

文章编号:1001-1498(2012)02-0231-05

华北落叶松人工林叶面积指数实测值与冠层分析仪 读数值的比较和动态校正

郝佳¹, 熊伟¹, 王彦辉^{1*}, 于澎涛¹, 刘延惠¹, 徐丽宏¹, 王轶浩¹, 张晓蓓²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 河北农业大学林学院, 河北保定 071000)

关键词: 华北落叶松; 叶面积指数; LAI-2000; 凋落物收集; 校正系数

中图分类号: S791.22

文献标识码: A

The Comparison and Dynamic Calibration between the LAI Values of a *Larix principis-rupprechtii* Plantation Determined by Canopy Scanner and Litter-fall Collection

HAO Jia¹, XIONG Wei¹, WANG Yan-hui¹, YU Peng-tao¹, LIU Yan-hui¹, XU Li-hong¹, WANG Yi-hao¹, ZHANG Xiao-bei²

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;

2. Forestry College, Agricultural University of Hebei, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: In order to test the accuracy of the usually-used fixed calibration factor of the canopy scanner of LAI-2000 for measuring the leaf area index (*LAI*), a *Larix principis-rupprechtii* plantation was chosen in the small watershed of Xiangshuihe located at the Liupan Mountains of Ningxia Hui Autonomous Region of NW China, the *LAI* was measured in October 2010, a period from full canopy to the total fall of needles, by using both the LAI-2000 and litter-fall collection method. Then, a comparison was made between the *LAI* values determined by the litter-fall collection and that calculated based on the figures read from LAI-2000 and the fixed calibration factor (1.49). It showed that the average of *LAI* measurements of the 2 methods was very close, with a difference of only 5%. However, the calculated *LAI* from LAI-2000 was obviously higher than the true values determined by litter-fall collection when the canopy was full of needles; and obviously lower than the true value when the canopy was sparse after needle falling. The reason may be that LAI-2000 takes the projection of twigs as needles. So, a dynamic calibration factor is needed, especially in the seasons when the needle amount and the percentage of twigs projection in crown projection change quickly. Therefore, a statistic relation in a quadratic polynomial form between the 2 series of *LAI* data was well fitted. This relation can be used for a more accurate estimation of *LAI* based on the data read from the easily-used canopy scanners like LAI-2000.

Key words: *Larix principis-rupprechtii*; leaf and index; LAI-2000; litter-fall collection; calibration factor

收稿日期: 2011-08-21

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201104005-02, 200904056, 200904005); 国家自然科学基金项目(40730631, 41071023); “十二五”国家科技计划课题(2011BAD38B05); 中国森林生态系统定位研究网络(CFERN)宁夏六盘山森林生态定位站和国家林业局森林生态环境重点实验室资助

作者简介: 郝佳, 女, 在读博士研究生, 主要研究方向: 森林生态、森林水文。

* 通讯作者: 研究员, wangyh@caf.ac.cn

叶面积指数(LAI)是森林生态系统的重要结构参数,用来反映植物叶量和群体生长特征^[1-4],对生态系统水分和养分循环、地表和大气之间的相互作用等诸多过程都有重要影响^[5-6],广泛应用于植物生态、植物生理、生态水文以及一些交叉学科的研究中,也可作为科学培育森林、评价林分质量的定量指标;此外LAI也通常作为动态植被模型的输入参数。LAI可直接或间接观测取得^[7]。直接观测法有破坏性抽样法、凋落物收集法^[8]等,其优点是测量相对准确,不足之处是前者对植物有一定破坏性,后者耗时耗工,而且对高大林木很难做到全部或高强度取样;间接观测法主要有经验公式法、光学仪器法以及遥感反演法等,优点是便于大面积非破坏性地连续测量,不足在于测量时会受到太阳辐射、枝干荫影等的影响,因此具有一定测量误差,但因其方便简捷而日益得到普遍应用。目前,主要用冠层分析仪(LAI-2000)地面测定LAI^[9-11],它是基于太阳辐射通过林冠时的衰减比例和冠层叶片随机分布的假设来实现的^[12-14];但是,树叶常是集群分布的,仪器测量值会有些误差,通常小于实际值^[15]。另外,针叶树的针叶不是随机排列的,而是有方向性的,根据假定的辐射传输模型进行测量将会高估针叶林树冠的透过率,许多研究也证实仪器测定值一般偏小^[16-17],因此,需把仪器观测值进行校正,常是借助一个固定的校正系数^[18-19]把仪器观测值转为真实LAI。通常LAI-2000对针叶林的校正系数为1.49(仪器说明书),这个校正系数可能因不同树种的枝叶特性差异、同一树种树冠的枝叶比例的季节变化等而变化。在植被叶面积动态变化的过程中,这个固定的校正系数是否有效,目前还研究很少。华北落叶松

