

引用格式:刘哲, 咎精莉, 刘玮, 等. 农业气象台站玉米生育期的填补及对比分析[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 176-184. [Liu Z, Zan X L, Liu W, et al. Filling and comparison of the growth period data of agricultural meteorological stations[J]. Resources Science, 2019, 41(1): 176-184.] DOI :10.18402/resci.2019.01.16

# 农业气象台站玉米生育期的填补及对比分析

刘 哲<sup>1,2</sup>, 咎精莉<sup>1,2</sup>, 刘 玮<sup>1,2</sup>, 刘帝佑<sup>1,2</sup>, 李绍明<sup>1,2</sup>, 张晓东<sup>1,2</sup>, 朱德海<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院, 北京 100083;

2. 农业部农业灾害遥感重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**农业气象台站记录的作物生育时期数据, 广泛用于科研和生产活动, 但是该数据集有较多生育时期缺失。为了高效、充分地利用已有生育时期, 急需研究生育期填补方法, 并分析与其他生育期数据的差异。本研究以黄淮海夏玉米区为例, 结合历史气象数据, 分析农业气象台站玉米关键生育阶段的积温比例, 研究玉米缺失生育时期的填补方法; 对比分析 2002—2011 年农业气象台站与国家玉米品种区域试验生育时期数据的差异。结果表明, 本文提出的方法能有效地填补缺失生育时期, 方法的均方根误差在 1.82~5.20 之间; 除 2006 年、2007 年以外, 其余年份 50% 以上的农业气象台站数据与国家玉米区域试验生育期一致性好; 就多年数据的平均水平而言, 黄淮海夏玉米区内大部分农业气象台站与国家玉米区域试验生育期差异较小, 约占农气台站总数的 53%。该方法可广泛应用于其他玉米种植区、农作物的生育期数据填补和对比, 为相关研究提供生育期数据选取、融合的参考。

**关键词:**黄淮海夏播玉米区; 生育期; 区域试验; 空间插值; 对比分析

DOI :10.18402/resci.2019.01.16

## 1 引言

玉米生育期数据常常作为许多研究的基础数据, 用以确定研究的起始、终止时间, 提取某生育阶段内的地理环境要素等等。如分析近几十年东北三省春玉米物候期变化趋势<sup>[1]</sup>, 开展玉米种植环境区划<sup>[2,3]</sup>等工作。中国所用的玉米生育期数据多源于国家气象局提供的农作物生长发育状况资料数据集, 即农业气象台站生育期数据。该数据集年限跨度大, 覆盖范围广, 但存在较多的关键生育时期数据缺失, 且没有与其他主要生育期数据源的一致性分析, 这关系到一系列相关研究的顺利开展。因此, 研究农业气象台站玉米生育期数据的填补方法、分析与其他生育期数据的差异具有重要的意义。

气象条件是影响农作物出苗、拔节、抽雄、成熟等各个物候期的重要因素, 通过研究温度、日照时

数、降水等因子对作物的影响, 能实现对生育时期的预测。Setiyono 等<sup>[4]</sup>分析了温度和光周期对大豆不同生长阶段的影响并建立响应函数, 构建了一个以温度为驱动的大豆各生育期预测模型 SOY-DEV。Reaumur 的“积温学说”指出在一定的温度范围内, 当其他环境条件基本满足时, 作物发育的速度主要受温度影响<sup>[5]</sup>。积温能反映作物生长发育和地区热量资源情况, 也常常以地区积温情况作为品种推广的前提条件<sup>[6,7]</sup>, 徐成忠等<sup>[8]</sup>在积温变迁的背景下, 以充分利用热量资源为原则调整山东省济宁市夏玉米、冬小麦一年两熟制播期。由上述内容可见积温对玉米生长发育、生育期预测方面起着重要的作用<sup>[9]</sup>, 同时作物在生长发育过程中, 完成某一发育阶段需要的积温基本是稳定的<sup>[10,11]</sup>。目前积温模型计算方法不断完善<sup>[12-14]</sup>, 但是多应用于农作物生育

收稿日期: 2018-01-31; 修订日期: 2018-10-09

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFD0300300); 北京市重点项目(D171100002317002)。

作者简介: 刘哲, 男, 湖南隆回人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 从事作物分布与变化的精细探测、过程模拟与环境效应, 作物表型测试与种业信息技术。E-mail: liuzhe23@vip.qq.com

通讯作者: 李绍明, E-mail: lshaoming@sina.com

2019年1月

期预报,尚未应用在缺失生育时期数据的填补方面。

综上所述,基于积温模型的生育期推算方法,是填补缺失生育时期数据的可能选择。本文将以黄淮海夏播玉米区为例,结合对应时间段内的气象站点历史数据,分析不同区域内各个生育阶段的积温规律,实现空缺数据的填补。此外,农业气象台站生育期数据与其他数据源的一致性仍缺少评价,国家农作物品种区域试验记录的关键生育期数据,是农业部门广泛应用、且与大田生产相似度最高的作物生育期数据集。本文将结合国家玉米品种区域试验的生育期数据,对比离散生育期数据的最优空间化方法,分析两套主要的玉米生育期数据的差异。

