

冬小麦叶面积指数地面测量方法的比较

刘镭源^{1,2}, 王纪华^{1*}, 杨贵军¹, 黄文江¹, 李伟国¹, 常红¹, 李小文²

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097;

2. 遥感科学国家重点实验室, 北京师范大学地理学与遥感科学学院, 北京 100875)

摘要: 该研究以冬小麦为对象, 对叶面积指数测量的几种方法(比叶重法、照相法及 SUNSCAN 测量法)从测量难易程度、误差来源、适宜条件等方面做了比较分析与评价。研究表明比叶重法及照相法在整个生育期间均可使用, 而基于 SUNSCAN 的仪器测量法在冬小麦封垄前的测量还需进一步研究。对 SUNSCAN 一天内不同时间测量的结果进行了比较, 得出最适宜测量时间为 13:00—15:00。照相法的测量精度最高, 比叶重法次之, SUNSCAN 测量需要根据作物生长特点做参数修正。针对 SUNSCAN 测量 LAI 提出了一种对叶倾角分布参数进行修正的方法, 对 3 种冬小麦株型品种 3 个不同生育期进行了参数修正。该研究有助于地面测量叶面积指数的方法选择, 同时对提高 SUNSCAN 测量精度具有参考意义。

关键词: 叶面积指数, SUNSCAN, 照相法, 比叶重法, 参数修正, 冬小麦

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.03.042

中图分类号: S127

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-03-0220-05

刘镭源, 王纪华, 杨贵军, 等. 冬小麦叶面积指数地面测量方法的比较[J]. 农业工程学报, 2011, 27(3): 220—224.

Liu Rongyuan, Wang Jihua, Yang Guijun, et al. Comparison of ground-based LAI measuring methods on winter wheat[J].

Transactions of the CSAE, 2011, 27(3): 220—224. (in Chinese with English abstract)

0 引言

叶面积指数(leaf area index, LAI)作为进行植物群体和群落生长分析的重要参数和评价指标, 在农业、林业及生态学等领域得到了广泛的应用。叶面积指数是指单位地表面上方植物叶单面面积的总和^[1], 因此它是叶覆盖的无量纲度量, 受植物大小、年龄、株行距和其他因子的影响^[2]。叶面积指数定量地描述了群体水平上叶子的生长与叶密度间的变化关系^[3], 成为在植物光合作用、蒸腾作用和水分利用和构成生产力基础等方面进行群体和群落生长研究时必不可少的重要参数^[4]。

利用遥感技术估测农作物和森林生态系统的生长模型和能量水分交换等研究中, LAI 一直是一个重要指标。通常检验遥感反演叶面积指数的精度常常通过地面实地测量的方式。地面测量叶面积指数的方法有很多种, 大致分为两类——直接测量法和间接测量法^[3]。直接测量法包括系数法和比叶重法等。直接测量法在叶子的采集和叶面积的测量过程中, 具有一定的破坏性。间接测量法包括基于数字图像处理技术的照相法以及基于光学仪器进行 LAI 测量的仪器测量法等, 还有根据植物和其他覆

盖物之间的反射光谱, 利用多光谱或高光谱数据而建立光谱或植被指数与 LAI 的统计回归关系的模型方法等^[5]。间接测量法通常具有比直接测量法更快、更大范围和自动化的特点。在地面验证遥感反演 LAI 精度时, 通常采用其中一种或多种方式, 但每种方法都有其自身特点所决定的测量误差, 有所适宜采用的天气、植被生育期等条件。不同的测量方法, 得到的 LAI 有所差异, 在对 LAI 精度敏感的研究中, 需要对地面测量方法的误差进行分析。本文以北京小汤山试验基地内的冬小麦为研究对象, 对地面测量的叶面积指数的几种常用方法: 比叶重法、照相法及基于 SUNSCAN 的仪器测量法进行比较, 并对各自方法的误差及其适宜条件进行初步分析与讨论。