(*Larix principis-ruprechitii* Mayr)是我国北方的主要造林树种^[20],用冠层分析仪测定其LAI是很多研究的需要。任何一个树种都应有自身的校正系数,这是非常必要的^[21-22];但是目前落叶松(*Larix* spp.)的校正系数为1.49(叶面积指数仪使用指南),而且在任何情况下都没变化。这是否会带来测定误差?校正系数应怎样变化?都是需解决的问题。本文以六盘山香水河小流域的华北落叶松人工林为对象,采用LAI-2000和落叶收集2种方法进行树冠LAI的同步观测,然后利用落叶收集法的LAI测定值来验证LAI-2000测量值的准确度,并进行LAI-2000校正系数的修正。

1 研究地点和样地

研究地点位于宁夏六盘山自然保护区(106°10′—106°30′ E, 35°14′—35°42′ N),海拔2 040~2 942 m,属温带半湿润气候,年均气温5.9℃,7月份平均气温16.4℃,1月份平均气温-7.5℃,年均降水量600~820 mm,年潜在蒸发量1 214~1 426 mm。具体研究地点的香水河小流域面积为43.74 km²,森林覆盖率达72.9%。华北落叶松作为当地最重要的针叶用材树种,其人工纯林占小流域面积的23.62%,造林时间为20世纪70~80年代。

本研究在1块30 m×30 m的华北落叶松人工纯林样地进行,树高13~17 m,林冠郁闭度0.7,由单一乔木层构成;林下灌木缺乏,但草本层发育明显,盖度达70%,形成了以东方草莓(*Fragaria vesca* Lozinsk)、三穗苔草(*Carex tristachya* Thunb)为优势种的草本群落。样地特征见表1。

表1 样地特征

面积/ m ²	坡向	坡度/ (°)	坡位	土层厚度/ cm	林龄/ a	郁闭度	密度/ (株·hm ⁻²)	平均树高/ m	平均胸径/ cm
900	东南	28	下坡	140	25	0.7	1 133	15.3	17.5

2 研究方法

2.1 LAI-2000 仪器测量林分 LAI

在2010年9月30日华北落叶松针叶开始凋落到10月21日全部凋落的22 d内,使用冠层分析仪LAI-2000,在每次收集凋落针叶时测定样地林冠层的LAI,平均3 d测1次,共计6次,并在2011年4月25日华北落叶松叶片未生长前补测了1次未长出叶的光秃林冠。每次在样地内沿蛇形闭合曲线在

60个随机布置的固定测点测定,测定完后仪器会记录整个样地的LAI平均值,作为整个样地林冠LAI的仪器读数,在一般情况下,此值乘以经验校正系数1.49,即为整个样地LAI的仪器观测值。

2.2 落叶收集法测量林分 LAI

通过收集样地内华北落叶松针叶凋落期内的时间点收集落叶,可直接测定一定时期内的落叶量,并由此反推不同时间的林冠针叶量或叶面积(式3)。具体做法是,在样地内随机布置60个1 m×1 m的尼

龙网收集器,地点与仪器测定点紧紧相邻,用以收集落叶。把每次收集的落叶带回室内称鲜质量,然后在80℃恒温下烘干后称干质量。用精度为0.02 mm的游标卡尺测量单叶长度(cm),用精度为0.001 g的封闭式天平称取1(几)束针叶的质量(g)。

本文所用的叶面积指的是华北落叶松针叶的总表面积。1(几)束针叶的总叶面积可以通过体积排水法测定针叶体积后求取,计算公式^[23]为:

$$A = 2l(1 + \frac{\pi}{n}) \sqrt{\frac{vn}{\pi l}} \quad (1)$$

式(1)中: A 为所测整束针叶的总叶面积(cm^2), v 为针叶体积(cm^3) (用排水法测定), n 为所测整束针叶的单叶数量, l 为松针长度(cm)。

则单叶平均叶面积(a)为:

$$a = \frac{A}{n} \quad (2)$$

在针叶凋落期间每次测定时的林分叶面积指数为:

$$LAI_i = \frac{a \cdot N_i}{S} = \frac{a \cdot [M_{\text{总}} - \sum_{j=1}^i M_j]}{M_a \cdot S} \quad (i = 1, 2, \dots, 6) \quad (3)$$

