

遥感估算水稻产量——

I. 产量与辐射截获量间关系的研究*

项月琴 田国良

(中国科学院地理研究所) (中国科学院遥感应用研究所)

1987年12月20日收到

摘 要

以往,根据遥感资料估算作物产量,多数用的是经验方法。本文提出了一种具有生物学基础的水稻估产模式。该模式包括两项基础性的工作。(1)利用 Baerema 在澳大利亚新南威尔士州的 Riverina 地区,在水稻整个生长季中获得的三个水稻品种、两种播种方式(空播和拖拉机播)共6组实测的叶面积指数值 LAI ,通过 LAI 与积温间关系的分析,得到一条规一化的 LAI 曲线,称叶面积指数轨线 (LAI trajectory)。(2)根据太阳辐射在植冠层内的传输理论,利用实测的水稻叶角分布和常规日射资料,用模拟计算的方法,得到水稻冠层对光合有效辐射 PAR 日截获率 $IPAR_d$ 与 LAI 间的关系。并用实测资料对此作了检验,结果表明模拟计算结果是可取的。由此,我们只要知道了水稻扬花前不久某一天的 LAI ,利用上述两项基本关系及当地的辐射、温度资料,便可推算植冠层从扬花到生理成熟期间对光合有效辐射的截获总量 $TIPAR$,进而再假定水稻的灌浆直接取决于对 PAR 的总截获量 $TIPAR$,根据水稻籽粒产量与光能截获间的转换效率,便能估算水稻产量。

关键词 叶面积指数 截获的光合有效辐射 遥感水稻估产

到目前为止,利用卫星资料估算作物产量,多数采用经验性的方法^[1-5],即在作物的特定生长阶段,进行一次反射光谱辐射的测量,将得到的光谱反射比数据与最终产量间建立经验相关关系,作为估产的基本依据。这些方法均没有考虑自这次测量后,由于环境条件的变化对最终产量可能产生的影响。因此,这类方法往往只适用于某一特定的年份和地点。

本文旨在建立一个具有生物学基础的遥感估产模式。在水、肥、温度等条件得到充分满足的条件下,作物对光合有效辐射的截获量决定了干物质积累的上限。Kudo^[6]通过对世界各地若干种作物以及日本各地水稻生长状况的分析得到:决定干物质产量的因子,就气象条件而言,是日照量;就作物栽培而言,主要是叶面积指数,其次是净同化作用的速率。另一些研究表明,谷类作物籽粒产量的形成取决于从扬花—生理成熟^[1]的持续期的长短及该期间内作物群体对光能截获的总累积量。根据上述工作,本模式包括两个基本方面:(1)构造一条叶面积指数轨线 (LAI trajectory),用它描述实验区内水稻整个生长

* 作者在构造叶面积指数轨线中得到了 J. F. Angus 博士的具体帮助; J. F. Angus 和 D. L. B. Jupp (CSIRO) 两位博士对本文初稿提出了具体修改意见,特此致谢。

1) 为叙述简单起见,本文后面把“生理成熟”简写成“成熟”。

期中叶面积指数变化的规律。(2) 建立水稻群体对光合有效辐射 PAR 的日截获率 $IPAR_d$ 与 LAI 间的关系。据此, 我们如果知道了水稻扬花前不久某一天的 LAI 值, 加上当地的辐射和气温资料, 便可根据叶面积指数轨线推算水稻从扬花到成熟期内逐日的 LAI 值。进而根据已知的 $IPAR_d$ 和 LAI 的关系, 推算水稻从扬花一成熟期内截获的 PAR 总量 $TIPAR$ 。最后再假定水稻籽粒产量的形成与该期间内群体对光合有效辐射的截获总量 $TIPAR$ 成正比, 设比例系数为 E_r , 称 E_r 为转换效率, 这样水稻产量 \hat{Y} 为:

$$\hat{Y} = E_r \times TIPAR \quad (1)$$

一、地面实验¹⁾概况

澳大利亚新南威尔士州的 Riverina 有大片的水稻种植区, 那里有非常良好的灌溉设施。我们的地面实验区位于该区 Murrumbidgee 的灌区内, 简称 MIA (即 Murrumbidgee Irrigation Area), 约在 $146^{\circ}11'E$, $34^{\circ}13'S$ 附近。在水稻生长的中后期, 大部分日子天空晴朗少云, 十分容易得到晴空条件下的卫星影像图。水稻无病虫害, 各农场的播种和收获时间大体一致, 每块稻田的面积约 20—40 公顷 (300—600 亩)。该地区水稻产量高于全澳大利亚水稻的平均产量。

