

# 玉米株型与冠层光合作用的数学模拟研究

## I. 模型与验证\*

于强<sup>1, \*\*</sup> 王天铎<sup>1</sup> 刘建栋<sup>2</sup> 孙菽芬<sup>3</sup>

(<sup>1</sup>中国科学院上海植物生理研究所, 上海, 200032; <sup>2</sup>南京大学大气科学系, 江苏南京, 210093; <sup>3</sup>中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体物理学数值模拟国家重点实验室, 北京, 100080)

**摘要** 建立了一个对冠层结构具有高分辨率的作物冠层光合作用模型。包括冠层结构模型、冠层光分布模型和叶面光合作用模型。将作物冠层按叶面积指数划分为若干层次。上下层次之间, 水平面太阳辐照度按 Monsi 和 Saeki 的指数递减模型分布。冠层对太阳漫射光的消光系数由作物株型确定, 对直射光的消光系数由株型和太阳位置确定。在同一层次中, 作物株型按 Ross-Nilson 的叶倾角分布模型, 将叶面位置划分为 8 个方位, 6 个倾斜角。设同一层中水平面辐照度相同, 某一方位角和倾角的叶面直射光以太阳轨道方程确定。用玉米冠层的实测资料验证了辐射分布模型和叶片的光合作用模型。敏感性试验表明, 模型对输入因子有良好的响应。本模型对冠层光合作用的理论研究、作物生长的数学模拟等有一定的意义。

**关键词** 冠层结构; 光合作用; 模型

作物冠层光合作用模型可分为大叶模型(big leaf model)和多层模型(multilayer model)。前者是将冠层简化成一片伸展的叶子。后者是考虑到环境因子(特别是其中的光强)以及叶片生理特性的垂直差异, 将冠层划分为若干层次。并考虑生理特性和环境因子的垂直梯度。有的还考虑植物环境的相互作用。由于问题的复杂性, 许多模型都根据各自的研究目的, 有所侧重, 如 Duncan(1967), Sinclair(1976), Caldwell(1986), Tenhunen(1990), Wang 与 Jarvis(1990), Baldocchi(1993), Norman(1993)和 Amothor(1994)。本文的目的是建立一个对冠层结构具有高分辨能力的光合作用模型, 以使用数值方法研究作物不同株型在不同叶面积指数、叶片光合能力和辐照度下的差异。光在冠层中呈指数递减, 而其它环境因素垂直变化较小。冠层中光分布造成的光合作用的差异远远大于其它因素所造成的差异。因而在冠层结构与光合作用的关系中, 光分布是一个主要因素。其它环境因子的作用(如温度、土壤水分等)以及植物的营养状况可归结为对叶片光合能力的影响。在叶片光合模型中, 忽略其在空间上的变化。

植物冠层中辐射传输理论, 把植物冠层看作叶片随机分布的介质, 忽略其水平的不均匀性, 而只考虑其垂直的梯度, 就平均情况建立模型。门司正三和佐伯敏郎(Monsi & Saeki, 1953)把植物冠层看作一个整体, 研究了冠层光分布, 即指数递减模型。殷宏章等(1959)进行了冠层光合作用方面的观测。王天铎(1961)研究了冠层光合作用的数学模型, 并计算了完全

\* 国家攀登计划项目。 \*\* 现在地址: 中国科学院大气物理研究所, 北京, 100080。  
收稿日期: 1996-04-03, 收到修改稿日期: 1997-03-07

平伸和直立叶冠层的光合作用及其日变化。此后用数学分析方法研究群体光合作用工作逐渐增加(Ross, 1964; Isobe, 1962; Monteith, 1965; Ross 与 Nilson, 1968 等), 但对株型结构的描述不够细致。这种指数模型广泛应用于分辨率较低的作物生长模型。de Wit(1965) 以下列三项参数表示冠层光合系统的结构: (1) 叶面积指数(2) 叶片分布函数(3) 叶层密度。Ross 和 Nilson(1966)对冠层的结构分解为叶面积的垂直分布密度和叶向叶角的几何分布函数。由于向冠层系统引入了这些概念, 就容易将冠层受光状态与太阳光投射方向联系起来。从而对冠层的光合作用情况进行各种各样的理论分析。