## 2 研究区概况与数据来源

本文以黄淮海夏播玉米区为研究区域(N33°—N40°),属于暖温带半湿润、半干旱气候,四季分明。黄淮海夏玉米区年太阳总辐射量(4600~5862)MJ/m<sup>2</sup>,年光合有效辐射为(2100~2700)MJ/m<sup>2</sup>,其分布因纬度和海拔而异。年平均气温为10~14℃,≥10℃累积积温在3600~4700℃之间,年降水量480~800mm,大致以黄河为界,自东南向西北减少。该区气候相对温和,光照充足,雨热同季,自然条件对玉米生长发育十分有利<sup>[15,16]</sup>,是中国夏玉米最大的集中产区,也是全国最大的玉米集中产区,玉米总产量占全国的35%~40%。

本研究通过国家气象局提供的2002—2011年农作物生长发育和农田土壤湿度旬值数据集,获取黄淮海夏玉米区内57个玉米农业气象台站的生育期数据,其中记录了作物名称、发育期名称、发育期日期等信息<sup>[17]</sup>。该数据即为本文填补的对象,其中较多农气台站在玉米生长发育的全过程中存在某个或是某几个关键生育时期缺失的问题;通过全国农业技术推广服务中心获取黄淮海夏玉米区内2002—2011年47个国家玉米区域试验站点数据,包括出苗期、成熟期、生育期等数据;为了计算不同区域的玉米生育阶段积温占比,以及方便后续国家玉米区域试验生育期的空间化,从国家气象信息中心获得黄淮海夏玉米区内2002—2011年的79个气象站点数据,其中包括日最高气温、日最低气温、日平均气温、日平均降雨量、日照时数等数据<sup>[18]</sup>。其中,国家玉米区域试验是新品种开展大面积推广前必

经的丰产性、适应性测试,其种植制度与当地大田生产一致、管理水平略高于大田,因此国家玉米区域试验的生育时期数据可以作为实际大田生产的生育期参考。

清洗上述数据中的空缺值、异常值,其中气象站点数据去除具有特殊地理位置、气象条件与周边差距巨大的站点,如泰山。因为农业气象台站和气象站点并不能完全对应,所以构造气象站点的泰森多边形,多边形所包含的唯一气象站点代表落入该多边形内所有农气站点的气象特征值<sup>[19]</sup>。统计国家玉米区域试验生育期的年平均值,由于国家玉米区域试验站点缺少位置信息,为了方便之后的计算、分析,使用百度地图API中的地图拾取工具,确定各个站点的经纬度信息。

## 3 研究方法

### 3.1 缺失生育时期的填补方法

本研究使用广泛应用的有效积温模型模拟<sup>[20]</sup>玉米生长发育与温度的关系,该模型的基本假设是作物的发育速度随温度的升高呈正比例线性加快,具体公式为:

$$A_e = \sum_{i=t_0}^{t_0+n} \max(0, T_i - B) \quad (1)$$

式中, $A_e$ 为 $e$ 生育阶段所需的有效积温; $t_0$ 为该生育阶段的起始日序数; $n$ 为该生育期阶段持续天数; $T_i$ 代表第 $i$ 天对应的日平均温度;当 $T_i$ 小于生物学下限温度 $B$ 时, $T_i - B$ 计0。

根据已有数据,某一生育阶段所需有效积温在站点间、年份间存在一定的差异,为了充分利用某站点作物当年实际的生长状况,引入各生育阶段积温占比参数,降低模型误差,公式为:

$$A \times P_e = \sum_{i=t_0}^{t_0+n} \max(0, T_i - B) \quad (2)$$

$$A = \frac{A_k}{P_k} \quad (3)$$

式中, $A$ 为生育期内(出苗至成熟)所需的有效积温量; $P_e$ 为 $e$ 生育阶段所需的有效积温占比; $A$ 可以根据已知生育阶段的积温量 $A_k$ 和对应积温占比 $P_k$ 计算得到。以省份为基本统计单元,结合气象站点数据中的日平均温度,计算不同作物类型(春玉米或夏玉米)在各个生育阶段的平均积温量,确定完成各生育阶段的积温占比,构建关键生育阶段的积温

比例模型。参照关键生育阶段的积温比例模型,结合已有生育时期数据,分配未知生育阶段的积温量,并按照上述公式(2)反推缺失生育时期。

为评价该方法的精度,使用平均绝对误差(Mean Absolute Error, *MAE*)和均方根误差(Root Mean Square Error, *RMSE*)两个参数对预留样本进行评估<sup>[21-23]</sup>。*MAE*为模拟值绝对误差的平均水平,反映模拟误差的实际水平,*RMSE*代表模拟值和测量值之间的差异,*MAE*越小且*RMSE*越小,模型的精度越准确、可靠,公式为:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{abs}(GP_o - GP_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{abs}(GP_o - GP_i)^2} \quad (5)$$

式中,*n*为样本容量;*GP<sub>o</sub>*、*GP<sub>i</sub>*分别为第*i*个样本观测值与模拟值;*abs*为求取差值的绝对值函数。

### 3.2 生育期数据的对比分析

本研究结合国家玉米区域试验数据,对比分析两套玉米生育期数据的差异,国家玉米区域试验数据中出苗期和成熟期只存在少量记录,所以选择生育期作为对比指标。农业气象台站与国家玉米区域试验站点存在空间位置上的差异,为了充分对比两套生育期数据在空间、时间上的差异,并分析数据的一致性,离散生育期的空间化过程便不可或缺。

