

文章编号:1673-8411(2019)02-0068-05

武川地区春玉米生长季水热资源和安全播期变化特征

王潇潇¹, 潘学标^{1*}, 陈燕丽², 胡莉婷¹, 魏培¹, 赵海涵¹

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2. 广西壮族自治区气象科学研究所, 南宁 530022)

摘要: 气候变化背景下我国玉米种植界限北移且气象灾害频发。为给内蒙古武川地区在合理调整品种布局和优化利用农业气候资源上提供科学参考, 本研究利用武川地区 1961–2018 年逐日气象观测数据, 对该地区春玉米生长季水热资源和安全播期变化特征进行分析。研究结果表明: 武川地区稳定通过 10℃ 的持续日数为 99 ~ 156d, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温值为 2051.4℃·d, 并以 $66.0^\circ\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著增加, 5、9 月活动积温稳定性较差。春玉米始播期显著提前、最迟播期显著推迟, 各年代可播种成熟的年份数增加。全生长季降水量为 299.8mm, 5 月降水量年际波动较大, 8 月降水量显著减少。玉米全生长季中旱灾达到“十年七旱”, 8 月干旱灾害不断加重。

关键词: 气候变化; 水热资源; 玉米; 灾害

中图分类号: P467

文献标识码: A

Variation Characteristics of Hydrothermal Resources and Safe Sowing date in spring maize growing season in Wuchuan area

Wang Xiaoxiao¹, Pan Xuebao¹, Chen Yanli², Hu Liting¹, Wei Pei¹, Zhao Haihan¹

(1. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193; 2. Guangxi Institute of Meteorological Sciences, Nanning 530022)

Abstract: Under the background of climate change, China's corn planting boundaries have moved northward and meteorological disasters have occurred move frequently. In order to provide a scientific reference for rationally adjusting the variety layout and optimizing the utilization of agricultural climate resources in Wuchuan, Inner Mongolia, this study used the daily meteorological observation data of 1961–2018 in Wuchuan area to research the variation characteristics of hydrothermal resources and safe sowing date of the spring maize growing season. The results show that the stable duration at 10 °C in Wuchuan area is between 99 and 156 days, and the active accumulated temperature ($\geq 10^\circ\text{C}$) is 2051.4℃·d, which increases significantly at the rate of $66.0^\circ\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$; the stability of active accumulated temperature in May and September is not ideal. The initial sowing date of spring maize is significantly advanced while the latest sowing date is significantly delayed, and the number of years in which sowing maturity in each decade increases. The precipitation in the whole growing season is 299.8mm. The precipitation in May fluctuates greatly, and the precipitation in August decreases significantly. The drought disaster in the whole growing season of maize has reached "seven droughts in ten years", and the drought disaster has been aggravated continuously in August.

Keywords: climate change; hydrothermal resources; maize; disasters

收稿日期: 2019-01-09

基金项目: 国家重点研发计划项目课题 (编号 2017YFD0300300), 广西气象局科研计划项目 (桂气科 201705), 广西科技厅面上项目 (2018GXNSFAA281338), 广西科技厅研发项目 (桂科攻 AB17292051)

