

最热(冷)月时段温度作为农业种植区划指标的探讨

马振玉^{1,2} 姜会飞^{1*}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院,北京 100193;

2. 山东省石岛气象台,山东 威海 264200)

摘要 为解决农业区划中多以7月(1月)替代最热(冷)月的简单替代而导致的温度误差问题,探索最热(冷)月温度的准确统计方法。以宁夏银川地面气象站1951—2019年逐日气温数据为研究对象,31 d为月时长,采用农业气象统计学方法,统计分析最热(冷)月时段起止日期和温度的年际变化。结果表明:1)最热(冷)月发生时间多在7月(1月),多年平均最高(低)月平均温度发生在7月(1月);最热(冷)月时段起止时间分别跨越6月中旬—8月下旬和12月上旬—2月中旬。2)1951—2019年,最热月时段比7月温度最多高2.0℃,平均高0.5℃;最冷月时段比1月温度最多低4.6℃,平均低1.1℃。3)按世界气象组织WMO气候值30年统计标准,1951—2010年4个气候标准时段间,最热(冷)月时段起止日期相对稳定,温度呈升高趋势,最冷月时段升温幅度是最热月时段的近3倍。4)最热(冷)月时段温度气候预估准确率分别为92.1%和55.3%。因此,本研究中最热(冷)月时段温度统计方法准确测算了最热(冷)月时段起止日期和温度,对最热月时段温度预估准确率较高,但最冷月时段温度预估准确率仍有待提高。

关键词 最热月; 最冷月; 滑动平均; 热均段; 冷均段

中图分类号 S161.2

文章编号 1007-4333(2021)09-0063-11

文献标志码 A

Discussion on the duration of the hottest or coldest month as crop planting zoning index

MA Zhenyu^{1,2}, JIANG Huifei^{1*}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Shidao Meteorological Observatory of Weihai Meteorological Bureau, Weihai 264200, China)

Abstract To solve the problem of temperature error caused by the simple substitution of July/January for the hottest/coldest duration in agricultural regionalization, a more accurate statistical method of temperature in the hottest/coldest month was explored. The daily temperature data of Yinchuan ground meteorological station in Ningxia Province were taken as the research object, and 31 days was set as the month-long period. This study adopted agricultural meteorological statistics method to analyze the annual change of the start and end date and temperature of the hottest/coldest month-long period. The results showed that: 1) the hottest/coldest month occurred mostly in July/January and the average temperature of the hottest/coldest temperature occurred in July/January as well. The hottest periods occurred during mid-June to late August, and the coldest months occurred during early December to mid-February. 2) From 1951 to 2019, the hottest month-long period's maximum temperature was 2.0℃ higher than the maximum temperature in July and 0.5℃ higher on average. The coldest month-long period's lowest temperature was 4.6℃ lower than the lowest temperature in January and was 1.1℃ lower on average. 3) By using the 30-year standard of WMO climate normals, with four standard periods during 1951 to 2010, the dates of the hottest/coldest month-long

收稿日期: 2021-03-14

基金项目: 热带与特色林果气象灾害监测预警技术与业务平台(2019YFD1002203);科技部“十三五”国家重点研发计划项目(2017YFC1502801)

第一作者: 马振玉, 助理工程师, 主要从事气象应用业务服务, E-mail: 1984481548@qq.com

通讯作者: 姜会飞, 副教授, 主要从事农业气象预报和灾害风险研究, E-mail: jianghuifei@gmail.com

periods were relatively consistent, the average temperature was rising, and the coldest month-long period's average temperature was increasing at almost 3 times that of the hottest month-long period. 4) The hottest average temperature prediction reached 92.1% accuracy and the coldest average temperature prediction had 55.3% accuracy. Therefore, this method in the study can accurately predict the average temperature of the hottest month-long period but still needs to be improved to predict the lowest average temperature of the coldest month-long period.

Keywords hottest month duration; coldest month duration; moving average; average dates of the hottest month duration; average dates of the coldest month duration

在作物适宜性种植区划中,热量指标是决定性因素,适宜的热量是发展农业生产的重要条件^[1]。以葡萄为例,热量条件是影响葡萄生长发育、产量和品质的主要因子。最热月温度^[2-3]和最冷月温度^[4]是酿酒葡萄种植区划的重要指标。最热月温度反映区域高温阶段的热状况,最冷月温度反映寒冷程度。优质佐餐酒和香槟酒的品种栽培区最热月温度不超过 24℃,耐贮运鲜食葡萄栽种区的最热月温度不低于 23℃,欧洲葡萄冬季不埋土越冬区北限以年极端最低温多年平均值不低于 -15℃为界^[5]。干红酒用葡萄基地要求在浆果品质形成关键期 7—9 月的日平均温度不超过 22℃^[6]。冬季极端气温和低温持续时间是决定赤霞珠等欧亚种葡萄能否安全越冬的主要因素^[7],赤霞珠葡萄种植北界以最冷月气温不低于 -15℃为温度指标。

温度变化是连续的,对作物影响也是持续发生作用的。农业气候区划中的最热(冷)月温度指标,理论上是指作物维持正常生长发育的 1 个月时间长度的平均温度上下限阈值,而在农业气象研究和实践中,常简单地以 7 月和 1 月直接统计最热月和最冷月温度^[2-3,7-14]。对中国气象局地面气象观测网站历年逐日气温进行统计,最热(冷)月的发生时间和温度存在明显的时空差异,最热月份一般分布在 6、7 和 8 月,最冷月份出现在 12、1 和 2 月,最热月份多为 7 月,最冷月份多在 1 月,但不同年份有所不同。比较 12 个月温度的多年平均值,则普遍存在着 7 月和 1 月对应最热月份和最冷月份的现象。

温度变化具有明显的年周期性规律,平均温度的年度变化中最高(低)值对应的时段是该年度最热(冷)的 1 个月(时间长度)。在温度年周期变化过程中,这个最热(冷)的 1 个月时段可能跨越月份界线,而这个月的温度变化过程对作物生长发育产生的影响却是持续的,并不以月份自动分割开。最热(冷)月的“月”与 1—12 月中的“月”存在差异。在研究中以年度 12 个月中的月平均温度最高(低)值对应的月份当作最热(冷)月,则可能把温度连续变化的天