#### 3.2.1 离散生育期数据的空间化

分别采取RBF<sup>[24-26]</sup>、IDW、克里金空间插值方法<sup>[27]</sup>对国家玉米区域试验站点生育期,农业气象台站出苗期、成熟期数据进行插值。研究区内的国家玉米区域试验站点较少,2002—2011年每年有生育期记录的站点约为25个,所以在国家玉米区域试验站点生育期空间化过程中,引入多元线性回归方法<sup>[28-30]</sup>:

$$Y = a_0 + a_1 \times x_1 + a_2 \times x_2 + \dots + a_n \times x_n \quad (6)$$

式中,*Y*为因变量;*a<sub>0</sub>*为常数项;*x<sub>i</sub>* (*i*=1, 2, ..., *n*)为自变量;*a<sub>i</sub>* (*i*=1, 2, ..., *n*)为回归系数;系数估计用最小二乘法求解。

为了选出适合国家玉米区域试验站点和农业气象台站的生育期空间化方法,使用平均绝对误差*MAE*和均方根误差*RMSE*两个参数对预留样本进行评估。利用ArcGIS的空间分析模块以及栅格计算器功能<sup>[27]</sup>,实现国家玉米区域试验站点与农业气象台站生育期的空间化,得到2002—2011年研究区

域内的生育期及多年平均生育期分布情况。

#### 3.2.2 生育期数据对比分析

利用ArcGIS的栅格计算器功能,得到每年农业气象台站生育期与国家玉米区域试验站点生育期的差异图,以及2002—2011年黄淮海夏播玉米区平均生育期差异图。分析生育期差异值在年际、省域间波动的趋势,以及多年间研究区内两套生育期数据的一致性状况。

## 4 结果分析

### 4.1 农气站点玉米生育期数据填补结果

按照3.1章节介绍的方法,结合已有农业气象台站生育期数据以及气象站点数据,构建黄淮海夏玉米区内的玉米关键生育阶段积温比例模型,实现农业气象台站玉米缺失生育时期的信息填补(表1)。通过表1可以看出,采取上述生育期填补方法,能有效地扩充数据量,总体来讲,黄淮海夏玉米区内10a共填补428条玉米(夏玉米)生育时期记录,约占填补前玉米(夏玉米)生育时期数据的13.8%,其中出苗记录增加106条,成熟记录增加46条,表现在某一年份某一生育时期就是农业气象站点数目的增加,如黄淮海夏玉米区内2002年、2007年有玉米出苗记录的站点分别从18个、6个增加到40个、42个。

表1 2002—2011年农业气象台站玉米生育时期数据填补情况

Table 1 The situation of the filling of agricultural meteorological stations' maize growth period data from 2002 to 2011

数据来源	总体记录	出苗记录	成熟记录
农气站点数据(填补前)	3 104	346	412
农气站点数据(填补后)	3 532	452	458

为检验该方法的有效性、科学性,随机抽取生育期填补对象的10%作为验证样本,样本量的分配比例与原始数据在各生育时期所占比例一致,结果显示该方法能准确地填补站点的缺失生育时期(图1)。同时,以常见的缺失数据填补方法——线性内插法为参照,比较两种方法的填补误差大小(表2)。可看出本文提出的积温比例模型填补方法不论是总体误差还是各个关键生育时期的误差都远小于线性内插法,表明该方法优于线性内插法,具有一定的先进性及实用性。分析积温比例模型方法的填补误差,填补的生育时期不同,得到的误差大小也不同,整体而言,平均绝对误差大小在1.40~4.18之



2019年1月

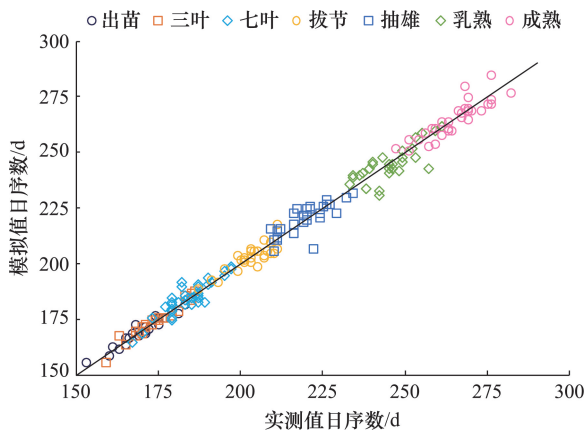


图1 生育时期填补模拟值与实测值对比

Figure 1 Comparison between simulated and observed value of growth period filling

表2 黄淮海夏玉米区农业气象台站玉米生育时期填补误差

Table 2 Filling errors in maize growth period of agricultural meteorological stations in Huang-Huai-Hai summer maize area

(d)

填补方法	评估指标	总体误差	出苗期	三叶期	七叶期	拔节期	抽雄期	乳熟期	成熟期
积温比例模型	MAE	2.77	1.62	1.40	2.56	2.82	3.20	4.18	3.31
	RMSE	3.69	1.88	1.82	3.40	3.29	4.46	5.20	4.10
线性内插	MAE	7.10	3.77	5.32	6.80	8.18	6.52	8.39	8.60
	RMSE	9.24	4.73	7.14	9.36	10.28	8.27	11.46	10.75

式中,  $Y$ 为国家玉米区域试验生育期天数;  $GP_i$ 为对应的纬度;  $x_2$ 为年累积降水量;  $x_3$ 为年累积日照时数;  $x_4$ 为年平均温度。利用回归方程计算生育期天数,并用IDW插值方对残差进行插值,得到预留样本的生育期预测值<sup>[32,33]</sup>,同样地,对2002—2011年国家玉米区域试验生育期数据,分别使用RBF、IDW、普通克里格插值(OK),并计算MAE和RMSE参数对比不同方法的精度,结果见表3。表3显示,四种插值方式得到的MAE分别为3.86、4.46、3.64、3.41,普通克里格和IDW优于另外两种方法;RMSE的结果表示普通克里格的方法优于其他方法。不仅如此,还可以发现RBF插值方法精度较其他三种方法低,不适用于国家玉米区域试验站点生育期的插值。