作者简介: 王潇潇 (1990-), 女, 博士, 研究方向为气候风险评估与减灾。E-mail: wangxiaoxiao0902@126.com

* 通讯作者: 潘学标 (1962-), 男, 壮族, 博士, 教授, 研究方向为生物气候模型与信息系统。E-mail: panxb@cau.edu.cn

引言

玉米是世界三大粮食作物之一, 单位面积产量居谷类作物首位, 是重要的饲料作物和经济作物^[1]。全球气候变化使资源环境问题日益严峻^[2], 一方面, 极端气象及气候灾害事件增加, 粮食安全受到威胁; 另一方面全球气候变暖, 农作物可利用热量资源增加, 部分作物种植面积扩大, 气候变化对农业生产是利弊共存的^[3,4]。气候变暖条件下玉米生长北界向北扩展, 同时向更高海拔和冷凉地区发展^[5]。随着育种技术和栽培技术的发展, 抗旱、早熟品种的选育和覆膜栽培技术的完善, 玉米种植区不断延伸, 近年研究表明在云贵高原等高海拔、高寒、干旱半干旱地区玉米均能获得较高的产量^[6,7], 但同时受热量与水分条件的限制, 玉米生产稳产的气候风险较大^[8]。武川位于内蒙古阴山北麓地区, 在气候变化背景下, 阴山北麓农牧交错带玉米种植区域扩大, 同时受温度、降水条件的限制, 该区域玉米低温和干旱灾害风险较大, 不少地区玉米不能正常成熟或长势不好^[9,10]。因此研究武川地区春玉米生长季水热资源和安全播期变化特征, 对调整品种布局、优化利用气候资源和规避气候灾害风险具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

内蒙古武川县(41°08′22.8″N, 111°17′43.6″E)海拔 1500 ~ 2000m, 属于中温带大陆性半干旱偏旱气候区, 地处阴山北麓农牧交错带, 北接内蒙古高原, 南靠阴山山脉, 位于农牧交错带中部, 是我国典型的半干旱旱地农业区。

1.2 数据来源

使用的气象资料来自武川气象局, 包括 1961–2018 年的日平均气温(℃)、日最高气温(℃)、日最低气温(℃)、10m 高度处风速(m/s)、日照时数(h)、日平均相对湿度(%)、日降水量 mm。对缺测 5d 及 5d 以下的数据采取线性插补, 缺测 5d 以上的采取多年平均值补齐, 建立 50a 的气象因子长时间序列。利用 Microsoft Excel2010 和 SPSS17.0 统计软件对气象数据进行统计分析。

1.3 研究方法

(1) 界限温度的起止日期、持续日数、活动积温
采用“五日滑动平均法”进行界限温度起止日期、活动积温及持续日数的计算^[11], 玉米采用

10℃作为界限温度: 在春季(或秋季)第一次出现高于(低于)某界限温度之日起, 按照日序依次计算出每连续五日的日平均气温的平均值。并在一年中, 连续 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 界限温度持续的最长的一段时期内, 在此时期内第一个五日的日平均气温中, 挑取最先的一个日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 出现的日期, 即为稳定通过 10°C 出现的初日(起始日期); 而在持续最长的一段时期(秋季)的最后一个高于 10°C 的五日平均气温中, 挑取最末一个日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日期, 即为稳定通过 10°C 的终日(终止日期)。初日(起始日期)和终日(终止日期)间各 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日平均气温的累积即为界限温度的活动积温。从界限温度初日(起始日期)到终日(终止日期)之间的日数即为界限温度的持续日数。

(2) 相对湿润度干旱指数

相对湿润度干旱指数是表征某时段降水量与蒸发量之间平衡的指标, 反映了作物生长季水分平衡特征, 适用于作物生长季旬以上尺度的干旱检测与评估。其计算方法为^[12]:

$$M = \frac{P - ET_0}{ET_0} \quad (1)$$

式中: P 为某时段降水量, 单位为毫米(mm); ET_0 为某时段潜在蒸散量, 单位为毫米(mm), ET_0 由 FAO Penman-Monteith 公式计算。相对湿润指数的气象干旱等级划分指标见表 1。

表 1 相对湿润度的干旱等级

等级	类型	相对湿润度
1	无旱	$-0.40 < M$
2	轻旱	$-0.65 < M \leq -0.40$
3	中旱	$-0.80 < M \leq -0.65$
4	重旱	$-0.95 < M \leq -0.80$
5	特旱	$M \leq -0.95$

(3) 气候倾向率

采用最小二乘法计算气候要素与时间的线性回归系数, 线性回归系数 $a \times 10$ 作为要素的气候倾向率(单位: /10a), 表示要素每 10a 的变化率^[13]。气候倾向率为正表示要素随时间推移而增加, 气候倾向率为负值表示要素随时间推移而减小, 气候倾向率值大小表示要素随时间变化的大小。