式(3)中: N_i 为每次收集凋落叶时林冠上生长的松针总量(个); M_j 为每次收集的落叶干质量(g), $M_{\text{总}}$ 为凋落期内收集的所有针叶的总干质量(g); i 为凋落叶收集的次数; M_a 为平均单叶干质量(g); S 为样地面积(cm^2); 在开始凋落前的林冠 LAI 为由

$M_{\text{总}}$ 计算的 LAI 。

3 结果与分析

3.1 华北落叶松的单叶特征

对6次采样进行了分别测定和计算(表2),其中,单叶长度最长为2.90 cm,最短为1.30 cm。每次收集的单叶平均长度分别为2.11、2.00、2.03、2.07、2.05、2.05 cm,差异不大,主要因华北落叶松针叶均为1年生新叶,总样本(6 617个单叶)的平均叶长为2.04 cm。每次收集的单叶面积分别为0.239 9、0.237 9、0.254 6、0.258 0、0.244 1、0.269 9 cm^2 ,总样本(6 617个单叶)的平均单叶面积为0.246 7 cm^2 。

利用本文实测的单叶特征及前述公式,由各次收集的凋落针叶数量、每批单叶特征的平均值计算真实的 LAI 。

3.2 2种方法测得的 LAI 的对比

从表3可以看出:每次收集的落叶 LAI 实测值与 $LAI-2000$ 仪器测量值的差别较明显,在针叶浓密时仪器测定值偏低,针叶稀少时仪器测定值偏高;然而,二者的平均值相近。在2010年针叶凋落期的 LAI 实测值与仪器读数的比值也接近常规应用的校正系数,即本研究所得的平均值校正系数1.42和常规校正系数1.49很接近。这说明常规校正系数只能用于估计整个生长季的平均 LAI ,但会在新生生长旺盛的生长季中期、大量凋落前的秋末和针叶萌发时的初春季节有较大误差。

表2 2010年10月测定的华北落叶松单叶的平均值

测定日期(月-日)	批单叶数/个	单叶平均长度/cm	单叶干质量/mg	单叶面积/ cm^2
10-04	851	2.11 ± 0.11	3.04 ± 0.10	0.239 9 ± 0.005 9
10-08	1 397	2.00 ± 0.06	3.05 ± 0.15	0.237 9 ± 0.012 4
10-12	1 305	2.03 ± 0.06	3.27 ± 0.15	0.254 6 ± 0.013 6
10-15	725	2.07 ± 0.09	3.38 ± 0.22	0.258 0 ± 0.010 6
10-18	1 270	2.05 ± 0.06	3.19 ± 0.11	0.244 1 ± 0.011 5
10-21	1 069	2.05 ± 0.08	3.40 ± 0.27	0.269 9 ± 0.004 9
总样本数	6 617	2.04 ± 0.08	3.17 ± 0.21	0.246 7 ± 0.011 6

表3 在2010年基于凋落物收集的实测 LAI 与 $LAI-2000$ 仪器测定值的对比

项目	时间(年-月-日)							2010年平均
	2010-10-04	2010-10-08	2010-10-12	2010-10-15	2010-10-18	2010-10-21	2011-04-25	
落叶收集值	3.14	2.96	2.34	1.42	0.66	0.00	0.00	1.75
仪器读数值	1.79	1.56	1.36	1.17	1.07	0.45	0.49	1.24
仪器计算值	2.67	2.33	2.03	1.75	1.60	0.67	0.73	1.84
收集值/读数值	1.75	1.89	1.72	1.21	0.61	0.00	0.00	1.42

注:落叶收集值是直接用落叶收集法测得的叶面积指数;仪器读数值是仪器直接测定的叶面积指数;仪器计算值是仪器读数值乘以校正系数(1.49)的结果;收集值/读数值是落叶收集值与仪器读数值的比,相当于动态校正系数。

为了比较2种测量方法所得结果的差异及确定二者之间的关系,将2种方法取得的LAI进行绘图比较。从图1可以看出:对于线性拟合关系,其常数项并不等于或接近于0,回归系数也不接近于1,说明无针叶或叶量较低时仪器测定值受到了枝干投影的影响,说明常规校正方法存在不足,需要改进。