表3 插值方法精度比较

Table 3 Comparison of interpolation method accuracy

插值方法	MAE	RMSE
多元逐步回归法	3.86	4.72
RBF	4.46	5.68
IDW	3.64	4.74
OK	3.41	4.36

间、均方根误差在1.82~5.20之间,乳熟期、成熟期的填补误差大于其他生育时期。本文提出的玉米生育期数据填补方法充分利用已有生育期数据,挖掘其内在规律以扩充数据,有利于以玉米生育期为基础数据的系列研究。

#### 4.2 生育期数据空间化

在黄淮海夏播玉米区内,国家玉米区域试验数据2002—2011年共有252组记录,随机选取25组数据作为验证样本,其余227组为空间化的训练样本。考虑生育期天数与自变量是否存在极显著相关性,通过SPSS分析软件得到回归方程:

$$Y = 1.493x_1 + 0.003x_2 - 0.007x_3 - 1.621x_4 + 82.212 \quad (7)$$

同样地,随机选取2002—2011年黄淮海夏玉米区内农业气象台站生育期总记录的10%,约45组作为验证样本。分别使用RBF、IDW、普通克里格插值(OK)对出苗期、成熟期进行插值,利用MAE和RMSE参数选取最优插值法,结果显示,普通克里格插值(OK)精度最高。

综上,采取普通克里格法对国家玉米区域试验站点的生育期以及农业气象台站的出苗期、成熟期进行插值,得到2002—2011年黄淮海夏玉米区内来源不同的生育期及多年平均生育期天数分布情况(图2)。从图2可以看出整个黄淮海夏玉米区的生育期天数差异不超过10d,且存在纬向分布趋势,纬度越大,生育期越长。

#### 4.3 生育期数据对比分析

利用ArcGIS软件,将两种来源不同的生育期数据进行比较,界定差异绝对值大小在[0,5]之间的数据差异较小,(5,10]之间的数据差异较大,(10,+∞)之间的数据差异极大,并从差异值的平均水平,差异值的时空分布角度分析研究结果。



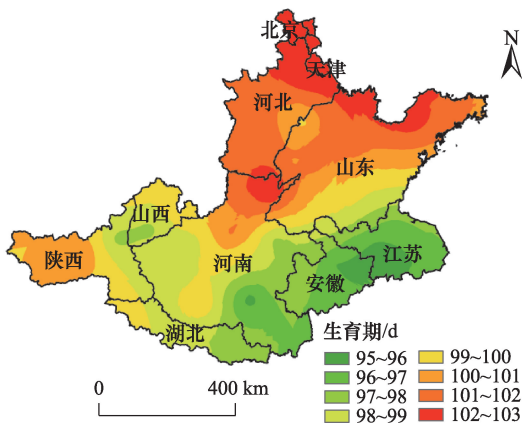


图2 2002—2011年黄淮海夏玉米区年平均生育期天数  
(国家区域试验站点)

Figure 2 The annual average growth period in Huang-Huai-Hai summer maize area from 2002 to 2011 (national regional test stations)

由农业气象台站填补后生育期与国家玉米区域试验站点生育期多年平均绝对值差异、多年平均差异值(图3),可以了解2002—2011年两套生育期数据差异值的平均水平:

(1)大部分区域(黄淮海夏播玉米区的西南和中部地区)生育期差异绝对值处于 $[0,5]$ 之间,两套生育期数据相似度高,约占研究区农业气象台站总数的53%;但是研究区域的北部、东北部区域生育期差异绝对值大都处于 $(5,10]$ 之间,两套生育期数据的差异较大,约占农业气象台站总数的47%。

(2)农业气象台站与国家玉米区域试验站点生育期差异值大小的地域分布规律十分明显,以河南省与山西省、陕西省的交界处为界线,界线以东农业气象台站的生育期都较国家区域试验站点生育

期短,界线以西农业气象台站的生育期都较国家区域试验站点长。

差异值的平均分布只是对两套生育期数据的相似度、一致水平有了大概的了解,差异值在年际、省份的波动变化情况,由如图4、图5可以看出:

(1)整体来看,在黄淮海夏播玉米区的西部两套生育期数据差异值小,主要包括山西、陕西、河南省西部;黄淮海夏播玉米区的东北部两套生育期数据差异值常年较大,主要包括山东省、河北省中部、天津市、北京市。值得注意的是2004年、2006年、2007年、2008年、2009年、2011年山东省、河北省、天津市、北京市出现了差异值极大的站点。

(2)除2006年、2007年以外,其余年份50%以上的农业气象台站与国家玉米区域试验站生育期一致性好。2003年、2005年两套生育期数据的差异最小,较小差异值对应的农业气象站比例分别为63%、69.6%;2006年两套生育期数据的差异最大,较小差异值对应的农业气象站比例为25.6%。

#### 4.4 讨论

本文利用已有农业气象台站生育期数据,结合对应时段的气象站点历史数据探寻不同地区不同生育阶段的积温规律,填补空缺的生育时期;结合2002—2011年国家玉米区域试验生育期,分析黄淮海夏播玉米区两套生育期数据的差异,为今后开展作物长势与灾害监测、作物生态区划分、气候变化对生产影响等研究提供基础支撑。

