



秦俊灵,吕武洁,王翔宇,等.近50年沧州市农业气候资源时空变化特征[J].黑龙江农业科学,2023(9):45-50.

近50年沧州市农业气候资源时空变化特征

秦俊灵¹,吕武洁¹,王翔宇²,李琛¹,秦玉萍³

(1.沧州市气象局,河北沧州061000;2.任丘市气象局,河北任丘062550;3.怀来县气象局,河北怀来075000)

摘要:在全球气候变化大背景下,为提高沧州市农业生产的气候应对能力。利用1973—2022年沧州市14站气象观测资料,采用气候倾向率、MK趋势和突变检验、Morlet小波分析、Hurst指数方法,对沧州市平均气温、日照时数、降水量的变化特征和趋势预测进行了分析。结果表明,近50a来,沧州市平均气温全区呈显著增温趋势,日照时数全区呈减少趋势,降水量中西部县市呈减少趋势,其他县市呈增多趋势。在空间上,平均气温差异不大,日照时数呈中部多周边少,降水量明显呈东多西少特征;前两者气候倾向率空间特征不明显,降水量呈由西向东增大的特征。沧州市平均气温、日照时数、中西部县市外的其他县市降水量分别在1997年、1988年和2010年代发生了变暖、变少、增多的突变现象。平均气温、日照时数、降水量分别在14、27和23a时间尺度上明显存在一个9a、16~17a、15~16a的第一主周期。推测未来沧州市平均气温将会在大幅波动中持续增暖,日照时数将会在大幅波动中持续减少,降水量中西部县市将会在大幅波动中持续减少,其他县市将会在大幅波动中持续增多。

关键词:农业气候资源;时空特征;突变;周期性;趋势预测

基于全球气候变暖的大环境下,国内外学者对气候变化也进行了多方面的研究。IPCC第5次气候变化评估报告中指出,近100a来全球升温明显,全国气温也显著上升^[1]。严中伟等^[2]通过研发一系列均一化的长期气温观测序列集,估算出近百年来我国气候变暖趋势远高于全球平均水平,且整体气温呈每百年上升1.3~1.7℃的趋势,平均气温最大增温主要在东北、华北、西北和青藏高原北部。全球变暖势必导致日照时数和降水量的变化,全国年日照时数呈明显减少趋势,年降水量呈不明显减少趋势,但区域差异性明显,华北和东南地区降水量减少,西南个别地区降水量有所增加^[3-6]。也有少数学者对气候因素的突变性和周期性进行了研究^[7-9],谭方颖等^[10]利用M-K突变检验法确定了华北平原气候要素的突变年份,并发现近45a来华北平原气候经历了一个“冷湿-暖干”的变化过程。徐丽娇等^[11]发现青藏高原的气温和降水不仅发生了突变,且分别存在准8a和准4a、10a的周期震荡。

沧州市地处河北平原东部,是河北省粮、棉、

油集中产区之一,也是著名的“鸭梨之乡”和“金丝小枣”之乡,气候要素的变化对农业生产和林果种植布局都具有重要影响^[12-14]。目前,河北地区对气候变化的研究多在降水、温度的时空变化、突变性和农业影响方面^[15-19],对日照资源变化特征,以及气候变化的周期性和未来趋势预测方面尚为少见。因此,本研究利用沧州市14个气象站1973—2022年逐年平均气温、降水量、日照时数资料,对沧州市平均气温、日照时数、降水量的时空特征、突变性、周期性和趋势预测进行分析,旨在为沧州市实现精准气候预测、合理开发利用当地气候资源、农业和林果生产合理布局及新品种选育等提供参考。

1 材料与方 法

1.1 数据资料

气象观测数据资料来源于河北省沧州市气象局,选取1973—2022年沧州市14个气象站逐年地面气候要素数据中的平均气温、日照时数、降水量数据。

1.2 方 法

采用气候倾向率法^[20]分析气候因素的变化趋势,气候倾向率的绝对值大小代表趋势强度。采用MK趋势检验和突变检验方法判断气候因素变化趋势的显著水平和突变点。利用Morlet小波分析^[21]来探讨气候因素的周期变化及波动