## 1 材料与方法

田间观测在中国科学院禹城实验站进行。实验材料为玉米。(1)冠层光分布的观测在典型晴天进行。逐时观测, 即 6 点、7 点...18 点。将冠层在垂直方向上分为 6 层。高度为自地面以上 40、110、140、160、190 和 240cm。每层随机取 5 个点。使用仪器为 MR-1 型辐射仪。(2)光合作用速率及其对应的光量子通量密度用 Li-Gor6200 测定。时间在 1996 年 8 月 11 日至 21 日, 为玉米灌浆期。观测时间为 8、10、12、14 和 16 时。在典型晴天(8 月 20 日 10 时), 用纱布做遮光处理, 得冠层中、上部叶片在不同光强下的光合速率。5 次重复。(3)冠层结构用几何方法测量。观测一定面积(3 m<sup>2</sup>)内的株数, 选择 5 株, 测每株各叶基部的高度、叶长(a)、叶宽(b)、叶脉与主茎的夹角、叶最高部和叶梢距主茎的长度等。设叶片呈抛物线弯曲, 冠层的叶面积分布函数, 叶倾斜角分布函数经以上位置参数拟合以后, 计算得到。单叶叶面积用公式  $S=0.7 ab$  计算。

## 2 模型

### 2.1 作物冠层结构模型

作物株型与密度一起决定了冠层的结构和受光态势。冠层结构的参数化是计算冠层光合速率的基础。

2.1.1 冠层的层次 考虑到冠层辐射过程的复杂性, 我们按以下几点简化处理这一问题:

(1) 将冠层自上而下, 按叶面积指数每增加 0.25 划一层。最后一层不足 0.25 的并入上一层。

(2) 在上下层次之间, 水平面上所接受的太阳直接辐射和漫射辐射的通量密度随深度按指数递减模型分布。忽略同一层次内水平面辐照度的上下差异。

(3) 由叶片对太阳辐射的散射作用引起的漫射辐射, 相对于同高度的直接辐射和来自天空的漫射辐射, 一般要小 1 个数量级, 这里为简便起见, 予以忽略。除处于冠层最上部的叶片以外, 直射光以光斑形式存在, 导致辐射在叶面上的不均匀分布。将叶片接受光状况分为直射光区和阴影区, 分别计算辐射照度和光合速率。

2.1.2 冠层结构模型 使用 Ross-Nilson 的叶倾角分布模型。设冠层由随机分布的叶片组成。叶片位置用倾斜角  $\alpha$  和方位角  $\beta$  表示。 $\alpha$ ,  $\beta$  均是连续变化的。但计算时常把它们划分为若干区间。Ross 和 Nilson 对  $\alpha$  在 0~90°范围内以 15°做 6 级等分, 而  $\beta$  则对 0~360°以 45°做 8 级等分。因此每一层中叶片位置划分为 48 级。

## 2.2 冠层光分布模型

2.2.1 天文辐射 日出日没时间和天文辐射量是基本的计算参量。左大康(1991)等用 Fourier 分析的方法, 给出了赤纬  $\delta$  与日期的经验关系。设一年中的 365 天对应区间  $[0, 2\pi]$ , 取日角  $\theta = 2\pi(Dn-1)/365$ 。其中  $Dn$  为年的日序, 1 月 1 日取为 1, 12 月 31 日为 365。

$$\begin{aligned} \delta(\text{Rad}) = & 0.006894 - 0.399512 \cos\theta + 0.072075 \sin\theta \\ & - 0.006799 \cos(2\theta) + 0.00089 \sin(2\theta) \\ & - 0.002689 \cos(3\theta) + 0.001516 \sin(3\theta) \end{aligned} \quad (1)$$

根据太阳视轨道方程, 日没时角为:

$$\omega_o = \cos^{-1}(-\text{tg}\psi\text{tg}\delta) \quad (2)$$

日出时角为:

$$\omega_o = -\cos^{-1}(-\text{tg}\psi\text{tg}\delta) \quad (3)$$

$\psi$  为纬度。则日出日没时间为:

$$Ta = 12 - \omega_o/15 \quad (4)$$

$$Tb = 12 + \omega_o/15 \quad (5)$$

设  $S$ 、 $D$  分别为直接辐射漫射辐射日总量。 $Q_o$  为水平面天文辐射日总量:

$$Q_o = \frac{I_o E_o \tau}{\pi} (\omega_o \sin\psi \sin\delta + \cos\psi \cos\delta \sin\omega_o) \quad (6)$$