目前有很多复杂的玉米发育模型,但都存在参数有效性的问题,不适宜大区域的缺失生育期填

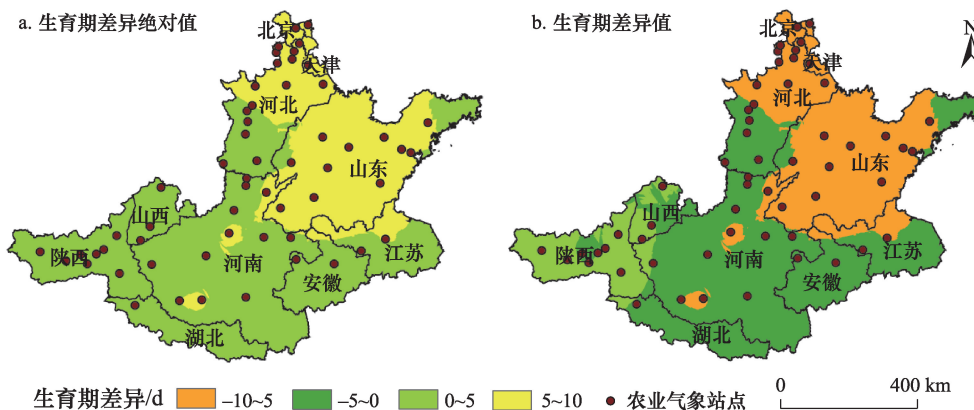


图3 2002—2011年黄淮海夏玉米区多年平均生育期差异

Figure 3 Difference of average growth period in Huang-Huai-Hai summer maize area from 2002 to 2011

2019年1月

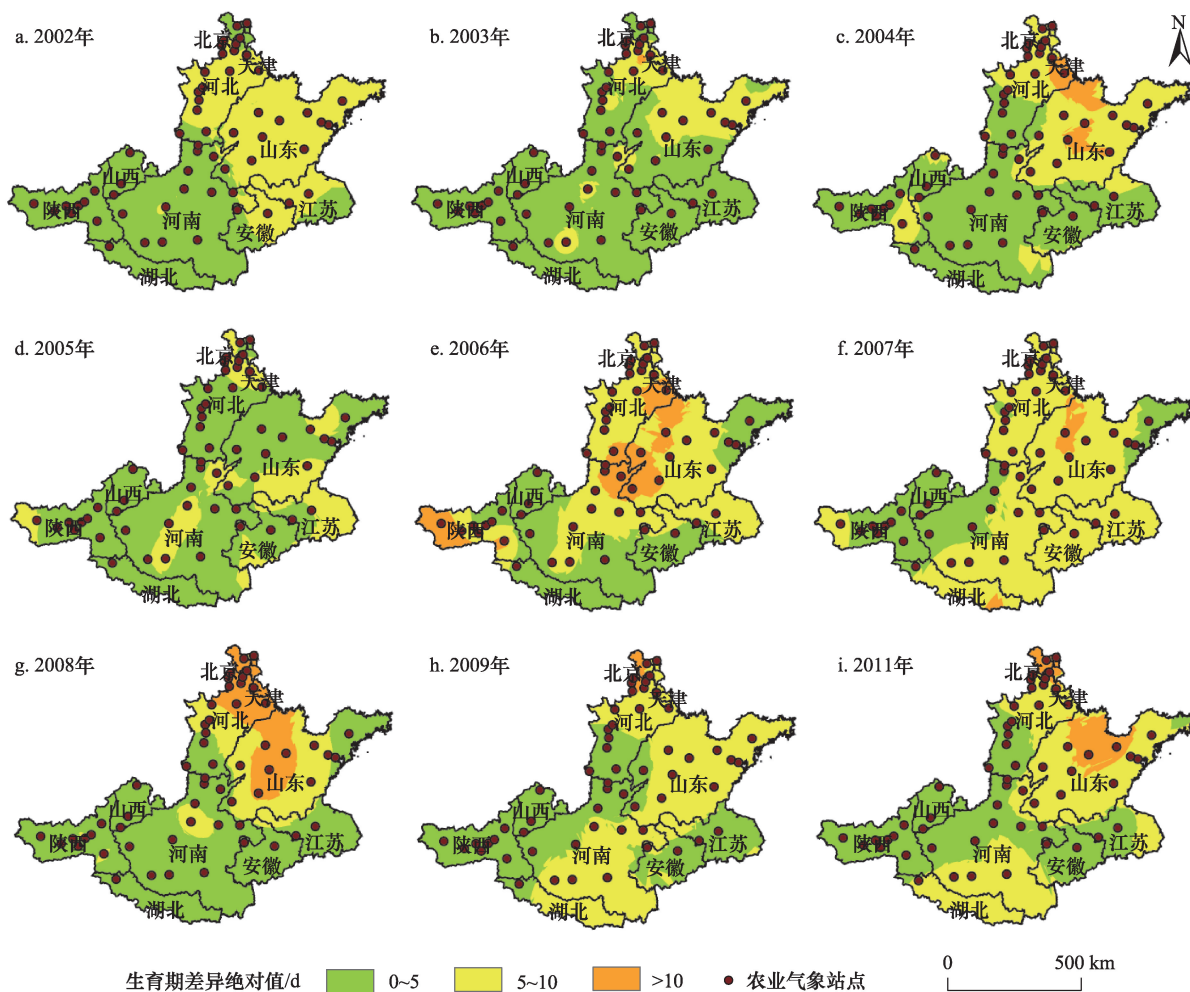


图4 2002—2011年黄淮海夏玉米区生育期差异值分布

Figure 4 Distribution of differences in growth period of Huang-Huai-Hai summer maize area from 2002 to 2011