(4) 安全播期

玉米播种后出苗的生物学下限温度是 8°C , 将日平均气温稳定通过 8°C 的初日作为玉米播种开始的日期, 即玉米始播期。在冷凉的武川地区, 霜冻是限制玉米生长的主要原因, 因此将最低气温低于 2°C 的初霜冻日作为玉米生长的终止期。根据日平均气温和早熟玉米品种的积温指标($\geq 10^{\circ}\text{C}$

的活动积温达到 $2100^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)^[14],从初霜冻日并向前推算,直至满足春玉米成熟所需的积温的日期,那一日即为最迟播期^[15]。始播期与最迟播期之间的日期为安全播期。

(5) 变异系数

变异系数(Coefficient of Variation, CV)是衡量某一特征值在一定时间内变异程度的一个统计量,变异系数值越小,说明变异程度越小,稳定性越好,计算方法为:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100 \quad (2)$$

式中: CV 为变异系数, σ 为标准偏差, \bar{X} 为特征量平均值。

2 结果分析

2.1 热量资源

图 1 反映了武川地区 1961–2018 年稳定通过 10°C 的热量资源变化特征,武川地区稳定通过 10°C 的持续日数介于 99~156d 之间,呈显著增加的趋势。玉米生长季 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的活动积温多年平均值为 $2051.4^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,以 $66.0^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著增加,从 70 年代开始活动积温年代平均值

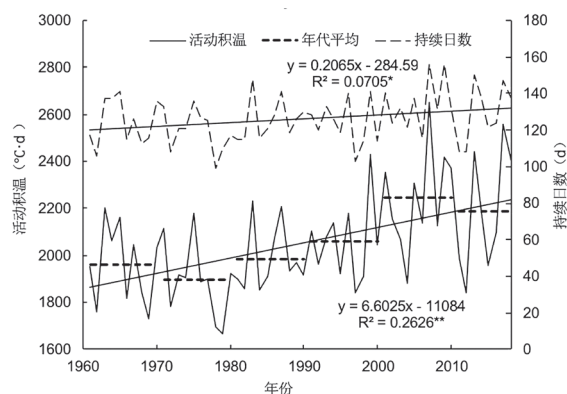


图 1 1961–2018 年武川地区稳定通过 10°C 的持续日数和 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温

呈增加的趋势,在 00 年代活动积温增加尤为明显,达到了 $2246.5^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,在 10 年代降低至 $2189.7^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。对生长季各月活动积温分析表明(表 2),活动积温最大值出现在 7 月,5–8 月活动积温均显著增加,5 月活动积温增幅最大为 $20.2^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$,5、9 月活动积温最小且变异系数较大。武川地区热量条件不断改善,但生长季前期和末期活动积温稳定性较差,易发生冷害,因此通过确定安全播期能够避免障碍性冷害(初霜冻),同时能够在保证正常出苗的情况下实现早播,提高热量资源的利用效率,避免延迟性冷害。

表 2 1961–2018 年武川玉米生长季及各月 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温和降水量

		5 月	6 月	8 月	8 月	9 月	生长季
$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 活动积温	平均值 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)	227	502	593	531	198	2049
	变异系数 CV	49.6	8.7	5.9	7.2	49.7	10.5
	倾向率 ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$)	20.2*	10.2*	12.0**	9.2**	12.6	64.2**
降水量	平均值 (mm)	26.0	46.3	94.7	89.3	43.6	299.8
	变异系数 CV	60.9	46.9	36.0	51.6	52.5	24.4
	倾向率 ($\text{mm}\cdot(10\text{a})^{-1}$)	3.0*	2.5	1.2	-10.7**	2.3	-1.7

