

石岛地区1991~2020年气候特征分析

马振玉^{1*}, 马慧娟², 仇彦辉¹, 林修栋¹, 程立渤¹, 彭雯¹

¹山东省威海市气象局石岛气象台, 山东 威海

²青海鸿丰伟业矿产投资有限公司, 青海 格尔木

收稿日期: 2025年10月13日; 录用日期: 2025年11月14日; 发布日期: 2025年11月21日

摘要

为明确石岛地区近30年来的气候特征及变化规律, 基于石岛气象台1991~2020年地面气象观测站资料, 采用气候倾向率方法对石岛地区各气象要素的变化特征进行了分析, 结果表明: (1) 石岛地区多年平均气温为12.4℃, 具有由冷变暖的特点, 平均气温气候倾向率以0.18℃·(10a)⁻¹上升, 增温幅度从大到小依次为: 年平均日最高气温 > 年平均气温 > 年平均日最低气温。春季、夏季气温为变暖趋势, 冬季气温为变冷趋势。对石岛地区增温贡献最大的是夏季; (2) 30年降水量平均值为740.9 mm, 降水量以21.11 mm·(10a)⁻¹的速率增加; 降水日数呈下降趋势, 以11天·(10a)⁻¹的速率减少。出现最多的降雨量级为小雨, 其次为中雨、大雨。春、夏季降水量呈增加趋势, 秋、冬季呈降低趋势。 (3) 石岛日最大风速平均值在5.4~8.1 m·s⁻¹, 30年平均值为7.0 m·s⁻¹, 每10年下降0.39 m·s⁻¹; 春季平均风速最大, 冬季次之; 一年中4月份平均风速最大; 北风、西北风、西南风风力较大, 最大风向为北风, 风速最小的是东风; 出现频率最多的风为SSW, 出现频率最小的是东风; 年均大风日数19 d, 每10年下降5.4 d; 大风集中发生在春季、冬季; 偏北大风占总大风次数的77%。 (4) 石岛地区年日照时数的多年平均值为2434.8 h, 呈显著的下降趋势, 趋势率达18.0 h/10年; 年平均日照百分率在47.6%~65.8%, 多年平均日照百分率55.7%; 5月日照时数最多, 7月最少。

关键词

气候特征, 温度, 降水量, 大风

Analysis of Climatic Characteristics of Shidao Area from 1991 to 2020

Zhenyu Ma^{1*}, Huijuan Ma², Yanhui Qiu¹, Xiudong Lin¹, Libo Cheng¹, Wen Peng¹

¹Shidao Meteorological Observatory, Weihai City Meteorological Bureau, Shandong Province, Weihai Shandong

²Qinghai Hongfeng Weiye Mineral Investment Co., Ltd., Golmud Qinghai

Received: October 13, 2025; accepted: November 14, 2025; published: November 21, 2025

*通讯作者。

文章引用: 马振玉, 马慧娟, 仇彦辉, 林修栋, 程立渤, 彭雯. 石岛地区 1991-2020 年气候特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(6): 1372-1385. DOI: 10.12677/ccrl.2025.146137

Abstract

To clarify the climate characteristics and change patterns of Shidao area over the past 30 years, based on the ground meteorological observation data of Shidao Meteorological Station from 1991 to 2020, the climate tendency rate method was adopted to analyze the variation characteristics of various meteorological elements in Shidao area. The results show that: (1) The multi-year average temperature of Shidao area is 12.4°C , showing a warming trend. The climate tendency rate of average temperature is $0.18^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$, with the warming amplitude from large to small being: annual average daily maximum temperature > annual average temperature > annual average daily minimum temperature. The temperature in spring and summer shows a warming trend, while that in winter shows a cooling trend. The contribution to warming in Shidao area is the greatest in summer. (2) The average annual precipitation over 30 years is 740.9 mm, with an increasing rate of $21.11\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The number of precipitation days shows a decreasing trend, with a rate of $11\text{ days}\cdot(10\text{a})^{-1}$. The most frequent precipitation intensity is light rain, followed by moderate rain and heavy rain. The precipitation in spring and summer shows an increasing trend, while that in autumn and winter shows a decreasing trend. (3) The average daily maximum wind speed in Shidao area is between 5.4 and $8.1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, with a 30-year average of $7.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, decreasing by $0.39\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ every 10 years. The average wind speed is the highest in spring and the second highest in winter. The average wind speed is the highest in April throughout the year. The wind force is relatively strong in the north, northwest and southwest directions, with the maximum wind direction being north and the minimum wind speed being east. The most frequent wind direction is SSW and the least frequent is east. The average number of strong wind days per year is 19, decreasing by 5.4 days every 10 years. Strong winds mainly occur in spring and winter. Northerly strong winds account for 77% of the total strong wind days. (4) The multi-year average annual sunshine duration in Shidao area is 2434.8 hours, showing a significant downward trend, with a tendency rate of 18.0 hours/10 years. The annual average sunshine percentage is between 47.6% and 65.8%, with a multi-year average of 55.7%. The duration of sunshine is the longest in May and the shortest in July.

Keywords

Climatic Characteristics, Temperature, Precipitation, Gale

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 研究区概况

石岛地区地处山东胶东半岛东南部,因“背山靠海,遍地皆石”而得名,区内气候为北温带季风型大陆性气候,四季变化明显,降水量充沛,温度适中,气候温和,因濒临黄海,在海洋的作用下具有春冷、夏凉、秋暖、冬温、昼夜温差小及无霜期长等特征[1]。

近年来,因全球变暖加剧及极端气候事件频发[2],石岛地区的气候也发生了显著的变化,给当地人民的生产和生活带来了不同程度的影响,因此,加强对石岛地区气候变化特征的分析,以期探寻气候变化对工农业影响显得至关重要。笔者依据 1991~2020 年石岛地区气象要素数据,对石岛近 30 年来的气候变化特征展开分析,探讨石岛地区近年来的气候特征及变化规律,为研究石岛地区农业、工业生产及对人民生活的影响打下基础。

2. 数据来源与研究方法

2.1. 数据来源

本文所用气象要素资料来源于石岛国家基本气象站逐日气象观测资料及年数据统计资料,选取 1991 年 1 月至 2021 年 2 月的逐日气象数据,包括平均气温、最高气温、最低气温、降水量、日照时数等气象要素;在数据质量控制方面,结合多渠道资料及要素间关系等方法对缺测进行补全或剔除,最终得到石岛国家气象观测站 1991~2020 年共 30 年整的逐日地面气象数据作为本文的研究数据。

2.2. 研究方法

2.2.1. 四季划分

气象领域常以 3~5 月为春季、6~8 月为夏季、9~11 月为秋季、12 月~翌年 2 月为冬季[3],按春夏秋冬四季以当年 3 月~翌年 2 月为 1 个年度,按年度分别统计四个季节的温度、降水量和日照。

2.2.2. 大风日

大风日:以 20 时(北京时,英文记为 BJT)为日界,日最大瞬时风速 $\geq 17.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,即风力达到 8 级以上时,记录为一个大风日[4]。