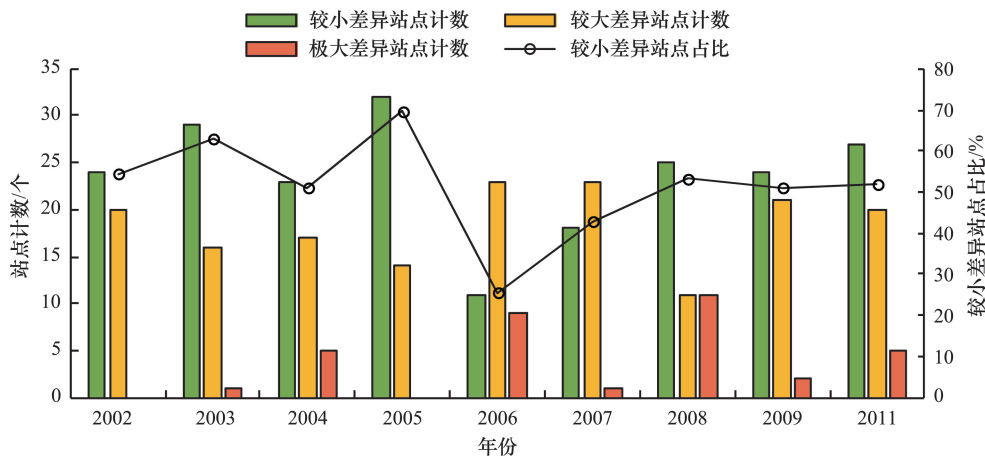


图5 2002—2011年不同生育期差异值对应农业气象台站计数情况

Figure 5 Agricultural meteorological stations' count correspond to different growth period differences from 2002 to 2011

补。不同于以往的积温量参数,本文在有效积温模型中引入积温占比参数,能结合农业气象台站的实

际玉米生长情况,高效、便捷地填补缺失的生育时期数据,但仍存在大致2~5d的误差。结合相关研

究,这可能与只考虑了温度对于玉米生长发育的影响有关,因此后期会引入新的影响因子,并考虑生育时期、研究区域的不同对参数进行调整,实现自适应的填补方法。

本文描述了黄淮海夏播玉米区两套生育期数据差异值分布状况,结果表明不同区域、站点之间的差别较大。通过文献和资料分析,造成该差异的主要原因有:

(1)农业气象台站与国家玉米区域试验站点的业务需求不同带来的栽培、管理措施差异,而且由农业气象台站以及国家玉米区域试验站点的数据可知,农业气象台站往往栽种当地某一两个玉米品种,而国家玉米区域试验站点的品种数量和类型较多,这种品种的差异也会造成农气台站与国家玉米区域试验站生育期之间的差异。

(2)由于两套生育期数据的站点空间位置不同带来的气候差异,使得在播种前后,邻近的农业气象台站与国家玉米区域试验站点的适宜播种温度、土壤湿度等存在局部差异,影响玉米的播种日期。

(3)关键生育阶段积温比例模型填补方法带来的误差。

## 5 结论

本文以黄淮海夏播玉米区为例开展了农业气象台站缺失生育时期的填补工作,结合国家玉米区域试验数据,对比两套主要生育期数据的差异,可以得出以下结论:

(1)利用关键生育阶段积温比例能有效、准确地填补缺失生育时期数据,2002—2011年黄淮海夏玉米区共填补428条生育时期记录,约占原始数据量的13.8%,积温比例模型填补缺失生育时期的均方根误差在1.82~5.20之间。

(2)黄淮海夏播玉米区内,基于多年数据的平均水平,西南和中部地区两套生育期数据的差异值小;同时农业气象台站生育期普遍较国家玉米区域试验站点生育期短;就省份而言,河北省南部、山西、陕西、安徽、湖北省以及河南、江苏省大部分地区数据差异值小。

(3)黄淮海夏播玉米区内,除2006年、2007年以

外,其余年份两套生育期的大部分数据差异小、一致性好。其中2003年、2005年两套生育期数据差异最小,2006年两套生育期数据差异最大,在使用数据时应引起注意。

## 参考文献(References):

- [1] 李正国, 杨鹏, 唐华俊, 等. 近20年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应[J]. 生态学报, 2013, 33(18): 5818-5827. [Li Z G, Yang P, Tang H J, et al. Trend of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(18): 5818-5827. ]
- [2] 刘哲, 刘玮, 胥楷莉, 等. 基于多年环境特征的东北春玉米时空型种植区划研究[J]. 农业机械学报, 2017, 48(6): 1-9. [Liu Z, Liu W, Zan X L, et al. Research on several years environmental characteristics of temporal and spatial planting regionalization description—a case study in northeast spring maize[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2017, 48(6): 1-9. ]
- [3] 王思嘉. 玉米品种多环境测试站点的布局方法研究—以吉林省为例[D]. 北京: 中国农业大学, 2015. [Wang S J. Spatial Distribution of Multi-Environment Trial Station for Maize Varieties—a Case Study of Jilin Province[D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. ]
- [4] Setiyono T D, Weiss A, Specht J, et al. Understanding and modeling the effect of temperature and daylength on soybean phenology under high-yield conditions[J]. *Field Crops Research*, 2007, 100 (2-3): 257-271.
- [5] 翟治芬, 胡玮, 严昌荣, 等. 中国玉米生育期变化及其影响因子研究[J]. 中国农业科学, 2012, 45(22): 4587-4603. [Zhai Z F, Hu W, Yan C R, et al. Change of maize growth period and its impact factor in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(22): 4587-4603. ]
- [6] 李自学. 玉米育种与种子生产[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010. [Li Z X. Maize Breeding and Seed Production [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2010. ]
- [7] 李青松, 方华, 郭玉伟, 等. 春播玉米品种熟期类型划分研究[J]. 河北农业科学, 2010, 14(9): 8-11. [Li Q S, Fang H, Guo Y W, et al. Study on mature type classification of spring maize varieties[J]. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2010, 14(9): 8-11. ]
- [8] 徐成忠, 董兴玉, 杨洪宾, 等. 积温变迁对夏玉米冬小麦两熟制播期的影响[J]. 山东农业科学, 2009, (2): 34-37. [Xu C Z, Dong X Y, Yang H B, et al. Effect of accumulative temperature changes on maturation duration of summer maize with double ripening [J]. *Shandong Academy of Agricultural Sciences*, 2009, (2): 34-37. ]
- [9] 孙孟梅, 姜丽霞, 于荣环, 等. 玉米生育期热量指标及其不同品



