

蔡冠勋, 姚俊萌, 段里成, 等, 2019. 小时尺度有效积温在水稻出苗期预测中的应用[J]. 气象与减灾研究, 42(3):231-235.
Cai Guanxun, Yao Junmeng, Duan Licheng, et al. 2019. Application of hourly-scale effective accumulated temperature in emergence date prediction[J]. Meteorology and Disaster Reduction Research, 42(3):231-235.

小时尺度有效积温在水稻出苗期预测中的应用

蔡冠勋¹, 姚俊萌², 段里成², 郭瑞鸽², 蔡哲², 张坤²

1. 江西省气象局, 江西 南昌 330096
2. 江西省农业气象中心, 江西 南昌 330096

摘要: 为改善日尺度有效积温未考虑日内气温变化的缺陷, 分析小时尺度有效积温的应用范围, 从而更准确地评估水稻生育期内热量需求。文中以南昌县塔城乡 2018 年 10 个播期直播早稻(中嘉早 17)为研究对象, 比较不同播期处理下播种—出苗始期日尺度有效积温和小时尺度有效积温的差异, 结果表明: 1) 当日平均气温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且日最低气温 $<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 日尺度有效积温不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 但小于小时尺度有效积温; 当日平均气温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且日最高气温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 日尺度有效积温为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 而小时尺度有效积温不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。在日平均气温接近生物学下限温度时采用小时尺度计算有效积温更为有效。2) 利用小时尺度确定了中嘉早 17 品种播种—出苗始期所需的积温阈值为 $54.46\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 出苗日数与播种期呈极显著的二次函数关系, 且播期每推迟 5 d, 出苗日数将平均缩短 2 d。

关键词: 小时尺度, 有效积温, 播种出苗期, 预测

中图分类号: S165

文献标识码: B

文章编号: 1007-9033(2019)03-0231-05

doi: 10.12013/qxyjzjy2019-037

Application of Hourly-Scale Effective Accumulated Temperature in Emergence Date Prediction

Cai Guanxun¹, Yao Junmeng², Duan Licheng², Guo Ruige², Cai Zhe², Zhang Kun²

1. Jiangxi Provincial Meteorological Bureau, Nanchang 330096, China

2. Agro-Meteorological Center of Jiangxi Province, Nanchang 330096, China

Abstract: Compared to daily-scale effective accumulated temperature not containing 24-hour temperature variation, hourly-scale is an effective option to assess heat demand during the growing period of rice. Based on the 10 sowing date treatments of early rice (Variety: ZhongjiaZao 17), the performances of daily and hourly scale effective accumulated temperature were compared. The results showed that when the average temperature was higher than $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ and the minimum temperature lower than $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, daily-scale effective accumulated temperature was not $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, but less than that of hourly-scale; while the average temperature was less than $12\text{ }^{\circ}\text{C}$, daily-scale effective accumulated temperature might be 0, and hourly-scale could better capture the effective temperature as the daily average temperature close to the biological lower limit temperature. The effective accumulated temperature threshold of seeding-emergence period for ZhongjiaZao 17 was calculated to be $54.46\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ using hourly-scale, and the number of emergence days and sowing dates presented significant quadric relationship. When the sowing date was delayed every 5 days, the emergence days would be 2 days shortened on average.

Key words: hourly-scale; effective accumulated temperature; seeding-emergence period; prediction

收稿日期: 2019-07-03; 修订日期: 2019-08-12.

基金项目: 中国气象局气候变化专项(编号:CCSF201840); 2019 年中国气象局国内外作物产量气象预报专项“基于作物模型的双季稻气象灾害影响评估研究”; 2016 年江西省气象局重点科研项目“早春气候资源在水稻生产中的利用技术研究”。

作者简介: 蔡冠勋, 工程师, 主要从事应用气象方面的研究, E-mail: cai306@sohu.com.

姚俊萌(通信作者), 硕士, 工程师, 主要从事作物模型及农业气候资源利用等研究, E-mail: meng_jackyao@sina.com.