1985 年 1 月 13—30 日进行了地面实验测量, 这时正值水稻扬花前夕—扬花初期。此期间内陆地卫星 4 号和 5 号先后通过该地上空一次。

在 MIA 共设 8 个地面测区, 测量项目有: (1) 用两台 EXOTECH 100-AX 型辐射计, 选用与多光谱扫描仪相同的 MSS 波段, 测量水稻冠层的反射比和相应的叶(+茎)面积指数。(2) 水稻冠层的叶、茎倾角。(3) 水稻冠层对光合有效辐射的截获量。第 1 项是为利用卫星影像图数据估算叶面积指数作定标用的²⁾, 后两项的测量是为构造水稻冠层对光合有效辐射截获模式用的。

1. 叶、茎倾角的测量

在 8 个地面测区中任选 5 个测区, 在田间测量水稻植株的叶、茎倾角。测量工具为悬一小锤的量角器。对弯曲度大的叶片, 分成 2—3 个部分进行测量, 最后, 以叶茎面积为权重, 得到以每 10° 为一间隔的各倾角下叶子法线的概率密度函数 $\hat{g}(\theta_L)$ ^[7]。 θ_L 为叶倾角, 即叶子法线与垂直方向间的夹角。每区约测 130 片叶子和 30 根茎。实测的 $\hat{g}(\theta_L)$ 值见表 1。

表 1 水稻叶、茎的法线在不同倾角 θ_L 下的概率密度函数 $\hat{g}(\theta_L)$
Table 1 The probability density function, $\hat{g}(\theta_L)$, of the normal of leaf and stem of rice at inclinations

$\theta_L(^{\circ})$	5	15	25	35	45	55	65	75	85
$\hat{g}(\theta_L)$	0.001	0.003	0.008	0.027	0.065	0.116	0.482	1.364	3.664

1) 该实验是作者在澳大利亚工作期间进行的。

2) 田国良、项月琴, 遥感估算水稻产量——II. 用光谱数据和陆地卫星图像估产, 环境遥感, 待发表。

2. 水稻冠层对光合有效辐射截获的测量

观测是在 1985 年 1 月 24 日进行的, 全天碧空, 静稳, 大气透明度好, 测区的水稻是空播的, 因此田间植株呈均匀散布状态。在测区内共选两块密度不同的测量小区。用光量子表 (NO. 5548, 美国 Lambda 公司制造) 分别测量到达冠层上方、透入水稻冠层内的光合有效辐射 Q_0 和 Q , 以及从水稻冠层上方和冠层底部水面反射的光合有效辐射 Q_{rc} 和 Q_{rw} ^[8]。水稻冠层对光合有效辐射的瞬时截获量为 $IPAR_t$, 为:

$$IPAR_t = (Q_0 - Q) - (Q_{rc} - Q_{rw}) \quad (2)$$

然后根据各时刻实测的 $IPAR_t$ 和 Q_0 对全天进行积分, 分别得到水稻冠层对光合有效辐射的日截获量 $IPAR_d$ 和到达冠层上方的光合有效辐射日总量 $Q_{0,d}$, 两者相比, 即 $IPAR_d/Q_{0,d}$, 便是水稻冠层对光合有效辐射的日截获率 $IPAR_d/Q_{0,d}$ 。

辐射观测后第二天, 在每个小区内割下两块面积均为 0.5 平方米的植株, 叶子面积用叶面积仪测量, 茎的直径截面积取茎的平均直径与茎长的乘积。两测量小区实测的水稻对 PAR 的日截获率分别为 0.647 和 0.824, 它们的叶 (+ 茎) 面积指数分别为 2.61 和 3.81。