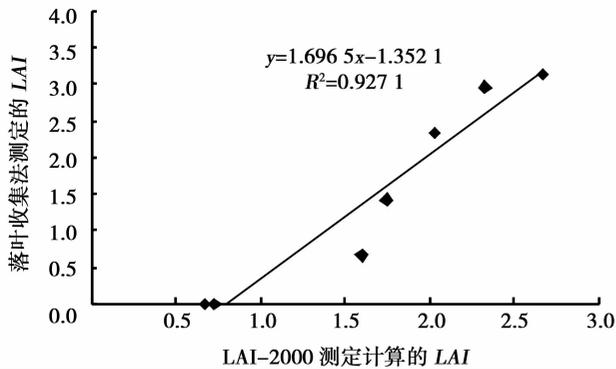


图1 LAI-2000仪器的叶面积指数(LAI)计算值(仪器读数 $\times 1.49$)与落叶收集法测定的LAI的关系

从图1中还可以看出:二者具有非线性关系。为利于由仪器读数值(未乘1.49之前)直接计算真实的LAI值,将仪器读数值和落叶收集法实测值进行二次多项式回归(图2),可由此关系式进行生长季内一直变化着的LAI的动态估计。

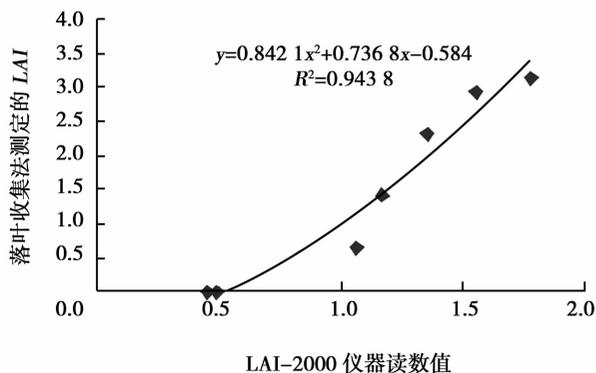


图2 LAI-2000仪器测定的LAI读数值(未乘以1.49)与落叶收集法测定的LAI的关系

4 结论与讨论

叶面积指数测定仪的测定值与真实值存在误差,这是个普遍现象。李轩然等^[24]的研究表明,由于容易受到枝条等因素的影响,仪器测量的叶面积指数通常较实际值偏小。刘立鑫等^[25]在帽儿山天然次生林区测定叶面积指数时发现,仪器测定的精度比直接测定法低25%~40%;同时,张继祥

等^[26]认为随着LAI的增加,仪器间接测量值与直接测量值的差别逐渐增大;杜春雨等^[27]建立了同时包括多个树种的LAI仪器测定值和直接测定值的一元回归模型(常数项为0),有效地校正了LAI-2000仪器测量值的误差。

本文对华北落叶松林的研究表明,由于是落叶树种,存在树冠叶量的剧烈变化,所以林冠LAI的LAI-2000仪器的测定值和基于凋落针叶收集法的同步实际值也存在很大差别。在从针叶完整到完全凋落的秋末落叶期内,仪器测定值与真实值的平均值接近,相差仅5%;但LAI-2000仪器的计算值在针叶茂盛和不完整时与实际值存在明显偏差。在针叶浓密时,仪器计算值偏低0.5左右,在针叶稀少时偏高0.7~0.9。在生长季初期(4月中旬)针叶长出前及秋末完全凋落后(10月下旬),实际LAI为0,而仪器计算值分别为0.67和0.73,即在这2个无针叶时期,仪器将枝条投影判定为针叶,从而导致了仪器计算值偏高。在树冠的针叶较多的日期,仪器假设叶片在空间的分布是随机的,并没有考虑树叶的集聚效应,但针叶树的针叶不是随机排列的,而是有方向性的,叶面积指数仪是根据假定的辐射传输模型进行测量,其结果将会高估针叶林树冠的透过率,所以得到的仪器读数值要比LAI的实际值小。

由于LAI-2000仪器把树冠枝条的投影也作为针叶的投影,所以造成两种方法测定结果的不一致。在树冠叶量变化不大时,枝条等非针叶因素所占比重是基本稳定的,所以利用1个固定的校正系数是可行的。在常规的树冠叶面积指数的LAI-2000仪器测定方法中,需将仪器读数值乘以1个固定的校正系数(1.49);值得注意的是,这种简单的校正方法只能用于估计整个生长季的LAI平均值,而不能用于估计整个生长季的LAI动态变化。在针叶开始萌发至长满的阶段和明显凋落的阶段,林冠的组成和枝条投影所占比例都快速和显著地变化,这会使仪器测定值和实际值的差别增大。在需测定研究整个生长季的LAI变化时,必须对仪器读数值在不同的生长季阶段进行动态校正。

在继续利用非常方便操作的LAI-2000一类仪器观测计算华北落叶松林LAI的季节变化时,可利用本文给出的仪器读数值和LAI实测值的拟合关系式,进行生长季内林冠LAI的动态校正,从而提高LAI的估计精度。

本研究的历时较短,仅在秋末华北落叶松林针

叶凋落期进行了测定,而且收集样地落叶时受到落叶分布不均的影响;所以本研究的价值更多地是对树冠 LAI 估算方法的改进。如何更准确地确定整个生长季的动态校正系数,还需长期和大量样地的测定研究。