1 方法原理

1.1 比叶重法

比叶重法是利用单位叶面积与叶子干重的比值来获取叶面积指数的一种方法。它的具体做法是, 选定有代表性的地块, 取一定面积(A)的植物样品于取样袋中, 带回室内测定, 测定前记录取样面积上的总株数或分蘖数m。从所取样品中选5株, 摘下所有展开绿色叶片, 选取叶片中宽窄较为一致的地方, 剪2或3cm长度的小段, 用直尺测定总宽度, 计算面积(S), 然后烘干称质量(W₁), 然后对标叶剩余绿叶全部烘干后称质量(W₂), 其计算式如下

$$LAI = \frac{W_1 + W_2}{A \cdot W_1} \cdot S \cdot m \quad (1)$$

比叶重法原理简单、较为精确, 常被用作林业上森林树种或农业上作物的比较测定。但其过程复杂, 制作

收稿日期: 2010-07-28 修订日期: 2011-01-17

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2007CB714401); 国家自然科学基金(40971197, 41071276); 北京市自然科学基金(4102021); 中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室开放基金(2009KFJ020)

作者简介: 刘镭源(1986—), 女, 四川南充人。主要从事农业定量遥感。北京 北京农业信息技术研究中心, 100097。Email: liurongyuan@126.com。
*通信作者: 王纪华(1958—), 男, 研究员, 博士生导师。主要从事农业定量遥感。北京 北京农业信息技术研究中心, 100097。
Email: wangjh@nercita.org.cn

标叶、烘干、称质量操作步骤多, 耗时较长, 结果又受到叶片厚度不均匀的影响, 且采样具有破坏性, 不能重复测量。

1.2 照相机法

本文所采用的照相机法是基于数字图像处理技术, 计算数字相片上绿叶与已知实际面积 (S) 的参考物的像素之比 (P) 来求绿叶部分所占的面积, 再根据植株的生长密度, 进而求得叶面积指数。采用此种原理测量 LAI 的方法有很多, 尽管不同作者在测量方式、影像处理方式^[8-10]等进行了区分和延伸, 但核心原理仍是相同的。其叶面积指数的计算公式为

$$LAI = \frac{P \cdot S}{A} \cdot \frac{m}{n} \quad (2)$$

式中: A 为取样面积; S 为参考物的实际面积; P 为相片上绿叶与参考物的像素之比; m 为取样面积上的总株数; n 为照片中所拍摄到的植株数。

照相机法测量操作简单易行, 对样本的计算精度高。

1.3 SUNSCAN 测量 LAI

基于光学仪器进行 LAI 测量的方法应用较多, 其中 SUNSCAN 冠层分析系统是一种常见的仪器测量方法, 可同时测量入射光合有效辐射 (photosynthetically active radiation, PAR), 包括直射 PAR 和散射 PAR、透过 PAR 和 LAI 等多项指标, 是一种便携实用的农田生态指标观测工具。

SUNSCAN 测量 LAI 的原理是冠层投射的光学模型的方法, 该方法是基于冠层组分随机分布假设的比尔朗伯定律指数递减模型以及基于叶角分布函数的光分布模型。测量 LAI 时, 使用光量子传感器、电容传感器和激光传感器等传感器测量冠层顶部及底部的辐射值, 可计算出冠层的透过率。再根据直射辐射和散射辐射的辐射传输原理^[11-12], 考虑冠层辐射的截取与入射光的成分、光属性和冠层结构的关系, 计算截获光线的叶面积指数。其计算公式如下^[13]

$$\tau = f_b \cdot e^{-K(x, \theta)[1 - g_{dir} \cdot (1 - a)]L} + (1 - f_b) e^{-L_a} + A(x) L_a^3 e^{-B(x) L_a^C(x)} \quad (3)$$

$$K(x, \theta) = \sqrt{\frac{x^2 + \tan^2(\theta)}{x + 1.702(x + 1.12)^{-0.708}}} \quad (4)$$

$$L_a = L \cdot [1 - g(1 - a)] \quad (5)$$

式中, τ 为冠层透过率, L 为冠层叶面积指数; L_a 为黑叶模型叶面积指数^[13], K 为消光系数, a 为 PAR 波段的吸收系数 (SUNSCAN 默认为 0.85); f_b 为直射光占入射光的比例; x 为椭圆形叶倾角分布参数 (ellipsoidal leaf angle distribution parameter, ELADP); θ 为太阳光入射天顶角。g、A、B、C 均为 x 的函数, 详见 SUNSCAN 说明书, 这里不再赘述。在透过率可求的情况下, 通过迭代可计算出 L 值。这样得到的 LAI 值, 与真实叶面积指数相比, 其误差在 $\pm 10\%$ 以内。