气过程通过“月份”界限人为割裂,导致对持续 1 个月时长的平均温度最高(低)值统计失真。因此,在作物适宜性种植区划中,如果直接以 7 月和 1 月统计最热月和最冷月温度,温度误差就不可避免。

因此,温度对作物生长发育的影响和作物对温度的反应是一个连续的生理过程,不能按人为设定的历法时间进行分割。以水稻与温度关系为例:江淮流域水稻种植以中稻为主,7 月下旬—8 月中旬高温期间,中稻正处于孕穗、抽穗开花期,高温热害严重影响水稻生长发育;2003 年 7 月下旬—8 月上旬,江淮流域的持续高温,导致中稻空壳率大于 20%,秕谷率 10%以上。高温热害是跨越 7—8 月的高温天气过程造成^[15],如果把 7 月和 8 月分开计算,则 7 月和 8 月的高温日数都不足以致灾。据对江淮流域中稻高温热害的研究,江西省宜春市中稻结实率与 6—8 月期间的日平均气温、高温日数和连续最长高温日数间呈显著负相关关系^[16],江西省水稻高温热害主要集中于 7 月中旬—8 月上旬^[16-17]。四川南充市水稻抽穗扬花期也正处于一年中最热的 7—8 月,且该地区 8 月气温常高于 7 月^[18]。因此,在分析高温对水稻影响时,按 7 月或者 8 月分别计算月平均温度和高温天数,就是人为割裂跨越 7—8 月的高温过程,结果必然导致高温指标和灾害过程失真,从而使种植区划出现偏差,导致水稻高温热害。

因此,本研究拟以宁夏银川地面气象站 1951—2019 年逐日气温观测数据为研究对象,采用农业气象统计学方法,统计温度变化年周期中的最热(冷)月起止日期和平均温度,分析最热(冷)月的起止日期和月时段平均温度的变化规律及其与最热(冷)月份温度的关系,探索相对准确的最热(冷)月温度统计方法,以为作物种植区划提供合理和有效的依据。

1 资料来源与研究方法

1.1 数据资料来源

宁夏回族自治区银川地面气象站(台站号

53614, 纬度 38°29' N, 经度 106°13' E, 海拔高度 1 111.4 m) 1951-01-01—2019-03-31 的逐日日均气温资料, 数据来源于中国气象局地面气象观测网。

1.2 数据统计方法

1.2.1 最热(冷)月份温度

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, 按春夏秋冬四季以当年 3 月—翌年 2 月为 1 个年度^[8]; 按年度分别统计 12 个月的月平均温度, 分别取月平均温度最大(小)值所在的月为最热(冷)月份, 并称相应月份对应的平均温度为最热(冷)月份温度 (T_{hm} , Temperature of the hottest month; T_{cm} , Temperature of the coldest month)。

1.2.2 最热(冷)月时段起止日期和月时段温度

鉴于普遍存在直接以 7 月(1 月)为最热(冷)月统计最热(冷)温度的现象, 且 7 月和 1 月的天数都是 31 d, 本研究设定 31 d 为 1 个月的时间长度(简称月时长)。考虑到温度变化的连续性, 在温度变化年周期中, 为防止天气过程的割裂和高低温信息的丢失, 分别以最热月份出现的夏季 6—8 月和最冷月份发生的冬季 12—2 月向两边各外延 1 个月, 即以 5—9 月和 11—3 月分别为最热月和最冷月温度统计时段。统计 5—9 月持续 31 d 的滑动平均温度, 取平均温度最高值为最热月时段 H31d (The hottest 31-day period) 平均温度 T_{H31d} (Temperature of the hottest 31-day period), 与该平均温度所在 31 d 对应的起止日期为最热月时段起止日期 SED (Start to end dates); 统计 11—3 月持续 31 d 的滑动平均温度, 则平均温度最小值为最冷月时段 C31d (The coldest 31-day period) 平均温度 T_{C31d} (Temperature of the coldest 31-day period), 该温度所在 31 d 对应的起止日期为最冷月时段起止日期 SED (Start to end dates)。

1.2.3 标准气候平均值及其统计时期

气候平均值(Climatic normal)不仅作为标准与最近或目前的观测资料进行比较提供依据, 在实践指导中作为某地最可能出现的预测状况被广泛应用^[19]。世界气象组织 WMO (World meteorology organization) 规定标准气候平均值统计时期为 30 年, 本研究使用数据资料最晚年份是 2010 年, 对应标准气候平均值标准时期(Standard normal period) 1981—2010 年。参照 WMO 对气候平均值的统计方法, 从 1951 年起, 以 30 年为标准, 每隔 10 年统计

一次最热(冷)月份和最热(冷)月时段的平均温度, 得到最热(冷)月时段起止日期、平均温度和最热(冷)月份温度值 4 组(1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年)。以 30 年标准气候平均值预估其后第 1—10 年气候值, 即 1981—1990 年、1991—2000 年、2001—2010 年和 2011—2020 年的最热(冷)月时段平均温度和最热(冷)月份温度, 分别以 1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年的标准气候平均值为预估值。

1.3 数据分析方法

根据 1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年共 4 组各 30 年的历年最热(冷)月时段起止日期和最热(冷)月时段平均温度, 按保证率 80% 和 50% 分别测算各时期的最热(冷)月时段起止日期和平均温度。

以 1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年的最热(冷)月时段温度、7 月(1 月)的标准气候平均值 SCN (Standard climate normal), 作为 1981—1990 年、1991—2000 年、2001—2010 年和 2011—2020 年的最热(冷)月时段平均温度预估值 PT (Prediction temperature), 对比分析实际值 AT (Actual temperature) 与预估值的温度偏差 TD (Temperature deviation)。气象部门业务应用中以温度误差在 2 °C 以内为准确^[20-21], 本研究以 2.0 °C 为允许的最大温度误差指标 TEI (Temperature error index), 采用温度偏差平均 MTD (Mean temperature deviation)、温度误差平均 MTE (Mean temperature error)、均方根误差 RMSE (Root-mean-square error) 和温度误差指标测算准确率 AR (Accuracy rate) 检验最热(冷)月温度的预估效果, 计算式如下:

$$MTD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (AT_i - PT_i) \quad (1)$$

$$MTE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |AT_i - PT_i| \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (AT_i - PT_i)^2} \quad (3)$$

$$AR = \frac{m}{n} \times 100\% \quad (4)$$

$$m = \sum_{i=1}^n n_i \quad (5)$$

$$n_i = \begin{cases} 1 & |AT_i - PT_i| \leq TEI \\ 0 & |AT_i - PT_i| > TEI \end{cases} \quad (6)$$

