

## 温度影响新疆地区棉花发育速度的模拟研究

张建华

(新疆气象科学研究所, 乌鲁木齐 830002)

**摘要** 以棉花生物学特性为依据, 利用多地点、多品种的常规农业气象观测资料, 建立了包含温度、品种因子的发育期模拟模型。结果表明, 本模型能较好地反映温度对不同品种棉花发育速度的影响, 可为棉花发育期预报及大田生产管理提供一定的科学依据。

**关键词** 棉花, 发育速度, 温度, 模拟模型

**分类号** S165.21

建立作物发育速度与环境因子关系的数学模型有以下几个目的: (1) 预测发育期, 指导田间管理(灌溉、施肥)、作物收获等; (2) 解释某环境因子对作物发育速率的影响; (3) 估算作物发育对特定环境因子的反应; (4) 利于描述光合产物在各器官之间的分配与转移规律。

作物发育主要受生物学特性及环境因素的影响, 在环境因素中以温度的影响最大, 关于温度对作物发育影响的研究也最多, 其中最早、最普遍的是积温法(A F de Reaumur, 1735), 后来许多学者又提出了温度非线性模型<sup>[1-3]</sup>。在这些模型中均未考虑品种因子, 建立模型时, 是以一个一个品种分别模拟, 利用模型参数的不同描述品种之间的差异, 影响了模型的普适性。

本文在前人研究<sup>[2,4,5]</sup>的基础上, 选用新疆 23 个棉花气象监测台站(涉及南疆、北疆、东疆棉花主产区) 1980 年~1993 年的农气表-1 资料, 包括 21 个棉花品种的生育、考种资料及相应时段的气象资料(各台站地理位置基本情况见表 1)。其中, 特早、早熟陆地棉品种主要有新陆早 1 号、新陆早 2 号、新陆早 3 号、861; 早中熟陆地棉品种主要有新陆中 1 号、新陆中 2 号、新陆中 3 号、军棉 1 号、大铃棉、巴州 172、1470、108Φ等; 早、中熟长绒棉品种主要有新海 3 号、新海 5 号、新海 6 号、新海 7 号、新海 9 号、新海 11 号、685、7748、军海 1 号。

首先建立一个温度模型, 然后嵌入棉花品种熟性指数, 建立包含温度、品种共同影响的棉花发育速度模型。

表 1 各站的地理位置和品种类型

Table 1 Geography of the cotton observation stations with the varieties

测站	北纬	东经	海拔高度(m)	品种类型
博乐	44 54	82 04	531.9	特早、早熟
炮台	44 51	85 15	336.4	特早、早熟
莫索湾	44 48	86 24	358.8	特早、早熟

续表 1

测站	北纬	东经	海拔高度(m)	品种类型
精 河	44 37	82 54	320.1	特早、早熟
乌 苏	44 26	84 40	478.7	特早、早熟
乌兰乌苏	44 17	85 49	468.2	特早、早熟
鄯 善	42 51	90 14	377.8	中早熟长绒棉
东 坎	42 50	89 15	- 49.1	中早熟长绒棉
哈 密	42 49	93 31	737.9	中、早熟
轮 台	41 47	84 15	976.1	中、早熟
库尔勒	41 45	86 08	931.5	中早熟长绒棉
库 车	41 43	82 57	1 099.0	中、早熟
阿克苏	41 10	80 14	1 103.8	中、早熟
阿拉尔	40 30	81 03	1 012.2	中、早熟
巴 楚	39 48	78 34	1 116.5	中、早熟
喀 什	39 28	75 59	1 288.7	中、早熟
阿克陶	39 09	75 57	1 324.3	早熟
若 羌	39 02	88 10	888.3	中、早熟
莎 车	38 26	77 16	1 232.1	中、早熟
且 末	38 09	85 33	1 247.5	早熟
叶 城	37 55	77 24	1 360.6	中、早熟
和 田	37 08	79 56	1 374.6	中、早熟
于 田	36 52	81 40	1 427.0	中、早熟