收稿日期:2023-06-10

基金项目:沧州市科技局科研项目(204202002);沧州市气象局科研开发项目(22CZ13)。

第一作者:秦俊灵(1989—),女,学士,工程师,从事农业气象研究。E-mail:1005647511@qq.com。

特征。采用 Hurst 指数^[22] 预测未来气候因素的走向。有 3 种表现形式:当 $H=0.5$ 时,表示序列为随机游走,即时间序列的前后变化无关;当 $H>0.5$ 时,表示序列是一个持续序列,即时间序列前后变化一致且正相关;当 $H<0.5$ 时,表示序列向相反态势转变,具有负相关性。

2 结果与分析

2.1 空间分布特征

由图 1 可知,近 50 a 来,沧州市平均气温、日照时数、降水量全区年平均分别为 $13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、2 566 h、546 mm。从空间分布来看,平均气温空间差异不明显,高值区位于沧县、泊头、东光、吴桥、献县和任丘,为 $13.2\sim 13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,低值区位于孟村、河间和肃宁,为 $12.6\sim 12.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大差值仅有 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (图 1a)。日照时数在空间上大体由中部向周围减少,高值区为 $2\ 600\sim 2\ 690\text{ h}$,位于中部的东光、南皮、献县、泊头和沧县,低值区为 $2\ 460\sim 2\ 465\text{ h}$,位于南部吴桥和东部海兴,最大差值达 230 h (图 1b)。降水量空间差异显著,整体上由西向东增多,高值区为 $569\sim 579\text{ mm}$,位于东部的海兴、黄骅,低值区为 $512\sim 519\text{ mm}$,位于西部的献县、肃宁、任丘、河间,最大差值达 67 mm ,明显呈东多西少特征(图 1c)。

2.2 时间变化特征

从图 2 气候倾向率和 MK 趋势检验的空间分布来看,近 50 a 来,沧州市平均气温全区呈显著增温趋势,平均气候倾向率为 $0.321\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,大值区为 $0.417\sim 0.444\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,主要位于任丘、东光、黄骅,低值区为 $0.123\sim 0.252\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,主要位于河间、肃宁、沧县和吴桥,气候倾向率空间分布特征不明显(图 2a)。

沧州市日照时数全区呈减少趋势,平均气候倾向率为 $-56.283\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,趋势强度大值区为 $-100\sim -89\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,出现在泊头、孟村、青县,趋势强度低值区为 $-26\sim -3\text{ h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,出现在黄骅、盐山、沧县和任丘,气候倾向率空间分布特征也不明显。

从 MK 趋势检验来看,全区 14 个气象站中仅有任丘、沧县、黄骅和盐山 4 个气象站未通过显著性检验($P>0.05$),说明沧州市除任丘、沧县、黄骅和盐山外,其他县市(占比 71%)的减少趋势均是显著的(图 2b)。

沧州市降水量的变化趋势空间差异明显,中西部

县市的沧县和任丘、肃宁、河间、献县呈减少趋势,平均气候倾向率为 $-7.079\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,其他县市呈增多趋势,平均气候倾向率为 $12.474\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,气候倾向率在空间上整体呈由西向东增大特征,并且 14 个气象站中仅盐山 1 站通过显著性检验,为显著增多,气候倾向率达 $24.2\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ (图 2c)。