式中: AT_i 和 PT_i 分别表示第 i 个预估年最热(冷)月的相应标准气候平均值实际温度与预估温度; n 是统计年度数; m 为温度误差 \leq 指标 TEI 的年数; n_i 为第 i 个预估年度最热(冷)月实际温度与预估温度误差, \leq 指标 TEI 时计数为 1, 否则为 0。

2 结果与分析

2.1 最热(冷)月份与最热(冷)月时段温度

根据 1951—2018 年的年度最热月份和最冷月份统计结果, 最热月份发生在 7 月的有 65 年(占 95.6%), 6 月和 8 月分别为 1979 年和 1951 年及

1975 年, 仅占总年数的 1.5% 和 2.9%; 1979 年 6 月平均温度 21.6°C 比 7 月 21.5°C 高 0.1°C ; 1951 年和 1975 年 8 月都是 23.3°C , 比 7 月分别高 0.7 和 0.4°C ; 6、7 和 8 月的多年平均温度分别为 21.8 、 23.8 和 21.9°C 。比较多年平均值, 7 月平均温度比 6 月和 8 月高近 $1.9\sim 2.0^\circ\text{C}$, 而 6 月与 8 月平均温度仅相差 0.1°C , 最热月时段平均 23.77°C , 7 月平均 23.75°C , 7 月仅比最热月时段低 0.02°C 。因此, 从多年平均情况来看, 以 7 月替代最热月份具有统计意义。

最热月时段平均温度 (T_{H31d} , Temperature of the hottest 31-day period)、最热月份平均温度 (T_{hm} , Temperature of the hottest month) 和 7 月平均温度 (T_{Jul}) 的年度变化见图 1。

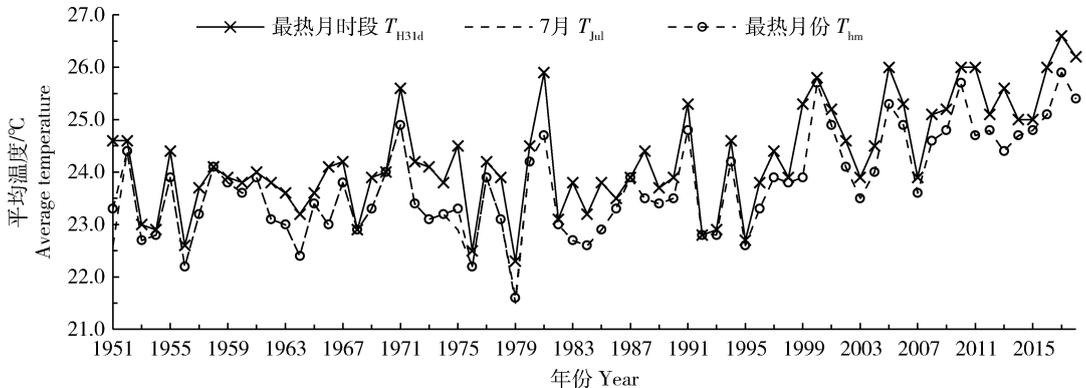


图 1 最热月时段平均温度、最热月份平均温度和 7 月平均温度的年度变化(1951—2018)

Fig. 1 Variation of temperature of the hottest 31-day period, the hottest month and July from 1951 to 2018

从图 1 可知, 最热月时段、最热月份和 7 月温度都具有明显的年度变化, 且最热月时段温度都大于等于最热月份(或 7 月)温度。68 年中, 最热月时段平均温度大于最热月份平均温度的有 63 年, 占 92.6%, 温度偏差最大为 1.4°C (1999 年); 最热月时段平均温度与最热月份平均温度相等的仅有 5 年, 只占 7.4%。最热月时段与最热月份和 7 月温度的最大偏差、平均偏差分别为 1.4 和 2.0°C (1951 年)、 0.50 和 0.52°C 。种植区划中以最热月份(或 7 月)温度替代最热月温度安排作物栽种, 则可能因为实际最热月时段温度过高而遭受高温热害。因此, 从统计学意义和作物生长发育对温度需求讲, 不宜以最热月份(或 7 月)替代最热月时段。

最冷月份发生在 12 月和 1 月分别为 11 和 57 年, 占总年数 16.2% 和 83.8%; 12 月和 1 月的多年平均温度分别为 -5.8 和 -7.9°C 。比较多年平均

值, 1 月平均温度比 12 月低近 2.1°C , 且年度最冷月份发生在 1 月的年数是 12 月的 5 倍多。68 年中, 最冷月份的多年平均值 -8.19°C , 1 月平均温度 -7.92°C , 1 月仅比最冷月份高 0.27°C , 从统计学角度, 以 1 月为最冷月份是可行的。

1951—2018 年最冷月时段平均温度 (T_{C31d} , Temperature of the coldest 31-day period)、最冷月份平均温度 (T_{cm} , Temperature of the coldest month) 和 1 月平均温度 (T_{Jan} , Temperature of January) 的年度变化曲线于图 2。

从图 2 可知, 最冷月时段、最冷月份和 1 月温度都具有明显的年度变化, 且最冷月时段温度都小于等于最冷月份(1 月)温度, 最冷月时段与最冷月份(1 月)的温度偏差存在明显的年度差异。68 年中, 最冷月时段平均温度大于最冷月份温度的有 61 年, 占 89.7%, 温度偏差最大为 3.3°C (2007 年); 最冷

