

杉木单立木 3-D 建模与防侵蚀关键参数表征研究^①

朱盼盼^{1,2}, 史学正^{1*}, 于东升¹, 张海东¹, 宋正姍³, Scholten T³

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 图宾根大学地理研究所, 德国图宾根 D-72070)

摘要:单立木三维(3-D)重建与全面解析叶面积指数(LAI)的空间分布对于认识我国南方林下土壤侵蚀过程与防治具有重要意义。本研究选择江西省东部德兴市新岗山丘陵区的中国-德国-瑞士三方合作生物多样性试验基地, 使用地面激光扫描仪(TLS), 在野外实地通过扫描获取一棵 5 年生杉木的点云数据, 并基于点云数据反演了该杉木 LAI 的空间分布, 讨论了冠层结构及其异质性对林下土壤侵蚀的影响。结果表明:地面激光扫描仪是单立木 3-D 重建的有力工具, 本研究提出的提取 LAI 径向分布的体元模型切分方式行之有效。样木 LAI 在纵向及径向上分布皆不均匀, 纵向上, LAI($\Delta H=0.1\text{m}$)变化范围为 $0.02 \sim 0.18 \text{ m}^2/\text{m}^2$; 径向上, 树干处的 LAI 可达到树冠边缘处的 $8 \sim 25$ 倍。东南 SE、东北 NE、西北 NW、西南 SW 四个方位的 LAI 分布表现为下坡向(SW、NW)大于上坡向(SE、NE)。整棵杉木的 LAI 为 $2.45 \text{ m}^2/\text{m}^2$, TLS 应用于林木野外扫描时受风速的影响比较大, 基于体元模型计算 LAI 时, 体元尺寸的选择非常关键。

关键词:地面激光扫描系统; 体元模型; LAI; 林下侵蚀

中图分类号: S157.1

植被是影响土壤侵蚀的关键因子之一。我国亚热带地区降雨量大, 在缺乏灌草的森林中, 林下水土流失现象十分严重^[1]。作为森林植被与其物理环境进行物质和能量交换的子系统, 树冠是多种生物物理和生理过程, 如光合、蒸腾、降水截留的平台^[2]。了解树冠三维结构可以更好地理解树冠与其物理环境的交互过程^[3]。叶面积指数(leaf area index, LAI)是表征冠层结构的核心参数^[4], 定义为单位地表面积上绿叶表面积总和的一半(m^2/m^2)^[5]。

长期以来, 植被水土保持功能评价研究主要以植被覆盖度为主。Elwell 等^[6]认为植被覆盖度(vegetation fractional coverage, VFC)是决定土壤侵蚀的关键因素, 可作为定量表征土壤侵蚀的指标。然而, 在我国南方红壤侵蚀区, 即使是高覆盖度林下, 仍存在中度、甚至强度以上的水土流失^[1], 可见 VFC 指标并不完全适宜监测“林下流”问题。有学者提出, LAI 可以综合反映植被的水平和垂直结构信息, 有望为“林下流”的监测提供一种新的途径^[7]。例如, 孙佳佳等^[8]探讨以 LAI 和 VFC 定量表征不同覆盖度马尾松纯林和林草的红壤水土流失特点, 结果表明表征

土壤侵蚀模数, LAI 比 VFC 更为稳定和可靠。植被通过单株各个官能体和多株综合作用来实现对水土流失的影响。结构决定功能, 单立木水平 LAI 的空间分布是怎样的, 它如何影响冠层截留, 因此了解单株水平 LAI 的空间分布, 并分析其可能对林下侵蚀产生的影响具有重要意义。近年来, 地面三维激光扫描仪(terrestrial laser scanning, TLS)在林业中的应用使无损精确地获取林木三维可视化模型以及提取冠层核心参数空间分布成为现实。Hosoi 和 Omasa^[9]使用 TLS 建立了单棵茶梅(*Camellia sasanqua*)的 3-D 模型, 并用基于体元化的方法提取了叶面积体密度(leaf area density, LAD)以及累积 LAI 的垂直分布, 其中单株树水平 LAD 估算相对误差为 0.7%。Moorthy 等^[10]应用 TLS 获取了一棵模型树的 3-D 模型, 并从不同方位角估算了冠层元素的径向分布。学者们对应用 TLS 建立林木 3-D 模型以及提取冠层参数做了很多探索和研究^[9-11], 但还鲜有学者将 TLS 获取的林木 3-D 模型应用于森林地区的侵蚀研究。

