

基于位温的小麦发育期的小网格推算方法^{* 1}

张雪芬¹⁾²⁾ 王春乙²⁾ 陈东²⁾ 邹春辉³⁾ 陈怀亮³⁾ 付祥建³⁾

¹⁾(中国气象局大气探测技术中心,北京 100081)

²⁾(中国气象科学研究院,北京 100081) ³⁾(河南省气象科学研究所,郑州 450003)

摘 要

在小麦晚霜冻害定量评估和遥感定量监测中,需要不同空间尺度的冬小麦发育期网格资料。该文以河南省为研究区域,根据大气的物理特性,提出一种机理性强、考虑地形、基于位温的气象资料的小网格推算方法,并在小麦发育期小网格推算中具体应用。首先根据河南省不同气候类型,对其进行生态分区;利用二十多年小麦发育期观测资料,分别建立不同分区内小麦返青-拔节期积温数理方程;在内插资料时为了考虑海拔高度的影响,在 ARCGIS 软件支持下,利用位温方程和状态方程,通过推算出小网格上的位温、计算不同海拔高度下气压等气象要素,进而推算小网格上的气温资料,最后依据小麦发育期积温模型,推算与遥感监测资料相匹配(分辨率为 1.1 km × 1.1 km)的小麦拔节期网格资料。结果表明:利用此种方法推算的小麦发育期平均绝对误差在 2 d 左右,在小麦晚霜冻害监测允许的误差范围内;通过推算位温、气压等方法间接推算气温再推算小麦的发育期,较不考虑海拔高度直接内插气温及其他进行高度订正的方法误差有所减小。

关键词: 生态分区; 位温; 格点化; 小麦发育期

引 言

为了定量评估和遥感监测小麦晚霜冻害,往往需要与之相匹配的小麦发育期网格资料,而要计算小麦发育期的小网格资料,必须知道网格上的气温资料。有关小网格气温资料推算方面的研究已有一些研究成果^[1-7],大部分成果研究了不同插值算法对插值结果的影响,在逐日气温插值研究中,刘宇等^[8]、杨昌军等^[9]考虑了海拔高度对气温的影响,并假设温度的递减率为一固定值,虽较不考虑地形影响有所进步,但假设温度的递减率为一固定值会引起一定误差。本文根据大气的物理特性,提出一种基于位温的气象资料小网格推算方法,此种方法机理性强,气温资料推算精度有所提高。根据推算结果,再推算小麦发育期的小网格资料,以实现小麦冻害遥感定量监测与评估。

1 资料来源和技术思路

多年小麦发育期观测资料和逐日气象资料均来

自河南省气象局气候中心,地理高程资料和 1:25 万电子地图来自于国家基础地理信息中心,地理信息系统软件为 ARCGIS。

根据河南省的气候特点,利用 ARCGIS 软件把河南省的小麦种植区分为 5 个生态区,利用多年小麦发育期监测资料,以拔节期为例,建立不同生态分区内的小麦返青-拔节期积温数理模型;再通过推算每个网格点上气温资料,利用气象指标得到小网格上的小麦返青期,进而推算小网格上的小麦拔节期。在内插气象资料时,为了考虑海拔高度的影响,采取以下思路:根据大气的物理特性,春季河南省的空气湿度较低,可以认为不同下垫面空气的位温不随海拔高度变化,利用已知各气象站的气温、气压资料,根据位温方程和静力方程通过计算其位温,在 GIS 系统支持下对位温资料进行内插,再根据河南省数字高程资料计算不同海拔高度上小网格上的气压,推算小网格上的气温资料,最后利用建立的不同分区小麦发育期积温模型,推算小网格上的小麦发育期,并对比不考虑海拔高度及其他推算方法的误差。

* “十一五”科技支撑项目“农业重大气象灾害监测预警与调控技术研究”第 9 课题(2006BAD04B09)、中国气象局新技术推广项目“冬小麦冻害遥感监测方法与评估技术研究”(CMATG2006M39)和河南省气象局项目(Z200504)共同资助。