## 1 模型的建立

### 1.1 温度影响的基本模型

植物生理学研究表明,植物体发育速度对温度的响应与植物体内的酶促反应速度对温度的响应具有非常的相似性,都具有非线性关系。也就是说,植物发育存在3个基点温度(下限温度、适宜温度、上限温度),在植物发育的下限温度至适宜温度范围内,温度愈高,发育速度愈快;在适宜温度范围内,发育速度最快;而在适宜温度以上至上限温度之间,发育速度则随温度升高而减小;在下限温度以下或上限温度以上,植物发育速度为零,即停止发育。本文提出的温度影响棉花发育速度的基本模型为

$$V = \frac{1}{N} = \frac{dM}{dt} = e^K (F(T))^P \quad (1)$$

$$F(T) = \begin{cases} \left(\frac{T - T_L}{T_0 - T_L}\right)^{T_0 - T_L} & \text{当 } T_L \leq T \leq T_0 \\ \left(\frac{T_H - T}{T_H - T_0}\right)^{T_H - T_0} & \text{当 } T_0 \leq T \leq T_H \\ 0 & \text{当 } T > T_H \text{ 或 } T < T_L \end{cases}$$

其中,  $N$  为特定生育期的天数;  $M$  为该生育期内的生育进程,完成该生育期时,  $M = 1$ ;  $V$  为该

生育期内的发育速率;  $P, K$  为模式参数;  $P(T_0 - T_L)$  称增温促进系数, 其值大, 说明在下限温度到最适温度范围内, 增温对发育速度的促进作用大, 反之则小;  $P(T_H - T_0)$  称为高温抑制系数, 其值大, 说明在最适温度到上限温度范围内, 增温对发育速度的抑制作用大, 反之则小;  $K$  称基本营养系数;  $T_L, T_H, T_0$  分别为作物发育的下限温度、上限温度、最适温度;  $T$  为某发育期内平均温度。

由上式可见,  $F(T)$  能正确描述温度对植物发育速度影响的非线性关系, 有明显的生物学意义; 增温促进系数和高温抑制系数的差异主要由  $(T_0 - T_L)$  项和  $(T_H - T_0)$  项决定, 如果  $(T_0 - T_L)$  大于  $(T_H - T_0)$ , 则增温促进系数大于高温抑制系数, 反之, 则增温促进系数小于高温抑制系数。

## 1.2 将品种因子嵌入基本模型

(1) 棉花品种熟性指数 棉花不同熟性品种间生育期天数相差较大(新疆棉花播种至吐絮一般需 120 d ~ 170 d 左右), 即使熟性相同的品种, 对陆地棉、长绒棉来说, 生育天数也不一样, 在各个发育阶段的天数变化就更复杂。因此在分析温度对棉花发育速度的影响时, 不能忽略品种熟性的差异。

作者在文献 [6] 的基础上曾经提出一个棉花品种熟性指数( $H_{ij}$ ) 的计算式

$$H_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i}, \quad N_i = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M N_{ij}, \quad N_{ij} = \frac{1}{n_{ij}} \sum_{t=1}^{n_{ij}} N_{ijt}$$

其中,  $H_{ij}$  为  $J$  品种在第  $i$  发育阶段的品种熟性指数;  $N_i$  为  $M$  个品种第  $i$  生育期天数的平均值;  $N_{ij}$  为  $J$  品种第  $i$  生育期天数的平均值;  $n_{ij}$  为  $J$  品种第  $i$  生育期天数的样本数;  $N_{ijt}$  为  $J$  品种第  $i$  生育期第  $t$  样本的天数。

由上式可以看出,  $H$  的意义在于:

1)  $H_{ij}$  是定量描述品种熟性的一种尺度, 它既可区分不同品种棉花整个生育期长短, 也可描述不同品种棉花某发育期天数的不同;

2)  $H_{ij}$  值越小, 说明某品种全生育期或某生育期天数越少, 反之则越多;

3)  $H_{ij}$  与棉花发育速度成反比, 可作为品种熟性因子嵌入棉花发育模型。

本文把棉花分成播种至现蕾( $i=1$ )、现蕾至开花( $i=2$ )、开花至吐絮( $i=3$ ) 3 个阶段, 并考虑播种至开花( $i=4$ )、播种至吐絮( $i=5$ ), 分别计算了新疆棉花主要品种不同发育阶段的发育日数多年平均值及  $H_{ij}$  值(见表 2)。

