏季一日内降水变化特征存在差异,渤海湾与沿岸逐小时降水量和频次高值区集中在夜间至早上时段,而内陆高值区集中在午后至前半夜时段;渤海湾日降水变化特征与陆地相比存在明显的滞后性。

关键词

渤海湾降水, 降水特征, 降水日变化

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

渤海湾为三面环陆的半封闭性海湾,位于中纬度季风区,由于其地理位置和气候的特殊性,使得降水在时空分布上与陆地存在较大差异。降水变化规律是区域气候的重要特征,掌握海域的气候特征对航海活动和海上作业等有着重要作用。渤海作为我国北方海洋经济发展中心,海洋资源开发、油气开采、海上航运物流等活动在经济建设中起重要作用,然而这些活动均会受到海上极端降水事件的不利影响。因此,深入认识渤海湾降水的气候特征,有助于提高海区降水的预报水平。

由于海陆热力差异和动力、热力强迫的共同作用,海面与陆地存在较明显的差异[1],目前关于海面降水事件的研究相对较少。Gray 和 Jacobson [2]、Murakami [3]指出热带地区陆地上的降水峰值出现在下午和傍晚,而临近海岸的海面降水峰值出现在凌晨。吴暖钦等[4]研究发现同一天气系统影响下,陆地站和岛屿站降水存在较大差异。对于陆地降水的气候特征,国内外学者已经进行了大量的研究工作[5] [6] [7]。近几十年来,我国大部分地区年降水日数趋于减少,极端降水趋势虽无明显变化,但其时空差异较大[8] [9] [10]。翟盘茂和潘晓华[11]研究表明:20世纪80年代以来,全国总降水量变化趋势不明显,同时雨日显著减少,意味降水强度可能增强。郭军等[12]分析了环渤海地区不同级别降水日数、降水量和降水强度的气候特征和变化趋势,指出年及四季雨日均呈减少趋势,降水强度略有增加。Yu 等[13] [14]对中国大陆区域的夏季降水日变化特征进行了系统分析,指出中国夏季降水的日变化具有明显的区域性特征。李明财等[15]研究指出,天津夏季一日内不同时次的累积降水量呈明显的双峰值,高值分别出现在午后17时和午夜02时。

本文拟运用近三十年渤海湾与陆地降水观测资料,对海面与沿岸、内陆降水特征进行差异对比,着重分析渤海湾与陆地降水的气候特征及日变化规律,为渤海海域降水预报提供参考依据及预报指标。

2. 资料与方法

目前普遍使用雨量来表示降水量,观测点测得的雨量可代表其周围一个区域的平均降水量[16]。文中

选用渤海埕北 A 平台观测站(54646 站), 以下简称渤海 A 平台, 代表渤海湾; 陆地选取国家基本气象站, 以塘沽(54623 站)、西青(54527 站)分别代表沿岸、内陆(图 1)。

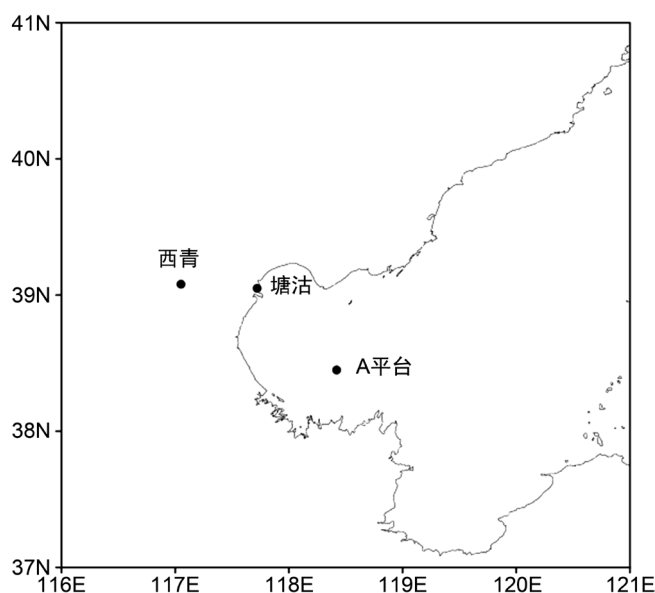


Figure 1. The observation stations of Bohai Bay and the land
图 1. 渤海湾及陆地观测站的地理位置

渤海 A 平台观测站、塘沽站、西青站均为国家基本气象观测站。其中, 渤海 A 平台距离天津海岸 74 海里, 位于 118°25'E, 38°27'N, 自 1988 年 1 月开始气象观测; 塘沽站紧邻渤海湾和天津港, 位于 117°43'E, 39°03'N, 自 1946 年 1 月开始气象观测; 西青站地处天津中南部地区, 位于 117°03'E, 39°05'N, 自 1958 年 1 月开始气象观测。