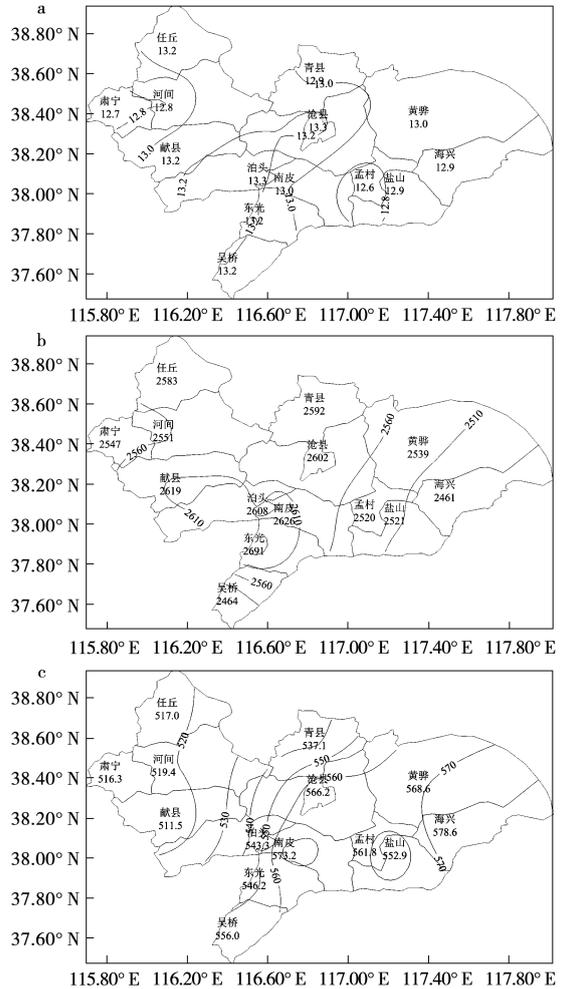


图 1 1973—2022 年沧州市平均气温(a)、日照时数(b)和降水量(c)的空间分布

注:气温单位为 $^{\circ}\text{C}$;日照时数单位为 h;降水量单位为 mm。

2.3 突变特征

从图 3MK 突变检验来看,沧州市平均气温(图 3a)和日照时数(图 3b)的 UF 曲线均有明显阶段性特征,前期围绕 0 值缓慢波动增长和下降,后期呈快速增长和下降,分别在 1997 年和 1988 年前后与 UB 曲线相交于一点,且交点处于临界线($\pm U_{0.05}$)之间。说明沧州地区平均气温的增暖趋势和日照时数的减少趋势均是突变现象,突变分别发生在 1997 年和 1988 年前后,突变后与突变

前阶段年平均气温相差 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$,日照时数相差 202 h,增(减)幅明显。沧州市中西部县市降水量(图 3c)UF 曲线仅 1977 年、1978 年、1995 年和 1996 年大于 0 值,其他时段均小于 0 值,与 UB 曲线没有明显交点,说明近 50 a 来,沧州市中西部县市降水量基本上呈减少趋势,未发生突变现象。沧州市其他县市的降水量(图 3d)UF 曲线 2011 年以前为负值,2011 年以后转为正值,在 2012—2020 年间与 UB 曲线出现多个相交点,且交点处于临界线($\pm U_{0.05}$)之间,这说明沧州市其他县市的降水量在 2011 年以前呈减少趋势,2011 年以后呈增多趋势,且这种增多趋势是一种突变现象,突变发生在 2010 年代,且突变后与突变前阶段年降水量相差 67 mm。