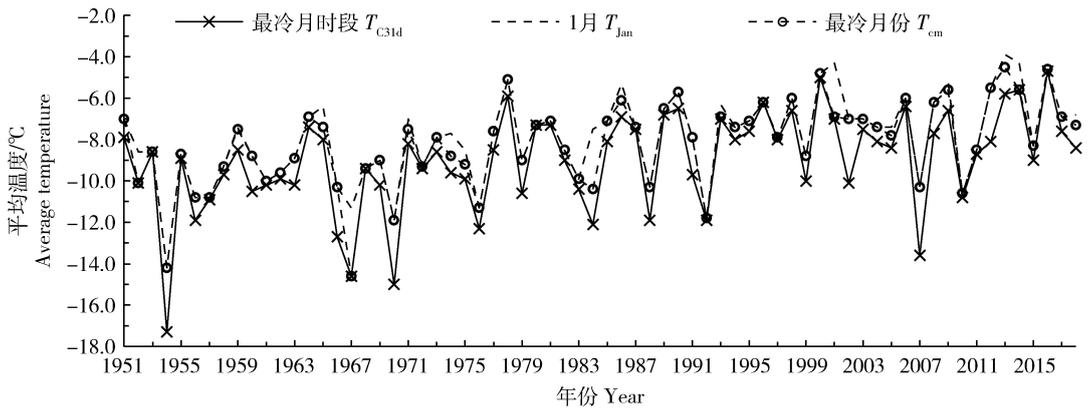


图 2 最冷月时段平均温度、最冷月份平均温度和 1 月平均温度的年际变化(1951—2018)

Fig. 2 Variation of temperature of the coldest 31-day period, the coldest month and January from 1951 to 2018

月时段平均温度与最冷月份温度相等的仅有 7 年, 只占 10.3%。最冷月时段比最冷月份和 1 月温度最多要低 3.3 和 4.6 °C (1984 年), 平均低 0.8 和 1.1 °C。种植区划中以 1 月或最冷月份温度替代最冷月温度栽种作物, 则可能因为实际最冷月时段温度过低而遭受低温灾害。因此, 从统计学意义和作物生长发育对温度需求讲, 简单地以 1 月或最冷月

份替代最冷月时段也是不科学的。

1951—2018 年最热月时段与最冷月时段的起止日期 SED、温度变化范围 (RAT, Range of average temperature) 和平均温度 (AT, Average temperature), 与最热月份 (以 7 月代替) 和最冷月份 (以 1 月替代) 温度及其保证率 50% 和 80% 的测算结果见表 1。

表 1 宁夏银川最热(冷)月时段与最热(冷)月份平均温度及起止日期对照(1951—2018)

Table 1 Comparison of AT, RAT and SED of July, January with those of H31 d, C31 d in Yinchuan, Ningxia

项目 Item	最热月时段 H31d	7 月 July	最冷月时段 C31d	1 月 January
时段 Period				
最早时段 Earliest period	2015-06-17—		1952-12-01—	
最晚时段 Latest period	2015-07-17		1952-12-31	
平均时段 Average period	07-07—08-06	07-01—07-31	12-28—01-27	01-01—01-31
保证率 80% Guarantee rate 80%	≤07-15—08-14 ≥06-30—07-30		≤01-07—02-06 ≥12-18—01-17	
最低值 Minimum	22.3(1979 年)	21.5(1979 年)	-17.3(1954 年)	-14.2(1954 年)
最高值 Maximum	26.6(2017 年)	25.9(2017 年)	-4.7(2016 年)	-3.9(2013 年)
多年平均 Average	24.3	23.8	-9.0	-7.9
保证率 80% Guarantee rate 80%	≤25.2 ≥23.6	≤24.7 ≥22.9	≤-7.2 ≥-10.4	≤-6.2 ≥-9.5

综合表1和图1可知,宁夏银川最热月时段最早出现在6月17日—7月17日(2005年,26.0℃),最晚出现在7月26日—8月25日(2007年,23.9℃),最早与最晚日期相差39d,超过1个月。最热月时段平均起止日期为7月7日—8月6日,保证率80%的起止日期始于6月30日以后、终于8月14日之前。

综合表1和图2得知,最冷月时段最早出现在12月1日—12月31日(1952年,-10.1℃;1967年,-14.6℃;2014年,-5.6℃),最晚出现在1月21日—2月20日(1978年,-8.5℃),最早与最晚日期相差51d,超过1个半月。最冷月时段最早日期比最冷的1月早31d,整整提前1个月,最晚日期则晚20d,说明最冷月时段起止时间的年际变化差异很大。平均起止日期为12月28日—1月27日,保证率80%的起止日期终于2月6日之前、始于12月18日以后。

1951—2018年的最热月时段平均温度多年平

均为24.3℃,比7月平均温度多年平均值高0.5℃;最热月时段平均温度80%保证率对应的上下限也相应比7月高0.5~0.7℃。最冷月平均温度多年平均为-9.0℃,比1月平均温度低1.1℃,最冷月时段平均温度80%保证率对应的上下限相应比1月要低0.9~1.0℃。因此,当采用7月或1月温度多年平均作为最热月或最冷月温度指标时,应把7月温度往上调高0.5~0.7℃,把1月温度往下调低0.9~1.1℃。

2.2 不同时段标准气候平均值及其应用效果检验

以滑动平均法统计1951—1980年、1961—1990年、1971—2000年和1981—2010年等4个30年气候标准时段CSNP(Climatological standard normal period)中,各年度持续31d的最热(冷)月时段的起止日期,并把各标准时段中最早、最晚和平均起止日期以及80%保证率GR80对应的最早和最晚起止日期列于表2。

表2 不同气候标准时段最热(冷)月时段的起止日期对照表

Table 2 Start and end dates of the hottest/coldest 31-day period among 4 climatological standard normal periods