由于渤海 A 平台自 2005 年开始采用自动观测获取逐小时数据, 考虑到序列的一致性, 本文选用渤海 A 平台、塘沽和西青观测站 1988~2015 年逐日降水数据和 2005~2015 年夏季逐小时数据, 对渤海湾与陆地降水特征进行统计分析研究。

参考前人的降水统计方法[17][18], 年(季、月)降水日数定义为统计时段内日降水量 ≥ 0.1 mm 日数总和。日降水量在 0.1~1 mm 为微雨, 1~10 mm 为小雨, 10~25 mm 为中雨, 25~50 mm 为大雨, ≥ 50 mm 为暴雨。本文冬季为 12~2 月, 春季为 3~5 月, 夏季为 6~8 月, 秋季为 9~11 月。文中主要采用曼-肯德尔(Mann-Kendall)方法、相关分析等统计方法, 显著性检验采用 t 检验方法, 分析海面与陆地降水气候特征及日变化规律。

3. 结果与分析

3.1. 年降水事件的气候特征

3.1.1. 降水量

从 1988~2015 年逐年降水量变化来看(图 2), 绝大多数年份渤海 A 平台年降水量明显少于塘沽和西青, 仅在 1989、2013 年比塘沽略偏多, 在 1989、2006、2013 年比西青略偏多。渤海 A 平台年平均降水量为 323.2 mm, 最多年份为 505.6 mm (1990 年), 最少年份为 140.4 mm (2014 年), 相差 2.6 倍。塘沽年平均降水量为 533.5 mm, 最多年份为 833.9 mm (2012 年), 最少年份为 294.2 mm (2002 年), 相差 1.8 倍。西青年平均降水量为 508.8 mm, 最多年份为 753.5 mm (2012 年), 最少年份为 327.0 mm (1989 年), 相差 1.3 倍。由此可知, 近 30 年来渤海湾年平均降水量比陆地明显偏少, 相差近一倍。

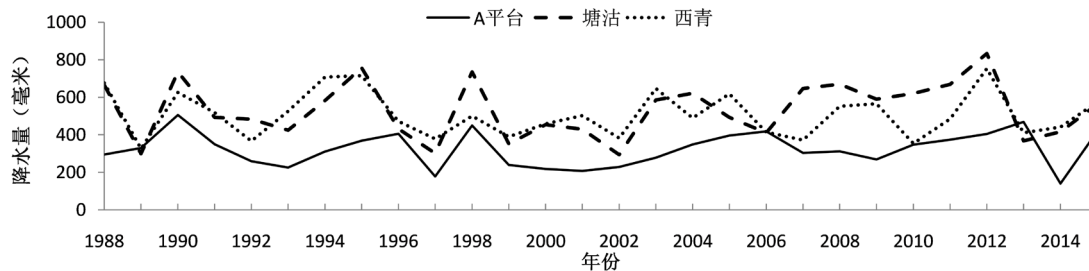


Figure 2. Annual variation of rainfall amount over Bohai platform A, Tanggu and Xiqing during 1988-2015

图 2. 1988~2015 年渤海 A 平台、塘沽及西青年降水量变化

已有研究指出, 华北大部分地区的年降水量呈不同程度的减少趋势[19] [20] [21]。从 1988~2015 年逐年降水量线性趋势来看(图略), 渤海 A 平台、塘沽年降水量均呈线性上升趋势, 其增加幅度分别为 8.7 mm/10a、21.8 mm/10a, 均未通过 95% 的信度检验; 而西青年降水量则呈线性下降趋势, 其减少幅度为 10.5 mm/10 a, 未通过 95% 的信度检验。

对年降水量采用 Mann-Kendall 法检验(图 3), 可知在 20 世纪 90 年代初期, 图 3(a)~(c)中 UF 值均出现小于 0 的值, 表明三者降水在该阶段呈减弱趋势。在 20 世纪末期至 21 世纪初期, 图 3(a)~(b)中 UF 值也出现小于 0 的值, 表明渤海 A 平台与塘沽年降水量在该阶段也呈减弱趋势, 随后 UF 值开始转为大于 0 的值, 表明年降水量开始呈上升趋势。在 2011 年渤海 A 平台降水量发生突变, 而塘沽降水量在 2006 年发生突变。值得注意的是, 图 3(c)中 UF 值自 20 世纪末至今均为小于 0 的值, 表明西青降水量在该阶段一直呈下降趋势。