2007-04-04 收到,2007-09-29 收到再改稿。

2 不同分区小麦返青-拔节期间的积温模型

河南省地形复杂,地势西高东低,气候为北亚热带向暖温带气候过渡的大陆性季风气候。豫北大部分属于海河流域,豫中属于淮河和黄河流域,豫南属于淮河流域,豫西南属于长江流域,南北各地年降水、气温、日照等气象要素差异比较明显^[10]。东西地势差异大,豫中、豫东多以平原为主,豫西以山区为主,豫西与豫中之间的地区多以丘陵为主,最高海拔高度与最低海拔高度相差超过 2000 m,由于各地的地形及气候差异较大,冬小麦的品种分布也有差异,因此将河南省分为不同的小麦气候生态区域。参考“河南省农业气候资源区域特征及其合理利用研究”中的冬小麦气候生态区划,并考虑气候与地形的差异,利用 ARCGIS 软件,将河南省分为 5 个不同的小麦气候生态区域,其中:Ⅰ区(豫北):黄河以北,多以冬性品种为主;Ⅱ区(豫西):山区,以冬性、半冬性品种混杂区;Ⅲ区(豫中):平原区,多以半冬性品种为主;Ⅳ区(豫东):平原区,多以半冬性品种为主,此区易发生晚霜冻害;Ⅴ区(豫南):多以春性、弱春性品种为主。为了推算网格上的小麦发育期,根据小麦不同气候生态分区建立不同的小麦返青-拔节的积温模型。

研究成果表明,在其他条件基本满足的前提下,温度对作物的发育进程起主导作用。因此,建立作物发育进程与期间平均温度的积温模型,就可以用温度来推算作物的发育期^[11]。其方程为:

$$D_i = D_{i-1} + \frac{A}{\bar{T} - t_0} \quad (1)$$

式(1)中, D_i 为要推算的小麦发育期,在本文中为小麦的拔节期; D_{i-1} 为已知的前一个发育期,本文为小麦的返青期; A 为返青-拔节期间的不小于 t_0 的有效积温; \bar{T} 为两个发育期间的平均气温; t_0 为冬小麦两个发育期间的最低生育界限温度。根据豫中郑州站 20 多年冬小麦发育期观测资料,利用式(1),推算出冬小麦返青-拔节期最低生育界限温度为 $t_0 = 2.5 \text{ } ^\circ\text{C}$ 。然后,再利用多个监测点近 20 年的冬小麦发育期观测资料和与之相对应的逐日气温资料,建立不同气候生态分区内小麦返青-拔节之间的天数(Y)与期间平均气温(\bar{T})之间的积温模型,列于表 1。

表 1 不同分区冬小麦返青-拔节期间的积温模型

Table 1 The accumulative temperature model of winter wheat between turning green and jointing in different regionalization

分区	数理方程	相关系数
豫北	$Y = 172.81 / (\bar{T} - 2.5)$	0.7654*
豫中	$Y = 165.07 / (\bar{T} - 2.5)$	0.7683*
豫东	$Y = 171.79 / (\bar{T} - 2.5)$	0.7227*
豫西	$Y = 172.77 / (\bar{T} - 2.5)$	0.7708*
豫南	$Y = 170.48 / (\bar{T} - 2.5)$	0.7988*

注: * 表示通过 $\alpha = 0.05$ 的显著性检验。

3 基于位温的气温的小网格推算

3.1 小网格直接内插算法

对于气象要素的内插,在地理信息系统中一般采用距离加权平均法进行^[12-13],计算公式为:

$$T_{i,j} = \sum_{k=1}^n T_k d_k^{-2} / \sum_{k=1}^n d_k^{-2} \quad (2)$$

式(2)中, T_k 为网格点邻近的第 k 个气象站的气象要素值, d_k^{-2} 是网格点到邻近的第 k 个气象站距离平方的倒数值,即距离权重, n 为网格点邻近的气象站的个数,一般取 3~5 个即可。从公式可知,网格点与某个气象站的相对位置越是接近,其数据的相似性越强,这比较符合天气学规律。本文中各种资料网格取与冬小麦晚霜冻害遥感监测资料相同,网格大小为 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 。

3.2 气温资料的小网格推算

气温资料一般采用小网格直接内插的方法获得,但各地的气温与所处的海拔高度、纬度、经度等要素有关,通常的内插并不考虑每个网格点的海拔高度,但对于河南省这样地势差异较大的地区,势必造成一定误差。