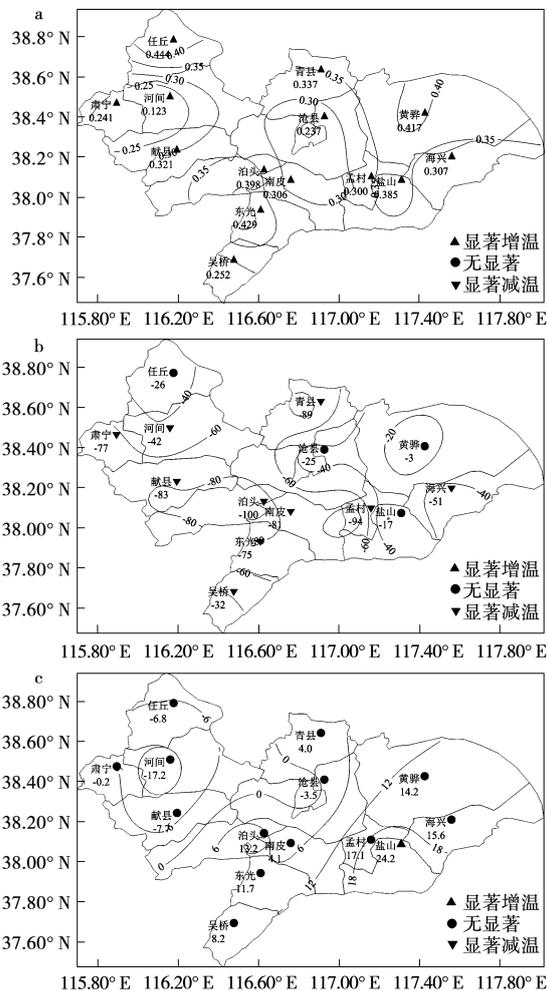


图 2 1973—2022 年沧州市平均气温(a)、日照时数(b)、降水量(c)的气候倾向率和 MK 趋势检验空间分布
注:气温倾向率单位为 $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$;日照时数倾向率单位为 $\text{h}\cdot(10\text{ a})^{-1}$;降水量倾向率单位为 $\text{mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ 。

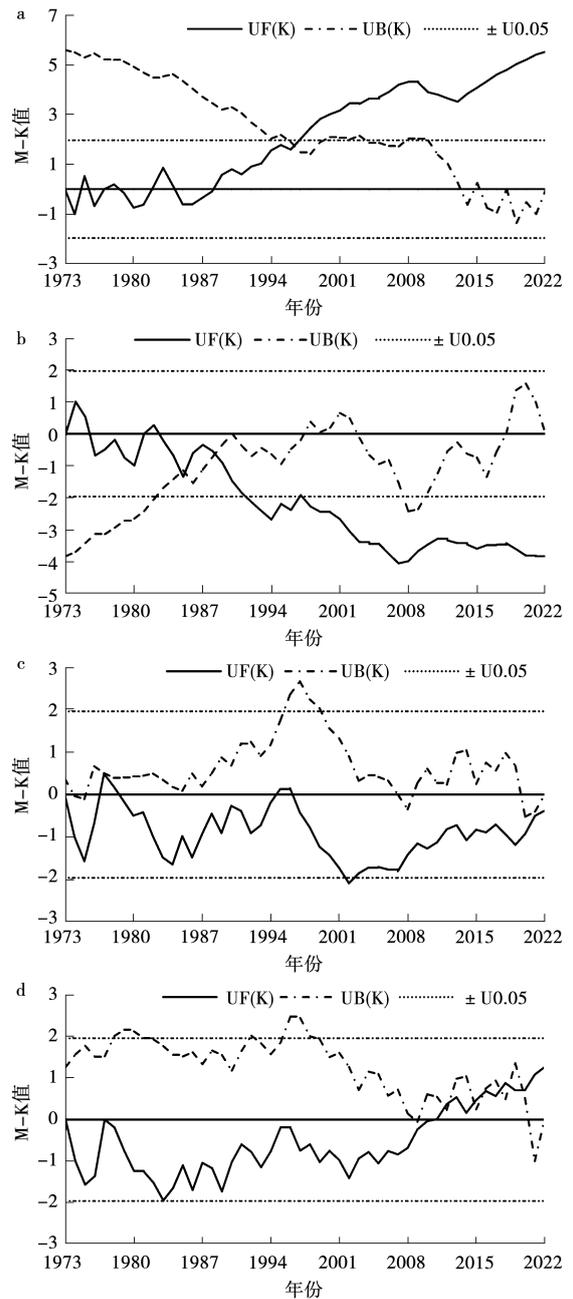


图 3 1973—2022 年沧州市平均气温(a)、日照时数(b)、中西部县市降水量(c)和其他县市降水量(d)的 MK 突变检验
注:中西部县市包括沧县、任丘、肃宁、河间和献县;其他县市包括除沧县、任丘、肃宁、河间和献县外的县市。下同。

2.4 周期特征

根据 1973—2022 年沧州市平均气温、日照时数、降水量的 Morlet 小波分析实部。从图 4a 可以看出,沧州市平均气温在 8~9 a、14 a 和 27 a 时间尺度上分别存在明显周期,第一主周期出现在 14 a 时间尺度上。14 a 时间尺度上整个时段明显存在一个 9 a 的周期,且周期波动表现为由