0 引言

作物发育速度主要受温度的影响,作物完成某一发育阶段所需的积温基本上是一定的。自积温理论提出以来,被广泛应用到作物生长模型和产量预报等理论研究和业务应用中。发育期预报采用有效积温比活动积温更稳定(徐善玲等,2005;肖静等,2010)。冯明等(1998)分析了湖北省水稻生育期内有效积温的变化,发现水稻生育期长短与气候冷暖年份有关;杨洪宾等(2009)分析了播期对冬小麦生长及所需积温的影响,得出播种至出苗期需 0°C 以上积温随播期推迟而增加。姜会飞和温德永(2013)以时积温改进了日积温模型的方法。叶彩华等(2018)分析了下限温度对北京樱花盛始期模拟效果的影响,发现设定下限温度为 $0-3.2^{\circ}\text{C}$,有效积温模拟始花期基本准确率(误差小于3 d)和准确率(误差在2 d以内)均大于活动积温模拟结果。李蕊和郭建军(2018)对沈国权非线性积温模型进行参数拟合,建立了适用于不同品种玉米的通用积温模型。目前有效积温的相关应用虽较多,但对于不同尺度有效积温的比较以及小时尺度有效积温的应用研究比较少。

水稻是对气象因子反应高度敏感的作物,生长发育快慢受热量条件影响显著,目前多数研究中采用的是日平均气温计算有效积温,未考虑气温日变化,这样会遗漏日内有效温度,存在一定的缺陷。文中拟通过比较小时尺度与日尺度有效积温在不同情景下的差异,挖掘小时尺度有效积温的应用,为准确评估水稻热量需求和发育期预测提供一种思路。

1 资料与方法

1.1 数据资料

试验资料采用江西省农业气象中心2018年早稻播期试验的播种期、出苗始期等发育期记录资料。试验品种为中嘉早17,该品种属籼型中熟常规水稻;试验在南昌县塔城乡进行,共分10个播期(S1—S10),3月1日为第一播期,每隔5 d进行播种;栽培方式为直播。

气象资料采用南昌县气象观测站1961—2018年的平均气温、最高气温和最低气温资料。由于站址撤销等原因,1969—1977年和1988—1998年两个时间段气象资料缺失,文中未进行使用和计算。

文中采用软件(CAIC)进行日尺度和小时尺度有效积温的统计计算。

1.2 有效积温计算方法

文中有效积温分为日尺度和小时尺度,其中日尺度采用日平均气温进行计算,小时尺度采用日最高气温和日最低气温进行气温日变化模拟,再利用作物上下限温度进行有效温度截取;研究中籼稻发芽的下限温度采用 12°C 。

日尺度有效积温指作物整个生育期内有效温度的总和,活动温度与生物学下限温度之差,使用日平均气温计算有效积温 K 的计算式为

$$K = \sum_{n_1}^{n_2} (T_i - T_0) \quad (1)$$

其中, n_1 、 n_2 为作物生育期的起止时间; T_i 为日平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$), T_0 为作物下限温度(单位: $^{\circ}\text{C}$)。

小时尺度有效积温指使用作物上下限温度对24 h内不断变化的气温曲线进行截取得到的截面积,生育期内日有效温度的累积即为有效积温。图1给出了小时尺度有效积温模拟气温日变化的四种常用方法:单正弦、双正弦、单三角和双三角法,而日有效温度的计算方法主要有水平截取法(Horizontal Cutoff, HC)、垂直截取法(Vertical Cutoff, VC)和中心截取法(Intermediate Cutoff, IC)三种,利用这三种截取方法对一日内变化的气温进行计算获得日有效温度。由于仅考虑作物下限温度,不考虑上限温度,三种截取方法计算结果相同,文中只采用水平截取法计算有效积温。以单正弦法模拟日变化和水平截取为例,日有效温度计算式为

$$T = \left[\frac{1}{\pi} \omega \int_{e_1}^{\pi/2} \sin t dt - \int_{e_1}^{\pi/2} (L - m) dt \right] - \frac{1}{\pi} \left[\omega \int_{e_2}^{\pi/2} \sin t dt - \int_{e_1}^{\pi/2} (U - m) dt \right] \quad (2)$$

