

湿地松林叶面积指数测算

李轩然^{1,2,4}, 刘琪璟^{1,*}, 蔡哲³, 马泽清^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 南昌大学环境科学与工程学院, 南昌 330029; 4. 内蒙古赤峰学院环境与资源管理系, 赤峰 024001)

摘要:对湿地松 (*Pinus elliotii*) 当年生和多年生两针一束、三针一束叶片的长度、宽度、厚度和重量分别进行量测, 据此探讨不同类型叶片的叶形和比叶面积差异, 并结合样地调查数据对中科院千烟洲试验站湿地松人工林的叶面积指数进行计算。结果表明: 湿地松三针一束叶片合拢后横切面基本呈圆形, 当年生叶和多年生叶的平均直径分别为 1.688mm 和 1.706mm; 两针一束叶片合拢后从统计学上讲横切面不是圆形, 而是椭圆形, 叶片厚度方向直径大于宽度方向 (当年生叶厚度和宽度方向直径分别为 1.580mm 和 1.422mm, 多年生叶分别为 1.568mm 和 1.410mm), 但如果把厚度和宽度方向直径的平均值近似成圆柱体直径计算时误差在 3% 以内; 如果只用厚度或宽度方向直径代表平均直径计算结果会有 2%~10% 的误差; 当年生叶和多年生叶、两针一束叶和三针一束叶之间比叶面积差别很大, 计算的三种比叶面积 (投影比叶面积、圆柱面比叶面积和比表面积) 中, 当年生叶的比叶面积明显大于多年生叶, 三针一束叶片的投影比叶面积和比表面积都大于两针一束叶片, 但圆柱面比叶面积恰好相反。湿地松林的叶面积指数若按投影叶面积算为 3.61, 按圆柱面的外表面算为 5.12, 按总表面积的一半算为 4.52, 比利用冠层分析仪测量的结果略大。

关键词:叶形; 比叶面积; 叶面积指数; 湿地松

文章编号:1000-0933(2006)12-4099-07 **中图分类号:**Q948; S758.5 **文献标识码:**A

Leaf area index measurement of *Pinus elliotii* plantation

LI Xuan-Ran^{1,2,4}, LIU Qi-Jing^{1,*}, CAI Zhe³, MA Ze-Qing^{1,2} (1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. College of Environmental Science and Engineering, Nanchang University, Nanchang 330029, China; 4. Department of Environment and resources management, College of Chifeng, Chifeng 024001, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4099~4105.

Abstract: The length, width, thickness and weight of the current year and more than one-year-old needles of both bi-needle-cluster and tri-needle-cluster of slash pine (*Pinus elliotii*) were measured to expose the differences in terms of leaf shape and specific leaf area (SLA), and leaf area index (LAI) was estimate based on measurement of the plantation in Qianyanzhou Ecological Station. The needle's cross section of tri-needle cluster was approximately in a standard circle. However, cross section of bi-needle cluster was proved to be an ellipsoid. Diameter in thickness direction (1.580mm for 1-year-old needle and 1.568mm for 2-4-year-old needles) was significantly larger than that in width direction (1.422mm and 1.410mm for 1 year old needle and 2-4-year-old needles, respectively). If the cross section of bi-needle was arbitrarily regarded as a circle by using the average diameter of the two directions, there would be an error less than 3%, while the error will be as much as 2%~10% if only one of the two diameters is adopted. The correlation between leaf length and leaf area showed that leaf length was significantly related to leaf area. Varied among needle types, SLA of 1-year-old needles showed larger than that of 2-4-year-old needles. Tri-needle

基金项目:国家重大基础研究资助项目 (2002CB4125); 中国科学院资环局野外台站研究基金资助项目

收稿日期:2006-01-20; **修订日期:**2006-11-14

作者简介:李轩然 (1981~), 男, 内蒙古赤峰人, 硕士, 主要从事群落生产力及生态学模型研究. E-mail: lxuanr@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuqi@igsrr.ac.cn

致谢:野外调查得到陈永瑞大力帮助, 特此致谢。

Foundation item: The project was financially supported by National Key Basic Research Special Foundation of China (No. 2002CB4125)

Received date: 2006-01-20; **Accepted date:** 2006-11-14

Biography: LI Xuan-Ran, Master, mainly engaged in community productivity and ecosystem modeling. E-mail: lxuanr@163.com

leaves have much bigger specific projected area and specific total area than bi needle leaves, but smaller in specific surface area. The projected LAI of slash pine plantation in Qianyanzhou Ecological Station was 3.61, and the LAI estimated based on the surrounding surface area and the half of the total surface area of cylinder were 5.12 and 4.52 respectively. All these estimated values of LAI were larger than the direct measurement by optical canopy analysis system.

