

# 积温学说的不稳定性 and 修正式的评价

李 有 董中强 宋贤明

(河南农业大学, 郑州 450002)

**摘 要** 从温度变化、光照特性、土壤水分等方面论述了造成积温学说不稳定性的原因, 提出了几种可供选择的积温修正模式, 并指出各自的适用对象和优缺点。

**关键词** 积温 稳定性 模式

## 1 问题的提出

早在 1735 年, 法国学者 R. A. Reaumur 就提出了积温学说的雏型, 但在 100 年后才引起人们的重视。近年来不少学者认识到它有不稳定的一面, 并给出多种修正模式。本文试图论述造成积温数值不稳定的原因, 修正方法及主要作物的模式选择。

## 2 积温不稳定性剖析

在现代农业科学研究中, 积温学说应用范围极广, 但由于生物发育速度除与温度有关外, 还受其他环境条件的制约, 温度本身也有不规则变化, 致使积温数值不稳定。

### 2.1 温度变化干扰

众所周知, 生物发育速率与温度并非线性关系, 当环境温度高于最适温度( $T_0$ )时, 发育速率趋缓甚至下降。但依据积温理论, 温度愈高, 对积温贡献愈大, 发育速度应更快, 这显然是错误的。J. R. Mawney 的研究指出, 棉花品种 M-8 在低温下开花提前。积温学说没有考虑温度日较差的影响。D. M. Brown 对玉米的研究指出, 温度日较差加大会延长出苗至雄穗分化的时间。A. Yfoulis 认为, 影响棉花铃期早晚的因子不是日平均温度, 而是日最高和最低温度。由此看出, 仅用日平均温度而不考虑温度的日变化来推测作物发育期是不尽合理的。

### 2.2 光照特性干扰

2.2.1 光质 在中高纬度地区和多雨季节, 光合有效辐射(PAR)减少, 作物的光合速率和干物质积累下降, 使在不同地区、不同年份的同一作物, 完成同一生育期所需积温发生变化。对光波敏感的农业害虫也有类似情况。

2.2.2 光量 在日平均温度相同时, 在植物光饱和点以下的范围内, 光照愈强,  $\text{CO}_2$  同化速率愈高, 作物完成某一生育期所需天数愈短。

2.2.3 光时 水稻、玉米、大豆等感光性强的作物, 感温性相对较弱, 积温的稳定性较差。光周期是引起害虫滞育和休眠的重要因子, 光照时数必然使其世代交替的积温值发生改变。

### 2.3 水分供应干扰

在温度适宜的情况下, 土壤水分的满足程度是决定植物发育速率的重要因素之一, 同一作

物在干旱、半干旱和湿润年份物候期差异就是很好的证明。空气湿度可影响病菌侵染和再侵染的速度,从而降低了积温预测的准确性。

## 2.4 农业技术干扰

种植制度、栽培方式和田间管理等都会干扰积温的稳定性。例如,水稻移栽期基本苗增加,至分蘖期天数减少, $\geq 12^\circ\text{C}$ 有效积温亦少。当然,农业技术对积温稳定性的干扰是与光、温、水的改变相互联系和相互影响的。

## 3 积温学说的修正与评价

鉴于上述生物发育速率与积温之间业已存在的不稳定关系,人们试图在积温学说的基础上,通过各种手段对其修正和改进,大大提高了预测生物发育速度的准确性。

### 3.1 温度变化修正

为了剔除超过  $T_0$  的高温对稳定性的影响,提出了净效积温  $A'$  的概念:

$$A' = \sum_{i=1}^n (T_i - B) + m(T_0 - B) \quad (B \leq T_i \leq T_0)$$

式中,  $B$  为生物学下限温度;  $T_i$  为满足  $B \sim T_0$  条件的第  $i$  日日平均温度;  $n$  为满足  $B \leq T_i \leq T_0$  条件的日数;  $m$  为日平均温度  $> T_0$  的日数。日本斋藤在预测水稻播种至抽穗阶段的发育速率时就利用这种方法,它比活动积温和有效积温更接近于实际,且简便易行。应当指出,不同作物、不同生育期的三基点温度是不同的,应用时要分段使用。

前苏联学者乌·奇尔科夫考虑到高温对玉米的作用,提出了预测玉米抽穗期的模式:

$$D = D_1 + \frac{(0.101x^2 - 0.5x + 27.4) \times (N - 2)}{x}$$

式中,  $D$  为抽穗日期;  $D_1$  为三叶期;  $x$  为  $\geq 10^\circ\text{C}$  平均有效温度;  $N$  为叶片数。该式表明,发育速度随温度增加趋缓至停止。本模式也较简便,且预测时效长;不足的是,多项式系数须因地制宜地求出。