其中, T 为有效积温($^{\circ}\text{C}$); $\omega = (t_{\max} - t_{\min})/2$; $m = (t_{\max} + t_{\min})/2$; t_{\max} 、 t_{\min} 分别为日最高和最低气温($^{\circ}\text{C}$); e_1 为作物下限温度截断点横坐标(h); e_2 为作物上限截断点横坐标(h); t 为时间(h); L 为作物下限温度($^{\circ}\text{C}$); U 为作物上限温度($^{\circ}\text{C}$)。

2 结果与分析

2.1 日尺度与小时尺度有效积温比较

表1为2018年中嘉早17不同播期处理下播种—出苗始期的出苗日数及积温。可以看出,出苗日数从5—17 d不等,平均出苗日数为9.7 d,变异系数较大为0.51,其中,S1—S5处理的出苗日数普遍为10 d以上,平均为14 d;而S6—S10处理平均出苗日数为5 d,主要是由于3月上中旬气温偏低,

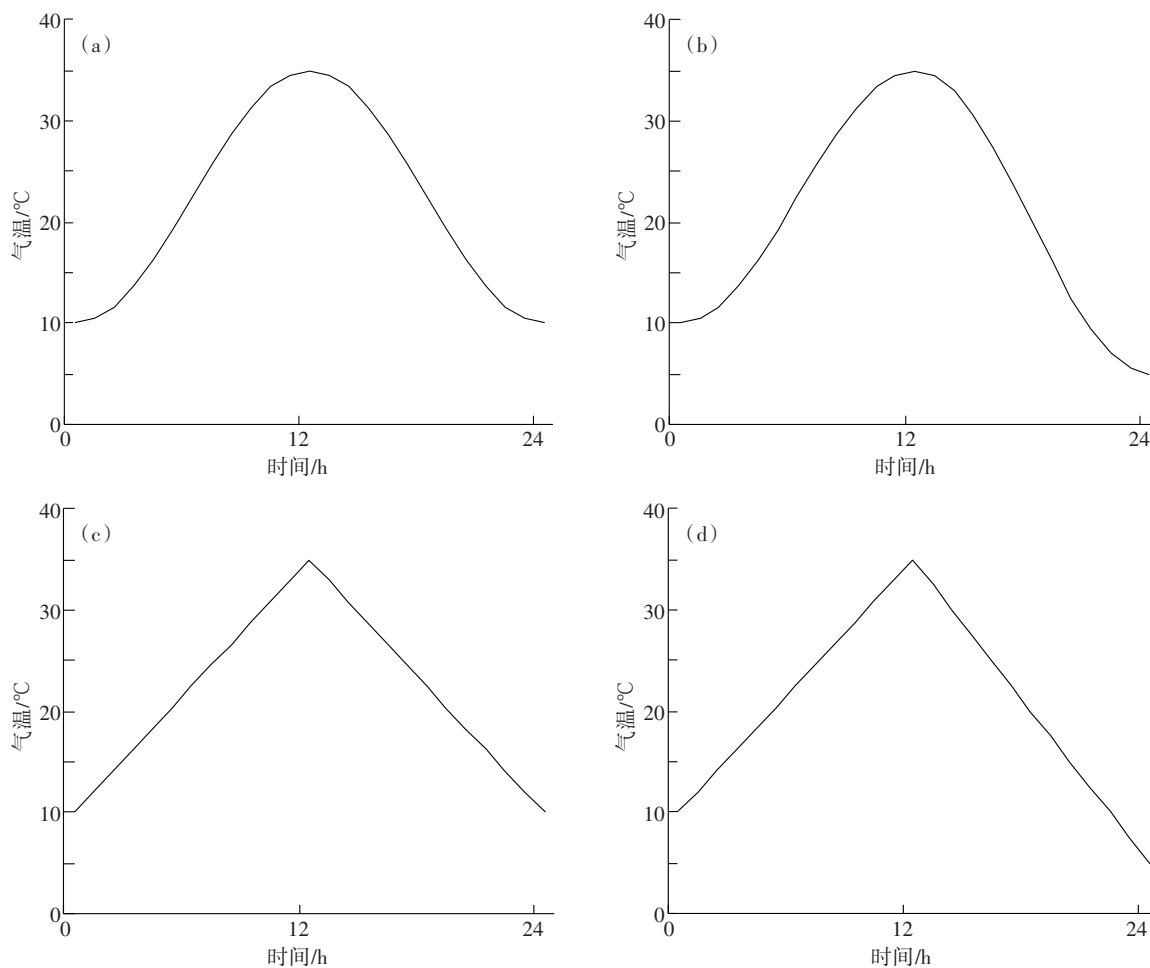


图1 气温日变化的四种模拟方法(a,单正弦法;b,双正弦法;c,单三角法;d,双三角法)