其中  $I_o$  为太阳常数,  $E_o$  为日地距离订正系数,  $\tau$  为日长(1440 分)。

某时刻天文辐照度为:

$$Q_o(t) = I_o E_o (\sin\psi \sin\delta + \cos\psi \cos\delta \cos\omega) \quad (7)$$

实际辐射与同期天文辐射之比, 称为晴朗指数(clearness index)。

直接辐射和漫射辐射的日晴朗指数为:

$$C_s = S/Q_o, C_D = D/Q_o \quad (8)$$

除了多云天气外, 一天中晴朗程度变化不大。各时次的晴朗指数可以用日晴朗指数来代替。

则各时次直接辐射和漫射辐射通量为

$$D(t) = C_D Q_o(t), S(t) = C_s Q_o(t) \quad (9)$$

经过这种处理, 对于一定的直接辐射和漫射辐射日总量, 可使其日变化过程与天文辐射一致。

2.2.2 直接辐射 假定植物群丛由随机排列的叶片组成, 且随方位的分布是均匀的。第  $i$  层水平面太阳直射辐照度为

$$S_i(i) = S_o \exp[-K_i L_{(i-1)}] \quad (10)$$

式中  $L_{(i-1)}$  是第  $i-1$  层的叶面积深度。

在叶层中直射光消光系数  $K_i$  取决于叶层的几何结构和太阳高度角  $h$ 、方位角  $A$ 。

$$K_i = G/\sin h \quad (11)$$

其中

$$G = \int_0^{\pi/2} A(\alpha, h) g(\alpha) \sin\alpha d\alpha \quad (12)$$

式中的  $A(\alpha, h)$  为

$$A(\alpha, h) = \begin{cases} \cos\alpha \sinh h & \alpha \leq h \\ \cos\alpha \sinh h + \arcsin(\tan\alpha \coth h) + 2\sinh h \sin\alpha (1 - \tan^2\alpha \cot^2 h)^{1/2} / \pi & \alpha > h \end{cases} \quad (13)$$

$g(\alpha)$ 为叶层倾角分布函数,是倾角为 $\alpha$ 的叶层面积与群丛内叶层总面积的比值,且满足

$$\int_0^{\pi/2} g(\alpha) \sin\alpha d\alpha = 1 \quad (14)$$

在某一时刻,叶面太阳直射辐照度为

$$S_i(\alpha, \beta, h, A) = I_0 E_0 |\cos\theta(\alpha, \beta, h, A)| \quad (15)$$

其中 $S_0$ 为垂直于直射光的平面上的辐照度。

直射光与叶面法线 $r(\alpha, \beta)$ 的夹角是

$$\theta(\alpha, \beta, h, A) = \cos^{-1}[\sinh h \cos\alpha + \cosh h \sin\alpha \cos(A - \beta)] \quad (16)$$

或者

$$\theta(\alpha, \beta, \delta, \omega, \psi) = \cos^{-1}[\sin\alpha \sin\beta \cos\delta \sin\omega + \sin\psi \cos\alpha \sin\delta + \sin\psi \sin\alpha \cos\beta \cos\delta \cos\omega - \cos\psi \sin\alpha \cos\beta \sin\delta + \cos\psi \cos\alpha \cos\delta \cos\omega] \quad (17)$$

$\theta > \pi/2$ 时直射光照射在叶片的背面。其中 $\alpha$ 、 $\beta$ 分别为叶倾斜角和叶方位角。

2.2.3 漫射辐射 天空漫射辐射可看作是各向同性的。则漫射光消光系数( $K_d$ )与太阳位置无关。并且它随冠层结构的变化也较小。

在某一叶层 $i$ ,漫射辐射的透射率 $\tau_d$ 为:

$$G(\alpha, \beta) = 1/2\pi \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} g(\alpha, \beta) |\cos\theta| \sin\alpha d\alpha d\beta \quad (17)$$

$$\tau_d = 2 \int_0^{\pi/2} \exp[-L_{i-1} G(\alpha) / \cos\alpha] \cos\alpha \sin\alpha d\alpha \quad (18)$$