二、MIA 地区水稻的叶面积指数轨线

我们采用 Boerema^[1] 在 Riverina 地区的水稻生长季中获得的叶面积指数值 (该文表 12), 作为我们构造叶面积指数轨线的资料。有 3 个水稻品种: Calrose, Kulu 和 Baru, 每个品种有两种播种方式: 空播和拖拉机播, 两者共 6 组 LAI 资料 (图 1)。图中横座标的原点为出苗日, 实际上 6 组资料的出苗日和扬花日是各不相同的。该资料是自出苗日算起, 每两周测一次的叶面积指数值。由图 1 可看出, 叶面积指数最初为零, 出苗后逐渐增大, 到扬花前达最大, 然后再逐渐下降, 到成熟为止, 这时叶面积指数并不为零。每种情况的最大值间差异甚大, 但各条曲线总的生长持续期之间的差异并不大。

下面我们对图 1 各条曲线的叶面积指数的生长期作归一化处理, 以构造叶面积指数轨线。各日叶面积指数 LAI_j 的归一化公式为:

$$NLAI_j = LAI_j / LAI_{max} \quad (3)$$

上式中 $NLAI_j$ 为归一化后的叶面积指数值, LAI_{max} 为每条曲线的最大叶面积指数值, 生长期用积温 (度日) 表示。按我们的研究, 水稻生长的日平均下限温度为 15°C 。以扬花日为分界线, 将整个生长期分为两个阶段, 从出苗一扬花前一天为第一阶段, 积温用 DD_1 表示, 从扬花日一成熟为第二阶段, 积温用 DD_2 表示。

$$DD_1 = \sum_{i=N_1}^{N_F} (T_i - 15)_+ \quad (4)$$

1) Boerema, E. B., 1974, Growth and yield of rice in Murrubidgee Valley, N. S. W., Australia, Ms Thesis.

$$DD_2 = \sum_{j=N_F}^{N_M} (T_j - 15)_+$$

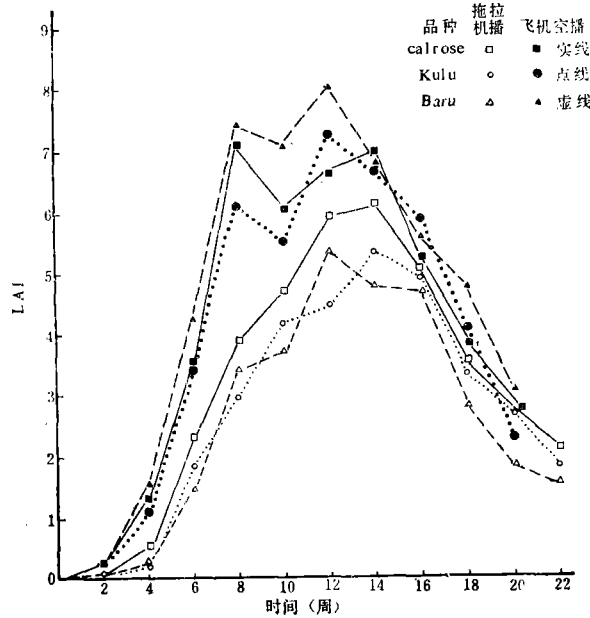


图 1 水稻整个生长季内叶面积指数 LAI 的变化 (取自 Boerema, E. B., 1974, 表 12)

Fig. 1. Leaf area index, LAI, of rice during the whole growing season (from Tab. 12, Boerema, E. B., 1974).

上式中 N_j , N_F 和 N_M 分别表示水稻出苗、扬花和成熟的日期, T_j 表示逐日的平均气温, $T_j = 0.5 \times (T_{j,max} + T_{j,min})$, $T_{j,max}$ 和 $T_{j,min}$ 分别为日最高和最低气温。式 (4) 中的下标“+”表示:

$$(T_j - 15)_+ = \begin{cases} T_j - 15 & \text{当 } (T_j - 15) > 0 \text{ 时} \\ 0 & \text{当 } (T_j - 15) \leq 0 \text{ 时} \end{cases} \quad (5)$$

对生长期作归一化处理:

$$NDD_j = \sum_i (T_j - 15)_+ / DD \quad (6)$$

上式中 NDD_j 为积温经归一化后的值, 从出苗—扬花前一天期间的归一化值 $NDD_{1,i}$ 在横坐标轴上为 $-1-0$; 扬花日—成熟期的归一化值 $NDD_{2,i}$ 在横坐标轴上为 $0-+1$ 。这两个生长期日平均气温大于 15°C 的总积温分别为 $DD = -DD_1$ 和 $DD = DD_2$ 。