Fig.1 Daily temperature variations of the four stimulation methods (a, single sine method; b, double sine method; c, single triangle method; d, double triangle method)

表1 2018年中嘉早17不同播期处理下播种—出苗始期出苗日数及积温

Table 1 The accumulated temperatures and emergence days during sowing-emergence periods of different sowing-date treatments for ZhongJiaZao 17 in 2018

播期处理	播种日期	出苗始期	出苗日数/d	日尺度/(°C·d)		小时尺度有效积温/(°C·d)			
				活动积温	有效积温	单正弦法	双正弦法	单三角法	双三角法
S1	2018-03-01	2018-03-16	15	235.3	55.6	60.5	60.2	58.9	58.6
S2	2018-03-06	2019-03-19	13	186.1	32.8	36.7	36.8	35.3	35.6
S3	2018-03-11	2018-03-28	17	275.2	65.6	69.9	71.9	68.0	70.3
S4	2018-03-16	2018-03-31	15	245.8	60.2	63.8	65.9	62.3	64.6
S5	2018-03-21	2018-03-31	10	186.9	56.7	59.6	61.8	58.5	61.0
S6	2018-03-26	2018-03-31	5	115.8	43.8	43.9	45.0	43.9	45.0
S7	2018-03-31	2018-04-05	5	130.2	58.2	58.6	56.6	58.4	56.4
S8	2018-04-05	2018-04-12	7	148.2	52.2	54.8	56.9	53.7	56.2
S9	2018-04-10	2018-04-15	5	125.6	53.6	53.6	52.8	53.6	52.8
S10	2018-04-15	2018-04-20	5	115.1	43.0	43.2	45.3	43.0	45.2
平均值			9.70	176.42	52.17	54.46	55.32	53.56	54.57
标准差			4.90	58.87	9.69	10.33	10.61	10.00	10.30
变异系数			0.51	0.33	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19

平均最低气温只有 10.2 °C,虽然播种时间早,但无效积温多,导致出苗日数明显偏多。而活动积温由

于不考虑水稻生物学特性,直接计算 0 °C 以上温度总和,各播期活动积温变异系数达到 0.33,说明该

指标不够稳定,不能反映水稻实际热量资源利用情况。因此,业务应用中不适合用间隔日数和活动积温来评判生育期间热量条件和预测发育期。对比不同尺度有效积温结果来看,早稻播种一出苗期的小时尺度有效积温(单正弦法)普遍高于日尺度,其中,小时尺度平均有效积温为 $54.48\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,较日尺度的 $52.17\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 偏高 4.4% 。对比表 1 中小时尺度有效积温计算的四种方法,由于四种气温模拟曲线不同,使截取面积略有差异,但变异系数仅为 0.028 ,不存在显著区别,在业务应用中选择其一即可。

日尺度与小时尺度计算有效积温的差异有三种情况:1) 当日平均气温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且最低气温 $<12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,日尺度有效积温虽不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,但计算结果较小时尺度偏小;2) 当日平均气温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 且日最高气温 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$,日尺度计算结果为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,而小时尺度由于会计算日内 $>12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时段的有效温度,则不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$;3) 当日最低气温 $\geq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或者日最高气温 $\leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,日尺度与小时尺度计算有效积温无区别。表 2 给出了日尺度与小时尺度有效积温差异。可以看出,2018 年 3 月 21 日,南昌县日平均气温仅为 $10.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,最低、最高气温为 5.5 、 $14.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,虽然大部分时间段气温低于水稻生物学下限温度,为无效温度,但正午前后气温高于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$,有效温度其实为 $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,不为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。

表 2 日尺度与小时尺度有效积温差异

Table 2 Comparison of daily-scale and hourly-scale effective accumulated temperatures under different conditions