平缓逐渐转为剧烈,第一个高值区为1981年,偏高 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,最后一个高值区为2017年,偏高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。 $8\sim 9\text{ a}$ 和 27 a 时间尺度上的周期波动特征与之相反,均表现为由剧烈逐渐变为平缓,转折点分别出现在2000年和1990年前后,分别存在一个 $5\sim 6\text{ a}$ 和 $16\sim 18\text{ a}$ 左右的周期。

从图4b可以看出,沧州市日照时数在7,11,19和27a上分别存在明显周期,第一主周期出现在27a时间尺度上。27a时间尺度上整个时段明显存在一个 $16\sim 17\text{ a}$ 的周期,周期波动特征表现为由剧烈变为平缓再转变为剧烈,转折点分别出现在1985年和2010年前后,波动平缓阶段第一个低值区出现在1989年,偏低100h左右,波动剧烈阶段最后一个低值区出现在2022年,偏低339h左右。7和19a时间尺度上的周期波动特征与第一主周期相反,表现为由平缓变为剧烈再变为平缓,转折点分别出现在2000年、2010年和1990年、

2010年前后,分别存在一个 $4\sim 5\text{ a}$ 和 $12\sim 13\text{ a}$ 的周期。11a时间尺度上存在一个 $7\sim 8\text{ a}$ 的周期,波动特征由剧烈转变为平缓,转折点出现在1990年前后。

从图4c、d可以看出,沧州市降水量中西部县市和其他县市周期特征相似,分别在6,13和23a时间尺度上存在明显周期,第一主周期出现在23a时间尺度上。23a时间尺度上整个时段明显存在一个 $15\sim 16\text{ a}$ 的周期,且周期波动越来越剧烈,高值区分别出现在1992年和2008年,分别偏多117和136mm左右,根据周期推测下一个高值区将出现在2024年左右,而2022年偏多已达到153mm,较前一个高值还要偏多17mm。6和13a时间尺度上分别存在一个 $4\sim 5\text{ a}$ 和 $8\sim 9\text{ a}$ 的周期,周期波动特征表现为由剧烈逐渐转为平缓,转折点分别出现在2000年和2005年前后。