本研究以一棵 5 年生幼杉(*Cunninghamia lanceolata*)的 TLS 数据为例, 以体元模型为基础, 获取该杉木

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方面项目群(KZCX2-YW-Q1-07 和 15)资助。

* 通讯作者(xzshi@issas.ac.cn)

作者简介: 朱盼盼(1989—), 女, 河南周口人, 硕士研究生, 主要从事水土保持研究。E-mail: zlyxbmsl@163.com

的 LAI 空间分布,并对叶元素水平和垂直分布对冠层截留的影响进行讨论,旨在为南方林下土壤侵蚀过程和治理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区及 BEF-China 项目概况

试验区位于中国江西省东部德兴市新岗山镇(28°58'N, 117°32'E),属于亚热带季风气候,年平均温度 15.1℃,年平均降水量 1 964 mm,雨季集中在 5—6 月和 9 月^[12];地貌以低山丘陵为主,自然植被属于中亚热带典型常绿阔叶林,乔木树种丰富,主要包括杉木、马尾松、木荷、丝栗栲、苦槠等;土壤类型为红壤(按中国土壤系统分类主要为雏形土,还有少量淋溶土和铁铝土)。

本试验选择在 BEF-China(BEF, biodiversity-ecosystem functioning)中国-德国-瑞士三方合作项目的综合型生物多样性-生态系统功能试验基地进行实施,该基地主要通过包括森林净生产力,碳、氮储量,养分循环以及森林地区土壤侵蚀过程等研究,以深入解析亚热带森林生态系统功能。该试验基地于 2009—2010 年间通过将原有林木连根采伐后,移栽 42 种当地乔木树种及 10 种灌木树种幼苗的方式建成,共包含 566 个小区,每个小区 400 棵树,为纯林或混交林(2~24 树种混交),截至本试验时,树龄 5~6 年,树高 1~3 m 不等^[13]。

1.2 试验实施方法

野外杉木单立木激光扫描获取植被信息工作在 2013 年 10 月上旬进行,选择一株冠形良好的杉木为测定对象,实测样木树高、地径、冠幅以及一级枝数目。同时采用高分辨率地面激光扫描仪 Riegl VZ400,设置 4 个站点从不同方位扫描样木。试验所采用的扫描角分辨率为 0.005°。

1.3 点云数据预处理

野外扫描过程中,由于风吹动枝叶导致图像中存在一些噪声点,在 Riegl 的配套软件 Riscan Pro 中手动去除。其次,不同站点的点云数据通过公共的控制点进行数据拼接。拼接后的点云数据有一定的数据冗余,采用软件提供的数据精简功能进行过滤。数据预处理完成后,输出为 ASCII 格式,以读入 Matlab 进行后续处理。

1.4 体元化与 LAI 的计算

参考 Hosoi 和 Omasa^[9]的方法建立基于体元的单立木模型。体元模型中的体元若至少包含一个点,则赋予属性值 1,否则为 0。按照用户定义的方式切分

点云模型,然后统计数据集中所有非零体元的数目,乘以单个体元的上表面面积(1.5 mm × 1.5 mm),即可得到这一数据集的叶面积^[14]。接下来,以叶面积除以相应的树冠投影面积,可获得叶面积指数,逐层累加,得到累积叶面积指数。

2 结果

2.1 体元模型两种切分方式及树冠投影面积测量

本研究采用两种方式切分体元模型,以计算纵向及径向 LAI 分布。方式一是根据高度切分(H 约为 0.1 m)。方式二是首先根据高度来切分体元模型,层数取 1 000 层,取最底层的点云数据,根据公式(1)、(2)计算树干中心点的坐标,记为(X_c, Y_c);其次,将体元模型投影到二维水平面上,设定(X_c, Y_c)为新的坐标原点,其余各点坐标则相应平移为($X_r - X_c, Y_r - Y_c$);然后,将体元模型按各点所在象限分为 4 个部分;接下来,由公式(3)来计算投影平面上所有点与树干中心的距离;最后,根据点与树干的距离来分别切分点云数据集,本试验将每个象限的点云数据沿径向切分为 7 层。