由式 (3) 得到的 $NLAI_j$ 为纵坐标, 式 (6) 得到的 NDD_j 为横坐标, 将 6 组数据合在一起建立一元多次回归方程:

$$NLAI_j = 0.94790 - 0.55177NDD_j - 1.1428NDD_j^2 + 1.6131NDD_j^3 + 0.36069NDD_j^4 - 0.87853NDD_j^5 \quad (7)$$

公式 (7) 表示的拟合曲线就是叶面积指数曲线 (图 2)。相关系数为 0.97, 拟合曲线最大

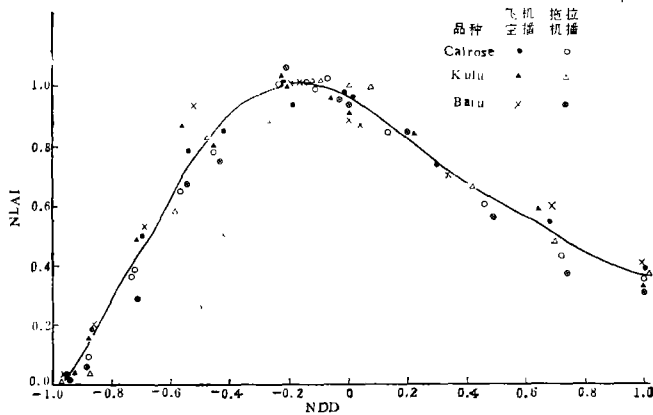


图 2 MIA 地区水稻整个生长季内叶面积指数轨线

Fig. 2 A trajectory of leaf area index of rice in the area of MIA

值的坐标分别为: $NLAI_{max} = 1.001$, $NDD_{max} = -0.180$ 。

三、水稻冠层对 PAR 日截获率 $IPAR_d$ 的模拟计算

到目前为止,尚没有现成的水稻冠层对 PAR 的日截获率 $IPAR_d$ 与 LAI 间关系的实测资料可以利用。在我们的实验中,要在水稻的整个生长季连续地对冠层截获的光合有效辐射进行实地测量又有困难。因此,本文拟根据太阳辐射在植冠层内传输的理论,采用实测冠层几何结构参数 $g(\theta_L)$,通过模拟计算的方法获得水稻的 $IPAR_d$ 与 LAI 间的关系曲线。

Hipps 等人^[9]用光量子表测量了冬小麦两个品种在 3 种不同种植密度下植冠层对 PAR 的日截获量,得到一条冬小麦冠层对 PAR 的日截获率 $IPAR_d$ 与 LAI 间关系的实验曲线,它们呈指数相关。在叶面积指数很低(约 ≤ 1.0 ^[9])时,晴天条件下的 $IPAR_d$ 偏低 8—10%^[9],在叶子迅速衰老期(大体上 $LAI \leq 3.0$ ^[2]), $IPAR_d$ 有所偏高^[9,10],除此之外,在小麦生长的绝大部分时间内,这一关系与天空状况无关,也就是说这一关系对晴天、多云天气和阴天均适用。上述结果对我们是十分有用的。

我们选用离实验区最近的日射台站 Wagga Wagga (147°30'E, 35°06'S) 的辐射资料。在本文的模拟计算中,仅提供两种类型天空状况下的 $IPAR_d$ 和 LAI 的关系:一类是 1—4 月逐月多年平均的情况,即各种天空状况下的平均值,另一类仅仅是阴天的情况。

计算中假定来自天空各部分的散射辐射各向同性,设水稻叶片的透光率为零。那么根据散射传输方程,到达冠层内水平面上的光合有效直接辐射 S 和光合有效散射辐射 D 分别为:

1) 该值为本文作者从文献 [9] 图 7 上读出。

2) 该值为本文作者从文献 [10] 图 4 上读出

$$S = S_0 \exp(-K \cdot LAI)$$

$$D = 2D_0 \int_0^{\pi/2} \exp(-K \cdot LAI) \sin \theta \cos \theta d\theta \quad (8)$$