2.3.2. 气候倾向率

气温日值数据经过剔除异常值等预处理后,运用线性趋势法[5]分析石岛地区各气象要素的年际变化趋势、各季节变化趋势和气候倾向率。在计算变化趋势时,采用最小二乘法计算样本 $\hat{X}$ 时间 t 的线性回归系数(a),从而要素的变化可用一次线性方程表示:

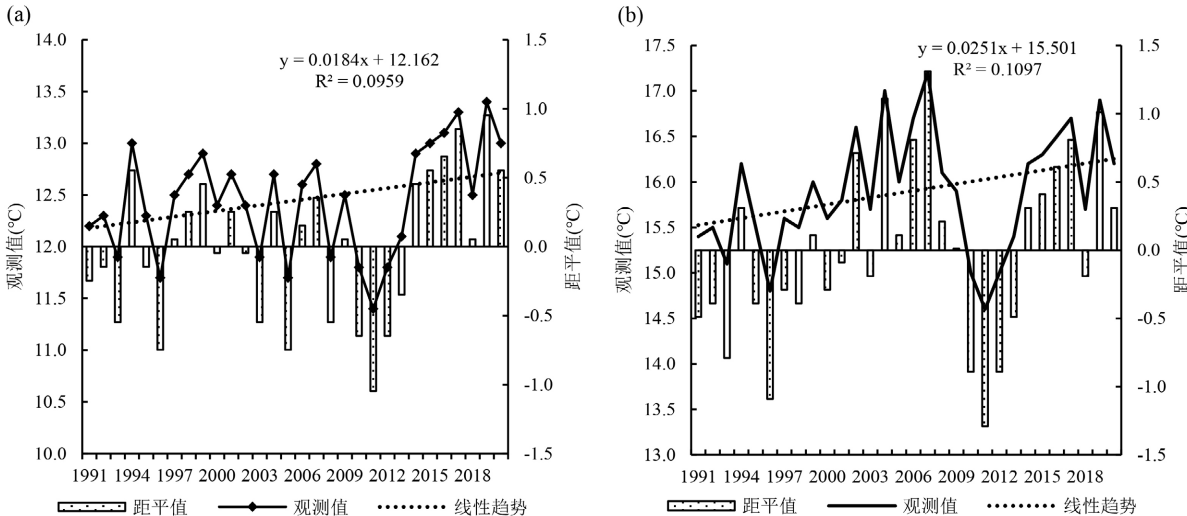
$$\hat{X} = at + b \quad t = 1, 2, \dots, n \text{ 年}$$

以线性回归系数 a 的 10 倍作为气候倾向率[6]。

3. 结果分析

3.1. 气温的时间变化特征

3.1.1. 气温的年际变化特征



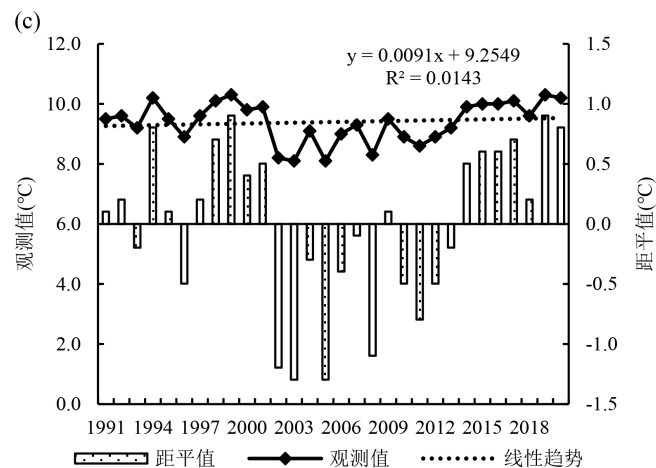


Figure 1. Time series of observations and anomalies of annual mean temperature (a), annual mean daily maximum temperature (b) and annual mean daily minimum temperature (c) in Shidao area from 1991 to 2020

图 1. 1991~2020 年石岛地区年平均气温(a)、年平均日最高气温(b)、年平均日最低气温(c)的观测值和距平值的时间序列

近 30 年来, 石岛地区多年平均气温为 12.4°C , 具有由冷变暖的特点, 以 2019 年平均气温 13.4°C 为最暖年, 2011 年平均气温 11.4°C 为最冷年, 平均气温气候倾向率以 $0.18^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升(图 1(a)); 最高气温和最低气温的多年平均值分别为 15.9°C 、 9.4°C , 由图 1(b)看出, 以 2007 年平均日最高气温 17.2°C 为最暖年, 以 2011 年平均日最高气温 14.6°C 为最冷年, 平均最高气温气候倾向率以 $0.25^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升; 由图 1(c)看出, 以 2019 年平均日最低气温 10.3°C 为最暖年, 以 2003 年平均日最低气温 8.1°C 为最冷年, 平均最低气温气候倾向率以 $0.09^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升。多年平均气温、日最高气温和日最低气温的最大正距平分别为 1.0°C 、 1.3°C 、 0.9°C , 多年平均气温、日最高气温和日最低气温的最大负距平分别为 -1.1°C 、 -1.3°C 、 -1.3°C 。由此可见, 石岛地区气温呈上升趋势, 增温幅度从大到小依次为: 年平均日最高气温 > 年平均气温 > 年平均日最低气温。

3.1.2. 各季节气温的年际变化特征

30 年来各季节平均、最高、最低气温三者变化趋势基本一致(图 2)。春季温度年际间有较明显波动, 平均温度总体呈微弱的上升趋势。平均温度最大值出现在 2017 年(12.0°C), 最小值出现在 2010 年(8.4°C); 最高温度最大值出现在 2007 年(16.3°C), 最小值出现在 2010 年(11.5°C); 最低温度最大值出现在 2017 年(8.5°C), 最小值出现在 2010 年(5.7°C)。对图进行简单的年代分析, 发现在 90 年代和 00 年代前期, 石岛地区春季温度变化较为平缓, 10 年代春季温度年际间的变化较为剧烈。

夏季温度年际间波动不大, 平均温度最大值出现在 2017 年(24.2°C), 最小值出现在 1993 年(21.0°C); 最高温度最大值出现在 2005 年(27.0°C), 最小值出现在 1998 年(23.7°C); 最低温度最大值出现在 2017 年(21.7°C), 最小值出现在 1993 年(18.4°C) (图 2(b))。

秋季平均气温、最高气温波动不大, 最低气温有一处明显突变。平均温度最大值出现在 2017 年(24.2°C), 最小值出现在 1993 年(21.0°C); 最高温度最大值出现在 2005 年(27.0°C), 最小值出现在 1998 年(23.7°C); 最低温度最大值出现在 2017 年(21.7°C), 最小值出现在 1993 年(18.4°C) (图 2(c))。

冬季平均、最高气温变化趋势基本一致, 最低气温年际间波动较前两者略大。平均温度最大值出现在 2019 年(3.0°C), 最小值出现在 2012 年(-0.9°C); 最高温度最大值出现在 2006 年(6.6°C), 最小值出现在 2012 年(2.2°C); 最低温度最大值出现在 1998 年(0.1°C), 最小值出现在 2002 年(-4.0°C) (图 2(d))。