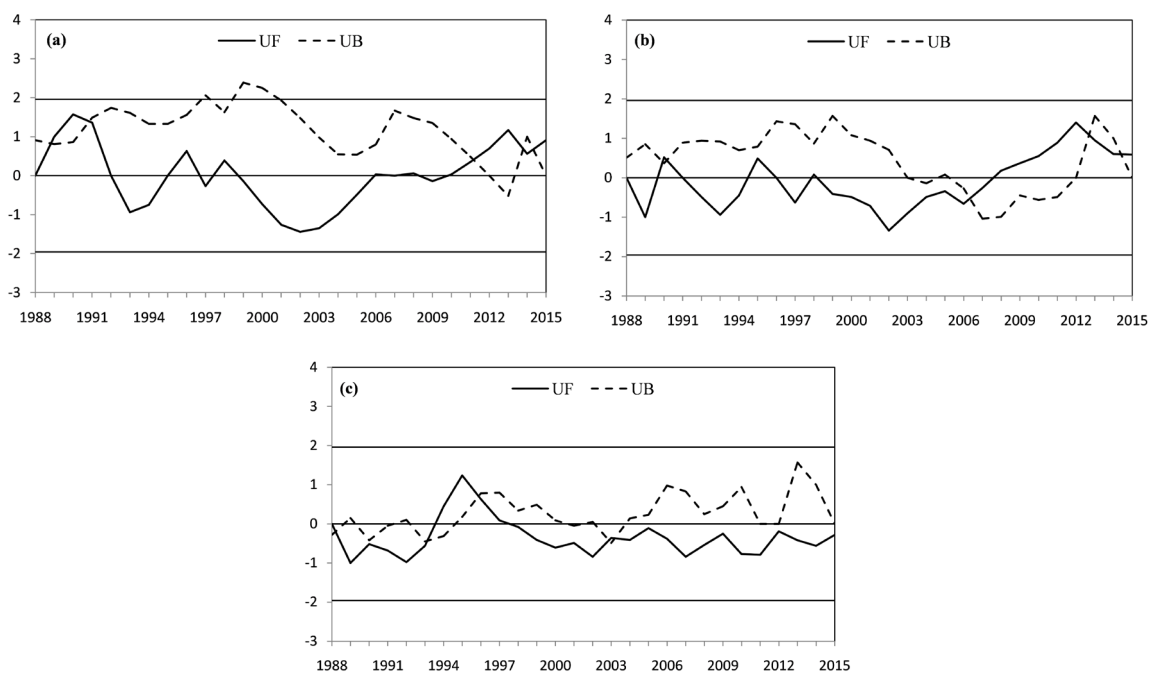


Figure 3. Mann-Kendall statistics curve of annual rainfall over Bohai platform A (a), Tanggu (b) and Xiqing (c) during 1988-2015

图 3. 1988~2015 年渤海 A 平台(a)、塘沽(b)及西青(c)年降水量 Mann-Kendall 统计量曲线

3.1.2. 降水日数

由 1988~2015 年逐年降水日数年变化(图 4)可知, 绝大多数年份渤海 A 平台年降水日数明显少于塘沽

和西青, 仅在 1993 年比塘沽略偏多, 在 1993、2003、2004、2006、2007、2012 年比西青略偏多。三者年降水日数最多年份均出现在 1990 年, 而最少日数出现年份则不同。渤海 A 平台年平均降水日数为 54.6 天, 塘沽年平均降水日数为 63.4 天, 西青年年平均降水日数为 61.1 天。由此推知, 近 30 年来渤海湾年平均降水日数比陆地明显偏少。

从 1988~2015 年逐年降水日数线性趋势来看(图略), 渤海 A 平台、塘沽年降水日数线性上升趋势不明显, 其增加幅度分别为 0.1 d/10a、0.2 d/10a, 均未通过 95% 的信度检验; 西青年降水日数则呈线性下降趋势, 其减少幅度为 2.1 d/10a, 未通过 95% 的信度检验。

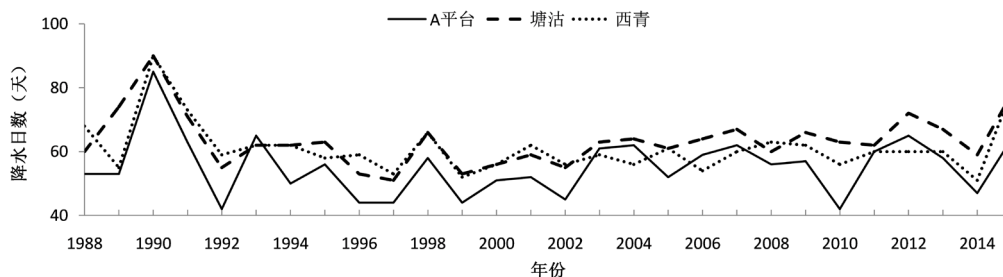


Figure 4. Annual variation of rainfall days over Bohai platform A, Tanggu and Xiqing during 1988-2015
图 4. 1988~2015 年渤海 A 平台、塘沽及西青年降水日数变化