注: ** 表示通过 平 0.01 检验, * 表示通过 水平 0.05 检验

2.2 安全播期

图 2 为早熟春玉米 1961–2018 年始播期、最迟播期、安全播期。1961–2018 年,始播期在 4 月 22 日(日序 112)至 5 月 29 日(日序 150)之间,多年平均在 5 月 7 日(日序 127),始播期显著提前;最迟播期主要在 4 月 2 日(日序 92)至 6 月 8 日(日序 158)之间,多年平均在 5 月 4 日(日序 124),以 $3.5\text{d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率显著推迟。在 58a 中只有 23a 始播期早于最迟播期,早熟春玉米能够正常播种成熟,但各年代中早熟春玉米能够避开初霜冻而成熟的年份数不断增加,从 60 年代中有 3a 可成熟增加到 00 年代有 6a、10a 代中有 5a 均可成熟,且安全播期持续日数增长。

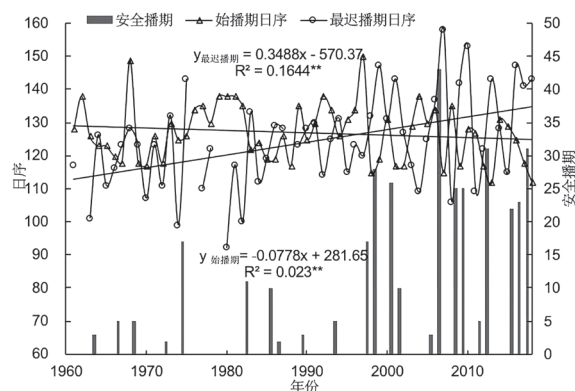


图 2 1961–2018 年武川地区早熟春玉米安全播期

2.3 降水资源

武川地区 1961-2018 年生长季降水量见图 3, 从降水量五年滑动平均值可见, 1965 年后五年滑动平均降水量呈波动增加的趋势, 在 1980 后开始波动下降, 在 2000 后出现一个较干旱的时期, 在 2011 年后降水量波动增加, 出现一个较湿润的时期。生长季多年平均降水量为 299.8 mm, 在 1961 年最大为 508.1mm, 在 2007 年最小为 156.3mm, 生长季降水量年际变化较大、稳定性较差(表 2), 全生长季降水量变化不显著。从各月降水情况可见(表 2), 武川地区 5 月降水量最小为 26.0mm, 降水量显著减少且其稳定性最差, 出苗期水分条件不稳定, 易受干旱灾害的影响, 武川地区 7、8 月降水量最大, 降水量在 90mm 左右, 8 月份降水量以 $10.7\text{mm} \cdot (10\text{a})^{-1}$ 的速率显著减少, 灌浆期水分条件变差, 其余各月降水量变化趋势均不显著。

对武川地区多年各月干旱情况进行分析(表 3), 5 月主要发生中旱与重旱, 干旱灾害发生概率为 100%, 且中旱频次随年代不断增加, 重旱频次不断减少, 干旱灾害减轻; 6 月主要发生中旱与重旱, 干旱灾害发生概率为 93%, 中旱

频次在 1971-2000 年较高, 2011 年之后无重旱灾害; 7 月主要发生中旱, 干旱灾害发生概率为 31%, 且 2001-2010 年干旱灾害频发, 发生概率为 60%; 8 月主要发生中旱, 干旱灾害发生概率为 47%, 且中旱频次随年代不断增加; 9 月主要发生中旱, 干旱灾害发生概率为 69%, 中旱频次随年代先增加再减小, 干旱灾害最终减轻; 全生长季主要发生中旱, 干旱灾害发生概率为 79%, 在 2011 年前各年代中旱发生概率均大于 70%, 之后灾害频次减少。