为了考虑海拔高度对内插资料的影响,本文从大气物理特性出发来解决这个问题。根据边界层气象学理论,在绝热过程中干燥空气(河南省春季空气湿度较低,假设空气是干燥的)位温不随海拔高度变化而变化,而位温与气温、气压之间有很好的数理关系,因此考虑由已知气象站的气温、气压资料,换算成位温资料,利用 ARCGIS 软件,通过内插得到海平面上的网格点位温资料,并由静力平衡方程推出不同网格点的气压资料,在气压推算中考虑了海拔高度的影响^[14]。推算公式如下:

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{0.288} \quad (3)$$

式(3)中, p_0 为海平面气压, 取为 1000 hPa; p 为某站点上的气压, 对于各气象站, 即为本站气压, 对于各网格点, p 由静力平衡方程得到:

$$p = p_0 - \rho g H / 100 \quad (4)$$

$$\rho = \frac{p_0}{R_d \theta} \quad (5)$$

式(4)和(5)中, g 为重力加速度, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$; H 为海拔高度, 由河南省数字高程图得到; ρ 为海平面上的干空气密度, 考虑到海平面上位温与气温相等, ρ 可由理想气体状态方程(5)给定, 其中 R_d 取 $287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, ρ 代入静力平衡方程时, 假定 ρ 不随海拔高度发生变化。

3.2.1 位温的小网格推算

通过有关程序将河南省 117 个站逐日气温和气压资料从数据库中提取出来, 根据式(3)换算成相应点的位温, 在 ARCGIS 软件支持下, 利用式(2)的内插方法, 得到各网格点上的位温, 再利用直接内插方法形成栅格资料。

3.2.2 空气密度 ρ 的小网格推算

3.2.1 中已推算出网格点上的位温, 利用状态方程, 计算出每个网格点上的 ρ 。 ρ 的小网格推算主要利用状态方程:

$$p = \rho R T \quad (6)$$

由于假设某一点的 ρ 不随海拔高度发生变化, 令 p 为海平面气压, 则在海平面上 T 与位温 θ 相同。网格上位温 θ 已在 3.2.1 中推算出来, 则网格点的 ρ 利用式(6)计算得到。

3.2.3 海平面气压的小网格推算

3.2.2 中已推算出网格点上 ρ , 根据气压静力学平衡方程(4)可计算出每个网格点上的逐日气压 p' ; 利用河南省 117 个气象站逐日观测气压, 计算出各气象站观测气压与用静力学平衡方程得到的气压之间的差值 $\Delta d'$, 将 $\Delta d'$ 内插得到每个网格点上, 经过订正, 网格点上的气压为 $p = p' + \Delta d'$ 。利用该方法得到网格点气压栅格图(图略)。

经验证, 2002 年逐日平均绝对误差在 $-0.04 \sim -3.15 \text{ hPa}$, 2001 年平均绝对误差在 $0.11 \sim 3.44 \text{ hPa}$, 大部分气象站误差不到 1 hPa , 靠近边界且海拔高的地方, 误差相对大些, 可见此种小网格推算气压法精度比较高。

3.2.4 气温的小网格推算

由上文可推算出网格上的气压和位温, 利用式(3), 可推算出小网格上的气温(简称间接推算法)。

为了验证间接推算的气温与其他推算方法之间的误差, 在已知的 117 个气象站资料中, 留出 14 个气象站不参与推算, 用于误差检验。推算 2001, 2002 年从 1 月 21 日—4 月 30 日的资料, 本文取 1 月 20 日—2 月 9 日的推算资料进行检验, 同时与直接推算法及文献[8-9]的方法进行误差对比。

从表 2 中可以看出, 14 个气象站两年的气温间接推算平均绝对误差小于 0.36, 比文献[8-9]的绝对误差要小。可见, 这种考虑地形, 基于位温的推算方法机理性强, 推算结果精度较高。

表 2 逐日平均气温间接推算法与其他推算法的误差对比

Table 2 Error comparison of average temperature daily between indirect calculation and direct calculation