Key words: leaf shape; specific leaf area; LAI; *Pinus elliotii*

光合、呼吸和蒸腾作用是绿色植物生存和生长重要的生理过程,这些生理过程的绝大部分要经过叶表面而发生。叶面积指数作为单位面积上绿色植物叶面积的大小是反映生态系统光合、呼吸和蒸腾过程总作用面积的重要指标。叶面积指数与生态系统蒸散量、总初级生产力、冠层光量的截获等多个重要的生态学参数都有直接的关系^[1~4],因此在一些生产力和蒸发散模型中叶面积指数都是一个重要的输入参数。

森林叶面积指数的测量方法有直接收获测量法和光学仪器测量法等^[5]。阔叶树的单叶叶面积不论直接测量还是利用仪器测量都相对容易,与叶面积指数有关的报道也较多,而针叶树叶片相对难于直接测量,所以直接测量的方法在早期的叶面积指数研究中应用较多^[6~8]。随着研究的深入和各种测量仪器的出现,也陆续有利用仪器(冠层分析仪等)进行针叶树叶面积指数测量的报道^[5,9,10]。但用仪器测量叶面积指数大部分都有一个前提,就是假定叶片在冠层空间随机分布^[11],这个条件对于松柏科植物只有在林分密度很大时才有可能成立。而且常绿针叶树的叶龄不止1年,因叶龄不同,其光合特性和比叶面积等参数也存在一定的差异^[12,13],可是利用仪器方法不能区分多年生叶和当年生叶。在利用直接测量方法研究松科植物叶面积指数的报道中,大都把每束针叶近似假设成圆柱体^[7,8],但是其是否为圆柱体尚待研究。

湿地松(*Pinus elliotii*)虽然不是我国的本土树种,但因其适应性强、耐贫瘠、能生产树脂等特性而在我国普遍引种^[14]。湿地松属于常绿树种,据笔者观察叶龄最大可达4a,叶片有两针一束和三针一束两种类型。本文拟利用传统的测量方法,探讨把每束湿地松叶看成圆柱体计算叶面积的可靠性,研究湿地松叶长和叶面积之间的关系,比较不同类型叶片的比叶面积差异,并利用样地调查数据和标准木数据对干烟洲试验站的湿地松林叶面积指数进行计算,为利用仪器测量结果提供对比资料,同时为阐明人工林生产力特征提供基础参数。

1 材料方法

1.1 样地概况

研究地点为中国科学院干烟洲试验站的核心试验区,位于江西省泰和县灌溪乡,东经115°04'13",北纬26°44'48"。试验区海拔多在100m左右,相对高度20~50m,属典型的红壤丘陵地貌。试验区年平均气温17.9℃,≥0℃活动积温6523℃;多年平均降水量1489mm,降水集中在4~6月份,7~8月份高温少雨,易出现伏秋旱;日照时数1406h,年日照百分率43%,太阳年总辐射量4349MJ/m²;无霜期323d,具有典型亚热带季风气候特征;主要土壤类型为红壤,成土母质多为红色砂岩、砂砾岩或泥岩,以及河流冲积物^[15]。土地利用类型以人工林为主,造林时间为1984年前后。主要树种有湿地松(*Pinus elliotii*)、马尾松(*P. massoniana*)和杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等。

1.2 研究方法

于2003年8月伐湿地松4株,取生长健康的枝条156个,摘取每一枝条的多年生叶和当年生叶分别称重,取样测含水率后换算成干重,计算多年生叶和当年生叶所占的百分比,并建立枝条基径和总叶生物量之间的回归关系,结合15株雪压倒木的枝条基径测量结果计算这些倒木的叶生物量,建立湿地松单木胸径、树高和叶生物量之间的函数关系。同时对试验站的湿地松林进行样地调查,做两个20m×20m样地进行每木检尺。于2004年8月随机抽取部分湿地松多年生叶和当年生叶,分别取样测定含水率,同时取两针一束多年生叶8束、当年生叶9束和三针一束多年生叶12束、当年生叶11束,每束针叶利用1/100电子天平称量鲜重并利用钢卷尺测各叶片长度(*l*),利用数显游标卡尺(精度0.01mm)测量叶片长的1/4处、1/2处和3/4处的宽度(*d*)和厚度(*h*)各3次,取平均值作为该处的宽度和厚度值,计算3处平均值的均值作为该叶片的宽度和厚度值。利