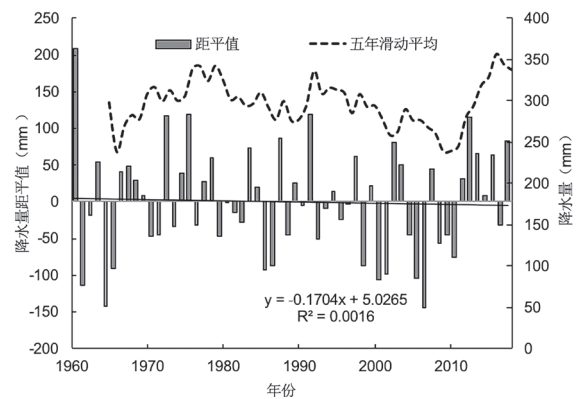


图 3 1961-2018 年武川地区玉米生长季降水量

表 3 1961-2018 年武川地区玉米生长季及各月年代干旱发生频次

	年代	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
5 月	1961-1970	0	0	1	8	1
	1971-1980	0	0	1	8	1
	1981-1990	0	0	4	4	2
	1991-2000	0	0	4	5	1
	2001-2010	0	0	6	4	0
	2011-2018	0	0	6	2	0
6 月	1961-1970	1	0	5	4	0
	1971-1980	0	0	8	2	0
	1981-1990	0	0	9	1	0
	1991-2000	0	0	8	2	0
	2001-2010	1	0	4	5	0
	2011-2018	2	0	6	0	0
7 月	1961-1970	6	0	3	1	0
	1971-1980	7	0	3	0	0
	1981-1990	7	0	3	0	0
	1991-2000	9	0	1	0	0
	2001-2010	4	0	5	1	0
	2011-2018	7	0	1	0	0
8 月	1961-1970	7	0	3	0	0
	1971-1980	7	0	3	0	0
	1981-1990	7	0	3	0	2
	1991-2000	4	0	6	0	0
	2001-2010	4	0	5	1	0
	2011-2018	2	0	5	1	0
9 月	1961-1970	4	0	3	3	0
	1971-1980	3	0	7	0	0
	1981-1990	1	0	8	1	0
	1991-2000	1	0	9	0	0
	2001-2010	3	0	7	0	0
	2011-2018	6	0	2	0	0
全生长季	1961-1970	1	0	9	0	0
	1971-1980	3	0	7	0	0
	1981-1990	1	0	9	0	0
	1991-2000	1	0	9	0	0
	2001-2010	2	0	8	0	0
	2011-2018	4	0	4	0	0

3 结论与讨论

武川地区稳定通过 10℃ 的持续日数介于 99~156d 之间, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的活动积温多年平均值为 2051.4℃·d, 并以 66.0℃·d·(10a)⁻¹ 的速率显著增加, 5~8 月活动积温显著增加, 5、9 月活动积温最小且变异系数大。玉米始播期显著提前, 最迟播期显著推迟, 各年代可安全播种的年份数、安全播期持续日数均显著增加。全生长季多年平均降水量为 299.8mm, 2011 年后出现一个较为湿润的时期, 生长季降水量年际变化较大, 5 月降水量显著减少且变异较大, 8 月降水量显著减少。玉米全生长季干旱灾害严重, 中旱灾害达到“十年七旱”, 5 月干旱灾害最为频发, 但随年代不断减轻, 8 月干旱灾害不断加重。

武川地区热量资源不断改善, 安全播种期持续日数不断增长, 可将当前主栽玉米品种更替为熟性更晚的品种, 从而获得更高的产量, 但要注意玉米生育后期的冷害风险。在 5 月玉米处于出苗期, 降水量稳定性较差, “十年十旱”的干旱将严重影响玉米的正常出苗, 在 8 月玉米处于灌浆期, 降水量显著减少, 干旱灾害不断加重, 玉米的产量将受到影响, 因此在旱作区推广坐水播种、旱作节水技术(如田间微集雨技术、覆膜技术)^[16,17] 以应对降水资源年际变化带来的气候风险, 对实现粮食稳产具有重要的意义。

参考文献:

- [1] FAO. FAOSTAT-Agriculture Database[OL]. FAO, 2013, 2013, Available at <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- [2] Alexandrov VA, Hoogenboom G. Vulnerability and adaptation assessments of agricultural crops under climate change in the southeastern USA