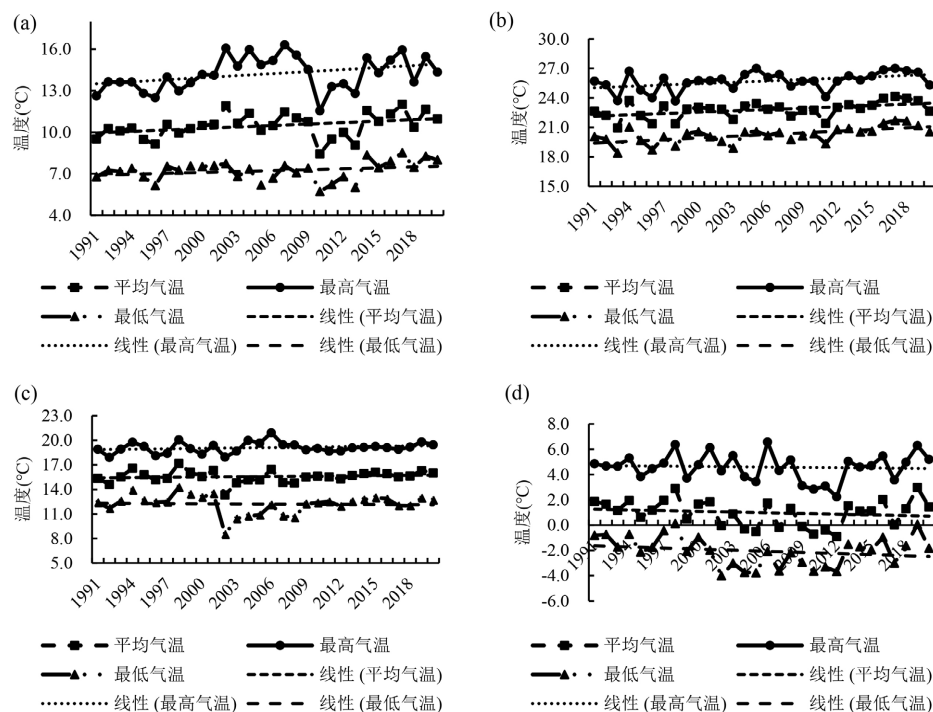


Figure 2. Time series of annual average temperature, annual average daily maximum temperature and annual average daily minimum temperature in Shidao area in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d)
图 2. 石岛地区春季(a)、夏季(b)、秋季(c)和冬季(d)年平均气温、年平均日最高气温和年平均日最低气温的时间序列

计算石岛 1991~2020 年春、夏、秋、冬四个季节的 30 年平均最高、最低、和平均气温如表 1，春季、夏季气温为变暖趋势，秋季平均气温和平均日最高气温呈上升趋势，而平均日最低气温呈下降趋势，冬季气温为变冷趋势。从平均气温来看，夏季增幅最大，为 $0.46^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，秋季最小，为 $0.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ；从增温幅度来看，夏季平均日最低气温增幅最大，为 $0.58^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，其次为春季平均日最高气温，为 $0.49^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，夏季平均气温、平均日最高气温也较大，均为 $0.46^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，秋季平均气温增温幅度 $0.11^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 最小，从降温幅度来看，秋季日最低气温的降温幅度最小，为 $0.07^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ ，冬季平均日最低气温的降温幅度最大，为 $0.30^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 。

综上所述，对石岛地区增温贡献最大的是夏季，除冬季和秋季的平均日最低气温外，其余均呈显著的增温趋势。

Table 1. Interannual variation trends of temperature in Shidao area in different seasons (unit: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)

表 1. 石岛地区各季节气温的年际变化趋势(单位: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$)

季节	平均气温	平均日最高气温	平均日最低气温
春季	0.36	0.49	0.22
夏季	0.46	0.46	0.58
秋季	0.11	0.17	-0.07
冬季	-0.12	-0.08	-0.30

3.1.3. 气温的年代际变化特征

计算石岛 1990s、2000s 和 2010s 的 10 年平均最高、最低、和平均气温如表 2，从气温的年代际变化

来看, 90 年代至 10 年代平均气温先降低后增加, 90 年代平均气温 12.5°C , 等于 30 年气温平均值, 00 年代温度略有降低, 10 年代平均气温高于平均值 0.2°C ; 平均日最高气温先升高后降低, 90 年代平均日最高气温 15.6°C , 低于 30 年平均值(15.9°C) 0.3°C , 00 年代较 90 年代高 0.6°C , 较 30 年均值高 0.3°C , 10 年代较 00 年代低 0.2°C , 较 90 年代高 0.4°C , 大约等于 30 年均值; 平均日最低气温也呈先降低后增加的特点, 90 年代较 30 年平均值高 0.3°C , 00 年代较 90 年代 00 年代低 0.8°C , 较 30 年均值低 0.5°C , 10 年代较 90 年代、00 年代分别高 0.1 、 0.9°C , 较平均值高 0.4°C 。

Table 2. The average value of three temperatures in each era of Shidao area (unit: $^{\circ}\text{C}$)

表 2. 石岛地区各年代三种气温的平均值(单位: $^{\circ}\text{C}$)

	平均气温	平均日最高气温	平均日最低气温
1990s	12.5	15.6	9.7
2000s	12.4	16.2	8.9
2010s	12.7	16.0	9.8

3.2. 降水的变化特征

3.2.1. 降水的年际变化特征

从图 3 可以看出, 降水量年际间波动明显, 30 年降水量平均值为 740.9 mm , 最小年降水量为 396.2 mm , 出现在 2019 年, 最大年降水量为 1032.5 mm , 出现在 2020 年, 最多与最少降水量相差 636.3 mm , 说明石岛地区降水量年际间差异较大。年降水量以 $21.11\text{ mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率增加; 年降水日数年际间波动大, 30 年降水日数平均值 109 d , 降水日数最多 149 d , 出现在 1994 年, 最少 67 d , 出现在 2019 年。与降水量的变化趋势不同, 降水日数呈下降趋势, 以 $11\text{ 天}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率减少, 综合分析降水量和降水日数的年际变化, 说明石岛地区近 30 年来气候极端性增强, 降水强度在逐渐增大。