光学模型方法具有速度快, 实用性强, 非破坏性的优点。然而, 由于 LAI 推导模型中, 冠层结构和辐射属

性进行了一定假设, 测量时通常需要晴朗的天空, 而且受叶倾角、叶形及叶簇等因素的影响。

2 试验内容和方法

试验于 2010 年在北京市昌平区小汤山精准农业试验基地进行, 试验选用了 3 个不同株型品种的冬小麦, 即偏紧凑型 I-93, 偏披散型的中麦 16 和居于二者之间的 6211。每个品种一个小区, 小区面积为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$, 各小区间无肥水差异, 均为统一处理。

2.1 比叶重法

取样: 从每个小区中挑选长势较为均匀, 具有区域代表性的小麦, 取样面积为 $15 \text{ cm} \times 3$ 行, 行宽为 15 cm 。制作标叶、烘干、称质量。

2.2 照相机法

照相机所用相机型号为 SonyDSC-H9, 光圈倍数为 15 倍, 相片存储为 JPG 格式。

照相机田间取样方法同比叶重法。取样面积大小为 S_1 , 样中总茎数为 m 。从中随机抽取 5 个茎, 作为照相机法的小麦样本。将叶、茎分开。取一张 A4 大小的白纸 S_2 ($21 \text{ cm} \times 29.7 \text{ cm}$) 置于平整的板上。用胶水固定, 使叶平铺于纸上。保证叶片间无重叠。用相机在白纸正中上方 $20 \sim 30 \text{ cm}$ 垂直拍摄, 使白纸完全在视场内。忽略拍摄带来的几何畸变。在 Photoshop 中, 将 A4 纸以外的部分删除后, 另存为影像。在 ENVI 中, 读取该影像, 利用 “Decision Tree” 的分类方法, 对波段进行操作, 将绿色植被组分与白纸分开。

分别统计白纸的像素个数 PZ 和绿色部分的像素个数 PL, 实际白纸所占像素个数为 PZ 与 PL 之和。计算叶面积指数如式 (6) 所示

$$LAI = \frac{PL}{PZ + PL} \cdot \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{m}{5} \quad (6)$$

2.3 SUNSCAN 测量

试验采用的是英国 Delta T 仪器公司生产的 SUNSCAN 冠层分析系统仪。

在各小麦区内, 分别用标杆标示一个固定区域, 从 9:00 开始至 17:00 每隔一个小时用 SUNSCAN 观测叶面积指数一次。具体操作过程如下: 启动仪器后, 设定好经纬度和时间, 设置输出方式为 “LAI” 输出。叶倾角输入参数默认为 1 (近似为球形分布)。测量时, 在冠层顶部探头朝上挡光测量, 在底部探头朝上测量, 顺垄及垂直垄各测一次。测量过程中, 严格按照仪器的测量规范进行。记录、保存数据。

3 结果与分析

3.1 SUNSCAN 测量叶面积指数的变化

SUNSCAN 测量冠层 LAI 的结果, 受测量方式 (顺垄或垂直垄或其他角度)、测量时间 (太阳入射角度) 的影响。图 1 为 1 d 内不同时间段对 3 种株型的顺垄及垂直垄测量结果。

从图 1 中可以看出, 顺垄、垂直垄的测量结果差异比较大, 这主要是受冬小麦的行播特性的影响。行垄间

距的差异,导致封垄前叶片主要集中在茎内,封垄后则差异不大。为了与另 2 种测量方法进行比较,选取顺垄测量结果代表小区的叶面积指数。此外,测量值受观测时间的影响较为明显,随着太阳入射角度的变化,透过冠层的光线截获量受叶倾角、垄行结构等多种因素的影

响而发生变化。通过观察,可以发现 13:00—15:00 之间的观测值比较稳定,这与高晓飞等人的研究成果基本一致^[14]。因此,对这几个时间的顺垄观测值取平均,作为用 SUNSCAN 测量小区的叶面积指数。

