

环境因子有效性与春小麦生育期模型的建立^①

潘志华^② 龚绍先
(资源与环境学院)

摘要 研究指出:在影响春小麦生育期的众多环境因子中,温度是主导因子,其他环境因子的作用表现在对温度有效性的影响上。求出了各阶段的环境因子有效性系数,该系数能够综合定量地衡量环境因子对生育期的影响程度。提出了当量积温为环境因子有效性系数与活动积温乘积的概念。认为在环境因子不能满足的情况下,春小麦完成发育要求一定的当量积温。因春小麦不同生育阶段要求不同的环境条件,采用逐步订正法建立了生育期动态预报模型。该模型预报精度高。

关键词 环境因子有效性系数; 当量积温; 春小麦生育期模型

中图分类号 S165.21; X17

Effectiveness of the Environmental Factors and Growth Stage Model for Spring Wheat

Pan Zhihua Gong Shaoxian
(College of Resources and Environment)

Abstract Temperature is the leading factor and the other factors which affect spring wheat growth stage influence mainly the effectiveness of temperature. A concept of environmental factors effectiveness coefficient is raised, and the environmental factors effectiveness coefficient of every stage of spring wheat is worked out which can measure the extent of effect on growth stage. Based on the study above, another concept of equivalent accumulated temperature is suggested that equals the product of the accumulated temperature multiplied by the corresponding environmental factors effectiveness coefficient. also, a conclusion is drawn that spring wheat need certain amount of equivalent accumulated temperature to finish its development if its demand for environmental factors could not be met. Considering the different environmental condition required in different growth stage, a growth stage dynamic prediction model is built by means of correcting step by step, and its prediction accuracy looks much higher.

Key words environmental factors effectiveness coefficient; equivalent accumulated temperature; spring wheat growth stage model

收稿日期: 1996-10-14

①国家“八·五”科技攻关项目“内蒙古武川旱农实验区农林牧持续发展研究”的资助。

②潘志华,北京圆明园西路2号中国农业大学(西校区),100094

积温学说指出,在其他条件基本满足的前提下,温度对发育起主导作用,并且作物完成发育要求一定的积温。因此在以前,人们往往简单地运用积温的多少来衡量作物生育期的长短,并且此法在生产实际中发挥了较大的作用。然而,许多研究已经表明,小麦生育期过程包含全部所需的环境条件及其反应^[1~6]。金善宝等^[2~4]研究得出,环境因子中的日均温、日温差、日均可照时数、总降水量、相对湿度等对生育期均表现出影响效应,并得出它们对生育期长短的贡献大小是日均温>日可照时数>日均相对湿度>总降水量;刘汉中等^[1]认为影响作物发育的因子是综合的,如果坚持认为温度是影响发育的主导因子,那么在许多情况下需要对积温公式进行必要的订正。

我们在内蒙武川多年对春小麦(品种为克旱6号)生育期的观察研究发现,春小麦全生育期及各个生育阶段所累积的积温在不同的年份不同的环境条件下表现出较大的波动(表1),水分较多的1988年比前期极其干旱的1995年少用了114.3度·日的积温。这说明环境因子对生育期的作用非常明显。

本研究的目的是寻求影响生育期长短的主要环境因子及其影响规律,并建立高精度的生育期预测模型。

表1 内蒙武川旱农试验区春小麦生育期积温变化(度·日)

年 份	播种—出苗	出苗—分蘖	分蘖—拔节	拔节—抽穗	抽穗—成熟	全生育期
1988(多雨年)	182.7	327.9	234.6	325.5	944.2	2 014.9
1989(干旱年)	263.6	347.9	228.6	335.1	914.5	2 089.7
1993(正常年)	202.4	339.4	236.9	334.4	935.6	2 048.7
1995(干旱年)	279.8	344.0	223.7	339.8	941.5	2 126.2