$$X_c = (X_{\max} - X_{\min}) / 2 \quad (1)$$

$$Y_c = (Y_{\max} - Y_{\min}) / 2 \quad (2)$$

$$disc = \sqrt{(X_r - X_c)^2 + (Y_r - Y_c)^2} \quad (3)$$

式中: X_{\max} 、 X_{\min} 、 Y_{\max} 、 Y_{\min} 分别是体元坐标系中 X/Y 轴的最大、最小值; $disc$ 表示投影平面上的任一点到树干中心的距离; $\sqrt{\quad}$ 为平方根函数; X_i 、 Y_i 为投影平面上任一点的 X 、 Y 坐标值。

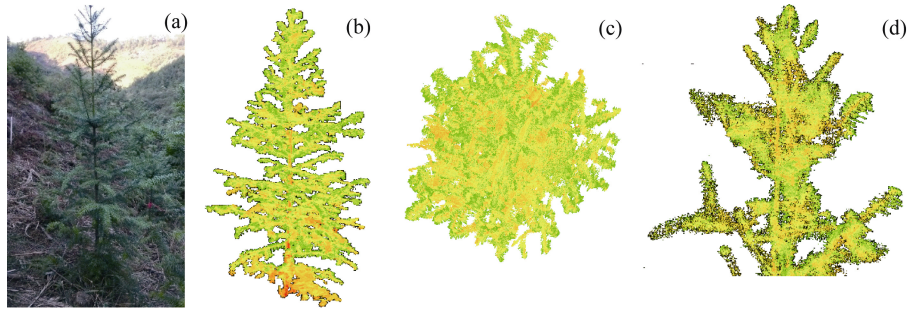
将预处理过的点云数据输出为 dxf 格式,用 AutoCAD 打开,切换到俯视状态,用样条曲线将树冠投影的外轮廓线描绘出来,然后用面积命令(area)测出树冠投影面积。

2.2 幼杉 3-D 重建与基本特征

图 1b 为 5 年生幼杉 3-D 重建图,能真实反映树枝、树叶的形态及空间分布,可满足冠层结构研究的需求。在 Riscan Pro 软件中可对图像进行旋转、缩放、平移以及距离测量等操作。从 3-D 重建图中获取树高、地径和冠幅,统计一级枝数目并与实测值对比,验证其精度,结果见表 1。从表 1 的比较结果看,采用 TLS 所获取的基本测树因子树高、地径、冠幅、一级枝的相对误差为 0、3%、5% 和 6%,林业调查允许偏差为 5%^[15],可见除了一级枝,其他因子测量误差都在允许范围内,可以满足林业调查的要求。

2.3 LAI 垂直、径向分布及累积 LAI 分布

本研究使用 TLS 所提取的 LAI 垂直方向(H 取



(a : 样木照片 ; b : 样木 3-D 重建图 ; c : 样木俯视图 ; d : 样木特写图)

图 1 5 年生幼杉 3-D 重建图

Fig. 1 3-D model of 5-year-old *C. lanceolata* tree

表 1 样木基本特征及冠层参数
Table 1 Basic characteristics and canopy parameters of the sample tree

参数	树高(m)	地径(cm)	冠幅(m)	一级枝
实测值	2.62	4.30	1.34	65
TLS	2.62	4.17	1.27	61
相对误差	0%	3%	5%	6%

0.1 m)变化范围为 0.02 ~ 0.18 m²/m², 这与 Hosoi 和 Omasa^[9]使用 TLS 扫描数据所提取的常绿灌木茶梅垂直方向(H 取 0.1 m)的 LAI 变化范围 0.05 ~ 0.8 m²/m² 在数量级上是一致的。从图 2 可以看出, 这棵 5 年生幼杉树冠基本呈圆锥形, 分层的叶面积指数随树高呈现“一峰一谷”的分布趋势。树冠上部, 着枝深度(着枝深度指枝条着生位置距树梢的长度)在 0.25 ~ 0.85 m 之间时, LAI 较为均一, 变化范围为 0.035 ~ 0.075 m²/m², 这是上部枝条较为直立的缘故。树冠中上部着枝深度为 0.9 ~ 1.2 m 和树冠中下部着枝深度 1.5 ~ 2 m, LAI 较大, 变化范围分别为 0.1 ~ 0.16 m²/m² 和 0.15 ~ 0.18 m²/m², 这是树冠中部一级枝枝展长且枝态水平伸展的原因。而树冠下部当着枝深度超过 2.2 m 之后, LAI 值从 0.1 m²/m² 迅速减小。