可以算出,对于直立叶片,漫射辐射消光系数 $K_d$ 为0.68,而对水平叶片为1。其余在两者之间<sup>[10]</sup>。第 $i$ 层水平面太阳漫射辐照度为

$$D(i) = D_0 \tau_d \quad (19)$$

叶片两面均接受漫射辐射。第 $i$ 层叶面漫射辐射通量密度实际上等于其水平面上的值:

$$D_{ii}(\alpha) = D(i) \quad (20)$$

综合式(15)和式(20),即可计算不同层次中叶面的太阳直接辐射和漫射辐射的分布。

### 2.3 光合作用模型

2.3.1 单叶光合作用模型 直射光在冠层下部的叶片上以形成光斑。对光斑中的辐照度与遮阴的辐照度分别考虑,代入光合作用模型。单叶光合作用的光响应曲线可用以下模型表示:

$$\theta P^2 - (aQ_{PAR} + P_{max})P + aQ_{PAR}P_{max} = 0 \quad (21)$$

其中: $P$ 为叶面总光合速率, $Q_{PAR}$ 为光合有效辐射, $a$ 为 $P(Q_{PAR})/Q_{PAR}$ 的初始斜率,表示量子效率。 $P_{max}$ 为 $Q_{PAR} \rightarrow \infty$ 时 $P$ 的渐近值。 $\theta$ 表示光合作用曲线的凸度(convexity),在0~1之间,当 $\theta=0$ 时,表示直角双曲线方程。

2.3.2 冠层光合作用模型 根据冠层光分布模型,将各层各方位各倾角叶面辐照度代入单叶光合作用模型,并对冠层积分,得到冠层光合速率(单位地面积)。

$$P_c(h, Q_{PAR}) = \int_0^L \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi/2} P_i(I, \alpha, \beta) p(\alpha) d\alpha d\beta dL \quad (22)$$

其中:  $L$  为冠层层次;  $\alpha$  为叶倾角,  $\beta$  为方位角,  $p(\alpha)$  为叶面积对叶倾角的分布密度。  
 $P_i(I, \alpha, \beta)$  为单位叶面积的光合速率,  $Q_{PAR}$  为叶面光合有效辐照度,  $Q_{PAR} = Q_{PAR}(L_i, \alpha, \beta)$ 。  
 其离散形式为:

$$P_c(h, S) = \sum_{L_i=1}^L \sum_{\beta_i=1}^8 \sum_{\alpha_i=1}^6 P(Q_{PAR}, \alpha_i, \beta_i) p(\alpha_i) \quad (23)$$

$$p(\alpha_i) = g(\alpha_i) / \sum_{i=1}^6 g(\alpha_i) \quad (24)$$

## 2.4 冠层日光合量

在一天中, 将  $P_c$  对时间积分, 得到冠层日光合量。

$$P_{cd} = \int_{-\omega_-}^{\omega_+} P_c d\omega \quad (25)$$

以小时为单位进行数值积分。只求各正点时刻的冠层光合速率, 上式应化为正点离散形式。

用梯形积分公式, 设  $y=f(x)$  在结点  $a=x_0 < x_1 < \dots < x_n = b (x_r = x_0 + d_r)$  处取  $y_0, y_1, \dots, y_n$ 。在两端稍加改进。

$$P_{cd}(I) = 1 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} P_c(t) + DT1 \cdot P_c(0) + DT2 \cdot P_c(n) \quad (26)$$

其中:  $DT1$  为日出至日出后第一个正点的时间间隔。  $DT2$  为日没前最后一个正点至日没的时间。  $1$  表示日序。

$$DT1 = INT(SUB) + 1 - SUB \quad (27)$$

$$DT2 = SDB - INT(SDB) \quad (28)$$

$SUB$ 、 $SDB$  分别为日出日没时间, 由天文公式计算得到。

## 3 实验验证

实测了玉米的冠层结构, 对两个主要子模型进行了验证。

### 3.1 冠层结构

图1是玉米灌浆期的叶面积的垂直分布密度, 叶面积指数为5.6。可见在冠层的2/3高度上下, 是一个高密度区。中下部为中密度区。上下两端密度较低。

表1是叶面积对倾斜角的分布密度,  $p(\alpha)$ 。在玉米的灌浆期, 叶片上部较直立, 叶倾斜角主要集中在  $60 \sim 75^\circ$  和  $75 \sim 90^\circ$  范围内, 叶面积厚度约为1。在中下部叶片倾斜角差别不大, 且较平缓。