用滴定管等精密化学仪器根据排水的原理测量每束叶片的体积,把每束针叶看成圆柱体计算其直径,与直接测量数据进行对比。2005 年 3 月调查 10 株树,每株树每一轮枝中选择一个当年生枝调查两针一束叶和三针一束叶的比例。2005 年 8 月取部分两针一束和三针一束叶片做徒手切片,用 1200dpi 分辨率扫描后利用图像处理软件测量叶片宽度、厚度、周长、横切面积等参数,作为确定叶形的佐证。文中所用统计检验方法依陶澍编著《应用数理统计方法》^[16]。

2 结果

2.1 叶形的确定

湿地松针叶有两针一束和三针一束两种类型,每种针叶单针叶片的横切面如图 1 所示。由于每束针叶各针之间形态非常相似,而且合拢后不同针叶片之间的切面能很好重合,很多研究中都将合拢后叶片的横切面默认为正圆形进行计算,但其是否为正圆形却没有文献报道。由于正圆形任意两个方向上直径比为 1,本研究计算叶片横切面两个方向的直径比,并与 1 进行比较,根据 t 检验的结果判定每束叶片合拢后横切面是否为正圆形。

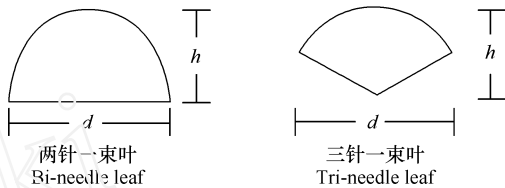


图 1 湿地松叶横切面示意图
Fig. 1 Sketch of cross section of slash pine leaves

两针一束叶片,选择的两个直径方向为叶片宽度(d)和厚度(h)方向,直接计算 d 与 $2h$ 的比值 R ;三针一束叶片,相当于三针叶把圆周角平分,每针叶所对应的圆心角应为 120° ,根据叶片宽度(d)和其所对应的圆心角(120°)利用三角原理求算半径,再计算其与另一个实测半径(厚度 h)的比值 R 。利用 t 检验比较比值 R 与 1 之间的差异,结果表明(表 1),在 0.001 的显著性水平下,两针一束叶片合拢在一起横切面不是正圆形,厚度方向的直径明显大于宽度方向直径,横切面更接近于椭圆形;三针一束叶片合拢后横切面基本为正圆形。

表 1 叶形检验结果

Table 1 Testing result of leaf shape across cross section								
		d (mm)	h (mm)	R	标准差 SE of R	样本量 Sample size	t	检验结果 Conclusion
两针一束 2-needle leaf	多年生叶 Old leaf	1.410	0.784	0.899	0.039	8	-7.333	拒绝
	当年生叶 New leaf	1.422	0.790	0.901	0.039	9	-7.616	拒绝
三针一束 3-needle leaf	多年生叶 Old leaf	1.471	0.856	1.009	0.038	12	0.848	接受
	当年生叶 New leaf	1.443	0.846	1.005	0.017	11	0.933	接受

d : 叶片宽度 Width of leaf; h : 叶片厚度 Thickness of leaf; R : 两个方向的直径比 Ratio of two diameters in two directions; SE: 标准差 Standard error; t : 检验的统计量 Parameter of t -test; $t_{0.05}(7) = 2.365$, $t_{0.05}(8) = 2.306$, $t_{0.05}(10) = 2.228$, $t_{0.05}(11) = 2.201$; $t_{0.001}(7) = 5.405$, $t_{0.001}(8) = 5.041$, $t_{0.001}(10) = 4.587$, $t_{0.001}(11) = 4.437$

如果把两针一束叶片合拢后也近似看成圆柱体,利用叶片宽度和 2 倍厚度的均值计算平均直径 D_m ,同一束叶片利用排水法根据体积推算直径 D_v ,把叶片宽度与 D_m 之间的差异记为 Δ_1 , D_m 与 D_v 的差异记为 Δ_2 。经过计算(表 2),叶片宽度与平均直径 D_m 之间存在 2%~10% 的差异,而且叶片宽度明显小于叶片的平均直径。如果直接利用叶片宽度作为圆柱体直径计算叶片表面积或比叶面积,必然会给结果带来相同程度的误差。而如果利用的参数是叶片厚度,计算结果将会偏大 2%~10%。在调查的样本中平均直径和利用排水法推算出来的直径相差不大,大部分都保持在 3% 以内。说明虽然从统计学意义上两针一束叶片合拢后不是圆柱体,但是由于椭圆没有简便实用的周长计算公式,在实际操作时,可以将其看作圆柱体计算叶面积,但所用的直径必须为利用叶片宽度和 2 倍厚度计算的平均直径 D_m ,如果仅用叶片宽度或厚度一个参数来代替,则偏差较大。