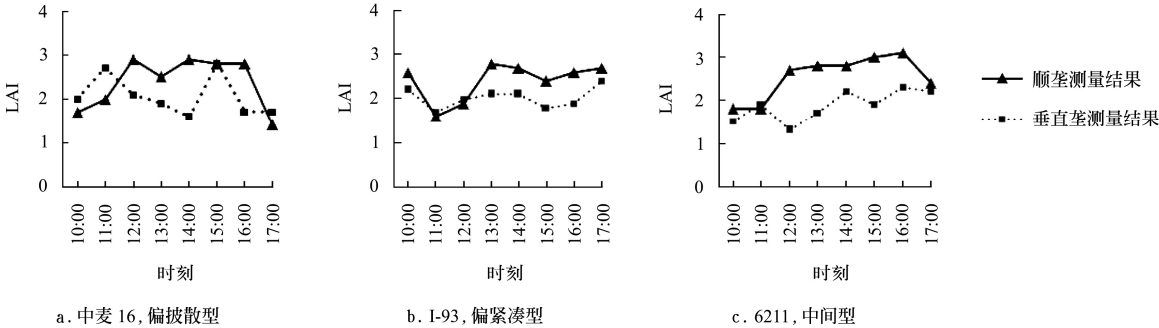


图 1 3 种株型叶面积指数 SUNSCAN 观测值日变化 (5 月 10 日)
Fig.1 Diurnal changes of leaf area index measurement of SUNSCAN

3.2 3 种测量方式不同生育期 LAI 测量结果比较

对冬小麦各主要生育期进行了观测。需要说明的是本次试验中在作物的拔节与挑旗两个生育期 SUNSCAN 只在 10:00 左右进行了 1 次观测。抽穗以后均为每隔 1 h 观测 1 次,取 13:00—15:00 的平均值。观测结果见表 1。

表 1 3 种株型品种冬小麦各主要生育期叶面积指数测量值
Table 1 Measured LAI of three kinds of winter wheat in different grown stages

时间(月-日)	生育期	品种	比叶重法	照相法	SUNSCAN
04-23	拔节	中麦 16	2.51	1.93	1.0
		6211	2.54	1.65	0.85
		I-93	2.17	2.49	0.6
04-30	挑旗	中麦 16	4.14	4.14	1.5
		6211	3.41	3.73	0.9
		I-93	3.10	3.63	1.0
05-10	抽穗	中麦 16	3.64	3.28	2.9
		6211	2.66	3.11	2.6
		I-93	2.75	3.20	2.5
05-19	开花	中麦 16	3.75	3.87	3.1
		6211	3.15	3.78	3.6
		I-93	2.99	3.01	2.7
05-31	灌浆	中麦 16	2.74	3.35	2.7
		6211	2.45	2.60	2.5
		I-93	1.70	2.80	2.2

注: 4 月 23 日、4 月 30 日的 SUNSCAN 测量值均为上午 10:00 左右测量值。

从表 1 可以看出,随着生育期的推进, LAI 呈现先增大而减少的趋势。这是由于生育前期小麦分蘖的茎数较多,各个茎上都长叶,叶面积指数逐渐增大。而随着植株上的分蘖逐渐发黄枯萎,约到开花期时仅余下主茎,到灌浆时 LAI 比前几期更小。

图 2 显示了 3 种测量方式获得的 LAI,从图 2a 可以看出比叶重法与照相法所得的 LAI 比较接近,但是二者的均方根误差 (RMSE) 却高达 0.49;图 2b 表明利用 SUNSCAN 获得 LAI,普遍高于照相法, RMSE 约为 0.51。

不同测量方法的 LAI 之间差异有可能源于未能严格保证在同一地点取样,导致所选样之间有所偏差。本文进行 LAI 测量的地块小区的长势是较为均匀的,因此认为这 3 种测量方式虽未严格在同一个地方取样试验,也均反映了地块的叶面积指数特征。进而认为在此基础上所做的计算分析是能够相互比较的。同时,各种测量方式的自身不足也不容忽视。