1 影响生育期长度的环境因子选择及其影响规律

1.1 环境因子的选择

农业生产的基本环境因子是光、温、水、气、肥。这五大因素缺一不可,而又不能相互代替。产量的高低是由最低限制因子所决定的。在试验区现有生产条件下,光、温、气三个因子可以满足正常年景的需要,只有水和肥是限制因子,在相同的肥力水平下,水成了主要限制因子。由于环境因子的相互牵连作用,水分胁迫后常常导致其他环境因子发生相应的变化。小麦是长日照作物,对日长相当敏感。水分的多少导致春小麦生育期提前或推迟,这就使得小麦各个生育阶段处在不同的日长环境中,日长的长短反过来又对生育期的长短发生作用。本试验研究了光、温、水三大因子对生育期的影响。

温度直接影响着春小麦的生长和发育,是小麦生育期长短的主导因素^[1]。

在描述水分的众多因子中,土壤水分是中心。因为绝大多数农作物对水分的需求都是通过土壤水来实现的,无论是大气降水、地表水还是地下水都要转化为土壤水才能为作物利用。土壤水分状况不仅直接影响着农作物的生理活动,而且影响着农作物的生存环境条件。在干旱半干旱地区,土壤水分成为作物生长发育、产量形成的主要限制因子。

春小麦是长日照作物,光时、光强对其生长均表现出影响效应,但光时的影响远远大于光强的影响^[2,4]。为此我们选择日长作为影响生育期的主要光因子。

上述三个因子基本包括了农业气象的三大基本要素,能够基本反映环境条件的变化对生育期的影响。

1.2 影响规律

根据春小麦生长发育的阶段性理论,结合该地区的气候特点,我们发现:从小麦播种一出苗及从出苗一分蘖是小麦的春化阶段,影响因素主要是温度和土壤湿度,分蘖以后小麦生长进入光照阶段,日长的影响非常明显,从而影响因素增加为温度、土壤湿度和日长。由于生育期是小麦生长发育的时间特征量,它的长短可以用积温多少来衡量,为此我们分析了各生育阶段的影响因子与积温的相关关系(表 2)。

表 2 各生育阶段环境因子与积温 AT 的相关分析

生育期	影响因子	回归方程		相关系数	F 检验值
播种一出苗	土壤湿度 (W)	$AT=489.8577-23.6996 \cdot W$	$5.73 < W \leq 12.92$	0.9058	19.165
		$AT=-122.5388+23.6996 \cdot W$	$12.92 < W < 20.11$		
出苗一分蘖	土壤湿度	$AT=176.4323+12.7283 \cdot W$	$5.81 < W \leq 13.81$	0.9762	40.584
		$AT=527.9879-12.7283 \cdot W$	$13.81 < W < 21.81$		
分蘖一拔节	土壤湿度 日长(DL)	$AT=9945.805+1.354 \cdot W-753.125 \cdot DL$	$6.23 < W \leq 14.23$	0.9620	36.132
		$AT=9984.345-1.354 \cdot W-753.125 \cdot DL$	$14.23 < W < 22.23$		
拔节一抽穗	土壤湿度 日长	$AT=15812.32+8.788 \cdot W-1207.16 \cdot DL$	$9.76 < W < 15.16$	0.9219	27.074
		$AT=16078.78-8.788 \cdot W-1207.16 \cdot DL$	$15.16 < W < 20.57$		
抽穗一成熟	土壤湿度 日长	$AT=1100.58+11.18 \cdot W-25.864 \cdot DL$	$8.55 < W < 15.67$	0.9939	40.863
		$AT=1450.82-11.18 \cdot W-25.864 \cdot DL$	$15.67 < W < 22.79$		

注:(1)土壤湿度 W 为土壤质量含水量,其取值为:播种一出苗取 20 cm 的平均土壤湿度(%),出苗一拔节取 50 cm 的平均土壤湿度(%),拔节以后取 100 cm 的土壤湿度(%)