项目 Item	气候标准 时段 CSNP	最早日期		平均日期		最晚日期		保证率80%			
		Earliest date		Average date		Latest date		GR80%			
		始期	终期	始期	终期	始期	终期	最早 始期	最早 终期	最晚 始期	最晚 终期
		SD	ED	SD	ED	SD	ED	ESD	EED	LSD	LED
最热月时段 起止日期 SED of H31 days	1951—1980年	06-19	07-19	07-07	08-06	07-24	08-23	07-01	07-31	07-15	08-14
	1961—1990年	06-24	07-24	07-08	08-07	07-24	08-23	06-20	07-30	07-15	08-14
	1971—2000年	06-24	07-24	07-08	08-07	07-24	08-23	07-01	07-31	07-15	08-14
	1981—2010年	06-17	07-17	07-06	08-05	07-26	08-25	06-29	07-29	07-13	08-12
最冷月时段 起止日期 SED of C31 days	1951—1980年	12-01	12-21	12-28	01-27	01-21	02-20	12-18	01-17	01-09	02-08
	1961—1990年	12-01	12-31	12-28	01-27	01-21	02-20	12-17	01-16	01-09	02-08
	1971—2000年	12-02	01-01	12-28	01-27	01-21	02-20	12-18	01-17	01-08	02-07
	1981—2010年	12-02	01-01	12-28	01-27	01-20	02-19	12-18	01-17	01-07	02-06

从表2可知,4个气候标准时段的最热月时段起止日期基本接近,平均为7月8日—8月7日,1981—2010年时段早2d、1951—1980年时段则早1d,1961—1990和1971—2000年与平均值相同,早晚只相差3d;30年标准时段中,最热月时段起止日期最早和最晚出现的时段都在1981—2010年。4个30年标准时段间,最冷月时段平均和最晚起止日

期完全相同,平均在12月28日—1月27日,最晚1月21日—2月20日,最早起止日期仅相差1d。对应平均、最早与最晚3个阶段的起止日期,在4个标准时段间变化很小,具有相对稳定性。但最热(冷)月时段起止日期的年际变化却较大;最热月时段平均起止期比最早起止期晚多半个月,比最晚则早超过半个月,早晚相差一个多月;最冷月时段平均起止

期比最早起止期晚近 1 个月,比最晚则早 19~20 d,早晚相差近 50 d。按保证率 80% 测算,最热月时段最早起止日期与 7 月基本一致,但最晚则比 7 月要晚约半个月;即最热月时段起始日期 80% 早于 7 月 15 日、晚于 7 月 1 日。最冷月时段最早起止日期为 12 月 17—18 日,最晚为 1 月 8—9 日,即最冷月时段起始日期 80% 早于 1 月 8—9 日、晚于 12 月 17—18 日。

分别统计 1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年的最热月时段温度和 7 月温度在标准统计时段 30 年中的最大值(Max, Maximum)、最小值(Min, Minimum)和标准气候平均值(SCN, Standard climate normal),并按 80% 保证率统计标准 30 年时段的温度上限(TUp, Upper threshold temperature)和下限阈值(TLo, Lower threshold temperature),结果列于表 3。

从表 3 可知,随着标准时段时间的推移,最热月

温度和 7 月温度的标准气候值,包括最大值、最小值、平均值和保证率 80% 对应的上下限阈值都呈现出增加趋势,说明夏季气温正在逐渐升高。4 个标准时段中,最热月时段温度最大值平均 25.9 °C (25.6~26.0 °C)、平均值平均 24.1 °C (23.8~24.3 °C) 和最小值平均 22.5 °C (22.3~22.7 °C) 分别比 7 月最大值平均 25.3 °C (24.9~25.7 °C)、平均值平均 23.5 °C (23.3~23.9 °C) 和最小值平均 21.8 °C (21.5~22.6 °C) 高 0.6、0.6 和 0.7 °C; 80% 最热月时段温度 ≥ 23.2 °C、 ≤ 24.6 °C, 80% 7 月温度 ≥ 22.8 °C、 ≤ 24.1 °C, 最热月时段温度 80% 保证率上下限阈值比 7 月相应都要高 0.4~0.5 °C。但 30 年标准时段的温度最大变幅 7 月 4.2 °C (1971—2000 年) 比最热月时段 3.6 °C (1961—1990 年) 高 0.6 °C, 4 个标准时段的温度平均变幅也是 7 月更大一些,说明最热月时段温度比 7 月的气候稳定性更大。

表 3 不同气候标准时段最热月温度和 7 月温度的气候值对照表

Table 3 Temperatures of the hottest 31-day period and July among 4 climatological standard normal periods

气候标准 时段 CSNP	最热月时段温度 $T_{H31d}/^{\circ}\text{C}$					7 月温度 $T_{Jul}/^{\circ}\text{C}$				
	最大值 Max	最小值 Min	平均 SCN	保证率 80% GR80/%		最大值 Max	最小值 Min	平均 SCN	保证率 80% GR80/%	
				上限 TUp	下限 TLo				上限 TUp	下限 TLo
1951—1980 年	25.6	22.3	23.8	24.2	23.0	24.9	21.5	23.3	23.9	22.7
1961—1990 年	25.9	22.3	23.9	24.2	23.2	24.9	21.5	23.3	23.9	22.9
1971—2000 年	26.0	22.7	24.3	24.5	23.1	25.7	21.5	23.5	23.9	22.8
1981—2010 年	26.0	22.7	24.3	25.3	23.5	25.7	22.6	23.9	24.8	22.9

分别统计 1951—1980 年、1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年的最冷月时段温度和 1 月温度的在标准统计时段 30 年中的最大值、最小值和标准气候平均值 SCN (Standard climate normal), 并按 80% 保证率统计标准 30 年时段的温度上下限阈值,结果列于表 4。

从表 4 可知,随着标准时段时间的推移,最冷月时段温度和 1 月温度的标准气候平均值呈现升高趋势,说明冬季气候在逐渐变暖。最冷月时段温度平均值比 1 月低 0.9~1.1 °C,最冷月温度年际最大变幅 11.4 °C (1951—1980 年) 比 1 月的 9.1 °C (1951—1980 年) 大 2.3 °C,比较 4 个标准时段的温度变幅,最冷月时段温度的平均变幅 9.1 °C 比 1 月大

1.4 °C,说明最冷月时段温度比 1 月更不稳定、波动更大。80% 最冷月时段温度 ≥ -11.2 °C、 ≤ -7.4 °C, 80% 1 月温度 ≥ -9.7 °C、 ≤ -6.8 °C,最冷月时段温度 80% 保证率上下限阈值比 1 月相应高 0.6~1.4 °C。