### 3.2 冠层光分布

图2是一天中不同时刻, 冠层中太阳总辐射的实测值与模拟值。在模拟中, 考虑了冠层上下的不同结构、一天中直接辐射与散射辐射的比例和太阳高度角的变化。从总体上看, 模拟值与实际值在趋势上是一致的。但在冠层下部模拟值较低于实测值。这是由于模型中忽略了叶片对太阳辐射的漫射作用。由于直接辐射和散射辐射在冠层中遵从负指数衰减, 总辐射也大致呈负指数分布, 其实际消光系数大致在0.4左右, 略低于模拟值。

### 3.3 叶片光合作用曲线

光合作用模型用非线性回归方法拟合, 即  $\theta=0.85$ ,  $a=0.023$ ,  $P_{max} = 16.9 \mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。样本数为20, 复相关系数为0.97, 达极显著。可见光合作用的光响应曲线, 符合所提出的模

型。图3中光通量密度的范围尚未达到饱和点, 光合速率随光通量密度的增加而增加, 但光合效率下降。

### 4 数值实验

门司、佐伯指出, 冠层光合作用可由植冠上方辐照度、叶层消光系数、叶片光合能力和叶面积指数推算。对模型输入一定的环境变量(如光强、太阳位置等)和生理参数, 通过数值计算, 给出玉米冠层光合作用速率作为输出值, 以观察模型的敏感性。叶倾角分布密度由表1给出(冠层中部)。考虑  $\psi=30^\circ\text{N}, \delta=15^\circ\text{N}$  的情况(相当于南京7月下旬), 在正午时刻, 即  $h=90-\psi+\delta, \omega=0$ 。

#### 4.1 冠层光合作用速率(Pc)

图4是在4个等量增加的光通量密度(600, 900, 1200, 1500  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , 其中直接辐射3/4, 漫射辐射1/4)下, 冠层光合作用速率与叶面积指数的关系。可以看出, 在其它条件不变的情况下, 冠层光合作用速率随叶面积指数的增加而增大。当LAI达到一定程度后, Pc随LAI增加较小。由于太阳高度角较大( $h=75^\circ$ ), 消光

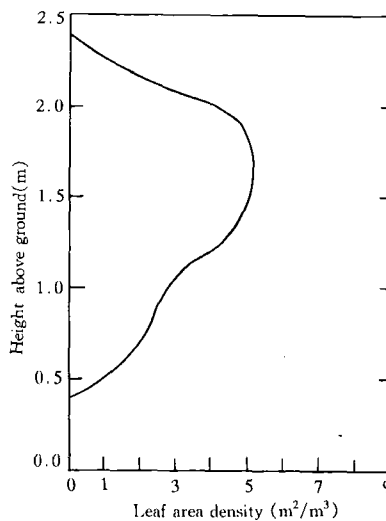


图1 玉米冠层的叶面积分布密度(禹城, 1996. 8. 19)

Fig. 1 Leaf area density of maize canopy (Yucheng, Aug. 19, 1996)

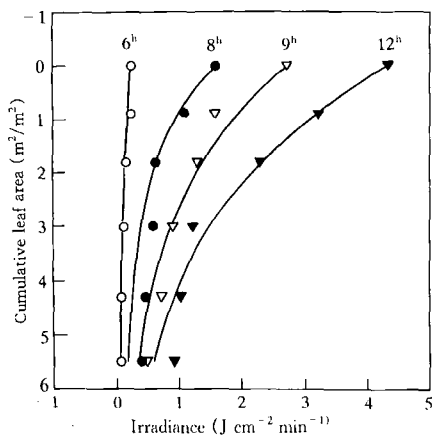


图2 玉米的冠层中太阳总辐射的实测值与模拟值(禹城, 1996. 8. 13)

Fig. 2 The observed and simulated total solar radiation in maize canopy (Yucheng, Aug. 13, 1996)

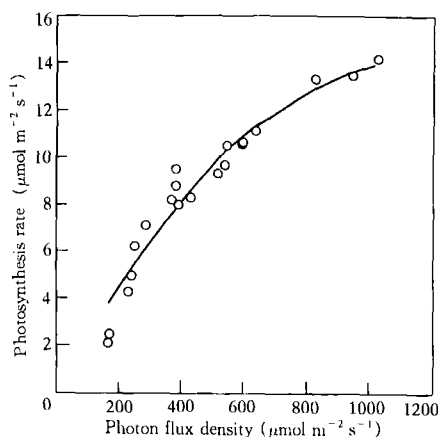


图3 玉米叶片的光合作用速率对光通量密度的响应(禹城, 1996. 8. 20, 10:00 h)