2019年1月

- 种栽培北界的研究[J]. 中国农业气象, 1998, 19(4): 8-12. [Sun M M, Jiang L X, Yu R H, et al. Study on heat index at growing stages of corn and the planting border of different varieties in the North[J]. *Agricultural Meteorology*, 1998, 19(4): 8-12. ]
- [10] 李有, 董中强, 宋贤明. 积温学说的不稳定性及修正式的评价[J]. 华北农学报, 1993, (S1): 93-96. [Li Y, Dong Z Q, Song X M. The destability of the accumulated temperature theory and the evaluation for its modified models[J]. *Acta Agriculturae Boreali Sinica*, 1993, (S1): 93-96. ]
- [11] 肖静, 李楠, 姜会飞. 作物发育期积温计算方法及其稳定性[J]. 气象研究与应用, 2010, 32(2): 64-67. [Xiao J, Li N, Jiang H F. Calculation and stability of accumulated temperatures in the growing season of winter wheat[J]. *Journal of Meteorological Research and Application*, 2010, 32(2): 64-67. ]
- [12] 沈国权. 影响作物发育速度的非线性温度模式[J]. 气象, 1980, 6(6): 9-11. [Shen G Q. Nonlinear temperature modes affecting the growth of crops[J]. *Meteorology*, 1980, 6(6): 9-11. ]
- [13] 韩永庄. 戈配兹模型在生物积温预报中的应用[J]. 安徽农学通报, 2013, (23): 11-12. [Han Y Z. Application of Geodiz model in prediction of bio-accumulated temperature[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2013, (23): 11-12. ]
- [14] 殷新佑. 对预测作物发育的积温法的评价[J]. 作物学报, 1999, 25(4): 474-482. [Yin X Y. A critical appraisal of thermal time approach for predicting crop development[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(4): 474-482. ]
- [15] 农业部种植业管理司组. 中国玉米品质区划及产业布局[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005. [Division of Planting Management, Ministry of Agriculture. Division of Quality of Maize and Industrial Distribution in China [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005. ]
- [16] 李少昆, 石洁, 崔彦宏, 等. 黄淮海夏玉米田间种植手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2011. [Li S K, Shi J, Cui Y H, et al. Huang-huaihai Summer Maize Field Planting Manual [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2011. ]
- [17] 国家气象信息中心. 中国农作物生长发育和土壤湿度旬值数据集[EB/OL]. (2013-12-30)[2018-01-31]. [http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/AGME\\_AB2\\_CHN\\_TEN.html](http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/AGME_AB2_CHN_TEN.html). [National Meteorological Information Center. Crop Growth and Soil Moisture Data Set in China [EB/OL]. (2012-11-22)[2018-01-31]. [http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/AGME\\_AB2\\_CHN\\_TEN.html](http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/AGME_AB2_CHN_TEN.html). ]
- [18] 国家气象信息中心. 中国地面气候资料日值数据集(V3.0)[EB/OL]. (2017-12-30)[2018-01-31]. [http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/SURF\\_CLI\\_CHN\\_MUL\\_DAY\\_V3.0.html](http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_V3.0.html). [National Meteorological Information Center. Daily Ground Climate Data Set in China (V3.0) [EB/OL]. (2012-11-22)[2018-01-31]. [http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/SURF\\_CLI\\_CHN\\_MUL\\_DAY\\_V3.0.html](http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/SURF_CLI_CHN_MUL_DAY_V3.0.html). ]
- [19] 刘湘南, 黄方, 王平. GIS空间分析原理与方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008. [Liu X N, Huang F, Wang Y. GIS Spatial Analysis Principles and Methods [M]. Beijing: Science Press, 2008. ]
- [20] 李荣平, 周广胜, 王笑影, 等. 不同物候模型对东北地区作物发育期模拟对比分析[J]. 气象与环境学报, 2012, 28(3): 25-30. [Li R P, Zhou G S, Wang X Y, et al. Comparative analysis of simulation on crop development stage using different phenological models in Northeast China[J]. *Journal of Meteorology and Environment*, 2012, 28(3): 25-30. ]
- [21] 李超, 李文峰, 钱晔. 热带区域冬玉米物候发育的模拟与模型检验[J]. 中国农学通报, 2015, 31(24): 53-58. [Li C, Li W F, Qian Y. Modeling and validating of winter maize phenological development in tropical region[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2015, 31(24): 53-58. ]
- [22] 石淑芹, 陈佑启, 李正国, 等. 基于空间插值分析的指标空间化及吉林省玉米种植区划研究[J]. 地理科学, 2011, 31(4): 408-414. [Shi S Q, Chen Y Q, Li Z G, et al. Spatial simulation of indices based on spatial interpolation technique and regional planning for planting maize in Jilin Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(4): 408-414. ]
- [23] Chai T, Draxler R R. Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)[J]. *Geoscientific Model Development*, 2014, 7(3): 1247-1250.
- [24] 杨杨. 玉米种植环境倒伏胁迫提取方法研究与应用[D]. 北京: 中国农业大学, 2012. [Yang Y. Research on Northeast China Spring Corn Environmental Regionalization and Trial Sites Layout [D]. Beijing: China Agricultural University, 2012. ]
- [25] 汤国安, 杨昕. ARCGIS地理信息系统空间分析实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2006. [Tang G A, Yang X. ARCGIS Spatial Analysis Experiment [M]. Beijing: Science Press, 2006. ]
- [26] 朱蕾, 黄敬峰. 山区县域尺度降水量空间插值方法比较[J]. 农业工程学报, 2007, 23(7): 80-85. [Zhu L, Huang J F. Comparison of spatial interpolation method for precipitation of mountain areas in county scale[J]. *Transactions of the CSAE*, 2007, 23(7): 80-85. ]
- [27] 宋丽琼, 田原, 邬伦, 等. 日降水量的空间插值方法与应用对比分析—以深圳市为例[J]. 地球信息科学, 2008, 10(5): 566-572. [Song L Q, Tian Y, Wu L, et al. On comparison of spatial interpolation methods of daily rainfall data: a case study of Shenzhen[J]. *Geo-Information Science*, 2008, 10(5): 566-572. ]
- [28] Maribeth Price, 李玉龙, 张怀东. ARCGIS地理信息系统教程[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012. [Maribeth P, Li Y L, Zhang H D. ARCGIS Geographic Information System Tutorial [M]. Beijing: Electronics Industry Press, 2012. ]
- [29] 尼尔·J·萨尔金德(著). 史玲玲(译). 爱上统计学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2011. [Salkind N J(Write). Shi L L(Translate). Fall in Love With Statistics [M]. Chongqing: Chongqing University Press, 2011. ]
- [30] 高惠璇. 应用多元统计分析[M]. 北京: 北京大学出版社, 2005.