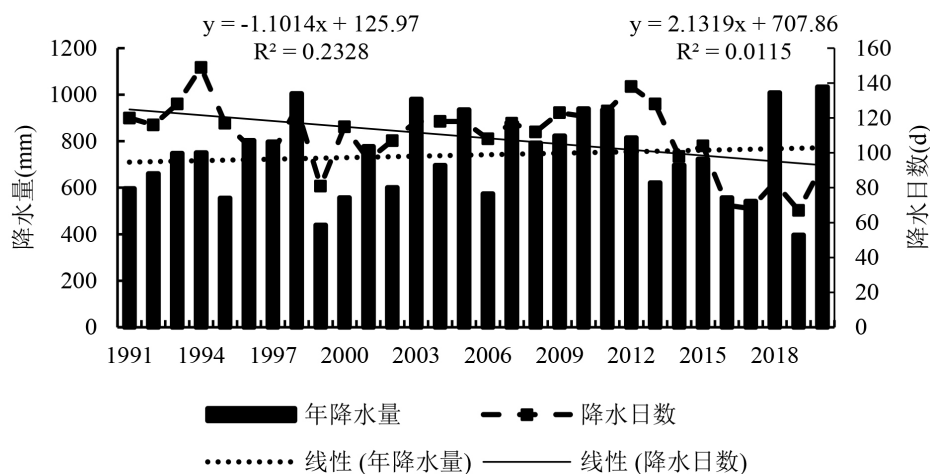


Figure 3. Time series of precipitation and precipitation days in Shidao area

图 3. 石岛地区降水量和降水日数的时间序列

3.2.2. 降水的年代际变化特征

计算 1990s、2000s、2010s 和 1991~2020 年不同量级降水的出现日数和总降水量如表 3, 由表 3 可知, 1991~2020 年出现最多的降雨量级为小雨[7][8], 小雨降水日数占所有雨日的 74.8% , 其次为中雨、大雨,

分别占 14.1%和 7.5%，降水量级越大，出现日数越少。中雨、大雨日数呈减小趋势，速率分别为 0.04 d 和 0.12 d，中雨日的总降水量呈增加趋势，小雨、暴雨日数呈增加趋势。从各降水量级的降水日数来看，90 年代中雨和大雨降水日数最多，分别为 11.1 d 和 7 d，10 年代最少，分别为 10.6 d 和 4.4 d，而暴雨日数则在 90 年代最少为 1.4 d，00 年代和 10 年代相同为 2.3 d，较 90 年代略有增加，小雨和大暴雨降水日数在年际间无明显变化规律；从各降水量级的降水量来看，小雨、中雨、暴雨的降水量 90 年代最少，分别为 118.0 mm、168.4 mm 和 93.8 mm，10 年代最多，分别为 57.2 mm、10.6 mm 和 2.3 mm，随年际增加，而大雨的降水量则相反，随年际减少，90 年代最多，为 241.1 mm，10 年代最少，为 155.7 mm。

Table 3. The interdecadal average of precipitation days and precipitation in each grade in Shidao area
表 3. 石岛地区各等级降水日数和降水量年代际平均值

		小雨	中雨	大雨	暴雨	大暴雨
1991~2000	降水日数	55.6	11.1	7	1.4	0.5
	降水量	118.0	168.4	241.1	93.8	69.6
2001~2010	降水日数	59.2	10.7	5.8	2.3	1.2
	降水量	142.2	169.2	196.3	146.2	145.7
2011~2020	降水日数	57.2	10.6	4.4	2.3	0.8
	降水量	130.4	171.7	155.7	164.9	109.3
1991~2020	降水日数	172.0	32.4	17.2	6.0	2.5
	降水量	392.0	509.2	593.1	404.8	324.6
1991~2020 降水日数所占总降水日数的百分比		74.8%	14.1%	7.5%	2.6%	1.1%
1991~2020 降水日数变化趋势		0.10	-0.04	-0.12	0.04	0.01

3.2.3. 降水的季节变化特征

由图 4 可知，1991~2020 年各个季节降水量年际间波动明显，其中冬季波动幅度最大。各个季节降水量呈不同的变化趋势，春、夏季降水量与年降水量一致，均呈增加趋势，但增加趋势的显著性均不如年降水量，其中夏季的增加趋势较春季更为明显，增加速率分别为 $0.64 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 、 $1.58 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ ；而秋、冬季则与年降水量趋势相反，呈降低趋势，其中秋季的降低趋势更为明显。

统计计算近 30 年各个季节的降水量如表 4，夏季降水量最多，平均每年 420.4 mm，最大 636.4 mm，出现在 2011 年，最小 154.5 mm，出现在 1999 年；秋季降水量次之，平均每年 142.8 mm，比夏季降水量少 277.6 mm，最大 377.6 mm，出现在 2007 年，最小 42.0 mm，出现在 2006 年；春季降水量与秋季相当，平均为 135.1 mm，较秋季少 7.7mm，最大为 235.7 mm，出现在 2020 年，最小为 40.7 mm，出现在 2017 年；冬季降水量最少，平均每年 42.6 mm，仅为夏季的约 1/10，最大为 122.9 mm，出现在 1992 年，最小仅为 2.0 mm，出现在 1998 年。可以看出石岛地区降水量随季节变化明显，夏季降水量最多，冬季降水量最少，结合气温的四季变化可以看出石岛地区雨热同期，较有利于农业生产。