综合表 3 和表 4 得知,随着气候值统计标准时段的推移,最热(冷)月时段和最热(冷)月份温度都出现增加趋势,1981—2010 年最热月时段和最热月份温度比 1951—1980 年增加 0.5~0.6 °C,最冷月时段和最冷月份温度则增加 1.6 °C,低温时段的增幅是高温增幅的近 3 倍。

在作物种植区划、结构调整和新品种适栽论证的实践中,需要利用对历史数据的统计分析结果预

表4 不同气候标准时段最冷月温度和1月温度的气候值对照表

Table 4 Temperatures of the coldest 31-day period and January among 4 climatological standard normal periods

气候标准时段 CSNP	最冷月时段温度 $T_{C31d}/^{\circ}\text{C}$					1月温度 $T_{Jan}/^{\circ}\text{C}$				
	最大值 Max	最小值 Min	平均 SCN	保证率 80% GR80%		最大值 Max	最小值 Min	平均 SCN	保证率 80% GR80%	
				上限 TUp	下限 TLo				上限 TUp	下限 TLo
1951—1980年	-5.9	-17.3	-10.1	-8.5	-11.9	-5.1	-14.2	-9.0	-7.4	-10.8
1961—1990年	-5.9	-15.0	-9.5	-7.4	-11.9	-5.1	-11.9	-8.3	-7.5	-10.3
1971—2000年	-5.0	-12.3	-8.5	-7.0	-10.4	-4.3	-11.8	-7.6	-6.3	-9.0
1981—2010年	-5.0	-13.6	-8.5	-6.8	-10.4	-4.3	-11.8	-7.4	-6.0	-8.8

估未来和指导应用。分别以1951—1980年、1961—1990年、1971—2000年和1981—2010年的最热(冷)月时段温度、最热(冷)月份的标准气候平均值(SCN, Standard climate normal)作为1981—1990年、1991—2000年、2001—2010年和2011—2020年的最热(冷)月时段平均温度预估指标值(PT, Prediction temperature), 统计分析实际温度(AT, Actual temperature)与预估温度差异, 把4个气候标准时段预估的38年检验结果列于表5。

从表5可知, 温度偏差、温度误差、均方根误差和准确率等检验指标都表明, 利用最热月时段温度的标准气候平均值, 预估最热月时段温度的整体效果都比利用最热月份温度气候平均值要好。利用最热月时段温度标准30年的标准气候平均值, 预估标准段后第1—10年最热月时段温度与实际温度偏差

38年的平均为 0.6°C , 而以7月温度气候值预估的平均偏差为 1.2°C , 比最热月时段预估偏差高1倍。以温度误差小于等于 2°C 为指标测算的准确率高达92.1%, 比利用7月平均温度的预估准确率76.3%要高15.8%。结果表明, 使用最热月时段温度气候值, 比采用7月代替最热月的方法, 明显提高了气候值指导实践应用的有效性, 降低了温度误差。因此, 建议今后在农业气象应用中, 根据实际气温观测数据计算最热月时段温度, 并利用最热月时段温度的标准气候平均值来指导实践。

利用最冷月时段和1月温度的标准气候平均值, 对相应标准段后1—10年的最冷月时段温度的预估效果, 从表5对比可知, 虽然1月的温度误差和均方根误差比最冷月时段相对较小, 准确率却相对更高, 但两者之间的差异并不明显。比较两者38年

表5 宁夏银川地区最热(冷)月时段预估效果检验结果

Table 5 Statistical results comparison of temperatures of the hottest/coldest 31-day periods predicted by standard climate normal of T_{H31d}/T_{C31d} and T_{hm}/T_{cm} in Yinchuan, Ningxia

项目 Item	预估指标 Predictor	偏差平均/ $^{\circ}\text{C}$ MTD	误差平均/ $^{\circ}\text{C}$ MTE	均方根误差/ $^{\circ}\text{C}$ RMSE	准确率/% AR
最热月时段 平均温度 T_{H31d}	最热月时段平均温度标准气候平均值 SCN of T_{H31d}	0.6	0.9	0.6	92.1
	最热月份平均温度标准气候平均值 SCN of T_{hm}	1.2	1.3	0.7	76.3
最冷月时段 平均温度 T_{C31d}	最冷月时段平均温度标准气候平均值 SCN of T_{C31d}	1.0	1.9	1.1	55.3
	最冷月份平均温度标准气候平均值 SCN of T_{cm}	-0.1	1.6	1.0	68.4

的年平均温度误差仅相差 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,均方根误差只有 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,基本在实践应用的可接受误差范围内。以温度误差小于等于 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 为准确,得到1月温度气候值预估准确率为 68.4% ,比最冷月时段预估准确率高 13.1% 。结果表明,按目前的标准气候平均值预估法,宁夏银川地区以1月统计最冷月温度相对准确,但准确率不高,还需要进一步探索更为准确有效的方法。

3 讨论与结论

3.1 讨论

农业生产实践中,对作物种植适宜性区划和高低温防灾减灾管理,所使用的最热(冷)月温度指标,应该是统计年度为时1个月时长的时段平均最高(低)温度,不能简单地通过比较全年12个月的月平均温度,挑选出最热(冷)月份的温度来确定。因为最热(冷)月时段的起止日期并不一定是最热(冷)月份所在的时期。

作物生长发育对温度要求及温度对农业影响的时间尺度指标随作物、品种和生长发育阶段等变化。例如湖南双季早稻春季低温灾害轻度、中度和重度等级,分别对应着日平均温度 $<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续 $3\sim 5$ 、 $6\sim 9$ 和 10 d 以上的指标^[22]。广东晚稻寒露风轻、中、重灾害等级,分别对应日平均气温 $\leq 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且持续 $3\sim 5$ 、 $6\sim 9$ 和 10 d 以上的温度和天数指标^[23]。不同作物与品种及其在不同的生长发育阶段对温度要求不同,不同研究对象的温度指标及其影响时长也不同。因此,最热(冷)月指标应调整为最热(冷)月时段,时段长度也要随作物、品种及不同发育阶段和不同服务目标调整。在农业气候分析和适宜性区划时,建议综合作物生长发育过程对高低温度指标的保证率要求,分析 \leq 和 \geq 温度指标的保证率、发生高温热害和低温灾害的风险概率,加强气象服务农业的防灾减灾风险管理。