(2)以上各式都达到 0.01 水平显著性相关

由上表可知,各阶段环境因子与积温的相关系数都在 0.9 以上,相关极显著。这充分说明环境因子对生育期影响的存在性。以上方程同时表达了环境因子对积温的影响规律。

2 环境因子的有效性与当量温度

从环境因子对积温的影响规律可以看出,环境因子的不同组合及量的变化将导致生育期(积温)的变化。一般说来,作物的生长发育存在着一个最佳状态,即在最佳环境因子组合下作物生长发育所处的状态,能获得最高产量。若定义这种状态下作物生长发育所要求的积温为最适积温,则将春小麦各生育阶段最适的土壤湿度、最适日长分别代入上述相关方程,便可求得。我们通过模拟产量和各阶段环境因子的相互关系确定了实验区春小麦各生育阶段的最适环境因子量值,由此我们确定了最适积温(表 3)。

表3 春小麦各生育阶段要求的最适环境因子量值与最适积温

生育期	播种—出苗	出苗—分蘖	分蘖—拔节	拔节—抽穗	抽穗—成熟
土壤湿度/%	12.92	13.81	14.23	15.16	15.67
日长 t/d	—	—	12.927 1	12.927 1	12.628 7
最适积温	183.66	352.28	229.22	340.55	949.07

然而,在实际情况中环境因子一般达不到春小麦生长发育的最佳状态,而使生育期长度比最适时短或者长,实际生育期比最适生育期长说明环境因子对生育期表现出延迟效应,反之表现出缩短效应。由此我们用最适积温与实际积温的比值来反映环境因子对生育期的作用,即:

$$F = \text{最适积温} / \text{实际积温} = AT_0 / AT \quad (1)$$

F 是与环境条件有关的系数。 $F=1$,则环境条件为最佳状态; $F<1$,环境条件表现出延迟效应; $F>1$,环境条件表现出缩短效应。

将上式作一变形,有 $AT_0 = F \cdot AT$ (2)

此式表明 F 是把 AT 换算为 AT_0 的换算系数,这与文献^[6]中(3)式的形式完全一致,但该文献单纯考虑温度强度的影响,并把 F 称为温强系数。这里不去考虑温度本身有效性的影响,重点研究环境条件的影响。如果认为最适积温对春麦的生长发育、产量形成最为有效,则此式的内含是:在不考虑温度本身有效性的情况下,环境条件对积温的影响表现在对积温有效性的影响上。为此我们称系数 F 为环境因子对积温有效性的影响系数,简称环境因子有效性系数。

由于 AT 是逐日温度累积,令逐日平均温度为 t ,则有:

$$AT_0 = \sum ft \quad (3)$$

f 是逐日环境因子有效性系数,令 $t_0 = f \cdot t$ (4)

很显然, t_0 为在当日环境条件影响下对作物生长发育发生作用的有效温度,即当量温度,它的具体含义是:在多种环境因子共同影响作物生育期时,其他因子对作物生育期的影响表现在对温度有效性的影响上。这里的当量温度综合考虑了环境因子的影响,拓宽了文献^[6]中只考虑温强影响下当量温度的内涵。

当量温度的累积称之为当量积温。从这种意义上讲,在不同的环境条件下春小麦完成发育要求的当量积温与它在最适环境条件下完成发育的最适积温是相等的,这便是(2)式的具体描述。由此我们可以得出:①在环境条件满足(最适环境条件)的情况下,作物发育要求一定的积温(最适积温)。②在环境条件不满足的条件下,作物完成发育要求一定的当量积温。

环境因子有效性系数与当量积温的提出为建立春小麦生育期模型奠定了基础。

3 逐步订正法与生育期模型的建立

春小麦生长发育的阶段理论指出:春小麦的生长发育具有阶段性,并且在不同阶段要求不同的环境条件。因此,春小麦在不同的发育阶段有不同的环境因子有效性系数。据此我

们采用逐步订正法建立生育期模型。采用逐步订正预报方法既符合春小麦的阶段发育规律，又可以通过逐步修正预报模式的途径，考虑、估计并提取新的影响信息，输入新的影响因子，极大地提高预报准确率。