Fig. 3 The response of photosynthesis rate on maize leaves to photon flux density (Yucheng, 10:00 h, Aug. 20, 1996)

表1 玉米倾斜角的叶面积分布密度(禹城, 1996. 8. 19)  
Table 1 Area density of leaf inclination of maize (Yucheng, Aug. 19, 1996)

叶面积深度	叶倾斜角区间(°)					
	0~15	15~30	30~45	45~60	60~75	75~90
0~1	0.03	0.06	0.08	0.16	0.38	0.29
1~3	0.09	0.16	0.17	0.18	0.23	0.17
3~5.6	0.15	0.14	0.16	0.19	0.21	0.15

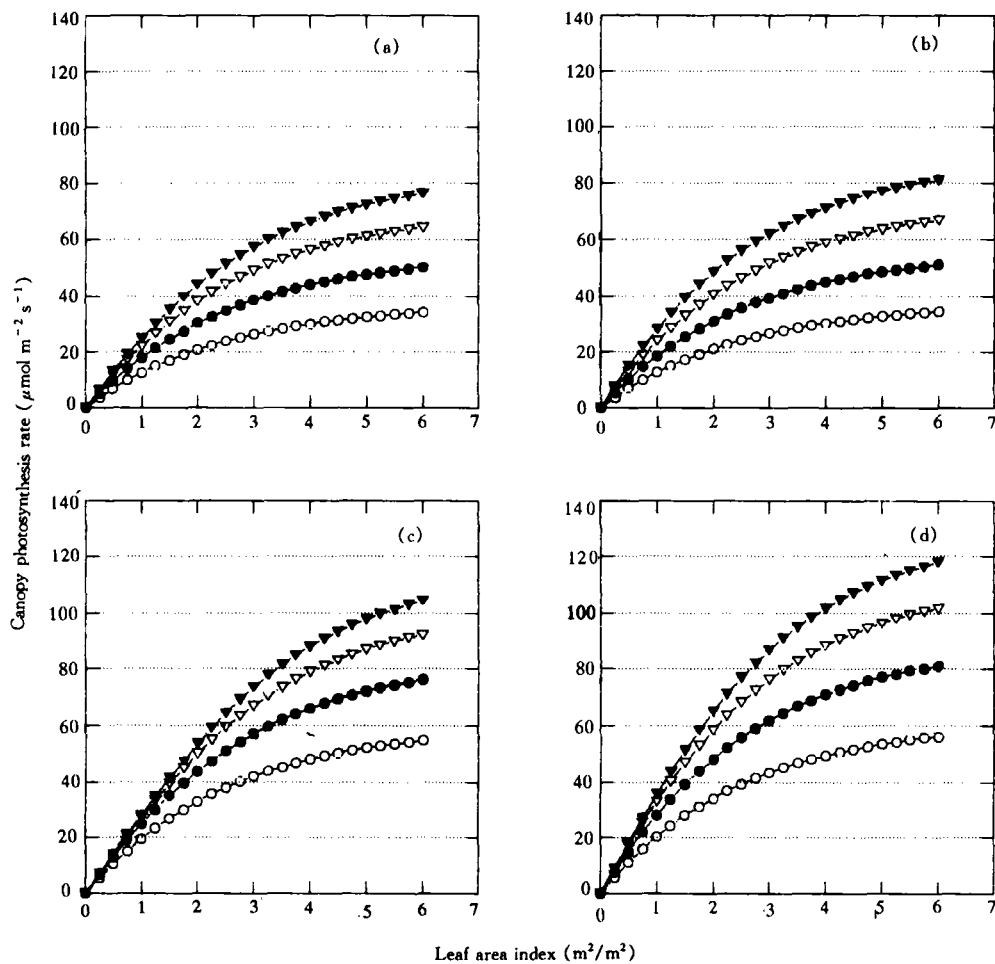


图 4 玉米的冠层光合作用速率对叶面积指数和辐照度的依赖关系((a) $a=0.03, P_{max}=30$ ;  
(b) $a=0.03, P_{max}=40$ ; (c) $a=0.05, P_{max}=30$ ; (d) $a=0.05, P_{max}=40$ ; 下同)