上式中 S_0 和 D_0 分别为到达冠层上方水平面上的光合有效直接辐射和光合有效散射辐射。各时刻的 S_0 和 D_0 分别取 Wagga Wagga 1—4 月多年平均的全波段太阳直接辐射值和散射辐射值, 乘以 0.44^[11], 即为相应的光合有效辐射值。式 (8) 中的 θ 为来自天空各部分的散射光线与垂直方向间的夹角。

$$Q = S + D$$

$$Q_0 = S_0 + D_0 \quad (9)$$

上式中 Q 和 Q_0 分别为一天中各时刻透入冠层内和到达冠层上方的光合有效总辐射。

公式 (8) 中的 K , 人们常称为植物冠层对太阳直接辐射的减弱系数, 其值为

$$K = G(\theta, \theta_L) \cdot g(\theta_L) \quad (10)$$

$g(\theta_L)$ 值取自表 1。 $G(\theta, \theta_L)$ 为一三角函数:

$$G(\theta, \theta_L) = \begin{cases} \cos \theta_L & \text{当 } \theta + \theta_L \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{2}{\pi} \left[\sin \theta_L \tan \theta \sin \beta_0 + \left(\frac{\pi}{2} - \beta_0 \right) \cos \theta_L \right] & \text{当 } \theta + \theta_L > \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $\beta_0 = \arccos(\cot \theta \cot \theta_L)$ 。

公式 (8) 和 (9) 为我们提供了一天中各时刻的 Q 和 Q_0 值, 再按公式 (2) 及本文中第一、二部分给出的方法, 便可得到不同叶面积指数下水稻冠层对光合有效总辐射的日截获率 $IPAR_d$, 式 (2) 中的 Q_{rc} 和 Q_{rw} 取自我们的实测值。

MIA 地区 1—4 月水稻冠层对光合有效总辐射的平均日截获率和阴天情况下的日截获率 $IPAR_d$ 随 LAI 变化的模拟计算结果见图 3。图中的两个大实心圆点, 为 1 月 24 日在田间的实测结果, 落在 1 月份 $IPAR_d \sim LAI$ 曲线的附近, 这从一个侧面证实我们的模拟计算结果是可取的。

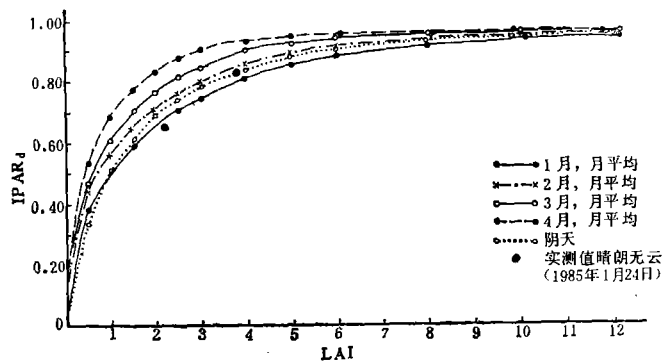


图 3 水稻冠层对光合有效总辐射日截获率 $IPAR_d$ 与叶面积指数 LAI 间关系的模拟计算结果

Fig. 3 The simulated daily interception of global photosynthetically active radiation by rice canopy as a function of LAI.

四、从扬花到成熟期内水稻对 PAR 的截获总量和产量的估算

估算从扬花—成熟期内水稻对 PAR 的截获总量 $TIPAR$ 的程序如下: 首先需要知道水稻扬花前不久某一天田块的叶面积指数 $LAI_{j,0}$; 进而根据 LAI 轨线推算从扬花到成熟期内逐日的 LAI_j 值; 有了逐日的 LAI_j 值后, 再根据 $IPAR_d$ 与 LAI 间的关系, 便可推算 $TIPAR$. $LAI_{j,0}$ 值是根据 1985 年 1 月 21 日陆地卫星影像图的光谱资料, 用 Suits 模式估算的, 对此, 我们将在另文中专门叙述¹⁾. 计算中用了 Griffith 的日射和温度资料. 将实测的全波段总辐射日总量乘以 0.44^[11], 即为到达冠层上方的光合有效总辐射。

推算 $TIPAR$ 的具体步骤如下:

1. 推算从扬花到成熟期内逐日的叶面积指数值

(1) 扬花前的 $LAI_{j,0}$ 值在叶面积指数轨线上位置的确定 $LAI_{j,0}$ 值在叶面积指数轨线上的横坐标 $NDD_{j,0}$ 按下式计算:

$$NDD_{j,0} = - \left[\sum_{i=N_0}^{N_F} (T_i - 15)_+ \right] / DD_1 \quad (12)$$

