

一种简单实用的计算小麦 累积光合量的方法¹⁾

郑有飞 颜景义 万长建

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

根据 1992—1994 年的田间实际观测资料, 提出用 Logistic 方程求算小麦累积光合量的方法, 它不但具有明确的生物学意义和生态学意义, 而且计算极其简便, 结果较为精确, 不失为一种简单、实用又准确的计算小麦累积光合量的好方法。

关键词: 小麦 累积光合量 Logistic 方程

引 言

作物的干物质累积过程, 实际上是作物累积光合量的转化形式^[1]。所以, 作物累积光合量的计算方法是目前作物生理生态和作物生长发育、产量形成模拟研究中的热点问题^[2], 受到人们越来越多的重视。

小麦累积光合量的计算方法较多, 如单叶光合速率累加; 气象因子与光合累积量的统计学模型²⁾; 由光合速率的动力学模式计算^[1]; 或用一天当中某一时刻的小麦单叶光合速率测值估算小麦累积光合量^[3]。后二种方法由于其机理性和通用性强而得到广泛使用, 但实际上还存在着一些问题: 所需因子和资料多而复杂, 基层单位难以获得; 参数的确定具有一定的人为性; 而且模式仅仅考虑了环境因子对作物的影响而忽略了作物内生节奏的生物钟现象也会导致作物光合作用按一定规律变化这一事实, 而实际上作物光合作用大小既受环境条件的影响, 也受作物本身生理特点的制约。为了避免以前模式中的缺陷, 我们提出用时间作为因子, 估算小麦累

积光合量。一天中时间不同, 气象因子的数值不同, 作物生理活动不同, 这样既考虑了气象因子的作用, 又考虑了作物本身的生理变化规律, 而且删去了许多因子和资料, 使得方法大为简化, 模拟效果较好。

1 材料和方法

1.1 供试材料

试验于 1992—1994 年进行, 其中 1992 和 1993 年资料用于拟合, 1994 年资料用于验证。供试材料为小麦扬麦 5 号(T. aestivum L. es Yangmai No. 5)种植于南京气象学院农业气象试验站内试验田里, 按正常播期播种, 正常田间管理, 肥力中等偏上。

1.2 测定方法

从小麦拔节开始对代表小麦平均光合能力的倒三叶和对小麦籽粒形成贡献最大的旗叶进行系统的净光合速率观测, 测定仪器为美国 Li-cor 公司生产的 Li-6200 便携式光合测定系统。每隔 2 天测定 1 天, 每个测定日从早到晚进行逐时观测或隔时观测, 每次测定 3 组, 每组 3 个重复, 取 9 个测值的平均值, 同时测定了光照强度、气温及相对湿度等。

1) 南京气象学院科研基金资助项目。

2) 颜景义、郑有飞、韩素芹, 小麦累积光合量估算方法探讨(待发表)。

1.3 小麦累积光合量实测值的获取

小麦单叶累积光合量可以表示为1天或1天中某一时段小麦单叶所同化的CO₂量,其值可从如下公式取得:

$$P_N(D) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (P_i + P_{i+1}) \cdot \Delta t_i \quad (1)$$

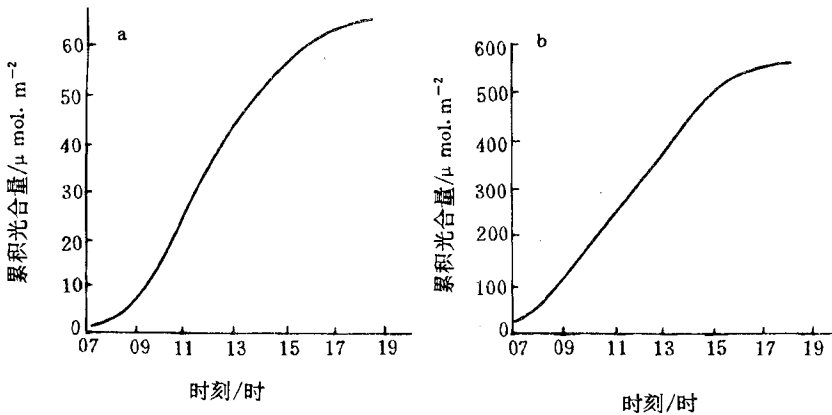
式中 $P_N(D)$ 为累积光合量值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$), P_i 为第 i 次实测光合速率值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), P_{i+1} 为第 $i+1$ 次实测光合速率值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$), Δt_i 为 P_i 次观测与 P_{i+1} 次观测间隔时间(s), n 为一天或一天中某一时段的测定次数。