2.2 叶长与叶面积

由于对针叶辐射截留原理的理解存在差异^[17],针叶叶面积和比叶面积的计算一直存在分歧^[12]。本文提

供每束叶片 3 种叶面积的计算结果供不同场合的应用参考,一种是根据针叶宽度 (d) 和长度 (l) 乘积求算的叶片投影面积 (projected leaf area, LA_p), 另一种是每束针叶的圆柱面面积 (即合拢后形成圆柱体的外表面面积, cylinder surface leaf area, LA_c), 第三种是每束针叶的总表面积 (total surface leaf area, LA_t)。由于三针一束针叶合拢后基本呈圆柱体, 对每束针叶而言 3 种计算结果基本只差常数倍, 而两针一束叶片由于不同束叶片 d 和 h 之间关系的差异导致 3 种结果相差不恒定。求得各种平均叶面积如表 3。

表 2 两针一束叶片的直径参数比较

Table 2 Comparison of diameters of bi-needle leaves										
参数 Parameters		1	2	3	4	5	6	7	8	9
多年生叶 Old leaf	d (mm)	1.474	1.524	1.447	1.487	1.462	1.261	1.283	1.342	—
	h (mm)	0.797	0.793	0.817	0.787	0.846	0.727	0.732	0.777	—
	D_m (mm)	1.534	1.556	1.540	1.530	1.577	1.357	1.374	1.448	—
	D_v (mm)	1.498	1.500	1.496	1.546	1.531	1.374	1.394	1.457	—
	Δ_1	- 0.039	- 0.020	- 0.061	- 0.028	- 0.073	- 0.071	- 0.066	- 0.073	—
	Δ_2	0.024	0.037	0.029	- 0.011	0.030	- 0.012	- 0.014	- 0.006	—
当年生叶 New leaf	d (mm)	1.463	1.326	1.443	1.381	1.431	1.457	1.422	1.416	1.459
	h (mm)	0.790	0.723	0.839	0.771	0.772	0.807	0.780	0.863	0.769
	D_m (mm)	1.522	1.386	1.561	1.462	1.488	1.535	1.491	1.571	1.498
	D_v (mm)	1.499	1.416	1.549	1.478	1.514	1.585	1.477	1.590	1.538
	Δ_1	- 0.038	- 0.044	- 0.075	- 0.055	- 0.038	- 0.051	- 0.046	- 0.099	- 0.026
	Δ_2	0.015	- 0.021	0.007	- 0.011	- 0.017	- 0.031	0.009	- 0.012	- 0.026

表 3 针叶各参数及其变异情况

Table 3 Parameters of needle leaves and coefficient of variation				
项目 Item	两针一束 2-needle leaf		三针一束 3-needle leaf	
	多年生叶 Old leaf	当年生叶 New leaf	多年生叶 Old leaf	当年生叶 New leaf
叶长 Length (cm)	20.663 (0.106)	19.989 (0.122)	22.858 (0.078)	19.827 (0.034)
叶宽 Width (mm)	1.410 (0.071)	1.422 (0.031)	1.471 (0.039)	1.443 (0.038)
叶厚 Thickness (mm)	0.784 (0.051)	0.790 (0.052)	0.856 (0.028)	0.846 (0.032)
投影面积 LA_p (cm ²)	5.827 (0.144)	5.696 (0.140)	10.071 (0.065)	8.585 (0.053)
圆柱面积 LA_c (cm ²)	9.669 (0.144)	9.456 (0.148)	12.237 (0.068)	10.463 (0.050)
表面积 LA_t (cm ²)	15.534 (0.144)	15.151 (0.148)	23.920 (0.068)	20.453 (0.050)
干重 Dry weight (g)	0.145 (0.188)	0.123 (0.157)	0.209 (0.093)	0.153 (0.06)
样本量 Sample size	8	12	9	11

投影面积、圆柱面积和干重均为每束针叶的参数, 括号中的数字为变异系数 Projected leaf area, surface leaf area and dry weight are the parameters of leaf sheaf; Numbers in bracket are coefficients of variation