3.1 生育期的划分

根据春小麦的生育特点及当地的气候环境条件，这里把春小麦生育期划分为播种—出苗、出苗—分蘖、分蘖—拔节、拔节—抽穗、抽穗—成熟五个阶段(1,2,3,4,5)，这 5 个生育期分别要求不同的环境条件，既包括重要的质变过程，又有自然的衔接关系。为了便于模型运用，这里提出以下量化指标：播种 0；出苗 1；分蘖 2；拔节 3；抽穗 4；成熟 5。

3.2 各阶段环境因子有效系数求取

根据定义，可求得各阶段环境因子有效系数如下：

I. 播种—出苗

$$f_1 = \begin{cases} 0 & W \leq 5.73 \\ 183.66 / (489.8577 - 23.6996W) & 5.73 < W \leq 12.92 \\ 183.66 / (-142.4465 + 23.6996W) & 12.92 < W < 20.11 \\ 0 & W \geq 20.11 \end{cases}$$

表达式中约束条件的各个区间值分别为该生育阶段的土壤水分下限、最适和上限指标，下同。

II. 出苗—分蘖

$$f_2 = \begin{cases} 0 & W \leq 5.81 \\ 352.28 / (176.4323 + 12.7283W) & 5.81 < W \leq 13.81 \\ 352.28 / (527.9879 - 12.7283W) & 13.81 < W < 21.81 \\ 0 & W \geq 21.81 \end{cases}$$

III. 分蘖—拔节

$$f_3 = \begin{cases} 0 & W \leq 6.23 \\ 229.22 / (9945.8052 + 1.3542W - 753.1252DL) & 6.23 < W \leq 14.23 \\ 229.22 / (9984.3451 - 1.3542W - 753.1252DL) & 14.23 < W < 22.23 \\ 0 & W \geq 22.23 \end{cases}$$

IV. 拔节—抽穗

$$f_4 = \begin{cases} 0 & W \leq 9.76 \\ 340.55 / (15812.3232 + 8.7883W - 1207.1546DL) & 9.76 < W \leq 15.16 \\ 340.55 / (16078.7848 - 8.7803W - 1207.1546DL) & 15.16 < W < 20.57 \\ 0 & W \geq 20.57 \end{cases}$$

V. 抽穗—成熟

$$f_5 = \begin{cases} 0 & W \leq 8.55 \\ 949.07 / (1100.5826 + 11.1754W - 25.8639DL) & 8.55 < W \leq 15.67 \\ 949.07 / (1450.8160 - 11.1754W - 25.8639DL) & 15.67 < W < 22.79 \\ 0 & W \geq 22.79 \end{cases}$$

以上式中环境因子的取值为某一阶段的平均值,在预测模型中采用滚动平均值。

3.3 生育期模型的建立

根据以上原理及分析,可以确定春小麦播种后 n 天所处生育期 S 为:

$$S = \sum_{i=1}^{cf_1} \left(\left(\sum_{j=1}^{cf_2} f_{ij} t_j \right) / T_i \right)$$

i 表示生育阶段, j 表示第 i 阶段的第 j 天, f_{ij} 表示第 i 阶段第 j 天的环境因子有效性系数, t_j 表示第 i 阶段第 j 天的日平均温度, T_i 为第 i 阶段的最适积温, 式中第一求和符号用于计算生育期, 第二个求和符号用于累积当量温度, cf_1 为条件 $n \leq N$, n 为要累积温度的天数, cf_2 为条件 $\sum f_{ij} t_j - T_i \leq 0$, 计算时只要“ $\sum f_{ij} t_j - T_i$ ”一等于或大于 0, 则 i 值便自动加 1, f_{ij} , T_i 相应变成第 $i+1$ 阶段的环境因子有效性系数和最适积温, 并且第二个求和符号变为 $\sum f_{ij} t_j - T_i$ 的差值。我们称这种预报方法为当量积温预报法。