沈国权提出温度与作物生育的非线性关系:

$$\frac{1}{n} = K^{-1}(\bar{T} - B)^{1+P}(M - \bar{T})^{1+Q}$$

式中,  $n$  为生育日数;  $\bar{T}$  为平均温度;  $M$  为生物学上限温度;  $K, Q, P$  为  $> 0$  的参数。该式的物理意义十分清楚:①当  $\bar{T} = B = M$  时,  $1/n = 0$ , 作物发育停止。②当温度在  $B, M$  之间时,必有一  $T_0$ , 其值可由上式求导得出:

$$\bar{T}_0 = \frac{M(1+P) + B(1+Q)}{2+P+Q}$$

$$\textcircled{3} \text{ 设 } A(\bar{T}) = \frac{K}{(\bar{T} - B)^P(M - \bar{T})^{1+Q}}, \text{ 则 } \frac{1}{n} = \frac{\bar{T} - B}{A(\bar{T})}$$

这与有效积温通式  $1/n = \frac{\bar{T} - B}{A}$  形式相同。显而易见,  $A(\bar{T})$  是温度的非线性函数。这种模式对预测水稻物候期比较精确。

加拿大学者 D. M. Brown 认为,当日最高温度为  $30^\circ\text{C}$  时,发育速度最快,日最高温度

下限为 10℃, 日最低温度下限为 4.4℃, 据此提出了玉米热量单位(C. H. U.) 概念:

$$\text{C. H. U.} = \frac{9/5(T_D - 4.4) + 3.33(T_G - 10) - 0.084(T_G - 10)^2}{2}$$

式中,  $T_D$  为每日最低温度;  $T_G$  为每日最高温度。经冯玉香等人的对比和检验, C. H. U. 的稳定性比其他任何方法都好。

### 3.2 光温综合修正

在积温学说确立后的 1875 年, 蒂塞兰德就修改了 Reaumur 的假设, 提出了用日平均温度与可照时数之乘积来表示植物一天的工作量, 直到 1920 年阿拉德观测到光周期现象后, 他的理论才被承认。后人随之提出了一系列光—温综合修正模式。

就长日照植物而言, 有人提出光温积(PTU)的概念:

$$\text{PTU} = \sum_{i=D_p}^{D_m} (T_i - B) \cdot L_i$$

式中,  $(T_i - B)$  为第  $i$  日有效温度,  $L_i$  为第  $i$  日光照时数,  $D_p$  为发育期始期,  $D_m$  为发育期终期。

对于短日照植物来说, 有人提出光温比(积温与平均日照时数之比)的概念, 也有人用光温系数( $K$ )来修正, 即:

$$K = \frac{A_s}{A_L}$$

式中,  $A_s$  为在短日照条件下(低于临界光长)所需有效积温;  $A_L$  为在长日照条件下(高于临界光长)所需有效积温。

Brown 通过控制温度和日长得出, 当温度一定时, 大豆从播种到开花累积的黑暗时数相同, 但当黑暗时数相同时, 发育速度是温度的非线性函数, 因此他提出了暗积温模式:

$$\frac{1}{n} = \bar{D}[\alpha_1(\bar{T} - B) + \alpha_2(\bar{T} - B)^2]$$

式中,  $n$  为生育日数,  $\bar{D}$  为平均夜长,  $(\bar{T} - B)$  为平均有效温度,  $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  为待定系数。

上述这些方法比较适合感光性强的农作物和害虫发生时期的预测与预报, 计算简便, 资料易取, 它们的稳定性也是较高的。

## 4 结论

积温学说对农业科学的研究和发展起到了积极的作用。在作物布局、引种扩种和种植制度调整等方面, 活动积温和有效积温仍将作为重要的参考依据, 但在作物(包括果树)发育期和病虫害发生时期的预测预报过程中, 由于受温度变化、光照特性、土壤水分及管理措施等干扰, 积温数值的稳定性较差, 不能准确地估算出现日期, 这对指导农业生产、特别是产品上市极为不利。因此, 对积温修正模式的选择要因生物而异。小麦作物应优先选择光温积模式, 水稻作物以当量积温为好, 玉米用热量单位最准确, 大豆可用暗温积。其次, 净效积温、光温比等也能提高预测的准确率。

## 参 考 文 献

- 1 沈国权. 当量积温及其应用. 气象, 1981(7): 1~17
- 2 龚绍先等. 粮食作物与气象. 北京农业大学出版社, 1988, 10~31
- 3 Baier W 等著, 王馥棠译. 作物-天气模式及其在产量预测中的应用. 北京: 科学出版社, 1980, 12~13
- 4 WMO481. Agrometeorology of the Maize (corn) Crop. 1977, 135~136
- 5 Brown DM. Soybean Ecology. Agron J, 1960, (52)

## The Destability of the Accumulated Temperature Theory and the Evaluation for Its Modified Models

Li You Dong Zhongqiang Song Xianming

(Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

**Abstract** The factors causing destability of the accumulated temperature theory were described in view of the temperature, daylight duration and soil moisture ect., and some modified models of the accumulated temperature as well as their suitable objects and their characters were suggested.

**Key words:** Accumulated temperature; Stability; Model