从年降水日数 Mann-Kendall 统计量曲线可知, 图 5(a)和图 5(b)曲线走势基本一致, 在 20 世纪 90 年代初期至 21 世纪初 UF 值出现小于 0 的值, 表明渤海 A 平台、塘沽年降水日数在该阶段呈减弱趋势, 随后 UF 值转为大于 0 的值, 年降水日数呈上升趋势, 两者年降水日数在 20 世纪 90 年代初期、21 世纪 10 年代后期发生突变。而图 5(c)中 UF 值在 1992 年之后持续小于 0, 表明西青年降水日数在 20 世纪 90 年代初发生突变之后, 一直呈减弱趋势。

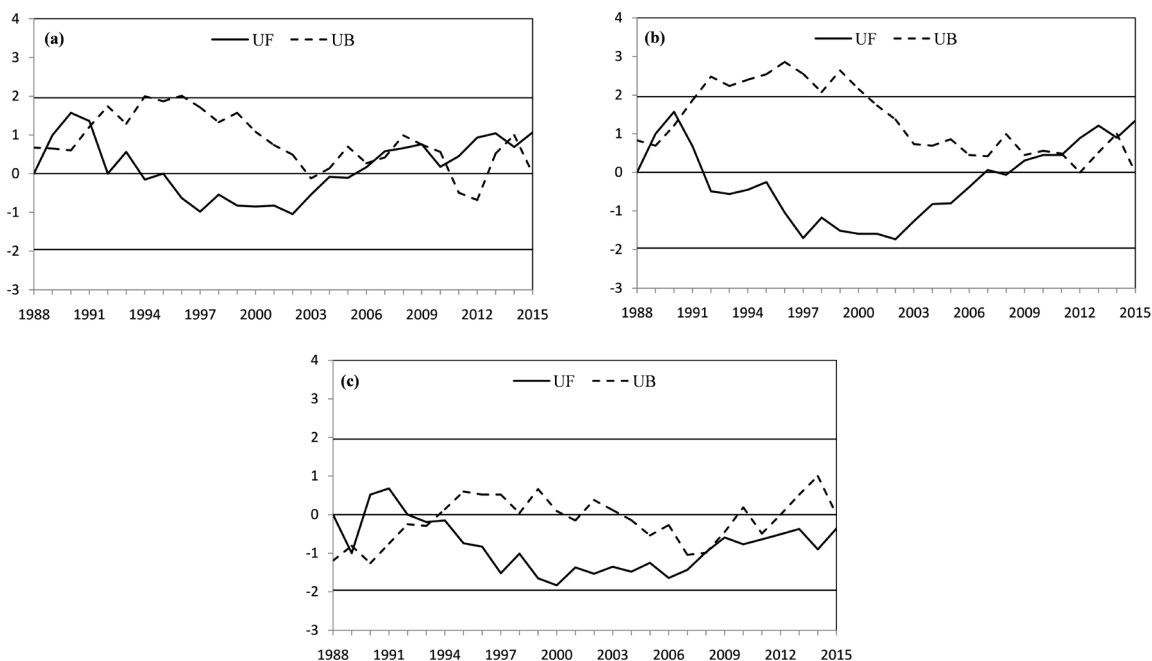


Figure 5. Mann-Kendall statistics curve of annual rainfall days over Bohai platform A (a), Tanggu (b) and Xiqing (c) during 1988-2015

图 5. 1988~2015 年渤海 A 平台(a)、塘沽(b)及西青(c)年降水日数 Mann-Kendall 统计量曲线

3.2. 各级降水事件的季节特征

3.2.1. 降水量

从各级降水量上看(表 1~3),三者中雨等级年降水量对全年降水量贡献最大,占全年降水量的 30%左右。渤海 A 平台小雨等级年降水量仅次于中雨,大雨和暴雨贡献率相当,而微雨贡献最小,仅占 2%。与之不同的是,塘沽和西青暴雨等级年降水量贡献率位居第二,随后是大雨和小雨,最后是微雨。

Table 1. Seasonal average rainfall amount of different categories over Bohai platform A (mm)

表 1. 渤海 A 平台四季各级平均降水量(毫米)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨量
冬季	1.1	3.7	0.8	0	0	5.6
春季	2.1	20.9	16.5	1.7	0	41.2
夏季	2.6	49.1	64.2	57.4	54.6	227.9
秋季	1.8	18.7	20.8	4.2	3	48.5
年	7.6	92.4	102.3	63.3	57.6	323.2