式中 N_0 和 N_F 分别为获得 $LAI_{j,0}$ 的日期和水稻平均扬花日期; $DD_1 = 678$ 度日。然后将 $NDD_{j,0}$ 代入公式 (7) 便得 $NLAI_{j,0}$ 。

(2) 计算与 $LAI_{j,0}$ 值相对应的叶面积指数轨线上的最大值 $LAI_{j,0,max}$ 计算公式如下:

$$LAI_{j,0,max} = (NLAI_{max} \cdot LAI_{j,0}) / NLAI_{j,0} \quad (13)$$

式中 $NLAI_{max} = 1.001$, $LAI_{j,0}$ 和 $NLAI_{j,0}$ 均为已知值。

(3) 扬花—成熟期内逐日的叶面积指数值 $LAI_{2,j}$ 的推算

$$LAI_{2,j} = LAI_{j,0,max} \cdot NLAI_{2,j}(NDD_{2,j}) \quad (14)$$

式中 $NDD_{2,j}$ 的计算式如下:

$$NDD_{2,j} = \left[\sum_{i=N_F}^{N_c} (T_{2,i} - 15)_+ \right] / DD_2 \quad (15)$$

式中 N_F 和 N_c 分别表示水稻扬花日期和要计算的逐日的日期。下标“2”表示扬花—成熟期内的情况。1985 年水稻扬花日期为 2 月 12 日, 生理成熟日期为 4 月 23 日, 因此, 取 $DD_2 = 427.4$ 度日。

2. 扬花到成熟期内冠层对 PAR 的总截获量 $TIPAR$ 的计算

从式 (14) 得到扬花—成熟期内逐日的叶面积指数 $LAI_{2,j}$ 后, 根据图 3 所列的 2—4

月逐月的 $IPAR_d$ 与 LAI 间的关系, 便可推算此期间水稻对 PAR 的截获总量 $TIPAR$ 。计算中没有采用图 3 中阴天的 $IPAR_d$ 数据。在此期间实验区阴天只占 7%, 93% 的日子为晴或有云天气, 其中又以晴和少云天气为主, 因此, 用 2—4 月的结果, 概括了水稻扬花一成熟期内占主导地位的天气状况下的 $IPAR_d$ 值。

3. 估算水稻产量

将上述的 $TIPAR$ 值代入公式 (1), 取 $E_r = 2.1g \cdot cm^{-2} / (MJ \cdot m^{-2})$, 该值是我们根据 1983 年的实测资料获得的。这样便可获得水稻产量的估算值 \hat{Y} , 估算产量 \hat{Y} 与实际产量 Y 见表 2。

表 2 用本模式估算的产量 \hat{Y} 与实际产量 Y (吨/公顷)

Table 2 Comparison of estimated rice yield, \hat{Y} , to the actual one, Y (ton/ha.)

测 区	1	2	3	4	5	6	7	8
实际产量 Y	6.18	9.71	9.39	6.92	8.90	8.65	11.27	10.13
估算产量 \hat{Y}	8.90	10.23	9.79	6.69	10.02	6.11	11.13	10.67

测区 2, 3, 4, 7, 8, 虽然品种亦各不相同, 但这些品种的转换效率十分接近, 因此, 对它们我们用了相同的转换效率。这 5 个区估算的产量与实际产量十分接近, 而测区 1 和 5 是两个低转换效率的品种, 但这里我们用了与上述 5 个测区相同的转换效率, 致使产量估算值明显高于实际值。关于测区 6, 据我们了解是报产有误。由此看出, 使用本模式估算水稻产量时, 转换效率的选取是影响估产精度的一个重要问题, 应按品种来确定转换效率。

必须注意的是, 扬花前各地块的叶面积指数 $LAI_{j,0}$ 是本模式中的一个重要参数。对 $LAI_{j,0}$ 进行测量的最早时间应选在全部耕作管理措施完成之后进行。如果用陆地卫星资料获得 $LAI_{j,0}$ 的话, 则最迟的测量日期必须在开花之前, 再晚了的话, 由于稻穗的影响, 冠层的光谱反射辐射将与以叶子为主时的情况不同。

此外应指出的是, 用本模式进行估产时, 假定作物从扬花到生理成熟期内如果叶面积指数越大, 则冠层截获光能的总累积量也就越大, 那么最终产量就越高。如果冠层的叶面积指数过大的话, 会使到达冠层中、下部的光线减弱, 导致叶子过早地枯黄, 或由于叶子密度过大, 导致倒伏, 则反而会使产量下降^[2]。但由于我们的实验资料有限, 因此在本模式中无法考虑这一限制因子。这是有待于今后进一步解决的一个问题。