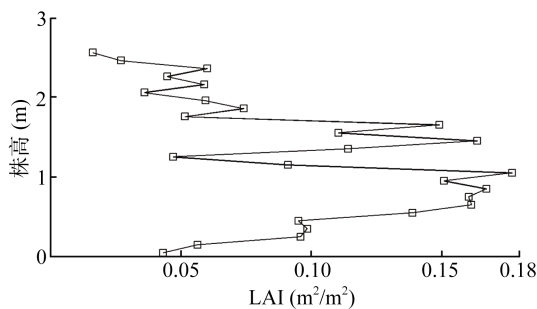


图 2 叶面积体密度垂直结构分布

Fig. 2 Vertical distribution of leaf area density

图 3 为杉木树冠 LAI 从树干干心开始沿 4 个方位(90°范围内的平均值)的径向分布曲线。由图 3 可以看出, 杉木树冠在径向上分布并不均匀, 靠近树干处

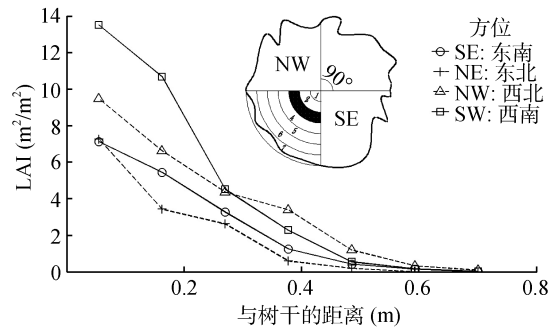


图 3 叶面积体密度径向分布

Fig. 3 Horizontal distribution of leaf area density

的 LAI 可以达到树冠边缘处的 8 ~ 25 倍。LAI 随与树干距离的增大呈现平缓减小的趋势, 这与杉木圆锥形的树冠相适应。由于上层枝叶的遮挡, 下层枝通过延伸枝条长度、增加向外张开的角度和叶面积以保证自身的光合和呼吸^[16], 因而距离树干越近, LAI 越大。可以明显观察到, SW 方位“LAI ~ 与树干的距离”曲线在距树干干心处远远高于其他方位, 这是由于树干的倾斜造成的。另外, 4 个方位的叶面积指数有一定差异, 表现为从干心到距树干 0.275 m 处, SW > NW > SE > NE, 从 0.275 m 处到树冠边缘, NW > SW > SE > NE。这棵杉木生长于一个斜坡上, 坡向 261°(南偏西 81°), 因而可以将不同方位 LAI 的差异解释为受地形的影响下坡向(西向)存在一定的偏冠现象, 下坡向枝条多且伸展较长。

自冠层顶部向下的累积叶面积指数是冠层结构非常重要的指标之一, 冠层截留量、水分的蒸发、蒸腾皆随累积叶面积指数的增加而增加。刘蕾和刘家冈^[17]借鉴植被辐射传播理论的方法建立了林冠降雨截留模型, 研究中发现, 林冠内部降雨并不完全等于冠外, 而是随累积叶面积指数的增加呈线性下降趋势。从图 4 可以看出, 累积叶面积指数随着枝深度的增加以稳定而平缓的速率增加。对累积叶面积指数的贡献, 冠层中部(45.71%) > 下部(36.33%) > 上部(17.96%), 这说明幼杉中部的侧枝、针叶分布最多,

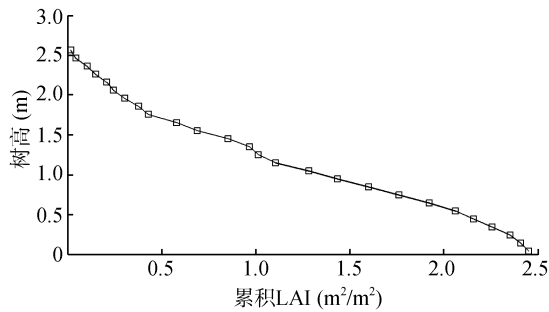


图4 累积叶面积指数
Fig. 4 Cumulative leaf area index

其次是下部，上部最少。整株杉木的叶面积指数为 $2.45 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 。孙佳佳^[18]构建了叶面积指数 LAI 与土壤侵蚀模数的一维经验预测模型，模型显示在纯林植被覆盖下，土壤侵蚀模数小于南方红壤丘陵区土壤容许流失量时，林叶面积指数为 $1.4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ 左右。因此，5 年生幼杉林可有效控制林下水土流失。