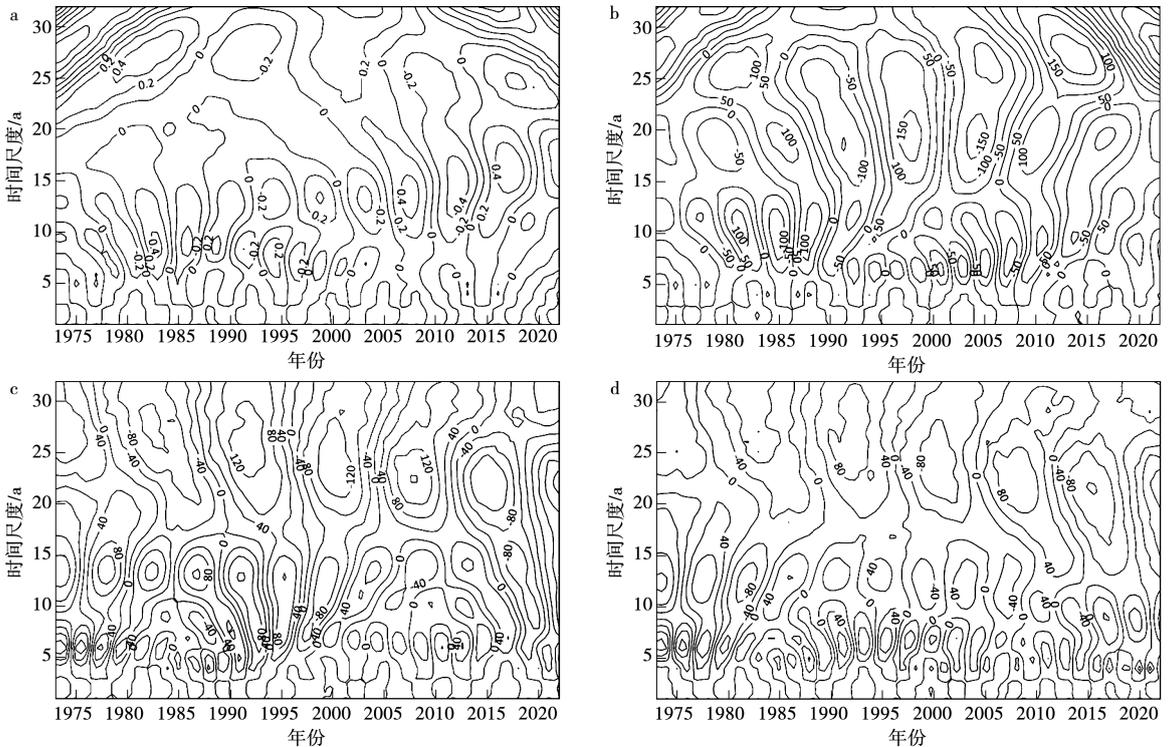


图4 1973—2022年沧州市平均气温(a)、日照时数(b)、中西部县市降水量(c)和其他县市降水量(d)的Morlet小波实部

2.5 趋势预测

由表1沧州市平均气温、日照时数、降水量的Hurst指数情况可以看出,Hurst指数计算结果均大于0.5,说明序列的趋势与原序列呈正相关,即沧州市平均气温持续增暖,日照时数持续减少,降水量中西部县市持续减少,其他县市持续增多。当 $H>0.5$ 时,Hurst指数越大表明趋势的持久

性越长久,平均气温、日照时数和降水量的Hurst指数分别为0.93,0.83和0.66~0.67,这预示着未来沧州市平均气温的增暖和日照时数的减少趋势将会持续得更长久一些,而降水量中西部县市的减少和其他县市的增多趋势可能不会持续太长时间。

结合周期波动特征(图4)来看,沧州市平均

气温、日照时数和降水量第一主周期的周期波动均表现为越来越剧烈的特征,因此,根据 Hurst 指数和周期波动特征推测,未来沧州市平均气温将会在大幅波动中持续增暖,日照时数将会在大幅波动中持续减少,降水量中西部县市将会在大幅波动中持续减少,其他县市将会在大幅波动中持续增多的可能性非常大。

表 1 沧州市平均气温、日照时数、降水量 Hurst 指数情况

类别	平均气温	日照时数	降水量	
			中西部县市	其他县市
H	0.93	0.83	0.66	0.67

3 讨论

气候变化对农业生产的影响最为直接,本文对沧州市近 50 a 来的气候变化特征进行分析,旨在提高全球气候变化大背景下沧州市农业生产的气候应对能力。从分析结果来看,沧州市近 50 a 平均气温全区呈显著增温趋势,日照时数大部县市呈显著减少趋势,降水量中西部县市呈减少趋势、其他县市呈增多趋势,与前人研究得出的华北地区平均气温明显呈升高趋势、日照时数明显呈减少趋势、降水量呈减少趋势^[6,10]的结论有所差异。而通过 MK 突变分析发现,造成这种差异的原因是由于其他县市的降水量变化趋势发生了突变现象,突变点发生在 2010 年代,由减少趋势突变为增多趋势。这也进一步说明气候的变化趋势特征不是一成不变的,因此,为及时准确地掌握农业气候资源特征,需要定期不间断地开展气候资源的分析研究。

气候变化对农业的影响是多方面的。首先是对农业的生产环境产生重大影响。沧州地区主要粮食作物是冬小麦和玉米,随着热量资源的显著增加,改善了冬小麦的越冬条件,使冬小麦在冬季停止生长的日数缩短,有利于冬小麦的分蘖。但是温度的显著升高也会造成冬小麦、玉米全生育期的缩短,使干物质积累时间减少,同时加大了地表蒸发和作物需水量,尽管部分县市降水量略微增多,仍不能缓解冬小麦生长中、后期和玉米生长前、中期水分亏缺加重的现象。加之日照时数的明显减少,也不利于冬小麦、玉米干物质积累和品质形成,最终使农业生态环境进一步恶化,严重制约本地农业可持续发展。同时,通过周期波动和 Hurst 指数预测,未来沧州市平均气温的增温、日照时数的减少、降水量的减少或增多都将会在大