从表 2 可以看出, 各品种从播种至吐絮发育期长短主要表现在播种至现蕾、开花至吐絮两个阶段, 现蕾至开花期发育日数各品种相差较小。

(2) 温度、品种影响棉花发育速度的模型 由上述可知, 棉花品种熟性指数与棉花发育速度成正比, 将其嵌入模型(1), 建立包含品种熟性因子的温度影响发育速度的模型

$$V_{ij} = \frac{1}{N_{ij}} = H_{ij}^{-Q} e^{K} (F(T))^P \quad (2)$$

其中  $Q$  为模型参数, 其他符号的意义同上。

当  $T = T_0$  时, 即在温度适宜发育的条件下, 不同品种棉花各发育阶段的生理发育日数可用  $N_{ij0} = H_{ij}^Q \cdot e^{-K}$  描述。

表 2 主要棉花品种不同发育阶段的发育日数  $N_i$  多年平均值及熟性指数  $H_{ij}$ Table 2 Long-term averaged number of days  $N_i$  for different development phases and related development-period indices ( $H_{ij}$ ) of some main varieties

品种	生育期天数多年平均值(d)					熟性指数					样本数
	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$H_1$	$H_2$	$H_3$	$H_4$	$H_5$	
108Φ	70	24	67	94	161	1.23	0.91	0.99	1.14	1.08	28
172	62	23	61	85	146	1.10	0.87	0.90	1.03	0.97	7
长绒棉 685	51	25	52	73	124	0.90	0.94	0.76	0.87	0.83	7
大铃棉	61	25	67	86	153	1.08	0.94	1.00	1.03	1.02	15
军海 1 号	47	28	74	75	150	0.83	1.06	1.10	0.90	0.99	16
军棉 1 号	60	26	74	86	159	1.06	0.98	1.10	1.03	1.06	47
新海棉系列	50	28	64	78	141	0.88	1.06	0.94	0.93	0.93	20
新陆早 1 号	50	28	63	78	140	0.88	1.06	0.93	0.93	0.93	62
新陆中 3 号	58	29	76	87	162	1.02	1.10	1.12	1.04	1.08	9

## 2 模型参数的确定及结果分析

### 2.1 模型参数确定

根据有关研究<sup>[7,8]</sup>, 棉花生育的适宜温度为 25 ~ 30 , 上限温度为 35 ~ 40 , 下限温度在不同发育阶段差异较大, 播种至出苗为 10 ~ 15 , 现蕾为 19 , 开花至吐絮为 15 ~ 16 , 本文确定棉花发育各阶段上限温度为 40 , 适宜温度为 30 , 开花至现蕾、开花至吐絮期的下限温度均为 15 , 播种至吐絮、播种至现蕾和播种至开花期为 12 (对地膜棉花)。利用新疆 23 个站的农气表-1 棉花监测资料(共 21 个品种, 153 个样本), 对模型(1)、(2)的各个参数( $i=1, 2, 3, 4, 5$ )用迭代法在微机上进行求解, 最后得到的棉花各发育阶段的模型参数见表 3。

表 3 不同发育阶段的模型参数(样本数  $n=153$ )Table 3 Model parameters of different growth stages, with the sample size  $n=153$ 

生育阶段	$Q$	$P$	$K$	相对误差(%)		绝对误差(d)	
				模型 2	模型 1	模型 2	模型 1
播种-现蕾	0.998 8	0.003 9	- 3.965 4	6.90	9.91	3.82	5.13
现蕾-开花	1.007 2	0.019 6	- 3.125 6	7.54	8.93	2.10	3.28
开花-吐絮	0.805 2	0.018 4	- 4.051 5	8.16	10.10	4.99	6.70
播种-开花	0.944 4	0.005 6	- 4.331 0	6.19	9.55	4.81	7.70
播种-吐絮	0.806 6	0.009 8	- 4.904 2	5.18	7.60	8.13	11.30

从表 3 可以看出, 模型(2)的精度比模型(1)显著提高, 也就是说, 在发育速度模型中加入品种熟性因子, 模拟精度显著提高, 播种至现蕾、现蕾至开花、开花至吐絮、播种至开花、播种至吐絮期发育速度模拟的相对误差由 7.6% ~ 10.1% 减少到 5.18% ~ 8.16% 之间, 发育天数的模拟误差由 3.28 d ~ 11.3 d 减少到 2.10 d ~ 8.13 d。品种熟性因子对棉花不同阶段发育

速度的影响为负相关。用模型(2)模拟的发育速度或发育日数与实测值之间的相关系数均较高,全部通过信度  $\alpha=0.001$  的 F 检验,因此可以用模型(2)来分析温度对不同品种棉花发育速度的影响。