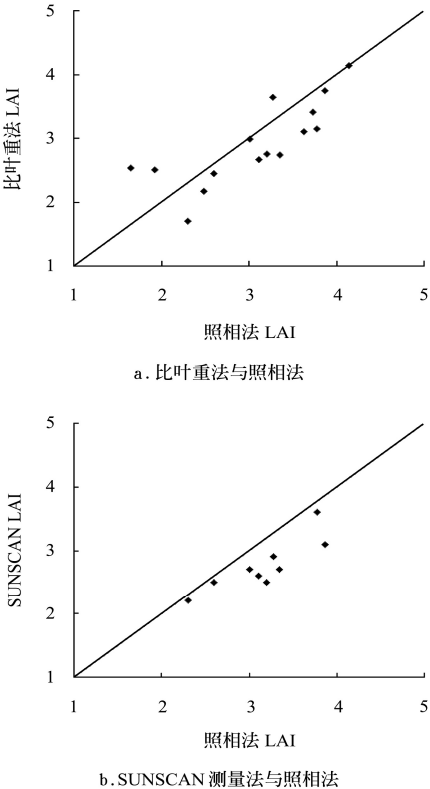


图 2 比叶重法、SUNSCAN 测量法与照相法测 LAI 相关性分析图

Fig.2 Correlation analysis on the different LAI results getting from LAM method, Photographic method and SUNSCAN measurement

3.3 不同测量方式误差来源及适宜条件分析

在实际操作过程中，发现比叶重法的误差来源主要在标叶的制作、以及烘干程度，干叶吸水程度上。这种测量方式要求在植株样本大量失水之前，择叶中部宽窄一样的地方制作标叶，在制作标叶时，需严格把握标叶的切割位置，否则会引入较大误差。此外，余叶的烘干的程度以及烘干到称质量期间干叶吸水等因素也会给比叶重法测 LAI 带来误差，将其扩展到地块尺度的 LAI 时也存在一定的不确定性。从操作难易程度上看，比叶重法虽在整个生育期都可采用，但过程复杂，制标叶、烘干、称质量操作步骤多，且耗时较长。在待测样本量大、测定时间有限的情况下不建议采用此种方式来获取 LAI。

照相机对样本的测量相比来说是最为精确，且较为方便，在作物整个生育期都可采用。该方法对样地的描述则依赖于所选样本的代表性，若样本代表性不好，对样地的描述可能会产生较大的偏差。此外，照相机所得照片在一定程度上有几何畸变，本研究在拍摄相片时调整相机位置尽可能地降低畸变，所以在计算中忽略了其影响。

SUNSCAN 测量 LAI 操作方便快捷，在大量样本测量时有很大优势。但其受天气条件限制，必须在天气晴朗且光照条件较为稳定的条件下进行测量。测量原理中假设多，与实际情况有所差异。且测量过程中输入参数默认，会带来部分的系统误差，需要针对冠层生长的特点对个别参数予以修正。SUNSCAN 测量法在农作物生长发育前期的测量还需进一步的研究分析。以小麦为例，在未封垄之前，SUNSCAN 在不同方向上测量有较大的差异，取哪一个或哪几个方向的值作为最终 LAI 测量结果，还有待进一步的分析验证。

3.4 冬小麦 SUNSCAN 叶倾角参数修正

大多数利用 SUNSCAN 观测时，往往采用的叶倾角设置值为系统的默认值即 ELADP=1，而这个叶倾角参数与观测时的实际情况是不符的，所以根据实际观测情况，适当调整叶倾角参数取值是必要的。刘刚等^[15]通过对 SUNSCAN 的 ELADP 参数进行修正，对大豆的叶面积指数进行了测量。研究表明调整后的测量结果更为准确。本研究尝试对不同品种冬小麦分生育期进行 ELADP 参数修正。具体做法如下：

首先，计算透过率。根据测得的冠层顶及底部的光量，直接计算透过率。

然后，根据 SUNSCAN 测量 LAI 的原理，输入透过率，测量时的太阳高度角，散射光比例因子等参数，调整 ELADP 参数，拟合 LAI 值。输出对应的 ELADP 与 LAI 的查找表。图 3 为 5 月 10 日 13:00 中麦 16 地块拟合出的不同 ELADP 对应 LAI 变化曲线。

最后，根据其他可靠方法测得的 LAI 值，通过查找表，找到对应的 ELADP，然后修正 SUNSCAN 的测量值。本文中以照相机测量得到的 LAI 为标准，针对抽穗期、开花期以及灌浆期 3 个时期各品种下午 13:00 所测得的 SUNSCAN 结果，对 ELADP 参数做出了修正，结果如表 2 所示。