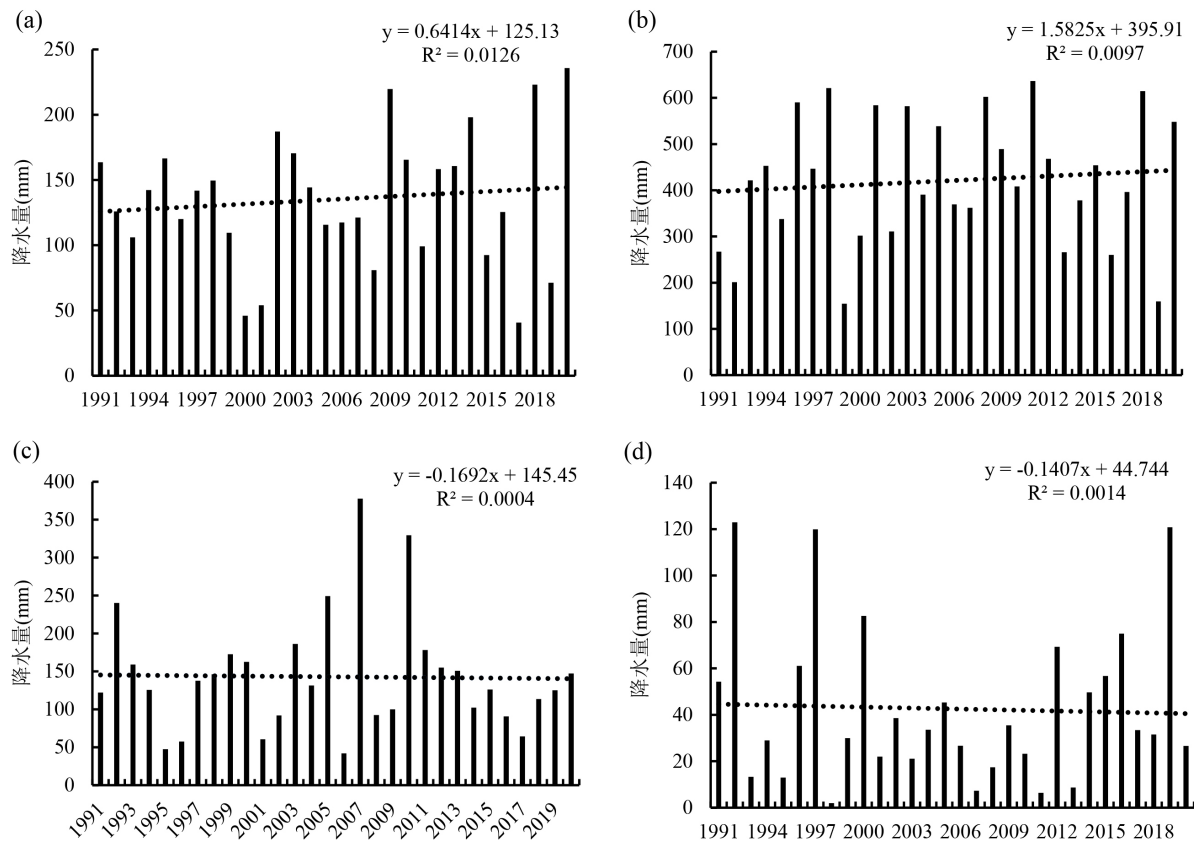


Figure 4. Time series of precipitation in spring (a), summer (b), autumn (c), and winter (d) in Shidao area

图 4. 石岛地区春季(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬季(d)降水量的时间序列

Table 4. Statistical values of precipitation in different seasons in Shidao area (unit: mm)

表 4. 石岛地区不同季节降水统计值(单位: mm)

	平均	最大(年份)	最小(年份)
春	135.1	235.7 (2020)	40.7 (2017)
夏	420.4	636.4 (2011)	154.5 (1999)
秋	142.8	377.6 (2007)	42.0 (2006)
冬	42.6	122.9 (1992)	2.0 (1998)

3.3. 风的变化特征

3.3.1. 日最大风速的时间变化特征

近 30 年来, 日最大风速平均值在 $5.4 \sim 8.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 30 年的平均值为 $7.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 平均日最大风速年际间波动明显(图 5), 自 1999 年呈现明显的波动下降趋势, 至 2008 年达到最低之后, 2009 年明显增大后较为稳定, 年际间变化不大, 最大值 $8.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 出现在 1992 年, 最小值 $5.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 出现在 2008 年。总体来说呈现下降趋势, 每 10 年下降 $0.39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。同时也可以看出最大风速的变化有较明显的年代际特征, 00 年代整体风速明显较其他年代低, 均值 $6.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 90 年代 $38.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 10 年代 $6.9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。风能的大小取决于空气运动的速度, 也就是风速的大小。根据国内外风能利用经验, 年平均风速达到 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上地区的风能就有开发价值[9], 因此可见石岛地区风能资源丰富, 有很大的风能利用价值。

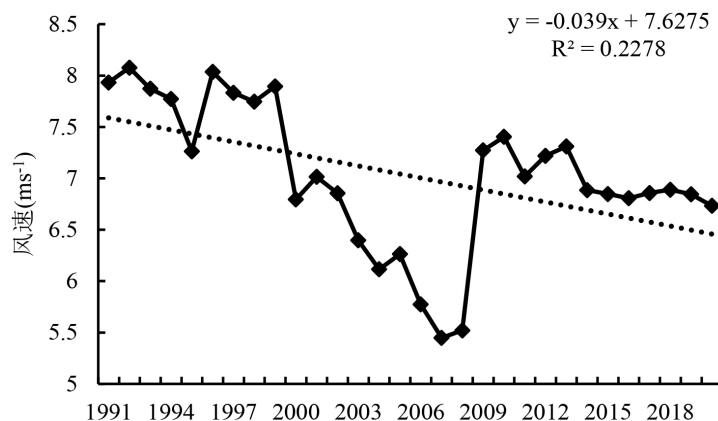


Figure 5. Time series of maximum daily wind speed in Shidao area
图 5. 石岛地区日最大风速的时间序列

四个季节的年际变化趋势同年平均日最大风速的变化趋势一致，都呈先下降、后缓慢上升最后趋于稳定；由图 6 可知，石岛春季平均风速最大，30 年平均值为 $8.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，与 30 年日最大风速平均值的最大值相同，冬季次之，为 $7.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，夏季与秋季分别为 $6.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $6.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ，二者相差不大，可见石岛的春季风较其他季节明显偏大。

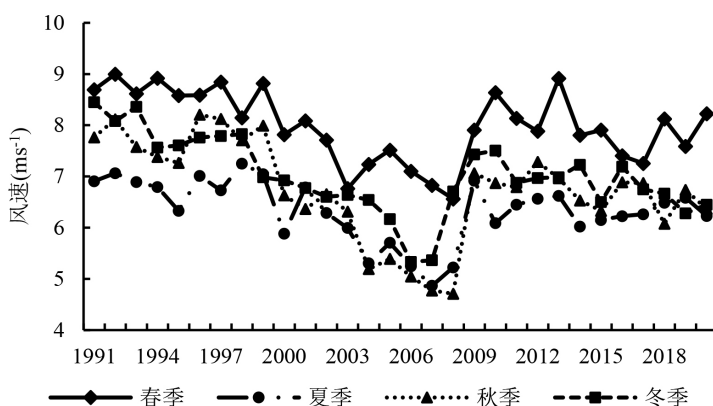


Figure 6. Time series of maximum wind speeds in different seasons in Shidao area
图 6. 石岛地区不同季节日最大风速的时间序列

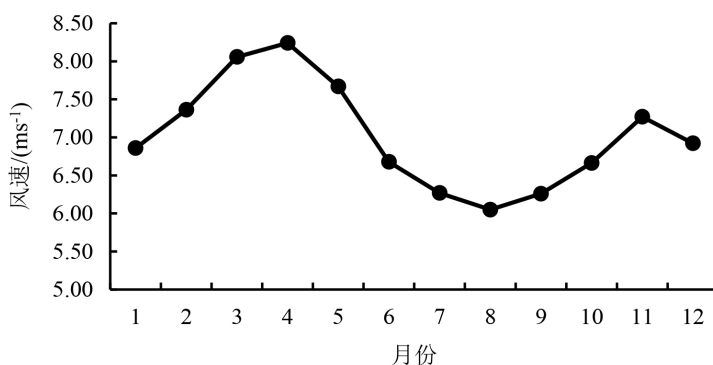


Figure 7. Intermonth change of maximum daily wind speed in Shidao area
图 7. 石岛地区日最大风速的月际变化

一年中各月份的日平均最大风速月际变化十分显著(图 7), 一年中 4 月份平均风速最大, 为 $8.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 4 月份后平均风速持续下降, 到 8 月风速最低, 为 $6.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 后又持续上升, 到 11 月时又达到一个风速峰值 $7.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。12 个月中, 风速值前三位的是: 4 月($8.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、3 月($8.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、11 月($7.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 最后三位是: 8 月($6.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、9 月($6.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)、7 月($6.27 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。