Fig. 4 The dependence of canopy photosynthesis rate on leaf area index in maize under different solar radiation intensities

系数为 0.5 左右，冠层的下部仍有一定的光合速率。

在较强的辐照度下，冠层光合作用较强， $P_c$  与 LAI 保持近似线性关系的范围较大。由于在较高的辐照度下，冠层上部叶层接近或达到光合极限，在 LAI 较小时(可看作冠层上层)， $P_c$  随辐照度的变化较小。LAI 越大， $P_c$  随辐照度的变化越大。

#### 4.2 冠层光合作用日变化

玉米冠层的叶面积指数可达 6~7 左右。本文研究 LAI=6 的冠层。太阳辐射日总量按等量递增。即日最高值为 800, 1200, 1600  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ，其中直接辐射约 3/4，漫射辐射 1/4。

这里说的光合作用日变化是不考虑其它气候因子时的情况。假设其它因子不变，以考察冠层光合作用随辐照度的日变化。

冠层光合作用日变化受太阳辐射量和太阳高度角( $h$ )的变化的影响。太阳高度角影响直射光的消光系数( $K_s$ )和叶面光分布。图 5 是在不同辐照度下，冠层光合作用的日变化。作物

冠层光合作用随太阳辐射有明显一致的变化趋势。冠层辐射量以正午为最高并对称于正午。在同一时刻,冠层光合作用强度随辐照度的增加而增加,但增量逐渐减少。即光照越强,光合效率越低。

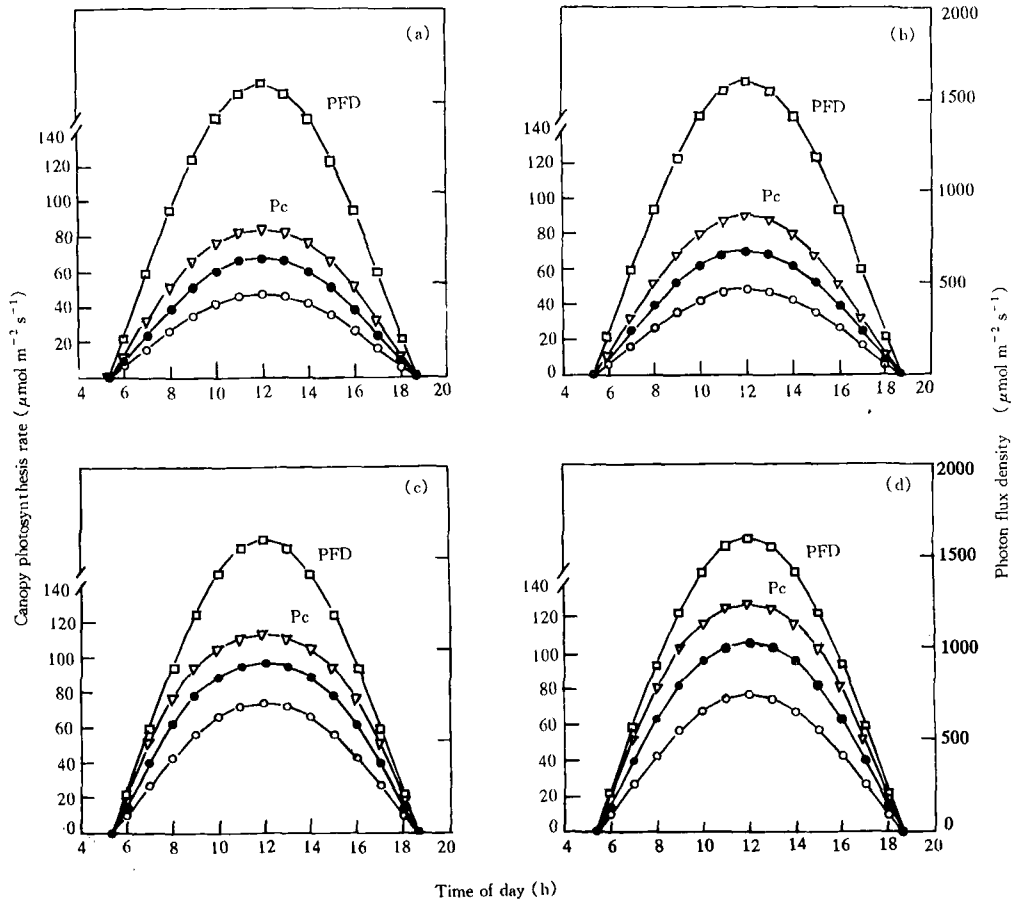


图5 玉米的冠层光合作用日变化对辐照度的依赖关系

Fig. 5 The dependence of diurnal variation of canopy photosynthesis in maize on solar radiation