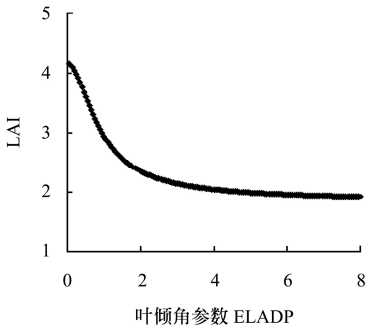


图 3 拟合中麦 16 抽穗期 LAI 随 ELADP 变化曲线
Fig.3 Variation of LAI of Zhongmai 16 with ELADP on tassel stage

表 2 不同生育期 3 个品种对应 ELADP 参数修正值
Table 2 Modified value of ELADP for three kinds of winter wheat in different grown stages

品种	5 月 10 日 抽穗期	5 月 19 日 开花期	5 月 31 日 灌浆期
中麦 16	0.73	0.63	0.59
6211	0.86	1.03	0.50
I-93	1.33	0.94	0.85

从表 2 可以看出，各个生育期及品种的 ELADP 实际上与仪器所默认的“1”，有着较大的变化。从图 3 所示的冬小麦 LAI 随 ELADP 变化的敏感程度来看，ELADP 在 0 到 2 之间变化能引起较大的 LAI 差异。这也表明要得到比较准确的 LAI 值，针对各个生育期品种的生长特点对 ELADP 进行修正是必要的。

4 结论与讨论

1) 对 3 种 LAI 的典型方法进行了比较。从测量难易程度、误差来源、适宜条件等方面对 3 种测量方式的差异做了初步的分析与评价。结果表明，照相机测量最为精确，较为方便；比叶重法测量也比较准确，但耗时较长；SUNSCAN 测量最为快速，在大量样本测量时很有优势，但其在测量天气、时间等条件上有所要求，且个别参数需要根据实际情况做出修正。

2) 根据 SUNSCAN 测量的日变化结果，得出在下午 13:00—15:00 测量值较为稳定的结论，与前人研究结果一致。

3) 基于 SUNSCAN 的测量原理，提出了一种 SUNSCAN 测量 LAI 的参数修正方法。将其他可靠方法测得的 LAI 作为 SUNSCAN 测量结果修正的真值，通过光量的透过计算，反算出对应的叶倾角参数。对 3 种不同品种小麦 3 个生育期的叶倾角分布参数进行修正，建立对应品种、对应生育期的叶倾角参数修正值查找表。

理论上该方法可行，根据查找表设置参数后能提高 SUNSCAN 的 LAI 测量准确度。但由于 2010 年早春小汤山的小麦发生了较为严重的冻害，小麦的生长特征与正常年份相比有所差异，且样本测量的随机性，故而不能断定所做的修正值能否代表该品种在相应生育期的叶倾角特征，需在今后年份进行相关后续试验予以补充验证。

[参 考 文 献]