幅波动中持续,这意味着农业气候资源的不稳定将增大,高温酷暑、寡照、干旱、暴雨洪涝等极端天气和气候事件发生频率将会明显增多,农业生产将表现出更大的脆弱性。为了更有效地适应气候变化,减缓气候变化对农业的负面影响,更加需要进一步深入研究相关科学问题,特别是对其周期性和波动特征方面的研究,以便更准确及时地掌握农业气候资源的变化规律。可采取有效措施调整农作物生产布局,优化种植品种,根据气候变化特征选择适宜的农作物播种时间,开展精准农业生产,强化农用的基础设施建设,加强农业气象灾害预测、监控和防御,提高寡照、高温酷暑、洪涝干旱等灾害的预防能力,从而减少气候变化及气象灾害对农业生产的影响。

4 结论

近 50 a 来,沧州市全区年平均气温、日照时数、降水量分别为 13.0 °C、2 566 h、546 mm;在空间上,平均气温差异不大,日照时数呈中部多周边少,降水量明显呈东多西少特征。

近 50 a 来,沧州市平均气温全区呈显著增温趋势,日照时数全区呈减少趋势,其中 71% 县市为显著减少,降水量中西部县市呈减少趋势,其他县市呈增多趋势,平均气候倾向率分别为 0.321 °C·(10 a)⁻¹、-56.283 h·(10 a)⁻¹、-7.079 mm·(10 a)⁻¹、12.474 mm·(10 a)⁻¹。气候倾向率在空间上,平均气温和日照时数空间特征不明显,降水量整体呈由西向东增大特征。

近 50 a 来,沧州市平均气温、日照时数、其他县市降水量分别发生了变暖、变少、增多的突变现象,突变点分别发生在 1997 年、1988 年和 2010 年代,突变后与突变前阶段分别相差 0.8 °C、202 h、67 mm。

近 50 a 来,沧州市平均气温、日照时数、降水量分别在 14、27 和 23 a 时间尺度上明显存在一个 9 a、16~17 a、15~16 a 的第一主周期,并且平均气温和降水量的周期波动特征均表现为由平缓逐渐转为剧烈,日照时数表现为由剧烈变为平缓再转变为剧烈。

通过 Hurst 指数和周期波动特征推测,未来沧州市平均气温将会在大幅波动中持续增暖,日照时数将会在大幅波动中持续减少,降水量中西部县市将会在大幅波动中持续减少,其他县市将会在大幅波动中持续增多。

参考文献:

- [1] 沈永平,王国亚. IPCC 第一工作组第五次评估报告对全球气候变化认知的最新科学要点[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1068-1076.
- [2] 严中伟,丁一汇,翟盘茂,等. 近百年中国气候变暖趋势之再评估[J]. 气象学报, 2020, 78(3): 370-378.
- [3] 王胜杰,赵国强,王昱燕,等. 1961—2020年黄河流域气候变化特征研究[J]. 气象与环境科学, 2021, 44(6): 1-8.
- [4] 于志翔,于晓晶,杨帆. 近40 a 中巴经济走廊气候变化时空分布特征[J]. 干旱区研究, 2021, 38(3): 695-703.
- [5] 孙康慧,曾晓东,李芳. 1980—2014年中国生态脆弱区气候变化特征分析[J]. 气候与环境研究, 2019, 24(4): 455-468.
- [6] 陈隆勋,周秀骥,李维亮,等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004(5): 634-646.
- [7] 张姚姚,刘政鑫,张思悦,等. 1957—2020年吕梁山区气候变化特征及影响因素分析[J]. 太原师范学院学报(自然科学版), 2022, 21(3): 84-91.
- [8] 张柳红,伍红雨,向昆仑,等. 1961—2021年粤港澳大湾区暴雨气候变化特征[J/OL]. 中山大学学报(自然科学版)(中英文), 2023, 62(4): 32-44.
- [9] 王建东,黄翠银,丁美花,等. 来宾市气候变化特征及其对甘蔗影响分析[J]. 气象研究与应用, 2022, 43(4): 128-132.
- [10] 谭方颖,王建林,宋迎波. 华北平原近45年气候变化特征分析[J]. 气象, 2010, 36(5): 40-45.
- [11] 徐丽娇,胡泽勇,赵亚楠,等. 1961—2010年青藏高原气候变化特征分析[J]. 高原气象, 2019, 38(5): 911-919.
- [12] 周广胜. 气候变化对中国农业生产影响研究展望[J]. 气象与环境科学, 2015, 38(1): 80-94.
- [13] 黄德林,李喜明,鞠劭芑. 气候变化对中国粮食生产、消费及经济增长的影响研究: 基于中国农业一般均衡模型[J]. 中国农学通报, 2016, 32(20): 165-176.
- [14] 郭佳,张宝林,高聚林,等. 气候变化对中国农业气候资源及农业生产影响的研究进展[J]. 北方农业学报, 2019, 47(1): 105-113.
- [15] 司鹏,郝立生,傅宁,等. 河北保定百年均一化逐日气温序列的建立及其气候变化特征[J]. 大气科学学报, 2023, 46(2): 297-309.
- [16] 赵少华,杨永辉,邱国玉,等. 河北平原34年来气候变化趋势分析[J]. 资源科学, 2007(4): 109-113.
- [17] 谭方颖,王建林,宋迎波,等. 华北平原近45年农业气候资源变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2009, 30(1): 19-24.
- [18] 刘方圆,肖嗣荣,刘寒,等. 河北地区气候变化及其对农业的影响[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(4): 122-126.
- [19] 史印山,王玉珍,池俊成,等. 河北平原气候变化对冬小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 68(6): 1444-1447.
- [20] LIVEZEY R, CHEN W Y. Statistical filed significance and its determination by Monte Carlo techniques[J]. Monthly Weather Review, 1983, 111(1): 46-59.
- [21] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 3版. 北京: 气象出版社, 2022.
- [22] 覃邑龙,应益荣. 重标极差方法下时变Hurst指数的构建和实证研究[J]. 系统管理学, 2011, 20(5): 620-626.

Spatio-Temporal Variation of Agro-Climatic Resources in Cangzhou in Recent 50 Years

QIN Junling¹, LÜ Wujie¹, WANG Xiangyu², LI Chen¹, QIN Yuping³

(1. Cangzhou Meteorological Bureau, Cangzhou 061000, China; 2. Renqiu Meteorological Bureau, Renqiu 062550, China; 3. Huailai County Meteorological Bureau, Huailai 075000, China)

Abstract: In order to improve the climate resilience of Cangzhou's agricultural production in the context of global climate change. Based on the meteorological observation data of 14 stations in Cangzhou from 1973 to 2022, climatological tendency rate, MK trend and mutation test, Morlet wavelet analysis and Hurst index method were used, the variation characteristics and trend prediction of mean temperature, sunshine hours and precipitation in Cangzhou were analyzed. The results showed that in the past 50 years, the average temperature in the whole region of Cangzhou had a significant warming trend, the sunshine hours in the whole region had a decreasing trend, the precipitation in the central and western counties and cities had a decreasing trend, and the other counties and cities had an increasing trend. In space, the difference of mean temperature was not significant, the sunshine hours were more in the middle and less in the periphery, and the precipitation was more in the east and less in the west. In 1997, 1988 and the 2010s, Cangzhou experienced abrupt changes in average temperature, sunshine hours and precipitation in other counties and cities in the central and western regions. On the time scales of 14, 27, 23 years, the mean temperature, sunshine duration and precipitation had a first main period of 9, 16-17 and 15-16 years, respectively. It is predicted that in the future, the average temperature in Cangzhou will continue to increase in large fluctuations, the sunshine hours will continue to decrease in large fluctuations, and the precipitation in the central and western counties and cities will continue to decrease in large fluctuations, other counties and cities will continue to grow in large fluctuations.

Keywords: agro-climate resources; spatio-temporal characteristics; abrupt change; periodicity; trend prediction