推算方法	绝对误差/℃
间接推算法	< 0.36
直接内插法	0.534
文献[8]推算法	0.6847
文献[9]推算法	0.44

4 基于位温的小麦发育期的小网格推算

4.1 冬小麦返青期的小网格推算

第 3 章中已推算出小网格上的气温, 要推算小麦的拔节期, 首先要知道网格点上的小麦返青期。由于小麦播种时间及各地的气候条件有差异, 造成各地小麦的返青期不同, 即每个网格上的小麦发育期不完全相同。若假设相同分区内各网格上的小麦发育期相同, 会造成一定的误差, 达不到客观定量监测冻害的目的。因此推算出每个网格上的小麦返青期, 为推算小网格上的小麦拔节期提供初始值。

每个格点上的小麦返青日期可根据农业气象指标推算: 当日平均气温稳定通过 $0 \text{ }^\circ\text{C}$ 的后 4 d 定为小麦返青期^[15]。依据这个标准, 再利用已推算出的小网格逐日气温, 利用 ARCGIS 软件, 依据气象指标, 进而推算出网格上的小麦返青期, 并形成小麦返青日期栅格图(图略)。

4.2 冬小麦拔节期的小网格推算

首先判断网格点所在的区域, 由推算出的网格点上小麦返青期和逐日气温(T_i), 计算返青日期到推算日之间的平均温度(\bar{T}), 逐日代入表 1 积温模型, 验证方程是否平衡, 若方程不平衡, 继续后推, 每推算 1 d, 对方程进行验证 1 次, 循环推算, 直到方程

平衡或接近平衡,则把方程达到平衡的那一天定为该网格上的拔节期。同理推出其他网格上的小麦拔

节日期,最后生成小麦拔节期栅格图(图1),可供在冬小麦晚霜冻害监测中调用。

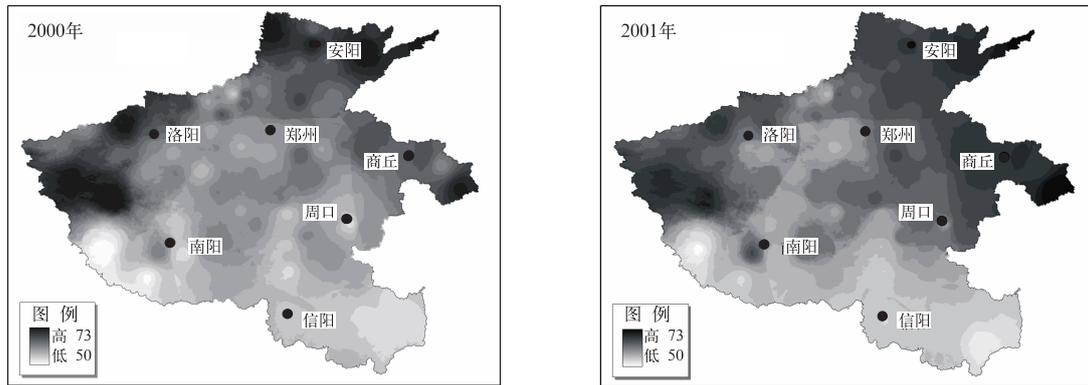


图1 小麦拔节期的小网格推算图

Fig. 1 Distribution of grids calculation in wheat jointing stage

推算的小麦拔节期的小网格资料与观测值之间的误差有正有负(表略),平均误差为2.2 d,大部分网格点误差在1~3 d内,14个检验资料中仅有1个误差为5 d。而冬小麦晚霜冻害指标中不同等级冻害的天数跨度为5 d,大部分站点的误差在此范围内,基本上不影响晚霜冻害的统计结果。

5 问题与结论

通过以上计算和分析,得出以下结论:

1) 基于位温的间接推算法,机理性强,误差较直接推算法及其他考虑海拔的小网格推算法有所减小。

2) 在推算小麦拔节期时,利用气象指标推算出每个网格点的小麦返青日期,较假定相同气候区域内各网格点上的返青日期相同,理论更严谨,误差更小。

3) 从最后推算出的网格点上小麦拔节期空间分布图来看,网格点上小麦拔节期在空间分布上有一定差异;推算出的小麦拔节期误差在2 d左右,在晚霜冻害遥感监测的允许误差之内。

但上述方法也存在不足之处:

1) 在基于位温间接推算逐日气温时,为了考虑不同海拔高度的影响,先推算网格上的位温,再换算成网格上的气温,在位温和气温的关系中,假设为干空气,不考虑湿度的变化,从而会引起一定的误差,今后应进一步改进和完善。