3.2 结论

1)宁夏银川1951—2018年,最热月时段起止日期在6月中旬—8月下旬,年度最热月时段起止时间最早发生在2005-06-17—2005-07-17,最晚出现在2007年的7月26日—8月25日,早晚起止时间相差 39 d ,超过1个月。多年平均的最热月时段起止日期为7月上旬—8月上旬,比多年平均最热月份所在的7月晚1个多星期,保证率 80% 的起止日期始于6月30日以后、终于8月14日之前。多年

平均最热月时段温度比7月平均温度高 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$,保证率 80% 对应的上下限也相应比7月高 $0.5\sim 0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2)宁夏银川1951—2018年,最冷月时段起止日期在12月上旬—2月中旬波动,年度最冷月时段起止时间最早发生在1967年的12月1日—12月31日,最晚出现在1978年的1月21日—2月20日,早晚相差 51 d ,超过一个半月。多年平均的最冷月时段起止日期为12月下旬—1月下旬,保证率 80% 的起止日期始于12月18日以后、终于2月6日之前。多年平均最冷时段平均温度比1月低 $1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,保证率 80% 对应的上下限相应比1月要低 $0.9\sim 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3)比较1951—1980、1961—1990、1971—2000和1981—2010年4个气候标准时段,最热月时段起止日期基本接近,平均为7月8日—8月7日,早晚只相差 3 d ;最冷月时段平均都在12月28日—1月27日,标准时段间没有差异。但标准时段内的30年间,最热(冷)月时段起止日期的年际变化较大:最热月时段平均起止期比最早起止期晚半个多月,比最晚则早半个多月,早晚相差超过1个月;最冷月时段平均起止期比最早起止期晚近1个月,比最晚则早 $19\sim 20\text{ d}$,早晚相差近 50 d 。最热月时段起始日期 80% 早于7月15日、晚于7月1日,最冷月时段起始日期 80% 早于1月8—9日、晚于12月17—18日。随着标准时段时间推移,最热月时段温度、7月温度、最冷月时段温度和1月温度都呈现升高趋势,1981—2010年的最热月时段和最热月份温度比1951—1980年增加了 $0.5\sim 0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,最冷月时段和最冷月份温度则增加了 $1.6\text{ }^{\circ}\text{C}$,最冷月时段和1月温度的增幅是最热月和7月的近3倍。表明最热月时段和最冷月时段都在变暖,且最冷月时段增温更多。

4)利用30年标准的最热月时段气候平均值预估标准段后第1—10年最热月时段温度准确率 92.1% ,比7月平均温度的预估准确率高 15.8% 。而利用1月温度气候值预估准确率 68.4% ,比最冷月时段的预估准确率高 13.1% ,但比最热月准确率 23.7% 。结果表明,按目前的标准气候平均值预估法,最热月时段温度气候值比7月明显提高了气候值指导实践应用的有效性,降低了温度误差,但最冷月温度却低于1月温度的预估准确率,因此对于最冷月的统计还需要进一步探索更为准确有效的

方法。

最热(冷)月时段温度统计方法准确统计了最热(冷)月起止日期和温度的年际变化,测算了最热(冷)月时段与最热(冷)月份和7月(1月)的温度误差,明显提高了利用世界气象组织 WMO 的气候值标准统计方法对最热月温度的预估准确率,但最冷月温度的预估准确率仍较低,还有待进一步探究。