参 考 文 献

- [1] Jupp, D. L. B., Angus, J. F., Sykes, J. and Smith, R. C. G., Forecasting rice yield, I. the uses of landsat images and measured dry matter at anthesis, Second Australian Rice Research Workshop, Yanco, 22—24th, Feb., pp. 24—29, 1983.
- [2] Harrison, B. A., Jupp, D. L. B., Ibrahim, A. A. and Angus, J. F., The use of landsat data for monitoring growth of irrigated crops. Proceedings of the Third Australian Remote Sensing Conference, Queensland, Australia, pp. 36—43, 1984.
- [3] Patel, N. K., Singh, T. P., Sahal, B. and Patel, M. S., Spectral response of rice crop and its relation to yield and yield attributes. Int. J. Remote Sensing, 6(5), pp. 657—664, 1985.

- [4] Tucker, C. J., Elgin, J. H. and Mcmurter, J. E., Relations of spectral data to grain yield variation. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 46(6), pp. 657—666, 1980.
- [5] Wiegand, C. L. and Richardson, A. J., Leaf area, light interception and yield estimates from spectral components analysis. *Agron. J.*, 76, pp. 543—548, 1984.
- [6] Kudo, K., Economic yield and climate. in Murata, Y. (ed.), "Crop productivity and solar energy utilization in various climates in Japan", pp. 199—220, University of Tokyo Press, Tokyo, 1975.
- [7] 项月琴、周允华, 从透过率推算植冠层几何结构参数 I. 直接辐射透过率的模拟计算. «农田生态系统能量物质交换», 气象出版社, 1987 年。
- [8] 项月琴、周允华, 从透过率推算植冠层几何结构参数, II. 总辐射透过率的模拟计算, 气象出版社 1987 年。
- [9] Hippias, L. E., Asrar, G. and Kanemasu, E. T., Assessing the interception of photosynthetically active radiation in winter wheat. *Agric. Meteorol.*, 28, pp. 253—259, 1983.
- [10] Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T. and Hatfield, J. L., Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy J.*, 76 (2), pp. 300—306, 1984.
- [11] 周允华、项月琴、单福芝; 光合有效辐射 (PAR) 的气候学研究, 气象学报, 42(4), PP. 387—397, 1984.
- [12] 董振国, 黄淮海平原农田叶面积变化特征及光能利用率, «黄淮海平原治理和开发», 第一集, 第 163—175 页, 1985 年。

ESTIMATING RICE YIELD FROM REMOTELY SENSED DATA —I. RELATING YIELD TO TOTAL INTERCEPTED RADIATION

Xiang Yueqin

(*Institute of Geography, Chinese Academy of Sciences*)

Tian Guoliang

(*Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences*)

Abstract

A method is presented which offers a biological base to empirical methods of estimating crop yield from remotely sensed canopy reflectance. This method involves two basic aspects, (i) A pattern of leaf area index (LAI), which follows a characteristic trajectory, is provided based on six sets of LAI from plant initiation to maturity from Boerema in Riverna, New South Welse, Australia. There are three varieties each for the both of combine sowing and aerial sowing. (ii) A form of daily rate of intercepted photosynthetically active radiation (PAR), $IPAR_d$, as a function of LAI is derived with a simulating calculation based on the radiation transfer equation in a canopy and the measured data of foliage inclination in the field and the conventional data of radiation. The simulated $IPAR_d$ is tested with the measured points in the field in January. They are fitted very well. If a single value, LAI_0 , of LAI at the stage closely prior to anthesis is obtained, the values of LAI from then to maturity can be estimated based on the pattern of LAI . The accumulated intercepted PAR , $TIPAR$, from anthesis to maturity can then be estimated based on the function of $IPAR_d$ and estimated sequential LAI over this period. Then rice yield can be estimated from the $TIPAR$, assuming that all assimilates during this phase are directed towards seed-fillings.

The method is used for estimating rice yields on farms. The values of LAI_0 are derived from the canopy reflectance on images of Landsat -5 on January 21, 1985.

Key words Leaf area index (LA) Interception of photosynthetically active radiation
Estimating rice yield from remotely sensed data