Table 2. Seasonal average rainfall amount of different categories over Tanggu (mm)

表 2. 塘沽四季各级平均降水量(毫米)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨量
冬季	1.1	7.9	3.7	0	0	12.7
春季	2	25.9	17.7	22.4	1.8	69.8
夏季	2.5	52.6	88.8	81.8	125.4	351.1
秋季	1.7	27.1	36.8	21.9	12.6	100.1
年	7.3	113.5	147	126.1	139.8	533.7

Table 3. Seasonal average rainfall amount of different categories over Xiqing (mm)

表 3. 西青四季各级平均降水量(毫米)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨量
冬季	0.9	7.2	1.4	0	0	9.5
春季	1.6	25.1	17.8	16.9	2	63.4
夏季	2.7	51.1	90.5	75.5	122.6	342.4
秋季	1.6	26.4	37.6	22	5.9	93.5
年	6.8	109.8	147.3	114.4	130.5	508.8

从四季降水量上看,渤海 A 平台四个季节的降水量均比塘沽和西青偏少。三者的夏季降水量对全年降水量贡献最大,占全年降水量的 70%左右;冬季贡献最小,不到全年降水量的 2%。渤海 A 平台冬季、春季降水以小雨等级贡献最大,分别占季降水量的 66%、51%;夏季、秋季以中雨等级贡献最大,分别占季降水量的 28%、43%。与之不同的是,塘沽和西青夏季降水以暴雨等级贡献最大,超过季降水量的三分之一,而其他三个季节贡献最大的降水等级与渤海 A 平台相同。

3.2.2. 降水日数

渤海 A 平台与塘沽和西青年平均降水日数相差 7 天左右。各级降水日数对比可知(表 4~6),渤海 A

平台除了微雨降水日数多于塘沽和西青之外,其他等级降水日数均少于后两者。三者小雨降水日数最多,其次是微雨,小雨和微雨日数约占总雨日的 80%。

Table 4. Seasonal average rainfall days of different categories over Bohai platform A (d)

表 4. 渤海 A 平台四季各级平均降水日数(天)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨日
冬季	3.5	1.5	0.1	0.0	0.0	5.0
春季	5.9	6.1	1.1	0.0	0.0	13.2
夏季	6.7	11.8	4.0	1.7	0.8	24.9
秋季	4.9	5.3	1.3	0.1	0.0	11.5
年	21.0	24.6	6.4	1.9	0.8	54.6

Table 5. Seasonal average rainfall days of different categories over Tanggu (d)

表 5. 塘沽四季各级平均降水日数(天)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨日
冬季	3.5	2.7	0.3	0.0	0.0	6.4
春季	5.1	7.1	1.2	0.7	0.0	14.1
夏季	6.8	12.3	5.5	2.4	1.6	28.6
秋季	4.6	6.4	2.4	0.6	0.2	14.2
年	19.9	28.5	9.4	3.7	1.9	63.4

Table 6. Seasonal average rainfall days of different categories over Xiqing (d)

表 6. 西青四季各级平均降水日数(天)

	微雨	小雨	中雨	大雨	暴雨	总雨日
冬季	2.9	2.4	0.1	0.0	0.0	5.4
春季	4.4	6.5	1.1	0.5	0.0	12.6
夏季	6.6	12.7	5.7	2.3	1.7	28.9
秋季	4.3	6.8	2.4	0.7	0.1	14.2
年	18.1	28.4	9.3	3.5	1.8	61.1

从四季降水日数上看,除了渤海 A 平台春季降水日数比西青偏多之外,其他季节渤海 A 平台的降水日数均比塘沽和西青偏少。渤海湾与陆地降水日数的季节分布特征一致,夏季最多,春季和秋季次之,冬季最少。且冬季出现微雨等级降水日数最多;春季、夏季和秋季降水日数则以小雨最多,其次是微雨。尽管夏季中雨及其以上等级降水日数较少,少于全年降水日数的 15%,但其降水量却接近全年总降水量的 60%。因此,夏季中雨及其以上量级的降水日数对渤海湾和陆地年降水量多少至关重要。

3.3. 降水的日变化特征

前面的统计结果指出,渤海湾和陆地夏季降水量约占全年降水量的 70%,因此,夏季是主要降水季,也是暴雨天气的活跃季。由于海陆热力差异和动力、热力强迫的共同作用,海面与陆地降水的日变化特征存在明显差异,本文重点对渤海湾与陆地夏季降水的日变化特征进行对比分析。