3.3.4. 日最大风速的风向的特征

从图 8(a)可以看出, 石岛出现的日最大风速中, 北风、西北风、西南风较大, 而东风、东南、南风则明显较低, 最大风向为 N, 即北风, 30 年平均为 $7.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 较平均日最大风速 $7.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 略大; 其次为 NNE, 即北北东方向的风, 达到 $7.54 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 与北风风速相近; 再次为 SW, 即西南风, 为 $7.39 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, WNW、NW、SSW 也均在平均日最大风速 $7.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上, 分别为 7.33 、 7.25 、 $7.22 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 风速最小的是东风, 为 $4.74 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 由此可以得出石岛地区北风、西南风风力较大, 其他风向风速较小。从各个风向的出现频率来看(图 8(b)), 与日最大风速的风向有相似之处, 30 年间出现频率最多的风为 SSW, 即南南西方向的风, 平均一年有 55 天; 其次为北风, 平均一年有 45 天; 再次为西南风, 平均一年 36 天; 出现频率最小的是东风, 平均每年 6 天, 而与风速分布不同的是, 除南南西和北风外, 其他方向风的出现频率远少于上述二者。

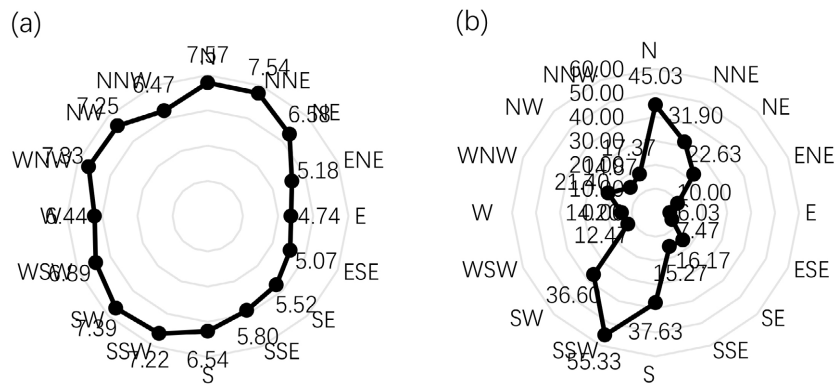


Figure 8. The average daily maximum wind speed and direction of Shidao area for many years ((a): wind speed, (b): frequency of occurrence)

图 8. 石岛地区多年平均日最大风速风向玫瑰图((a): 风速, (b): 出现频率)

3.3.5. 大风的时间变化特征

年大风日数年际间波动较为剧烈(图 9(a)), 即使相邻年份间也有较大差异, 且无明显的年代际变化, 最多日数为 33 d, 出现在 1993 年, 最少日数为 1 d, 出现在 2017 年, 30 年年均大风日数 19 d, 并且呈十分显著的下降趋势, 每 10 年下降 5.4 d, 下降幅度较大。

从大风日数的季节和月变化来看(图 9(b)), 春季大风发生日数最多, 25 年中共出现 178 日, 其中 3 月份最多, 为 72 日, 4 月份次之, 69 日; 冬季发生日数低于春季, 25 年中共出现 111 日, 其中以 11 月份最多, 为 46 日; 秋季大风 90 日, 夏季大风 50 日, 由此可以看出石岛地区大风集中发生在春季、冬季, 以 3、4、11 月份最多, 6、7 月份很少。

统计表明, 石岛地区偏北大风占总大风次数的 77% (图 9(c)), 12 个月份中, 除 6 月份偏北大风占比为 40%、8 月份占比 48%外, 其余月份占比均在 60%以上, 尤其在秋冬季节, 冷空气活动频繁, 石岛地区偏北大风占比极大, 夏季多雷暴大风, 南大风占比略高于偏北大风。

由图 9(d)可以看出, 石岛地区 1996~2020 年偏北大风发生次数年际间变化较大, 且波动幅度大, 最

多发生在 1999 年(25 次), 远高于该年的偏南大风发生次数(2 次), 最少为 2008 年(4 次), 与该年的偏南大风次数相同, 偏北大风年均发生 12.4 次, 无明显升降趋势。偏南大风年均发生 3.6 次, 不到偏北大风发生次数的 1/3, 年际变化较偏北大风也和缓, 25 年中, 偏北大风发生次数大于等于偏南大风发生次数。

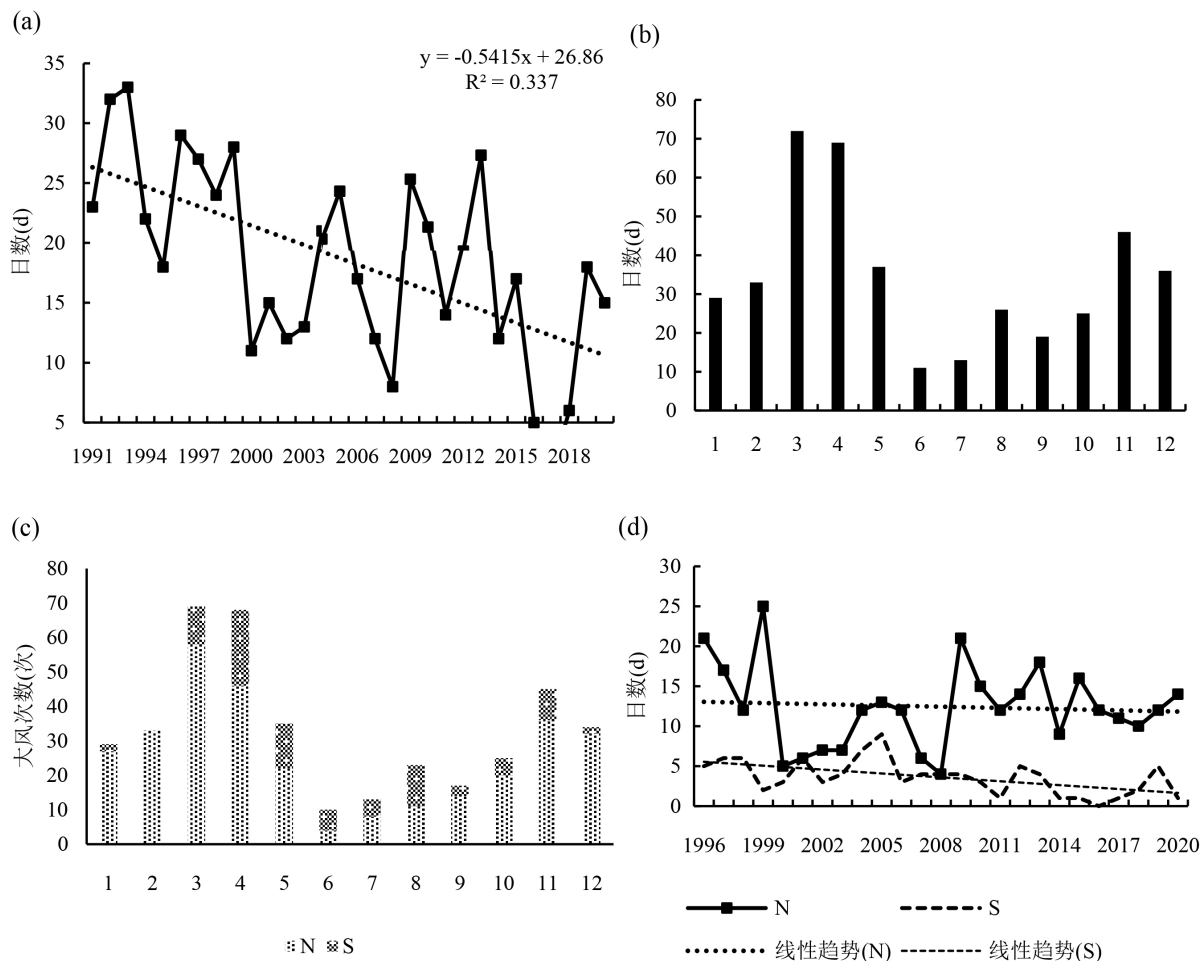


Figure 9. Interannual changes in the number of strong winds in Shidao area (a), interannual changes in the number of strong winds in each month (b), interannual changes in the number of strong winds in each month (c) and interannual changes in the number of strong winds in each month (d)