日期	气温/ $^{\circ}\text{C}$			有效积温/ $(^{\circ}\text{C}\cdot\text{d})$	
	平均	最低	最高	日尺度	小时尺度
2018-03-11	14.3	8.9	19.6	2.3	3.0
2018-03-12	18.3	12.3	24.2	6.3	6.3
2018-03-13	17.2	12.8	21.6	5.2	5.2
2018-03-14	18.4	15.3	21.5	6.4	6.4
2018-03-15	21.2	16.8	25.5	9.2	9.2
2018-03-16	14.7	9.2	20.1	2.7	3.3
2018-03-17	10.7	8.8	12.6	0	0.1
2018-03-18	12.9	12.0	13.7	0.9	0.9
2018-03-19	11.0	9.9	12.0	0	0
2018-03-20	9.7	8.6	10.8	0	0
2018-03-21	10.2	5.5	14.9	0	0.7
2018-03-22	13.4	6.9	19.8	1.4	2.8
2018-03-23	16.8	8.8	24.8	4.8	5.4
2018-03-24	16.3	13.6	18.9	4.3	4.3
2018-03-25	14.5	13.2	15.8	2.5	2.5
2018-03-26	17.5	14.1	20.9	5.5	5.5
2018-03-27	18.4	11.8	24.9	6.4	6.4
2018-03-28	20.2	13.3	27.0	8.2	8.2

由表 2 还可知,小时尺度较日尺度更为精确,但是否应用小时尺度需考虑当地气象条件,在日平均气温接近或低于生物学下限温度的季节时,更适合采用小时尺度进行计算。如对于江西省早稻播种育秧期,平均气温普遍接近或略低于 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$,日尺度有效积温往往计算结果为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$,此时评估育秧期热量条件和预测出苗期利用小时尺度有效积温具有更好的效果。

2.2 小时尺度有效积温预测各播种期的出苗日数

为了解中嘉早 17 品种在不同气候条件下出苗所需的热量条件,利用 2018 年不同播期处理的小时尺度有效积温得到播种一出苗始期所需的热量需求阈值,为 $54.46\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$ 。以此为依据,在业务中可结合当地最新天气预报的最低、最高气温,在播种后准确预测出苗期。同时,也可利用该阈值分析不同气候条件下所需的出苗日数,为科学避灾和合理安排农业生产提供依据。

文中以 3 月 1 日为最早播种期,每隔 5 d 进行播种,利用 1961—2017 年南昌县气象观测资料,以积温阈值模拟逐年中嘉早 17 不同播种期处理下的出苗日数(表 3)。可以看出,随着播期的推迟,播种一出苗所需的日数逐渐减少,3 月 1 日播种的平均出苗日数为 28 d,而 4 月 15 日播种的平均出苗日数仅需要 7 d。

表 3 1961—2017 年中嘉早 17 各播期的播种一出苗日数
Table 3 Numbers of seedling days under different sowing dates from 1961 to 2017

播种日期	播种一出苗日数/d		
	平均	最低	最高
2018-03-01	28	13	41
2018-03-06	26	13	41
2018-03-11	22	10	37
2018-03-16	19	6	32
2018-03-21	17	8	30
2018-03-26	14	5	26
2018-03-31	11	4	22
2018-04-05	10	5	18
2018-04-10	9	4	15
2018-04-15	7	3	12

将出苗日数(y)与播种期日序(x)建立回归,得到 $y = 0.0052x^2 - 1.3357x + 90.243$, $R^2 = 0.9964$ 。可以看出,出苗日数与播期呈极显著的二次函数关系,在早稻主要播种期内,播期越早所需的出苗日数越多,播期越晚则越少,且在南昌县每推迟 5 d 播种,出苗日数将平均缩短 2 d,这与 3 月份江西日有效温度逐渐上升有关。

3 结论与讨论

文中比较了南昌县塔城乡 2018 年 10 个不同播期直播早稻(中嘉早 17)播种一出苗始期间隔日数、活动积温、日尺度有效积温和小时尺度有效积温等不同指标的表现,得到:

1) 播种一出苗期内小时尺度有效积温普遍高于日尺度,主要是由于日尺度未考虑日内气温变化,对于日平均气温低于 12 °C 时,日尺度有效积温计算结果为 0 °C · d,存在一定缺陷。对于日平均气温高于 12 °C 且日最低气温低于 12 °C 时,日尺度有效积温略小于小时尺度。因此,对于平均气温接近或低于作物下限温度的条件下,使用小时尺度计算有效积温更为准确。

2) 利用小时尺度确定了中嘉早 17 品种播种一出苗始期所需的积温阈值为 54.46 °C · d,发现播种一出苗的日数与播种期成极显著的二次函数关系,每推迟 5 d 播种,出苗日数将平均缩短 2 d。

文中分析了不同尺度有效积温在评价作物热量资源和预测发育期等应用上的适宜性,由于籼稻发芽的下限温度为 12 °C,当平均气温接近或者小于 12 °C 时,小时尺度有效积温与日尺度才会有差异,因此选择 3 月份作为早稻播种一出苗期比较时段,主要是考虑该时段江西省平均气温接近 12 °C,能够较好地比较二者计算结果。

文中结果针对的是直播栽培方式,对气温变化较为敏感,而保温育秧由于薄膜保温作用,膜内温度较气温高不在研究范围。

参考文献 (References)

冯明,王中柱,王保家,1998. 湖北省气温及水稻生育期内有效积温变化的分析[J]. 华中农业大学学报,17(6):599-605. Feng M, Wang Z Z, Wang B J, 1998. Analysis on variation of tempera-

ture and effective accumulated temperature in rice growth period in Hubei Province[J]. J Huazhong Agric Univ, 17(6): 599-605.(in Chinese)

姜会飞,温德永,2013.基于优化生长假设利用极端温度计算日积温的方法[J]. 中国农业大学学报,18(2):116-123. Jiang H F, Wen D Y, 2013. Methods of calculating growing degree-day based on OR assumption and daily extreme temperatures [J]. J Chin Agric Univ, 18(2):116-123.(in Chinese)

李蕊,郭建平,2018. 东北春玉米非线性积温模型参数改进[J]. 应用气象学报,29(2):154-164. Li L, Guo J P, 2018. Improving parameters of nonlinear accumulated temperature model for spring maize in northeast China [J]. J Appl Meteor Sci, 29(2): 154-164.(in Chinese)

肖静,李楠,姜会飞,2010. 作物发育期积温计算方法及其稳定性[J]. 气象研究与应用,31(2):64-67. Xiao J, Li N, Jiang H F, 2010. Calculation and stability of accumulated temperatures in the growing season of winter wheat [J]. J Meteor Res Appl, 31(2): 64-67.(in Chinese)

徐善玲,黄兴国,黄琼,2005. 浅谈作物积温的稳定性及其预报的准确性[J]. 江西气象科技,28(3):34-35. Xu S L, Huang X G, Huang Q, 2005. Discuss superficially the stability of the accumulated temperature of crops and accuracy predicted simply [J]. Meteor Disaster Reduction Res, 28(3):34-35.(in Chinese)

杨洪宾,徐成忠,李春光,等,2009. 播期对冬小麦生长及所需积温的影响[J]. 中国农业气象,30(2):201-203. Yang H B, Xu C Z, Li C G, et al, 2009. Growth and required accumulated temperature of winter wheat under different sowing time [J]. Chin J Agrometeorol, 30(2):201-203.(in Chinese)

姚俊萌,冯利平,黄文霖,等,2012. 常用农业气候指标计算软件的研制[J]. 中国农业气象,33(4):595-602. Yao J M, Feng L P, Huang W L, et al, 2012. Development of common agro-climatic index computing software[J]. Chin J Agrometeorol, 33(4): 595-602.(in Chinese)

叶彩华,周孝煌,姜会飞,等,2018. 下限温度对北京樱花盛花始期模拟效果的影响[J]. 中国农业气象,39(1):1-8. Ye C H, Zhou X H, Jiang H F, et al, 2018. Impacts of different base temperature on simulation effect of beginning flowering date of prunus-discoidea in Beijing[J]. Chin J Agrometeorol, 39(1):1-8. (in Chinese)