利用上式可获得一天中某一时段或某一天的累积光合量^[1]。

2 模式的建立

对小麦不同发育期内任一天的光合作用累积量进行分析,可发现一天中随着时间的变化,小麦单叶光合量的累积曲线为-s型

曲线。无论是晴天还是阴天,一天中的基本情形是:清晨(09时以前)和傍晚(15时以后),光合作用较弱,光合速率测值较小,光合累积量很小且光合累积很缓慢;09时以后,光合速率迅速增加,光合累积量随时间变化趋近于一条直线,尤其是11—14时,光合累积量增加最明显,到15时,光合作用累积量达高峰;随后光合累积随光合速率减弱而迅速减缓(附图)。这说明光合产物的累积主要集中于9—15时,晴天条件下,此段时间光合累积物占全天总光合累积物的75%,阴雨天占90%以上;而09时以前和15点以后,光合累积物很少。所以一天中干物质的形成主要是在09时到15时之间,尤其在11—14时内,光合累积速度较快。晴天近一半的光合累积物在11—14时内形成,阴雨天这段时间光合产物更达70%以上,说明光合产物的累积具有明显的时间性。因而可以根据时间来估算出小麦光合累积量。



附图 小麦开花期不同天气类型下的累积光合量变化
a. 阴天; b. 晴天

从理论上进行分析,光合累积物随着时间的增长既与作物本身的品种特性即光合能力 P (通常高光效品种的光合能力较强) 有关,也与外界环境条件和营养物质(合称培养物质或称基质) M 供应有关^[4],即:

$$dp/dt \sim P \cdot M \text{ 或 } dp/dt = K \cdot P \cdot M \quad (2)$$

式中 t 为一天中的时间(h), K 为品种特性常数。当 M 一定时(不随时间变化),式(2)为指数数学模式。

环境容纳量是有一定限度的,当光合作用速率达到一定时,作物光合作用由于受到环境和营养条件的限制而受阻滞,趋于饱

和^[1]根据 Velulst 分析^[5],当指数曲线增长到一定时期受环境营养等条件限制而受阻滞时,可将指数数学模式改为:

$$dp/dt = KP(P_{max} - P) \quad (3)$$

当 $t \rightarrow \infty$ 时, $P \rightarrow P_{max}$, 则 $KP(P_{max} - P) \rightarrow 0$, 光合累积物不再增加, P_{max} 为饱和光合速率, $M = P_{max} - P$ 为光合累积阻滞项。对式(3)进行积分,可得:

$$P = \frac{P_{max}}{1 + e^{KP_{max}t - \beta}} \quad (4)$$

令: $\alpha = KP_{max}, \beta = e^{KP_{max}}$,

表1 不同发育期不同天气类型的 P_{max}, α, β 值

	拔节期		孕穗期		抽穗期		开花期		成熟期	
	阴	晴	阴	晴	阴	晴	阴	晴	阴	晴
P_{max}	114192	846360	191808	885160	72720	829620	85540	988632	18250	684576
α	44.468	50.537	72.152	30.361	47.703	23.729	43.626	19.995	59.310	18.946
β	-0.416	-0.511	-0.657	-0.459	-0.626	-0.450	-0.479	-0.323	-0.359	-0.408
r	0.9484	0.9919	0.9934	0.9915	0.9864	0.9832	0.9692	0.9593	0.9344	0.9890
S	10431.5	39342.0	8719.3	8321.0	2368.8	3145.7	5625.4	67936.0	13048.1	31121.6

注: r 为相关系数, S 为拟合方差

由式(5),根据小麦的发育期和当时天气类型,可估算出任一天、任一发育期或全生育期的小麦累积光合量。

3 效果分析

综上所述可知,用 Logistic 方程来计算小麦累积光合量具有简单、方便、所需资料少等特点,而且具有明确的生物学意义和生态学意义。但采用这种方法的计算效果如何?需进一步验证,为此将此方法与其它两种方法进行比较。