4 预报模型的检验及其与旧法的比较

我们用上述方法和从前的简单积温预报法分别进行 1995 年生育期预报(表 5)。

表 5 两种方法预报结果比较

生育期	当量积温预报法		简单积温预报法		实际出现日期
	预报日期	相对误差%	预报日期	相对误差%	
播 种	04-10		04-10		04-10
出 苗	05-20	0.0	05-17	10.8	05-20
分 蘖	06-10	0.0	06-07	8.7	06-10
拔 节	06-24	-1.8	06-21	6.0	06-23
抽 穗	07-11	0.0	07-10	1.8	07-11
成 熟	09-06	0.0	09-03	1.8	09-06
平 均	—	-0.36	—	5.82	—

注: * 简单积温预报法以多年平均积温为标准, 各生育阶段的多年

平均积温为 232.1, 339.8, 231.0, 330.1, 934.0。

* 相对误差 = (实际出现日的积温 - 预报日的积温) / 实际出现日的积温

另外, 我们选用了三个典型历史年份(多雨年, 1988; 干旱年, 1989; 正常年, 1993)的资料来验证上述两种预报方法, 结果为: 当量积温预报法的平均相对误差为 0.27%, 简单积温预报法的平均相对误差为 4.93%。可见, 当量积温预报法比简单积温预报法大大地提高了预报精度。可以相信, 如果更为精确地考虑影响生育期的环境因子, 以及除去模型计算过程中的累积误差, 模型误差减至零是有可能的。

5 结论

①环境因子对春小麦生育期长短表现出影响效应。在影响生育期的众多环境因子中,温度是主导因子,其他环境因子的作用表现在对温度有效性的影响上。文章提出并求出了各阶段的环境因子有效性系数,能够综合定量地衡量环境因子对生育期的影响程度。

②当量积温为环境因子有效性系数与活动积温的乘积。在环境因子不能满足的条件下,春小麦完成发育要求一定的当量积温。据此,并考虑到春小麦不同阶段要求不同的环境条件,文章采用逐步订正法建立了生育期动态预报模型,预报精度高。

参 考 文 献

- 1 刘汉中主编. 普通农业气象学. 北京:农业大学出版社, 1990
- 2 金善宝主编. 小麦生态理论与应用. 杭州:浙江科技出版社, 1992
- 3 金善宝主编. 中国小麦生态. 北京:科学出版社, 1991
- 4 金善宝主编. 小麦生态研究. 杭州:浙江科技出版社, 1989
- 5 冯秀藻, 陶炳炎主编. 农业气象学原理. 北京:气象出版社, 1991
- 6 沈国权. 当量积温及其应用. 气象, 1981, (7): 23~24

(上接第12页)

(3)新版数据库的特点:新库具有以下特点:①专业性强,信息量大。大部分信息来源于本校根瘤菌课题组长期的工作积累,记录了我国根瘤菌的特点。存贮信息包括:基本信息、采集信息、保藏信息、回接信息、参考文献、菌株特殊说明及上述新增加的五类信息,文字和图形信息依据特点分别存贮。目前本库已存入经分析研究的700余个菌株的信息。②与原库相比,新库可更好地利用高档微机的性能,界面清晰,操作简便快速,增加了安装和密码功能,保证了数据库的安全运行。③功能多,将存贮、查询和分析数据融为一体。数据库连接了必要的分析软件,如聚类分析软件、红外光谱数据与谱图自动转换和分析软件、16SrRNA基因序列比较分析软件等。

根瘤菌资源数据库经改造和更新后,更加适应根瘤菌研究的需要。从保护我国资源和信息交流两方面考虑,本课题组正着手构建英文版上网数据库。