2) 同一分区内所有格点采用一样的拔节期推算方程,此方程由区内代表站资料推算得到,会引起一定的误差,即推算方程的代表性是影响小麦拔节

期推算结果准确性的一个主要原因。

参考文献

- [1] 蔡福,于贵瑞,祝青林. 气象要素空间化方法精度的比较研究. 资源科学,2005,27(5):173-179.
- [2] 林忠辉,莫兴国,李宏轩,等. 中国陆地区域气象要素的空间插值. 地理学报,2002,57(1):47-56.
- [3] 朱求安,张万昌,余钧辉. 基于GIS的空间插值方法研究. 江西师范大学学报(自然科学版),2004,28(2):183-188.
- [4] 汪学兵,柳玲,吴中福. 空间内插方法在GIS中的应用. 重庆建筑大学学报,2004,26(1):35-39.
- [5] 谭继强,丁明柱. 空间数据插值方法的评价. 测绘与空间地理信息,2004,27(4):11-14.
- [6] 岳文泽,徐建华,徐丽华. 基于地统计方法的气候要素空间插值研究. 高原气象,2005,24(6):974-980.
- [7] 袁爱民,王建源. 气候要素栅格化技术方法研究. 气象,2006,32(6):111-115.
- [8] 刘宇,陈泮勤,张稳. 一种地面气温的空间插值方法及其误差分析. 大气科学,2006,30(1):146-152.
- [9] 杨昌军,陈渭民,罗玲,等. 高斯权重法在温度场插值中的应用研究. 南京气象学院学报,2004,27(5):606-614.
- [10] 程炳岩. 河南气候概论. 北京:气象出版社,1995:1-2.
- [11] 王馥棠,冯定原,张宏铭,等. 农业气象预报概论. 北京:农业出版社,1991:203-211.
- [12] 樊红,翟建军. Arcview GIS应用与开发技术. 武汉:武汉大学出版社,2003:80-82.
- [13] 殷建敏,魏丽,王怀清. 两系杂交稻制种基地气候风险评估的研究. 应用气象学报,2001,12(4):469-477.
- [14] Roland B Stull. 边界层大气物理学. 北京:气象出版社,1991:7-12.
- [15] 韩湘玲. 农业气候学. 太原:山西科学技术出版社,1999:218-232.

Estimation of Wheat Development Periods on a Grid Scale upon Potential Temperature

Zhang Xuefen¹⁾²⁾ Wang Chunyi²⁾ Chen Dong²⁾ Zou Chunhui³⁾ Chen Huailiang³⁾ Fu Xiangjian³⁾

¹⁾ (*Atmospheric Observation Technology Center, CMA, Beijing 100081*)

²⁾ (*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

³⁾ (*Henan Institute of Meteorological Sciences, Zhengzhou 450003*)

Abstract

Wheat development period (WDP) data of different scales on grids are necessary in monitoring by remote sensing and quantitative assessment during late freezing. Taking Henan Province as an example, the calculation of WDP on grids is proposed upon potential temperature by GIS considering the elevation of different grids, which is a strong mechanism. At first, it is divided into five different ecological regions according to different climatic types, which is I area (the north of Henan), II area (the west of Henan), III area (the middle of Henan), IV area (the plain in eastern Henan) and V area (the south of Henan), respectively. The equation of accumulated temperature (E-AT) between turning green and jointing is constructed based on more than two decades WDP records. To consider the effect of elevation upon interpolation, equations of potential temperature and state as well as ARCGIS software are used to calculate grid potential temperature; to reckon air pressure etc. on grids; to deduce grid temperature data based on the above results; to perform winter wheat elongation stage on grids which are matched with remote sensing data according to E-AT at last. The results show that the method to calculate WDP indirectly has much new idea and strong mechanism; the way to perform data of wheat turning green in grids by means of meteorological index is more theoretical and accurate than that of setting the same date of WDP in the same climatic region during the calculation of WDP; the error resulting from this method is two days or so, and is within the permitted error which is about 5 days during monitoring wheat late freezing; the error by the indirect way to calculate WDP after obtaining potential temperature and air pressure is lower compared with results from directly interpolating temperature and other ways considering terrain height. And the result can be used during monitoring late frost by remote sensing.

Key words: ecologically divided region; potential temperature; gridding; wheat development period