3.3.1. 逐小时降水量

图 6(a)给出了渤海湾与陆地 2005~2015 年夏季日降水量变化曲线。从图中可知, 渤海 A 平台夏季一日内不同时刻的降水量存在明显的波动, 呈三峰型, 峰值主要出现在夜间至早上时段, 最大值出现在清晨 08 时, 其次是凌晨 04 时和夜间 23 时, 最小值出现在下午 15 时, 08 时降水量是 15 时的 6 倍。塘沽与渤海 A 平台夏季降水日变化特征相似, 也表现为三峰型, 峰值出现时间相比渤海 A 平台偏早, 最大值出现在清晨 05 时, 其次是凌晨 02 时和夜间 23 时。而西青降水量高值区集中在下午至前半夜, 最大值出现在夜间 22 时, 其次是下午 17 时。

3.3.2. 逐小时降水频次

从降水频次日变化曲线(图 6(b))可知, 降水频次和降水量表现出较为一致的变化特征。渤海 A 平台降水频次高值区集中在夜间至早上时段, 最大值出现在凌晨 03 时, 最小值出现在下午 16 时。塘沽降水频次高值区也集中在夜间至早上时段, 最大值出现在凌晨 00 时, 最小值出现在傍晚 19 时。而西青降水频次高值区集中在下午至前半夜, 最大值出现在凌晨 00 时, 其次是下午 16 时。

3.3.3. 逐小时降水强度

由降水强度日变化曲线(图 6(c))可知, 渤海 A 平台逐小时降水强度呈明显的波动特征, 降水强度峰值、谷值出现时次与降水量一致, 最大值均出现在清晨 08 时, 其次是凌晨 04 时和夜间 23 时; 最小值出现在午后 15 时。需要指出的是, 渤海 A 平台夏季逐小时降水强度变化特征与沿岸及内陆存在明显区别。塘沽降水强度最大值出现在清晨 05 时, 其次是午后 14 时; 而西青降水强度高值区集中在中午、午后至前半夜, 最大值出现在中午 12 时, 其次是夜间 22 时。

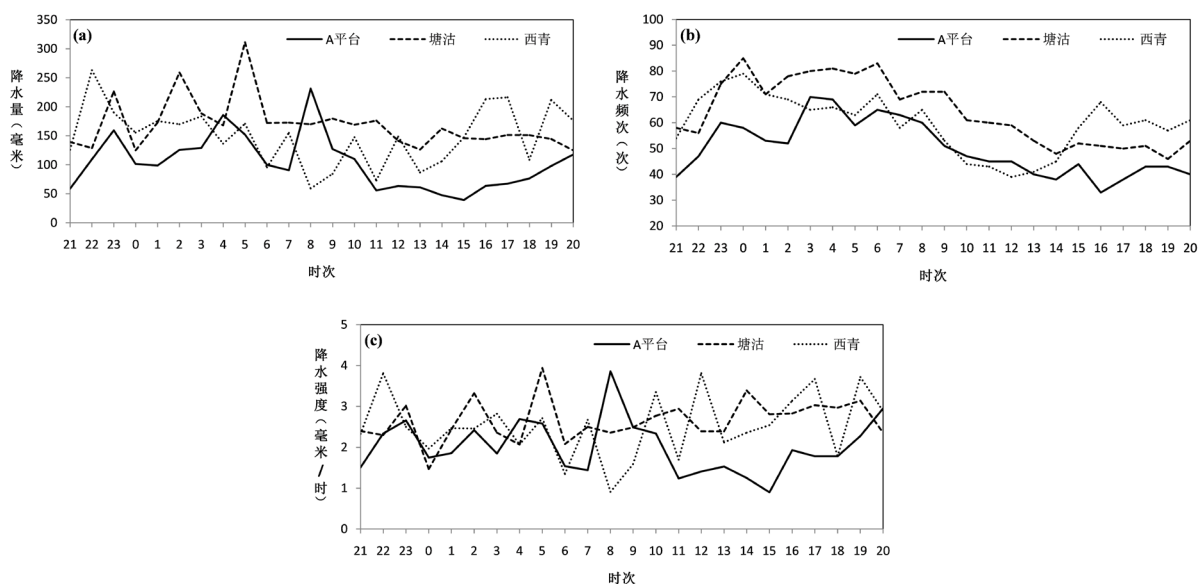


Figure 6. Diurnal variation of rainfall amount (a) and rainfall frequency (b) and rainfall intensity (c) over Bohai Bay and land during 2005-2015 summer

图 6. 2005~2015 年夏季日降水量(a)、降水频次(b)和降水强度(c)变化曲线

3.3.4. 渤海湾与陆地降水的超前滞后相关

图 7 给出了渤海湾与陆地逐小时降水量、降水频次和降水强度的超前滞后相关变化曲线。由图 7(a)可知, 塘沽降水量超前渤海 A 平台 3 小时的相关系数最大, 西青降水量超前渤海 A 平台 6 小时的相关系数最大, 均超过了 99% 信度 t 检验。图 7(b)中给出, 渤海 A 平台降水频次与塘沽降水频次同步相关系数