应用本模型模拟的冠层光合作用与诸影响因子之间的关系与有关实验研究是一致的。

### 参 考 文 献

- 1 殷宏章、王天铎, 1959, 农业学报, 10(5), 381~397
- 2 王天铎, 1961, 稻麦群体研究论文集, 上海科学技术出版社, 上海, 51~64
- 3 王天铎、卫瑾, 1964, 植物学报, 12(2), 154~158
- 4 左大康, 1991, 地球表层辐射研究, 科学出版社, 北京
- 5 马慰曾, 1988, 中国农业气象, 3, 20~30
- 6 户刘义次主编, 薛德榕译, 1979, 作物的光合作用与物质生产, 科学出版社, 北京
- 7 于强, 1994, 南京大学博士论文
- 8 Duncan, W. G., R. S. Loomis, W. A. Williams et al. 1967, Hilgardia, 38, 181~205



- 9 Sinclair, T. R., C. E. Jr. Murphy and K. R. Knoerr, 1976, *J. Appl. Ecol.* 13, 813~829
- 10 Wang, Y-P and P. G. Jarvis, 1990, *Agr. For. Meteorol.* 51, 257~280
- 11 Baldocchi, D. D., 1993, In: Ehleringer J. R. and Field C. B. (eds) *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, pp. 77~114. Academic Press, San Diego
- 12 Norman, J. M., 1993, In: Ehleringer J. R. and Field C. B. (eds) *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, pp. 41~76. Academic Press, San Diego
- 13 Caldwell, M. M., H-P Meister, J. D. Tenhunen. et al. 1986, *Trees*, 1, 25~41
- 14 Amthor, J. S., 1994, *Photosyn. Res.*, 39, 321~350
- 15 Monsi, M., T. Saeki, 1953, *Jap. J. Bot* 14, 22~52
- 16 Monteith, J. L. 1965, *Ann. Bot.* 29, 17~37
- 17 Ross, J., 1981, *The radiation regime and architecture of plant stands*, Dr W. Junk Publishers, The Hague, Netherlands
- 18 Ross, J. K. and T. A. Nilson, 1968, In' *Rezhim solnechnoy radiatsii v rastitelnom pokrove*(Solar Radiation Regime in Plant Canopy), IPA, Tartu
- 19 Isobe, S. 1962, *Bull. Nat. Inst. Agr. Sci.* (Japan). Ser. A, 9, 29~66

## A Mathematical Study on Crop architecture and Canopy Photosynthesis I. Model

Yu Qiang<sup>1</sup> Wang Tianduo<sup>1</sup> Liu Jiandong<sup>2</sup> Sun Shufen<sup>3</sup>

(<sup>1</sup> Shanghai Institute of Plant Physiology, Chinese Academy of Sciences, Shanghai, 200032; <sup>2</sup> Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093; <sup>3</sup> Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100080)

**Abstract** A crop canopy photosynthesis model with high resolution, which includes a canopy architecture submodel, a canopy light distribution submodel and leaf surface photosynthesis submodel has been developed. The crop canopy is divided into several layers of unit leaf area index(LAI). Solar radiation on horizontal plane is calculated by Monsi-Saeki exponential function model. The extinction coefficient for diffuse and direct radiation is given by crop canopy architecture and solar position. A leaf is divided into irradiated and shaded areas, and the photosynthesis rates are calculated separately. The intensities of direct light on leaf surface with different orientation and declination are determined by solar orbit equation. The light response of photosynthesis modeled by a curve which approaches a maximum in a negative exponential way. The light distribution submodel and leaf photosynthesis model are validated by observed data in maize canopy. The running of the model gives results which accord well with the results of some experimental studies. The model responds well to input factors.

**Key words** Canopy architecture; Photosynthesis; Simulation