参考文献 References

- [1] 汪奕琮. 我国气温平均绝对变率的分布[J]. 北京农业大学学报, 1986, 9(2): 195-204
Wang Y C. The distribution of mean absolute variability of the air temperature in China[J]. *Journal of Beijing Agricultural University*, 1986, 9(2): 195-204 (in Chinese)
- [2] 张晓煜, 韩颖娟, 张磊, 卫建国, 曹宁, 亢艳莉. 基于 GIS 的宁夏酿酒葡萄种植区划[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 275-278
Zhang X Y, Han Y J, Zhang L, Wei J G, Cao N, Kang Y L. Planting regionalization of wine grape in Ningxia using GIS [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(10): 275-278 (in Chinese)
- [3] 李华, 火兴三. 酿酒葡萄区划热量指标的研究[J]. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2006, 34(12): 69-73
Li H, Huo X S. Study of the zoning thermal indexes of the grapevine[J]. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition*, 2006, 34(12): 69-73 (in Chinese)
- [4] 黄辉白. 我国北方葡萄气候区域的初步分析[J]. 北京农业大学学报, 1980, 15(2): 43-51
Huang H B. A preliminary evaluation of climatic regions for grape production in North China [J]. *Journal of Beijing Agricultural University*, 1980, 15(2): 43-51 (in Chinese)
- [5] 修德仁, 周润生, 晁无疾, 山立宏. 干红葡萄酒用品种气候区域化指标分析及基地选择[J]. 葡萄栽培与酿酒, 1997(3): 22-26
Xiu D R, Zhou R S, Chao W J, Shan L H. Index analysis of climate regionalization for dry red wine varieties and the varieties base selection[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 1997(3): 22-26 (in Chinese)
- [6] 李华, 王华, 房玉林, 火兴三. 我国葡萄栽培气候区划研究 (I)[J]. 科技导报, 2007, 25(18): 63-68
Li H, Wang H, Fang Y L, Huo X S. Study on the viticultural climatic zoning in China (I) [J]. *Science & Technology Review*, 2007, 25(18): 63-68 (in Chinese)
- [7] 张磊, 张晓煜, 段晓凤, 李红英, 韩颖娟, 卫建国. 我国北方赤霞珠葡萄生态区划[J]. 生态学杂志, 2014, 33(11): 3102-3106
Zhang L, Zhang X Y, Duan X F, Li H Y, Han Y J, Wei J G. Ecological regionalization for *Cabernet sauvignon* in northern China[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33(11): 3102-3106 (in Chinese)
- [8] 王文星, 陈洁雯, 钟立华, 刘青. 仁化县气候季节变化特征分析[J]. 广东气象, 2016, 38(5): 37-41
Wang W X, Chen J W, Zhong L H, Liu Q. Analysis of the characteristics of seasonal variation of the climate of Renhua County[J]. *Guangdong Meteorology*, 2016, 38(5): 37-41 (in Chinese)
- [9] 刘娜, 胡亚飞, 包光. 天水市过去 116 年气温变化趋势及突变分析[J]. 地球环境学报, 2019, 10(3): 239-247
Liu N, Hu Y F, Bao G. Features of temperature variations in Tianshui during the past 116 years [J]. *Journal of Earth Environment*, 2019, 10(3): 239-247 (in Chinese)
- [10] 李白萍, 孙晓光, 王腾, 段晓红, 潘贵元, 卓永. 昌都最冷月和最热月气温变化特征[J]. 西藏科技, 2015(3): 65-67
Li B P, Sun X G, Wang T, Duan X H, Pan G Y, Zhuo Y. Characteristics of temperature changes in the coldest and hottest months in Qamdo[J]. *Tibet Science and Technology*, 2015(3): 65-67 (in Chinese)
- [11] 谷晓平, 于飞, 马建勇, 娄彦萍. 贵州省小油桐气候适宜性评价指标分析和区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(4): 434-439
Gu X P, Yu F, Ma J Y, Lou Y P. Assessment indices of climate suitability and division for *Jatropha curcas* in Guizhou Province[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2013, 34(4): 434-439 (in Chinese)
- [12] 朱智强, 王旭, 苏永秀, 杨怀, 夏福军. 广西南部地区坡地桉树生长与气象因子的关系[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 263-267
Zhu Z Q, Wang X, Su Y X, Yang H, Xia F J. Relationships between meteorological factors and growth of *Eucalyptus* in the southern region of Guangxi Province [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 263-267 (in Chinese)
- [13] 池再香, 莫建国, 康学良, 谷晓平, 肖钧. 基于 GIS 的贵州西部春薯种植气候适宜性精细化区划[J]. 中国农业气象, 2012, 33(1): 93-97, 103
Chi Z X, Mo J G, Kang X L, Gu X P, Xiao J. Regionalization of the climate suitability on Spring potato planting in western Guizhou based on GIS[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2012, 33(1): 93-97, 103 (in Chinese)
- [14] 普宗朝, 张山清. 近 49 年乌鲁木齐地区农业热量资源时空变化[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 243-252
Pu Z C, Zhang S Q. Analysis of spatial-temporal variation of agricultural-heat resources in recent 49 years in Urumqi region [J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2011, 29(2): 243-252 (in Chinese)
- [15] 谢志清, 杜银, 高莘, 曾燕. 江淮流域水稻高温热害灾损变化及应对策略[J]. 气象, 2013, 39(6): 774-781
Xie Z Q, Du Y, Gao P, Zeng Y. Impact of high-temperature on single cropping rice over Yangtze-Huaihe river valley and response measures[J]. *Meteorological Monthly*, 2013, 39(6):

- 774-781 (in Chinese)
- [16] 章起明, 郭水连, 汪建军, 廖满庭, 李明胡. 宜春市夏季高温热害发生规律及其对中稻结实率的影响[J]. 江西农业学报, 2020, 32(7): 106-111
- Zhang Q M, Guo S L, Wang J J, Liao M T, Li M H. Occurrence regularity of high temperature disaster in Yichun and its effect on seed setting rate of middle rice[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2020, 32(7): 106-111 (in Chinese)
- [17] 杨炳玉, 申双和, 陶苏林, 李倩, 邹学智. 江西省水稻高温热害发生规律研究[J]. 中国农业气象, 2012, 33(4): 615-622
- Yang B Y, Shen S H, Tao S L, Li Q, Zou X Z. Spatial and temporal pattern of rice heat injury in Jiangxi[J]. *Chinese Journal of Agrometeorology*, 2012, 33(4): 615-622 (in Chinese)
- [18] 萧炜鹏, 龚建周, 崔海山, 胡月明. 水稻抽穗扬花期极端高温发生时空特征及热害风险区识别: 以南充市为例[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(2): 198-207
- Xiao W P, Gong J Z, Cui H S, Hu Y M. Spatio-temporal characteristics of extremely high temperature occurrences on rice during heading-flowering stage and identification of high-temperature disaster areas: An example of Nanchong City[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(2): 198-207 (in Chinese)
- [19] World Meteorological Organization. *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals*[M]. Geneva: WMO, 2017
- [20] 蔡凝昊, 俞剑蔚. 基于数值模式误差分析的气温预报方法[J]. 大气科学学报, 2019, 42(6): 864-873
- Cai N H, Yu J W. Temperature forecasting method based on numerical model bias analysis[J]. *Transactions of Atmospheric Sciences*, 2019, 42(6): 864-873 (in Chinese)
- [21] 肖明静, 隋明, 范苏丹, 曲巧娜, 韩永清. 3种数值模式温度预报产品在山东应用的误差分析与订正[J]. 干旱气象, 2012, 30(3): 472-477
- Xiao M J, Sui M, Fan S D, Qu Q N, Han Y Q. Error analysis about temperature forecast products of three models applied in Shandong Province[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2012, 30(3): 472-477 (in Chinese)
- [22] 吴立, 霍治国, 杨建莹, 肖晶晶, 张蕾, 于彩霞, 张桂香. 基于Fisher判别的南方双季稻低温灾害等级预警[J]. 应用气象学报, 2016, 27(4): 396-406
- Wu L, Huo Z G, Yang J Y, Xiao J J, Zhang L, Yu C X, Zhang G X. Early-warning of low-temperature disaster levels on double-cropping rice in Southern China based on Fisher's discriminant[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2016, 27(4): 396-406 (in Chinese)
- [23] 王华, 杜尧东, 张羽, 段海来, 郑璟. 广东晚稻寒露风保险风险区划[J]. 气象与环境科学, 2018, 41(4): 98-102
- Wang H, Du Y D, Zhang Y, Duan H L, Zheng J. Insurance risk zoning of late rice cold dew wind in Guangdong[J]. *Meteorological and Environmental Sciences*, 2018, 41(4): 98-102 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东