最大,西青降水频次超前渤海 A 平台 4 小时的相关系数最大,均超过了 99% 信度 t 检验。从逐小时降水强度相关曲线图(图 7(c))可知,塘沽降水强度超前渤海 A 平台 3 小时的相关系数最大,西青降水强度超前 A 平台 7 小时的相关系数最大,超过了 95% 信度 t 检验。由此可知,渤海湾日降水变化特征与陆地相比存在明显的滞后性。

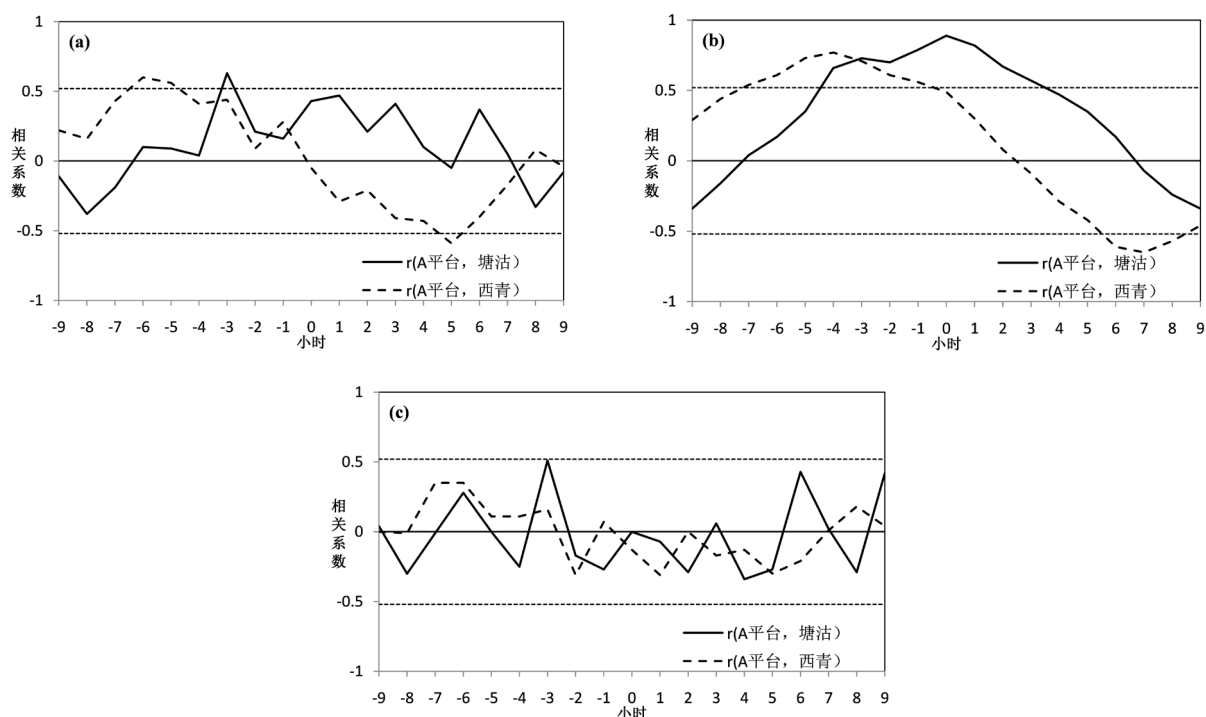


Figure 7. The leading or lagged correlation coefficient between time series of rainfall amount (a) and rainfall frequency (b) and rainfall intensity (c) over Bohai Bay and the land (dotted line denote the 99% confidence levels)

图 7. 渤海湾与陆地逐小时降水量(a)、降水频次(b)及降水强度(c)的超前滞后相关系数(点线为通过 99% 信度检验)

4. 结论

本文利用近三十年的渤海 A 平台、塘沽和西青气象观测站降水资料,研究了渤海海面与陆地年、季降水事件的气候特征,并分析了夏季降水一日内的变化规律。研究表明,渤海湾与陆地降水量、降水日数的年、季变化特征及夏季降水日变化存在差异。具体结论为:

- 1) 渤海湾年降水量与陆地相比明显偏少,两者相差近一倍;渤海湾年降水日数也比陆地降水日数偏少。
- 2) 近 30 年来渤海湾与沿岸年降水量、降水日数的变化趋势相同,呈线性上升趋势;内陆年降水量、降水日数则呈线性下降趋势。
- 3) 渤海湾四季降水量与陆地相比偏少,且季节分布特征相同。渤海湾与陆地降水量、降水日数夏季最多,春季和秋季次之,冬季最少。
- 4) 渤海湾与沿岸夏季日降水量、降水频次特征相似,高值区均集中在夜间至早上时段,而内陆高值区集中在下午至前半夜。渤海湾与陆地降水强度日变化存在明显不同特征。与陆地相比,渤海湾降水日变化特征存在明显的滞后性。