- [Gao H X. Multivariate Statistical Analysis [M]. Beijing: Peking University Press, 2005. ]
- [31] 朱会义, 贾绍凤. 降雨信息空间插值的不确定性分析[J]. 地理科学进展, 2004, 23(2): 34–42. [Zhu H Y, Jia S F. Uncertainty in the spatial interpolation of rainfall data[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(2): 34–42. ]
- [32] 刘勤, 严昌荣, 梅旭荣, 等. 基于地理和气象要素的春玉米生育期栅格化方法[J]. 生态学报, 2011, 31(14): 4056–4061. [Liu Q, Yan C R, Mei X R, *et al.* Integrating geographic features and weather data for methodology of rasterizing spring maize growth stages[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(14): 4056–4061. ]
- [33] 张燕卿, 刘勤, 严昌荣, 等. 黄河流域积温数据栅格化方法优选[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5580–5585. [Zhang Y Q, Liu Q, Yan C R, *et al.* Methodology for rasterizing accumulated temperature data in the Yellow River Basin[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(10): 5580–5585. ]

## Filling and comparison of the growth period data of agricultural meteorological stations

LIU Zhe<sup>1,2</sup>, ZAN Xuli<sup>1,2</sup>, LIU Wei<sup>1,2</sup>, LIU Diyou<sup>1,2</sup>, LI Shaoming<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Xiaodong<sup>1,2</sup>, ZHU Dehai<sup>1,2</sup>

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. Key Laboratory of Remote Sensing for Agri-Hazards, Ministry of Agriculture, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Accurate data of growth period are the basis for crop growth and production process information service. The crop growth period data recorded by agricultural meteorological include a lot of growth stage period information missing. Taking the Huang-Huai-Hai summer maize area as an example, this study calculated the accumulated temperature distribution ratio combining with the daily average temperature, and filled the information of the missing stage from 2002 to 2011. Ultimately this method filled the original growth period data of 13.8%, and the error of filling method was characterized. The results demonstrated that the errors in different growth stages were inconsistent, of which the error in milky maturity stage and maturity stage was the largest. In order to compare the difference between the growth period data of agricultural meteorological stations and the national maize regional test data, a variety of interpolation methods were applied to the two sets of data. By comparing MAE (Mean Absolute Error) and RMSE (Root Mean Square Error), we chosen the Ordinary Kriging method. We compared the interpolated results and defined difference values between [0, 5] indicating a small difference, large difference at (5, 10], and extremely difference at (10, +∞). Our result shows that, with the exception of 2006 and 2007, the majority of the two sets growth period data difference are limited, in which the difference between the two sets of growth period data was the least appeared in 2003, 2005. The difference between the two sets of growth period data was the largest in 2006. In terms of average of multiple years, there is not a significant difference in most parts of the study area, accounting for 53% of the total number of the agricultural meteorological stations. This study can be used in the filling and comparison of growth stages data in other maize growing areas or other crops.

**Key words:** Huang-Huai-Hai summer maize area; growth period; regional test; spatial interpolation; comparative analysis