- [1] 李小文, 王锦地. 植被光学遥感模型与植被结构参数化[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [2] 王希群, 马履一, 贾忠奎, 等. 叶面积指数的研究和应用进展[J]. 生态学杂志, 2005, 24(5): 537—541.
Wang Xiqun, Ma Lüyi, Jia Zhongkui, et al. Research and application advances in leaf area index[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(5): 537—541. (in Chinese with English abstract)
- [3] 吴伟斌, 洪添胜, 王锡平, 等. 叶面积指数地面测量方法的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2007, 26(2): 270—275.
Wu Weibin, Hong Tiansheng, Wang Xiping, et al. Advance in ground-based LAI measurement methods[J]. Journal of Huazhong Agriculture University, 2007, 26(2): 270—275. (in Chinese with English abstract)
- [4] 李卫国, 赵春江, 王纪华, 等. 基于卫星遥感的冬小麦拔节期长势监测[J]. 麦类作物学报, 2007, 27(3): 523—527.
Li Weiguo, Zhao Chunjiang, Wang Jihua, et al. Monitoring the growth condition of winter wheat in jointing stage based on land-sat TM image[J]. Journal of Triticeae Crops, 2007, 27(3): 523—527.
- [5] 姚延娟, 阎广建, 王锦地. 多光谱多角度遥感数据综合反演叶面积指数方法研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(2): 117—122.
Yao Yanjuan, Yan Guangjian, Wang Jindi. The approach on leaf area index inversion using multiangular and multispectral data sets[J]. Journal of Remote Sensing, 2005, 9(2): 117—122. (in Chinese with English abstract)
- [6] 王秀珍, 黄敬峰, 李云梅, 等. 水稻叶面积指数的多光谱遥感估算模型研究[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(2): 57—65.
Wang Xiuzhen, Huang Jingfeng, Li Yunmei, et al. The study on multi-spectral remote sensing estimation models about LAI of rice[J]. Remote Sensing Technology And Application, 2003, 18(2): 57—65. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王纪华, 赵春江, 黄文江. 农业定量遥感基础与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [8] 杨劲峰, 陈清, 韩晓日, 等. 数字图像处理技术在蔬菜叶面积测量中的应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(4): 155—158.
Yang Jinfeng, Chen Qing, Han Xiaori, et al. Measurement of vegetable leaf area using digital image processing techniques[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(4): 155—158. (in Chinese with English abstract)
- [9] 姚克敏, 胡凝, 吕川根, 等. 鱼眼影像技术反演植被冠层结构参数的研究进展[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 139—144.
Yao Kemin, Hu Ning, Lü Chuangen, et al. Advances in Canopy Structure Parameters Retrieval Using Hemispherical Photography[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2008, 31(1): 139—144. (in Chinese with English abstract)
- [10] 肖强, 叶文景, 朱珠, 等. 利用数码相机和 Photoshop 软件非破坏性测定叶面积的简便方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 711—714.
Xiao Qiang, Ye Wenjing, Zhu Zhu, et al. A simple non-destructive method to measure leaf area using digital camera and Photoshop software[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(6): 711—714. (in Chinese with English abstract)
- [11] Campbell G S. Extinction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution[J]. Agric. For. Meteorol, 1986, 36(4): 317—321.
- [12] Norman J M, Welles J M. Radiative transfer in an array of canopies I[J]. Agron J, 1983, 75(3): 481—488.
- [13] SUNSCAN canopy Analysis System User manual SS1-UM-1.05[Z]. Delta-T Devices Limited.
- [14] 史泽艳, 高晓飞, 谢云. SUNSCAN 冠层分析系统在农田生态系统观测中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(4): 78—82.
Shi Zeyan, Gao Xiaofei, Xie Yun. The application of SUNSCAN canopy analysis system in the measurement of field ecosystem[J]. Agriculture Research in the Arid Areas, 2005, 23(4): 78—82. (in Chinese with English abstract)
- [15] 刘刚, 谢云, 高晓飞, 等. SUNSCAN 冠层分析仪在测量大豆叶面积指数中的应用[J]. 生态学杂志, 2008, 27(5): 826—866.
Liu Gang, Xie Yun, Gao Xiaofei, et al. Application of SUNSCAN canopy analysis system in measuring leaf area index of soybean[J]. Chinese Journal of Ecology, 2008, 27(5): 826—866. (in Chinese with English abstract)

Comparison of ground-based LAI measuring methods on winter wheat

Liu Rongyuan^{1,2}, Wang Jihua^{1*}, Yang Guijun¹, Huang Wenjiang¹, Li Weiguo¹, Chang Hong¹, Li Xiaowen²

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100089, China;

2. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, School of Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: This paper compared three ground-based LAI measuring methods (lamina mass per unit area method (LMA), a photographic method and SUNSCAN measurement) from three aspects: maneuverability, error sources and suitable condition and presented a preliminary analysis result. It was found that the LMA method and photographic method can be used during the whole growth stage of winter wheat, while SUNSCAN method should be further studied at the early growth stage before sealing ridges. SUNSCAN measurement was taken once per hour in a day, and the result showed the best time for measurement is from 13 to 15 o'clock. The photographic method revealed higher accuracy than LMA method. It is suggested that the measurement of SUNSCAN needs to process a revision of the angle distribution parameter according to the characteristic of winter wheat in different growth stage. This paper presented a method to revise the angle distribution parameter of SUNSCAN, and applied this method to three varieties of winter wheat on three typical growth stages.

Key words: LAI, SUNSCAN, lamina mass per unit area, photographic method, revise parameter, winter wheat