本文通过统计分析,得出了渤海湾海面降水与陆地降水的气候特征及日变化规律,为渤海湾海面降水预报提供了参考依据。为了揭示渤海湾与陆地降水相比明显偏少的原因,以及日变化发生特征差异的物理机制,还需进一步从海陆热力条件引起天气系统移动变化、海陆环流等多方面因素,进行细致深入的研究。

基金项目

本文由天津市科技重大专项与工程项目“安全天津与城市可持续发展科技重大专项”子课题“雾霾天气对海事交通影响预报预警技术研究”(18ZXQSF00130)、天津市气象局科研项目(201621ybxm14)共同资助。

参考文献

- [1] 吕翔, 徐海明. 中南半岛地区夏季降水日变化特征[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 632-642.
- [2] Gray, W.M. and Jacobson, R.W. (1977) Diurnal Variation of Deep Cumulus Convection. *Monthly Weather Review*, **105**, 1171-1188. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1977\)105<1171:DVODCC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1977)105<1171:DVODCC>2.0.CO;2)
- [3] Murakami, M. (1983) Analysis of the Deep Convective Activity over the Western Pacific and Southwest Asia. Part I: Diurnal Variation. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **61**, 60-76. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.61.1_60
- [4] 吴暖钦, 丁斌, 翁祖源, 等. 平潭岛与周边陆地站降水时间差异的统计分析[J]. 福建气象, 2010, 1(3): 18-20.
- [5] 李春, 刘德义, 黄鹤. 1958-2007年天津降水量和降水日数变化特征[J]. 气象与环境学报, 2010, 26(4): 8-11.
- [6] 杨青, 韩秀君, 高松影, 等. 1960-2011年辽宁省大暴雨时空分布特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(1): 34-42.
- [7] 王展, 申双和, 刘荣花. 近40年中国不同量级降水对年降水量变化的影响性分析[J]. 气象与环境科学, 2011, 31(4): 7-13.
- [8] 王大钧, 陈列, 丁裕国. 近40年来中国降水量、雨日变化趋势及与全球温度变化的关系[J]. 热带气象学报, 2006, 22(3): 283-289.
- [9] 蔡敏, 丁裕国, 江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 309-318.
- [10] 刘金平, 韩军彩, 向亮, 等. 1961-2012年京津冀地区不同等级降水日数时空演变特征[J]. 气象与环境学报, 2015, 31(1): 43-50.
- [11] 翟盘茂, 潘晓华. 中国北方近50年温度和降水极端事件变化研究[J]. 地理学报, 2003, 58(1): 1-10.
- [12] 郭军, 任国玉, 李明财. 近47年环渤海地区不同级别降水事件变化[J]. 地理研究, 2010, 29(12): 2271-2279.
- [13] Yu, R.C., Zhou, T.J., Xiong, A.Y., et al. (2007) Diurnal Variations of Summer Precipitation over Contiguous China. *Geophysical Research Letters*, **34**, 223-234. <https://doi.org/10.1029/2006GL028129>
- [14] Yu, R.C., Xu, Y.P., Zhou, T.J., et al. (2007) Relation between Rainfall Duration and Diurnal Variation in the Warm Season Precipitation over Central Eastern China. *Geophysical Research Letters*, **34**, 173-180. <https://doi.org/10.1029/2007GL030315>
- [15] 李明财, 段丽瑶, 杨艳娟, 等. 天津市夏季降水日变化特征[J]. 气象与环境学报, 2009, 25(6): 11-14.
- [16] 郁淑华. 面雨量算法的比较分析[J]. 高原山地气象研究, 2001, 21(3): 3-5.
- [17] 李建, 宇如聪, 王建捷. 北京市夏季降水的日变化特征[J]. 科学通报, 2008, 53(7): 829-832.
- [18] 王国荣, 王令. 北京地区夏季短时强降水时空分布特征[J]. 暴雨灾害, 2013, 32(3): 276-279.
- [19] 王颖, 施能, 顾骏强, 等. 中国雨日的气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(1): 162-170.
- [20] 闵山山, 钱永甫. 我国近40年各类降水事件的变化趋势[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2008, 47(3): 105-111.
- [21] 任国玉, 吴虹, 陈正洪. 我国降水变化趋势的空间特征[J]. 应用气象学报, 2000, 11(3): 322-330.