(上接第64页)

参考文献:

- [1] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 等. 水稻超高产的决定因素[J]. 福建农业学报, 2002, 17(4): 199-203.
- [2] 王勋, 戴廷波, 姜东, 等. 不同生态环境下水稻基因型产量形成与源库特性的比较研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 615-619.
- [3] 王尚明, 胡逢喜, 张崇华, 等. 空气温湿度对水稻灌浆及空壳率的影响研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22

(上接第67页)

- [12] 李仕谟, 符合, 张彦增, 等. 广西甘蔗冻害调查分析[J]. 农业气象, 1985, 6(1): 53-56.
- [13] 何燕, 谭宗琨, 李政, 等. 基于GIS的广西甘蔗低温冻害区划研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2007, 29(9): 81-85.

[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2000, 67: 45-63.

- [3] 赵名茶. CO₂倍增对我国自然地域分异及农业生产潜力的影响预测[J]. 自然资源学报, 1995, 10(2): 148-158.
- [4] 陈兆波, 董文, 霍治国, 等. 中国农业应对气候变化关键技术研究进展及发展方向[J]. 中国农业科学, 2013, 46(15): 3097-3104.
- [5] 徐斌, 辛晓平, 唐华俊, 等. 气候变化对我国农业地理分布的影响及其对策[J]. 地理科学进展, 1999, 18(4): 316-321.
- [6] 孙福在, 赵廷昌, 牟丰盛, 等. 生防菌和药剂除冰核细菌防御玉米霜冻研究[J]. 自然灾害学报, 2003, (4): 115-119.
- [7] 钟秀丽. 近20年来霜冻害的发生与防御研究进展[J]. 中国农业气象, 2003, 24(1): 4-6.
- [8] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280-2291.
- [9] 高可华. 内蒙古阴山北部地区玉米种植的农业气候区划[D]. 北京: 中国农业大学, 1990.
- [10] 杨晶, 潘学标. 阴山北麓农牧交错带农业气候及其变化特征——以武川县为例[J]. 内蒙古气象, 2008, (4): 3-5.
- [11] 曲曼丽. 农业气候实习指导[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1990.
- [12] 国家气候中心、中国气象科学研究院、国家气象中心等. GB/T20481-2006, 气象干旱等级标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006: 9-13.
- [13] 施能, 陈家其, 屠其璞. 中国近100年来4个年代际的气候变化特征[J]. 气象学报, 1995, 53(4): 431-439.
- [14] 杨镇. 东北玉米[M]. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [15] 米娜, 纪瑞鹏, 张玉书, 等. 辽宁省玉米适宜播种期的热量资源分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(18): 329-334.
- [16] 程满金, 郑大玮, 张建新, 等. 半干旱地区集雨旱作节水农业技术集成总体模式研究[J]. 节水灌溉, 2007, (3): 1-5, 9.
- [17] Zhou L, Jin S, Liu C, et al. Ridge-furrow and plastic-mulching tillage enhances maize-soil interactions: Opportunities and challenges in a semiarid agroecosystem[J]. Field Crops Research, 2012, 126(1): 181-188.

(9): 158-162.

- [4] 顾伟, 李刚华, 杨从党, 等. 特殊生态区水稻超高产生态特征研究[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(4): 1-6.
- [5] 杨从党. 不同生态环境下水稻产量差异的生物学基础[D]. 北京: 中国农业科学院, 2002.
- [6] 娄伟平, 孙永飞, 张寒, 等. 气温对水稻颖花数的影响[J]. 浙江农业学报, 2005, 17(2): 101-105.

- [14] 谭宗琨, 黄城华, 孟翠丽, 等. 甘蔗寒冻害等级指标及灾损指标的初步研究[J]. 中国农学通报, 2014, 30(28): 169-181.
- [15] 中华人民共和国气象行业标准《荔枝寒害评估》QX/T 258—2015附录A.