图 9. 石岛地区年大风日数的年际变化(a)、各月份大风日数的年际变化(b)、各月份南北大风日数(c)和南北大风日数的年际变化(d)

3.4. 日照的变化特征

1991~2020 年年日照时数的平均值为 2434.8 h, 日数时数最多是 1997 年, 为 2893.2 h, 最少是 2016 年, 为 2108.6 h (图 10), 30 年来呈显著的下降趋势, 趋势率达 18.0 h/10 年; 年平均日照百分率在 47.6%~65.8%, 多年平均日照百分率 55.7%, 变化趋势与年日照时数基本一致。年代际变化表现出在 2010 之前日照偏多, 2010 年之后日照偏少的特征。

日照时数年内分布不均, 5 月日照时数最多, 超过 240 h, 3~4 月、9~10 月日照时数也偏多, 均超过 220 h, 上述月份日照时数之和占全年的 45% 以上; 7 月最少, 为 160.7 h, 其次为 11 月(180.32 h)和 12 月(180.29 h)。

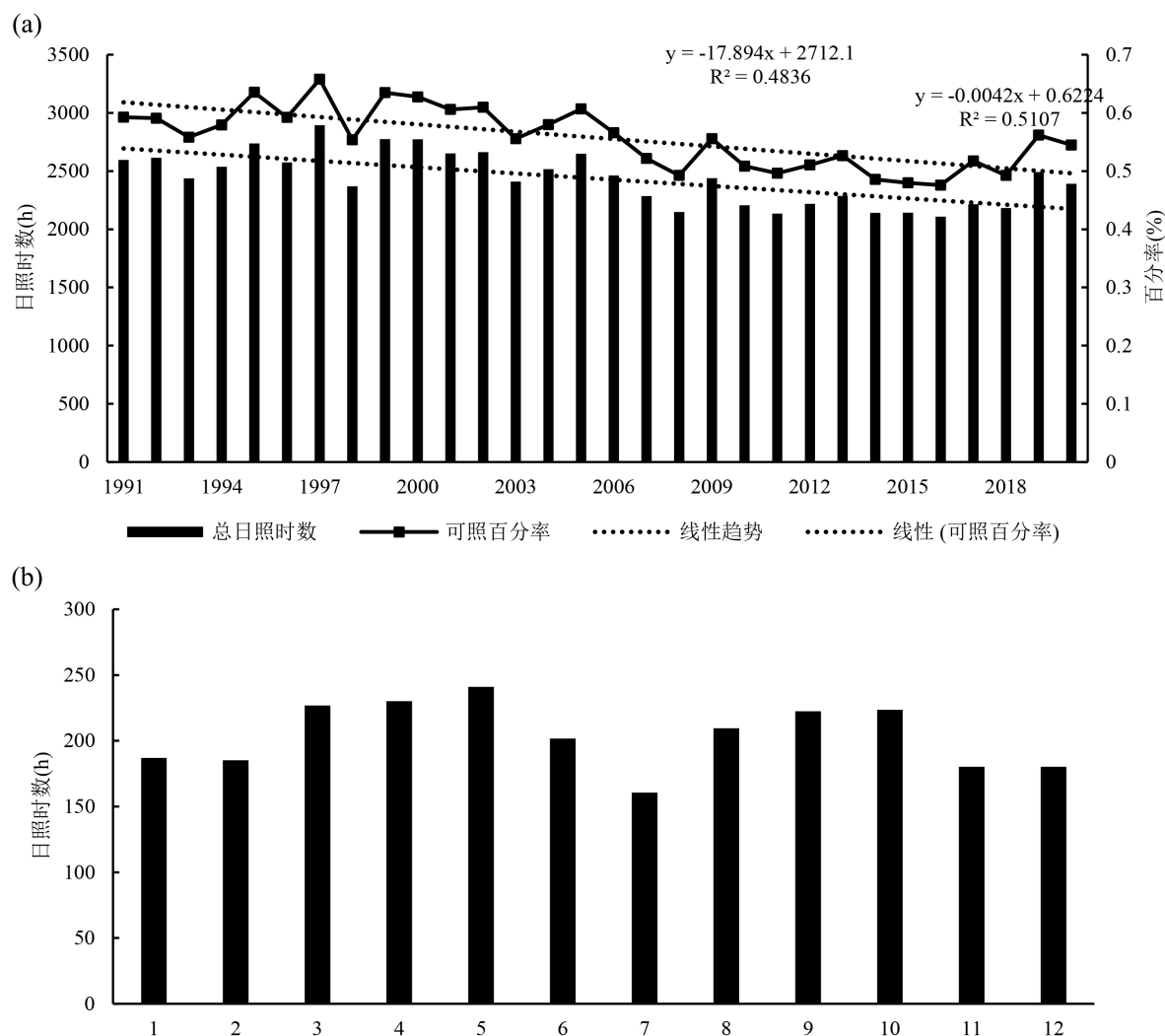


Figure 10. Interannual changes (a) and interlunar changes (b) in annual sunshine hours in Shidao area

图 10. 石岛地区年日照时数的年际变化(a)和月际变化(b)

4. 结论与讨论

4.1. 结论

(1) 石岛地区多年平均气温为 12.4°C ，具有由冷变暖的特点，平均气温气候倾向率以 $0.18^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升，平均最高气温气候倾向率以 $0.25^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升，平均最低气温气候倾向率以 $0.09^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 上升。气温呈上升趋势，增温幅度从大到小依次为：年平均日最高气温 > 年平均气温 > 年平均日最低气温。春季、夏季气温为变暖趋势，秋季平均气温和平均日最高气温呈上升趋势，而平均日最低气温呈下降趋势，冬季气温为变冷趋势。从平均气温来看，夏季增幅最大，秋季最小；从增温幅度来看，夏季平均日最低气温增幅最大，其次为春季平均日最高气温，夏季平均气温、平均日最高气温也较大，秋季平均气温增温幅度最小；从降温幅度来看，秋季日最低气温的降温幅度最小，冬季平均日最低气温的降温幅度最大。对石岛增温贡献最大的是夏季，除冬季和秋季的平均日最低气温外，其余均呈显著的增温趋势；90年代至10年代平均气温先降低后增加，平均日最高气温先升高后降低，平均日最低气温也呈先降低后增加的特点。