在叶长、叶宽和叶厚 3 个参数中, 叶长的变异最大, 叶宽和叶厚的变异相对较小。根据现有数据对针叶叶长和总表面积之间的相关关系进行拟合, 结果如图 2。F 检验结果表明, 三针一束当年生叶的叶长和叶面积之间的相关关系属显著, 其他 3 个相关关系均达到极显著水平。这说明针叶叶长和叶面积之间存在显著的相关关系, 可以利用叶长直接推算叶面积, 如果增加样本量, 扩大方程的适用范围, 推算结果将更可靠。同理, 投影面积和圆柱面面积与叶长的关系也可根据相同方法求算。三针一束叶片相关性相对较差的原因是由于叶长范围相对比较集中, 叶长差异较小, 对函数的拟合效果产生了一定的影响。

2.3 比叶面积

比叶面积是单位干重叶片的叶面积。当年生叶生长到 8 月份时, 叶片长度、宽度和厚度等叶片形态指标和多年生叶都已经相差不大 (表 3), 但是二者的含水率存在较大差异 (多年生叶干物质率为 39.3%, 当年生叶为 34.6%), 由此将引起当年生叶和多年生叶比叶面积之间的差异。利用每束针叶干重和 3 种叶面积数据计算投影比叶面积 (specific projected leaf area, SLA_p)、圆柱面比叶面积 (specific cylinder surface leaf area, SLA_c) 和比表面积 (specific total leaf area, SLA_t) 如表 4。从中可以看出, 对 3 种比叶面积中的任何一种, 相同类型叶片当年

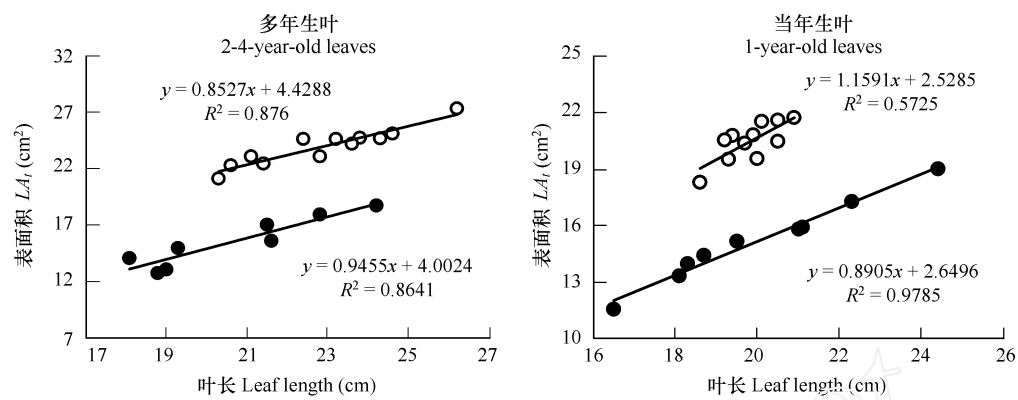


图 2 针叶叶长与叶面积关系

Fig. 2 Relationship between leaf length and leaf area

生叶的比叶面积都大于多年生叶,而叶片形状相差不大,说明这种差异部分是由于含水率的差异引起的。不同针数的叶片投影比叶面积三针一束的较大,而圆柱面比叶面积情况恰好相反,两针一束的较大。这是由于当圆柱体直径增加时,质量以平方的倍数递增,而且在一定的直径范围内,针叶枚数增多带来的投影面积的增量大于重量的增量,而圆柱外表面积的增量小于重量的增量。比表面积同时受到圆柱外表面积和各针纵向切面面积的影响,与投影比叶面积表现出相同的规律。

表 4 3 种比叶面积测定结果

Table 4 Specific leaf area of different types of needle leaves				
叶片类型 Types	年龄 Ages	投影比叶面积 SLA_p (cm^2/g)	圆柱比叶面积 SLA_c (cm^2/g)	比表面积 SLA_t (cm^2/g)
两针一束叶 2-needle leaf	多年生叶 Old leaf	40.476 (0.058)	67.271 (0.073)	107.747 (0.067)
	当年生叶 New leaf	46.434 (0.033)	77.035 (0.043)	123.460 (0.037)
三针一束叶 3-needle leaf	多年生叶 Old leaf	48.227 (0.040)	58.611 (0.051)	114.573 (0.051)
	当年生叶 New leaf	55.974 (0.033)	68.218 (0.028)	133.352 (0.028)