方法 I^[3],建立一天中某一时刻(t_i)的小麦光合速率值(Ph_{t_i})与小麦日累积光合量(P)的数学关系, $P = f(Ph_{t_i})$,用一天中某一时刻的光合速率值来估算累积光合量。

方法 II^[1],用气象因子(W_i)建立作物单叶光合作用速率(Ph_{t_i})的计算式: $Ph_{t_i} = \varphi(W_i)$,由此式形成小麦光合速率日变化数学模式 P_{t_i} ,最终积分求得小麦累积光合量的计算模式 $P = \int_{t_1}^{t_2} P_{t_i} dt$

$$P = \frac{P_{max}}{1 + \beta e^{-\alpha t}} \quad (5)$$

式(5)即为 Logistic 方程,它描述的是 S 型曲线,这与前面图分析的结果一致。这从理论上说明可以用 Logistic 方程来描述小麦累积光合量的时间变化,当然可以计算小麦累积光合量。

采用非线性(牛顿-高斯)法估计方程参数。由实测资料,建立了小麦不同发育期、不同天气类型日累积光合量的计算式(计算式参数见表1)。

方法 III:用 Logistic 方程计算累积光合量。

我们用上述三种方法计算小麦一生的光合累积量值,并与实测结果作一比较(表2)。

表2 小麦累积光合量计算值与实测值之比较

	方法 I	方法 II	方法 III	实测值
数值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2}$)	25891	33669	34001	31236
误差(%)	-17.1	7.2	8.8	0.0

从表2中可知,方法 I 误差偏大,计算结果比实测值小;而方法 II 与方法 III 计算结果误差均很小,实测值略低于计算值。因此从效果上分析用方法 II 与方法 III 来计算小麦累积光合量都比较好。但方法 III 简单得多,所以用方法 III 估算小麦一生累积光合量是一个既简单又精确的好方法。

用式(5)计算了小麦各发育期内典型天气的日累积光合量值(表3),其计算值与实测值十分接近,误差很小,计算效果亦颇为理想。

表3 不同发育期典型天气小麦日累积光合量计算效果比较

	拔节期	孕穗期	抽穗期	开花期	灌浆期
日期(日/月)	29/3	6/4	13/4	19/4	4/5
模拟值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	763.3	191.2	752.1	715.8	76.1
实测值($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	800.3	186.7	789.1	749.3	75.2
误差(%)	-4.6	2.6	-4.6	-4.5	1.2

4 结论与讨论

Logistic 方程可用于估算小麦的日和各发育期以及全生育期的累积光合量,若在此基础上作进一步分析,还可用来预测作物的干物重、发育期等。这一方法具有简单、方便的特性、明确的生物学意义和生态学意义及准确的计算结果。

注意具体应用时,最好有几年小麦光合速率观测资料,以求得平均状况下方程参数估计值,由天气类型,就可较精确地估算小麦累积光合量。

致谢:本文承冯定原教授提出宝贵意见,特此感谢。

参考文献

- 1 颜景义,郑有飞,郭林等. 小麦累积光合量的估算及规律分析. 中国农业气象,1995,16(1):5-9.
- 2 郑有飞,颜景义,万长建等. 小麦作物光合生产模拟研究. 南京气象学院学报,1995,18(4):566-571.
- 3 颜景义,刘晓忠、郑有飞等. 叶展后叶片光合固碳能力—叶源量的估算. 中国农业科学,1996.
- 4 高亮之. 农业系统学基础,南京:江苏科学技术出版社,1993.
- 5 J·克兰茨. 植物病害流行数学分析和模型建立. 西北农学院植物病害教研室译,北京:科学技术出版社,1979.

A Simple and Practical Method for Calculating Accumulative Photosynthesis of Wheat Leaf

Zheng Youfei Yan Jingyi Wan Changjian

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract

According to data measured in fields during 1992 to 1994, the estimation method of accumulative photosynthesis by Logistic equation is presented. Not only it is of clear significance of biology and ecology, but also the method is simple, and the result is accurate. It is a simple, accurate and practical manner of calculating accumulative photosynthesis of wheat.

Key Words: wheat accumulative photosynthesis Logistic equation