(2) 降水量年际间波动明显, 30 年降水量平均值为 740.9 mm, 最小年降水量为 396.2 mm, 降水量以 $21.11 \text{ mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率增加; 年降水日数年际间波动大, 30 年降水日数平均值 109 d, 降水日数最多 149 d, 最少 67 d; 降水日数呈下降趋势, 以 $11 \text{ 天} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率减少, 近 30 年来气候极端性增强, 降水强度在逐渐增大。出现最多的降雨量级为小雨, 小雨降水日数占有雨日的 74.8%, 其次为中雨、大雨, 分别占 14.1% 和 7.5%。中雨、大雨日数呈减小趋势, 中雨日的总降水量呈增加趋势, 小雨、暴雨日数呈增加趋势; 90 年代中雨和大雨降水日数最多, 10 年代最少, 暴雨日数则在 90 年代最少, 00 年代和 10 年代较 90 年代略有增加; 小雨、中雨、暴雨的降水量 90 年代最少, 10 年代最多。春、夏季降水量呈增加趋势, 但增加趋势的显著性不如年降水量, 秋、冬季呈降低趋势; 夏季降水量最多, 平均每年 420.4 mm, 秋季降水量次之, 春季降水量与秋季相当, 冬季降水量最少, 仅为夏季的约 1/10。

(3) 日最大风速平均值在 $5.4 \sim 8.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 30 年的平均值为 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 平均日最大风速年际间波动明显, 自 1999 年呈现明显的波动下降趋势, 至 2008 年达到最低之后, 2009 年明显增大后较为稳定, 年际间变化不大, 总体为下降趋势, 每 10 年下降 $0.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 00 年代整体风速明显较其他年代低; 四个季节的年际变化呈先下降、后缓慢上升最后趋于稳定; 春季平均风速最大, 平均值为 $8.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 冬季次之, 为 $7.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 夏季与秋季分别为 $6.3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $6.7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 一年中 4 月份平均风速最大, 12 个月中, 风速值前三位的是: 4 月($8.24 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、3 月($8.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、11 月($7.27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), 最后三位是: 8 月($6.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、9 月($6.26 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)、7 月($6.27 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$); 北风、西北风、西南风较大, 而东风、东南、南风则明显较低, 最大风向为 N, 即北风, 30 年平均为 $7.57 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 其次为 NNE, 即北北东方向的风, 达到 $7.54 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 再次为 SW, 即西南风, 为 $7.39 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, 风速最小的是东风, 为 $4.74 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; 30 年间出现频率最多的风为 SSW, 平均一年有 55 天; 其次为北风, 平均一年有 45 天; 出现频率最小的是东风, 平均每年 6 天; 大风日数最多为 33 d, 最少日数为 1 d, 年均大风日数 19 d, 并且呈十分显著的下降趋势, 每 10 年下降 5.4 d; 春季大风发生日数最多, 25 年中共出现 178 日, 其中 3 月份最多(72 日), 4 月份次之(69 日); 冬季发生日数低于春季, 25 年中共出现 111 日, 其中以 11 月份最多, 为 46 日; 秋季大风 90 日, 夏季大风 50 日, 大风集中发生在春季、冬季, 以 3、4、11 月份最多, 6、7 月份很少; 偏北大风占总大风次数的 77%; 偏北大风发生次数最多是 1999 年(25 次), 远高于该年的偏南大风发生次数(2 次), 最少为 2008 年(4 次), 与该年的偏南大风次数相同, 偏北大风年均发生 12.4 次, 无明显升降趋势。偏南大风年均发生 3.6 次, 不到偏北大风发生次数的 1/3, 25 年中, 偏北大风发生次数大于等于偏南大风发生次数。

(4) 年日照时数的多年平均值为 2434.8 h, 日数时数最多是 1997 年, 为 2893.2 h, 最少是 2016 年, 为 2108.6 h, 30 年来呈显著的下降趋势, 趋势率达 $18.0 \text{ h}/10 \text{ 年}$; 年平均日照百分率在 47.6%~65.8%, 多年平均日照百分率 55.7%, 变化趋势与年日照时数基本一致。年代际变化表现出在 2010 之前日照偏多, 2010 年之后日照偏少的特征; 日照时数年内分布不均, 5 月日照时数最多, 超过 240 h, 3~4 月、9~10 月日照时数也偏多, 均超过 220 h, 上述月份日照时数之和占全年的 45% 以上; 7 月最少, 为 160.7 h, 其次为 11 月(180.32 h) 和 12 月(180.29 h)。

4.2. 讨论

(1) 本文中对各气象要素的分析均为简单的算术平均, 未对 30 年的气象要素的突变进行分析, 也不涉及对极端天气的影响, 这将是下一步的研究方向。

(2) 因石岛国家基本气象站下辖的 4 个区域自动气象站是近年来才开始逐步建立起来的, 观测资料还在逐步完善, 2015 年 8 月前观测资料有大量缺失, 且误差较大, 因此本文未对石岛区域内的其他气象站资料统一进行分析, 未进行空间分布特征分析, 未来这方面的研究还有待更进一步。

参考文献

- [1] 仇彦辉, 马振玉. 1991-2022 年威海市石岛气候变化对小麦的影响分析[J]. 南方农业, 2023, 17(8): 209-212.
- [2] 丁一汇, 柳艳菊, 徐影, 等. 气候变暖对天气预报的影响及应对策略[J/OL]. 气候变化研究进展: 1-9. <https://link.cnki.net/urlid/11.5368.P.20241025.1407.002>, 2024-10-29.
- [3] 王文星, 陈洁雯, 钟立华, 等. 仁化县气候季节变化特征分析[J]. 广东气象, 2016, 38(5): 37-41.
- [4] 李昱薇, 杨成芳, 傅刚, 等. 2016-2021 年山东省大风时空分布特征分析[J]. 中国海洋大学学报(自然科学版), 2024, 54(8): 23-32.
- [5] 施倩雯, 柯莉萍, 杨洋, 等. 毕节市近 60a 气温时空分布特征研究[J]中低纬山地气象, 2021, 45(5): 70-74.
- [6] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 气候变化背景下我国东北三省农业气候资源变化特征[J]. 应用生态学报, 2009, 20(9): 2199-2206.
- [7] 杨若子, 邢佩, 杜吴鹏, 等. 1961-2017 年华北地区降水气候特征分析[J]. 地理科学, 2020, 40(9): 1573-1583.
- [8] 王芬, 曹杰, 李腹广, 等. 贵州不同等级降水日数气候特征及其与降水量的关系[J]. 高原气象, 2015, 34(1): 145-154.
- [9] 辛秋玲, 李忠亮, 郭强. 西宁市 1986-2005 年气候特征分析[J]. 河南农业, 2017(14): 44-46.