括号中的数字为变异系数 Numbers in bracket are coefficients of variation

目前尚未见有关湿地松两针一束和三针一束针叶比例的报道,本研究在 2005 年 3 月调查的 10 株树 107 个当年生枝中,有两针一束叶 35222 束,三针一束叶 26097 束,二者之间的比例为 1.35 (或各占 57.45 %和 42.55 %)。根据当年生两针一束和三针一束叶片的平均重量 (分别为 0.123g 和 0.153g),样地中两种叶片的干重比为 1.09 (或各占 52.15 %和 47.85 %)。结合每种类型针叶比叶面积,计算得多年生叶投影比叶面积、圆柱面比叶面积和比表面积均值分别为 $44.48\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $62.80\text{cm}^2/\text{g}$ 和 $111.27\text{cm}^2/\text{g}$,当年生叶分别为 $51.01\text{cm}^2/\text{g}$ 、 $72.81\text{cm}^2/\text{g}$ 和 $128.20\text{cm}^2/\text{g}$ 。

2.4 叶面积指数

根据采伐取得的数据对湿地松枝条基径 (d) 和枝条叶生物量 (foliage biomass of twigs, FBT)、单木胸径 (D)、树高 (H) 和单木叶生物量 (foliage biomass of stems, FBS) 之间相关关系进行拟合,前者以 d^3 为自变量的线性函数拟合效果最佳,而后者以 $D^2 H$ 为自变量的幂函数拟合效果最好,相关系数最高的方程如图 3。根据单木胸径、树高和叶生物量之间的回归方程和样地调查数据,计算得 2 个 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 样地内有湿地松叶干物质 601.4kg,即每平方米有 752g。在调查的 156 个枝条中当年生叶和多年生叶生物量的百分比分别为 53.5 %和 46.5 %,二者的比值为 1.15,标准差为 0.15,则每平方米的叶生物量中,多年生叶贡献 349.7g,当年生叶贡献 402.3g。根据各类型叶片的比叶面积可计算得,若按投影比叶面积计算,两个湿地松样地的平均投影叶面积指数 (projected leaf area index, LAI_p) 为 3.61;若按圆柱面比叶面积计算,圆柱面叶面积指数 (cylinder surface leaf area index, LAI_c) 为 5.12;若按比表面积的一半 (hemisurface leaf area index, LAI_h) 计算,结果为 4.52。

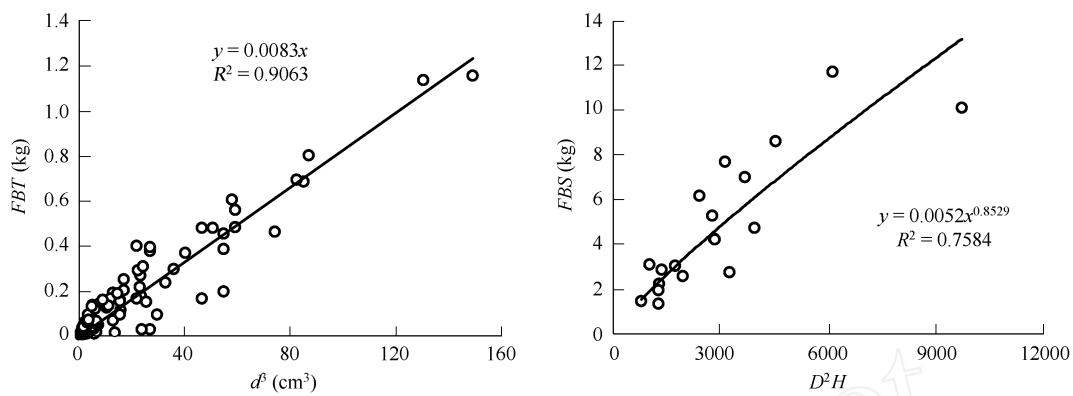


图 3 叶生物量与枝条基径(左)及胸径(右)的关系
Fig. 3 Foliage biomass equations for branches(left) and individual trees (right)

3 结论与讨论

3.1 大部分有关针叶树叶面积的计算都是把针叶看作圆柱体,从本文叶片宽度与厚度的对比结果来看,两针一束的湿地松叶片的每片针叶横截面并非半圆,也不是半圆上的一部分(如果是,从宽度和厚度的对比来看,叶片表面将形成一段优弧,两片叶片合在一起横截面将形成“8”字形,而实际情况并非如此),但由于当成圆柱体计算的结果与真实结果相差在 3 %以内,在实际计算中可以把两针一束叶当成圆柱体计算。如果仅以宽度或厚度中的一个参数来计算圆柱体直径可能会给结果带来较大误差。三针一束叶片合拢后横截面可以形成一个很好的圆形。