参考文献:

- [1] Van Gardingen P R, Jackson G E, Hernandez-daumas S, *et al.* Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1999, 94:243 - 257
- [2] Nackaerts K, Coppin P, Muys B, *et al.* Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2000, 101(4):247 - 250
- [3] Sonnentag O, Talbot J, Chen J M, *et al.* Using direct and indirect measurements of leaf area index to characterize the shrub canopy in an ombrotrophic peatland [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, 144(3):200 - 212
- [4] Chen J M, Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Land sat TM images [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1996, 55(2):153 - 162
- [5] Lee K S, Cohen W B, Kennedy R E, *et al.* Hyperspectral versus multispectral data for estimating leaf area index in four different biomes [J]. *Remote Sensing Environment*, 2004, 91:508 - 520
- [6] Asner G P, Scurlock J M O, Hicke J A. Global synthesis of leaf area index observation; Implications for ecological and remote sensing studies [J]. *Globe Ecology and Biogeography*, 2003, 12:191 - 205
- [7] Zhang H Q, Chen Y R, Niu D. Retrieving effective leaf area index of conifer forests using Landsat TM images in red soil hilly region [J]. *Acta Agriculturae University is Jiangxiensis*, 2004, 26(2):159 - 163
- [8] 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
- [9] Leblanc S G, Chen J M. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2001, 110:125 - 139
- [10] Nagler P L, Glenn E P, Thompson T L, *et al.* Leaf area index and normalized difference vegetation index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2004, 125:1 - 17
- [11] Eriksson H, Eklundh L, Hall K, *et al.* Estimating LAI in deciduous forest stands [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, 129:27 - 37
- [12] Diao D X, Li C R, Guan C P. LAI and its dynamics of young red pine plantation [J]. *Forestry Science and Technology*, 2000, 25(4):16 - 17
- [13] Xi J C, Zhang H Q, Zhang Z Q. Retrieving effective leaf area index of conifer forests using Landsat TM images [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 12(3):253 - 257
- [14] Zhou Y Y, Tang S H, Zhu Q J, *et al.* Measurement of LAI in Changbai Mountains Nature Reserve and its result [J]. *Resources Science*, 2003, 25(6):38 - 42
- [15] 席建超,张红旗,张志强. 应用遥感数据反演针叶林有效叶面积指数[J]. *北京林业大学学报*, 2004, 26(6):36 - 39
- [16] Barclay H J, Goodman D. Conversion of total to projected leaf area index in conifers [J]. *Canadian Journal of Botany*, 2000, 78(4):447 - 454
- [17] 李轩然,刘琪,蔡哲,等. 千烟洲针叶林的比叶面积及叶面积指数[J]. *植物生态学报*, 2007, 31(1):93 - 101
- [18] Dovey S B, Du toit B. Calibration of LAI-2000 canopy analyzer with leaf area index in a young eucalypt stand [J]. *Trees*, 2006, 20:273 - 277
- [19] Chen J M, Rich P M, Gower S T, *et al.* Leaf area index of boreal forests: theory, techniques and measurements [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1997, 102(24):29429 - 29433
- [20] 熊伟,王彦辉,徐德应. 宁南山区华北落叶松人工林蒸腾耗水规律及其对环境因子的响应[J]. *林业科学*, 2003, 39(2):2 - 7
- [21] 陶洪斌,林杉. 打孔称重法与复印称重法和长宽校正法测定水稻叶面积的方法比较[J]. *植物生理学通讯*, 2006, 42(3):496 - 498
- [22] 柏军华,王克如,初振东,等. 叶面积测定方法的比较研究[J]. *石河子大学学报:自然科学版*, 2005, 23(2):216 - 218
- [23] 李家龙. 快速测算针叶面积的方法[J]. *林业科技通讯*, 1985(10):封三
- [24] 李轩然,刘琪,蔡哲,等. 湿地松林叶面积指数测算[J]. *生态学报*, 2006, 26(12):4100 - 4105
- [25] 刘立鑫,李凤日. 两种测定天然次生林叶面积指数方法的比较[J]. *森林工程*, 2009, 25(3):44 - 47
- [26] 杜春雨,范文义. 有效叶面积指数与真实叶面积指数的模型转换[J]. *东北林业大学学报*, 2010, 38(7):126 - 128
- [27] 张继祥,魏钦平,张静,等. 利用冠层分析仪测算苹果园叶面积指数及其可靠性分析[J]. *园艺学报*, 2010, 37(2):185 - 192