## 2.2 各品种棉花不同发育阶段发育生理日数

根据模拟结果,将新疆各品种棉花不同发育阶段发育生理日数列于表4。从表4可以看出,新疆各品种棉花从播种至现蕾、现蕾至开花、开花至吐絮、播种至开花、播种至吐絮期的发育生理日数范围分别为 43.8 d ~ 64.9 d、19.8 d ~ 25.1 d、46.1 d ~ 63.0 d、66.7 d ~ 86.0 d、116.0 d ~ 143.5 d,均在相应发育阶段发育日数的多年平均值(47 d ~ 70 d、23 d ~ 29 d、52 d ~ 76 d、73 d ~ 94 d、124 d ~ 162 d)之内,符合新疆各棉区棉花不同发育阶段的平均温度在适宜温度以下这个事实,说明模型(2)的精度较高。

表4 各品种棉花不同发育阶段的发育生理日数

Table 4 Physiological days in different stages of the cotton varieties d

品种	播种至现蕾	现蕾至开花	开花至吐絮	播种至开花	播种至吐絮
108Φ	64.9	20.7	57.0	86.0	143.5
172	58.0	19.8	52.8	78.2	131.6
长绒棉 685	47.5	21.4	46.1	66.7	116.0
大铃棉	57.0	21.4	57.5	78.2	137.0
军海1号	43.8	24.2	62.1	68.8	133.8
军棉1号	55.9	22.3	62.1	78.2	141.3
新海棉系列	46.4	24.2	54.7	71.0	127.2
新陆早1号	46.4	24.2	54.2	71.0	127.2
新陆中3号	53.8	25.1	63.0	78.9	143.5
平均	52.6	22.6	56.6	75.2	133.5

## 3 结 语

(1) 建立的包含品种熟性因子的温度影响棉花发育速度的模型,具有明确的生物学意义,模型的相对误差由 7.6% ~ 10.1% 减少到 5.18% ~ 8.16% 之间,证明模型有一定精度,具有预报意义。

(2) 播种至现蕾、现蕾至开花、播种至开花、开花至吐絮、播种至吐絮期间的发育期模拟的绝对误差天数仍然在 3.8 d、2.1 d、4.8 d、5.0 d、8.1 d 左右,究其原因,与采用大田观测资料而非专门设计的田间试验资料有关,也与各观测地区农田土壤性质、肥水条件、耕作条件、生产力水平相差较大有关。

(3) 对棉花发育期的划分仍然较粗,棉花各阶段发育速度的上限温度、下限温度、最适温度的确定值仍然值得商榷,倘若能够结合光照、水分条件进行综合模拟,则能进一步提高模型精度,建立棉花发育模拟和预测系统,更好地指导大田棉花生产管理工作。

## 参 考 文 献

- 1 沈国权. 影响作物发育速度的非线性温度模式. 气象, 1980, 6(6): 9~11
- 2 高亮之, 金之庆, 黄 耀. 水稻钟模型——水稻发育动态的计算机模型. 中国农业气象, 1989, 10(3): 3~10
- 3 詹习武. 作物发育速度与温度关系的数学模式. 南京气象学院学报, 1988, 11(1): 15~23
- 4 马慰曾. 自然光温贡献. 华中农学院学报, 1984, 3(1): 28~43
- 5 陶炳炎, 邹永林, 汤志成. 水稻生长发育动态监测农业气象模式研究. 南京气象学院学报, 1992, 15(2): 83~90
- 6 姚克敏, 太华杰. 水稻监测信息系统的应用与改进. 中国农业气象, 1990, 11(2): 35~40
- 7 刘 文, 王恩利, 韩湘玲. 棉花生长发育的计算机模拟模型研究初探. 中国农业气象, 1992, 13(6): 10~16
- 8 北京农业大学农业气象专业编. 农业气象学. 北京: 科学出版社, 1982. 212~214

## NUMERICAL STUDY OF TEMPERATURE IMPACT ON GROWTH OF COTTON VARIETIES IN XINJIANG

Zhang Jianhua

(Xinjiang Institute of Meteorology Sciences, Urumqi 830002)

**Abstract** Based on the cotton biology in connection with conventional observations of a number of varieties and more than one site, a model including temperature and varieties is established for the growth periods. Evidence shows that the model can better indicate the effect of temperature on the development of different varieties of the crop, providing useful scientific basis for farmers in their field management.

**Keywords** cotton, development, temperature, model