为更加准确确定单针叶片的横切面形状,笔者利用徒手切片扫描方法得到的数据对前文叶形的叙述进行进一步验证。利用图像处理软件测量扫描图像得到叶片横切面参数如表 5,其中两针一束叶片的平均直径由叶片宽度和二倍叶片厚度平均得到,三针一束叶片的平均直径为测量两个最外侧半径的测量结果平均得到。两针一束叶片利用平均直径计算的半

表 5 扫描叶片横截面各参数

Table 5 Parameters of cross section from scanned leaves					
类型 Types	叶宽 (mm)	叶厚 (mm)	弧长 (mm)	平均直径 (mm)	样本量 Sample number
两针一束 2-needle leaf	1.467	0.778	2.439	1.512	13
三针一束 3-needle leaf	1.610	0.932	1.935	1.852	15

圆弧长(2.374mm)与实际测量得到的圆弧长 2.439mm 相差 2.7 %,在 3 %以内,而如果直接利用叶宽或叶厚计算半圆弧长将相差 5.6 %。三针一束叶片的平均直径和利用叶宽或叶厚计算得到的直径(分别为 1.859mm 和 1.864mm)相差不大,而且根据测量的两个半径和叶片宽度计算叶宽所对应的圆心角为 120.7 度,与 120 度基本无差别,进一步说明三针一束叶片合拢后确实可以看成圆柱体。

3.2 研究阔叶树或作物叶面积指数时有根据叶片的长宽推算叶面积的报道^[18-21],推算叶面积的方法有根据叶长(L)计算(LA = f(L))和根据叶长叶宽(D)乘积计算(LA = f(LD))等。从结果看,湿地松的叶长和叶面积之间也存在很好的相关关系,在足够大的样本量下建立回归方程后可以利用湿地松的叶长来推算单叶面积。

3.3 多年生叶和当年生叶、两针一束叶和三针一束叶比叶面积存在一定的差异,在实际计算中应分开考虑,否则可能给结果带来较大误差。根据本次试验实地调查的样地中两针一束叶和三针一束叶重量比(1.09)、当年生叶和多年生叶重量比(1.14)可以计算湿地松平均投影比叶面积、圆柱面比叶面积和比表面积分别为 47.96cm²/g、68.13cm²/g 和 120.29cm²/g。结合湿地松胸径、树高与叶生物量之间的关系方程(FBS = 0.0052(D²H)^{0.8529})得湿地松胸径、树高与投影叶面积(LA_p)、圆柱面叶面积(LA_c)和总表面积(LA_t)之间的相关方程分别为 LA_p = 0.0249(D²H)^{0.8529}、LA_c = 0.0354(D²H)^{0.8529}、LA_t = 0.0626(D²H)^{0.8529}。

3.4 不同的作者报道针叶树叶面积指数时,有的基于叶片的投影面,有的基于叶片的总表面,有的基于半表面,还有的并未指明基于哪种叶面积,给不同文献之间叶面积的比较带来不便和混乱^[12],因此 Gower 等^[12]建

议使用总表面积的一半(hemisurface area, HSA)计算针叶林的叶面积指数。本文提供了 3 种叶面积指数,从得到的结果看,3 种叶面积指数之间相差较多,而且均比利用 CF110 植被冠层数字图像仪得到的结果(有效叶面积指数为 2.40)^[5]都要大,其原因可能是 CF110 测得的是有效叶面积指数,有效叶面积指数是利用仪器测量间隙率得到的,其值本身就较实际叶面积指数偏小。另外,本文计算得到的是湿地松的最大叶面积指数值,而现实中叶片和叶倾角的分布常常使得利用仪器测得的值偏小。

References:

- [1] Gower S T, Vogt K A, Gier C C. Carbon dynamics of Rocky Mountain Douglas-fir: influence of water and nutrient availability. *Ecological Monographs*, 1992, 62(1):43~65.
- [2] Pierce L L, Running S W. Rapid estimation of coniferous forest leaf area index using a portable integrating radiometer. *Ecology*, 1988, 69:1726~1767.
- [3] McNaughton K G, Jarvis P G. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In: *Water Deficits and Plant Growth*. (T. T. Kozlowski, Ed.), Academic, London, 1983, 7:1~47.
- [4] Fassnacht K S, Gower S T, Norman J M, et al. A comparison of optical and direct methods for estimating foliage surface area index in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1994, 71:183~207.
- [5] 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. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(2):159~163.
- [6] Liu Z G, Ma Q Y. Leaf growth of north China larch plantation in Saihanba. *Journal of Beijing Forestry University*, 1994, 16(1):13~19.
- [7] Wu H G, Qiao Y Y, Yan X J, et al. Green biomass and leaf area index of young Masson pine forest in western Zhejiang mountains. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 1995, 12(3):253~257.
- [8] L Ü Y. Prediction of the leaf areas for *Pinus massonina* stand. *Hubei Forestry Science and Technology*, 1996, 97:38~41.
- [9] Diao D X, Li C R, Guan C P. LAI and its dynamics of young red pine plantation. *Forestry Science and Technology*, 2000, 25(4):16~17.
- [10] Xi J C, Zhang H Q, Zhang Z Q. Retrieving effective leaf area index of conifer forests using Landsat TM images. *Journal of Beijing Forestry University*, 2004, 12(3):253~257.
- [11] Zhou Y Y, Tang S H, Zhu Q J, et al. Measurement of LAI in Changbai Mountains Nature Reserve and its result. *Resources Science*, 2003, 25(6):38~42.
- [12] Gower S T, Kucharik C J, Norman J M. Direct and indirect estimation of leaf area index, fapar, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 1999, 70(1):29~51.
- [13] Landsberg J J, Gower S T. Applications of physiological ecology to forest management. Academic, San Diego, CA, 1997. 354.
- [14] Wu Z L. Conspectus of exotic tree species introduction. Beijing: Science Press, 1983. 116~120.
- [15] Scientific Investigation Team of Chinese Academy of Sciences for Southern Mountainous Areas, Management office of natural resources in Ji 'an Prefecture of Jiangxi Province. Management and Development of Red Hilly Area — Experimental Study in Qianyanzhou. Beijing: Science Press, 1989. 1~23.
- [16] Tao S. Application of mathematical statistic method. Beijing: Chinese Environmental Science Press, 1994, 88~92.
- [17] Chen J M, Black T A. Defining leaf area index for non-flat leaves. *Plant Cell and Environment*, 1992, 15:421~429.
- [18] Hao Y C, Chen R C. Rapid measurement of leaf area of different ripe properties corn. *Shanxi Journal of Agricultural Science*, 1994, (1):31~32.
- [19] Tan X Q. Rapid measurement of leaf area of aniseed. *Guangxi Forestry Science*, 2001, 30(3):147.
- [20] Xia R X, Jiang Z. Methods for measurement of crops leaf area. *Plant Physiology Communications*, 1987, (5):58~60.
- [21] Zhang J T, Tian Y, Zhao P H, et al. A preliminary study on the mathematic model of leaf area of *Ulmus pumila* Linn. Clones. *Journal of Henan Forestry Science and Technology*, 2001, 21(1):1~3.

参考文献:

- [5] 张红旗,陈永瑞,牛栋. 红壤丘陵区针叶林有效叶面积指数遥感反演模型. *江西农业大学学报*, 2004, 26(2):159~163.
- [6] 刘志刚,马钦彦. 塞罕坝华北落叶松人工林的叶生长过程. *北京林业大学学报*, 1994, 16(1):13~19.
- [7] 武红敢,乔彦友,严小君,等. 浙西山地马尾松幼龄林的绿色生物量和叶面积指数. *浙江林学院学报*, 1995, 12(3):253~257.
- [8] 吕勇. 马尾松林叶面积的预测. *湖北林业科技*, 1996, 97:38~41.
- [9] 刁兴东,李传荣,关成平. 人工红松幼龄林的叶面积指数与生长动态. *林业科技*, 2000, 25(4):16~17.
- [10] 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. *北京林业大学学报*, 2004, 26(6):36~39.
- [11] 周宇宇,唐世浩,朱启疆,等. 长白山自然保护区叶面积指数测量及结果. *资源科学*, 2003, 25(6):38~42.
- [14] 吴中伦. 国外树种引种概论. 北京:科学出版社, 1983. 116~120.
- [15] 中国科学院南方山区综合科学考察队. 江西省吉安地区自然资源开发治理办公室. 红壤丘陵开发和治理——千烟洲综合开发治理试验研究. 北京:科学出版社, 1989.
- [16] 陶澍. 应用数理统计方法. 北京:中国环境科学出版社, 1994. 88~92.
- [18] 郝引川,陈润沧. 不同熟性玉米品种叶面积的快速测量法. *陕西农业科学*, 1994, (1):31~32.
- [19] 覃学强. 八角叶面积野外速测. *广西林业科学*, 2001, 30(3):147.
- [20] 夏仁学,江泽. 测定作物叶面积的方法. *植物生理学通讯*, 1987, (5):58~60.
- [21] 张江涛,田野,赵蓬辉,等. 白榆无性系叶面积数学模型初步研究. *河南林业科技*, 2001, 21(1):1~3.