3 讨论

3.1 冠层结构及其异质性对林下侵蚀的影响

降雨通过冠层时被冠层截留和重新分配，冠层结构因子树高、枝下高、郁闭度、LAI 等皆对降雨截留过程及林下降雨侵蚀力有一定影响^[19-20]。天然降雨通过林冠层，林冠对其阻挡、滞留和削能，以穿透降雨、二次降雨和干流的形式到达地表，使得林内降雨特征与林外显著不同。雷瑞德^[21]通过观测分析认为华山松枝下高超过 7 m 时，在中雨及以上雨强情况下林内降雨动能大于林外。可见，冠层结构中的枝下高因子是影响林内降雨侵蚀力的重要因素。此外，王库等^[22]将江西省兴国县土壤侵蚀强度图与 LAI 栅格图叠加分析发现，轻度、中度和强度土壤侵蚀分布面积随 LAI 变化呈类正态分布。孙佳佳等^[8]对红壤区马尾松人工林的研究表明 LAI 与土壤侵蚀模数有很好的相关性。很多学者将 LAI 看作表征冠层截留和林下溅蚀的重要参数。此幼杉冠长较长，LAI 较大，冠层截留容量大，透过降雨在降落过程中受到层层阻截，且枝下高几乎为 0，大雨滴不会因重新加速冲击地面引起林下溅蚀^[23]，因此该树冠可有效消散穿透降雨动能。但随着幼杉的生长，冠层离地面越远，冠下降雨侵蚀力越大，从而加大林下土壤侵蚀的危害。因此，在树木生长过程中，要注重林下植被的建设与保护。

植被冠层因子的空间异质性会对一些重要的物理化学生物过程产生影响，包括林下穿透降雨量、冠下缺乏灌草时的地表溅蚀量、溶质淋溶以及土壤中细根的分布等。Nanko 等^[24]研究一棵 9.8 m 高日本针叶

树下穿透雨量的空间异质性认为，树冠圆锥形的冠形使雨水向树冠边缘汇聚，冠内较为直立的枝条使雨水向树干汇聚，因此树干与树冠边缘中间部分穿透雨量较小。从本研究的 LAI 垂直和径向分布图(图 2、图 3)也可以观察到“杉木树冠圆锥形，上部枝条较为直立”这些特点。马波等^[25]系统研究了种植大豆情况下土壤溅蚀特征，发现土壤溅蚀速率随 LAI 的增加线性减少。由此可以推断针叶树冠下树冠边缘因 LAI 小较冠下其他处更容易发生溅蚀，而树干处因为树干导流也较树冠中间部分易发生溅蚀，这与 Nanko 等^[24]的研究结论是一致的。本研究发现冠层元素径向上分布并不均匀，LAI 随与树干距离的增大逐渐减小，且受地形的影响在下坡向存在一定程度的偏冠现象。因此，进行冠下研究采样，如布设溅蚀杯时，要将距树干径向距离和坡向因素考虑在内。

3.2 误差来源分析

TLS 应用于野外测量时有些事项需要注意。一方面，激光测量受风速的影响比较大，特别是扫描的分辨率较高时，轻微的枝叶晃动导致测量所得图像存在高度的噪声。另一方面，由于地形的限制及周围其他树木的遮挡，常常需要增加观测站以及用来进行多站配准的反射片的数目，在很大程度上降低了扫描的效率。

另外，体元的尺寸选择非常关键^[14]。本研究选择的体元尺寸为 $1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm} \times 1 \text{ mm}$ ，选择的依据为：近似或略大于采样分辨率；从树的不同位置选择了 3 个小枝，在 CAD 软件中测量其投影面积，然后与不同体元尺寸的计算结果相比较，发现体元尺寸为 1 mm 时计算结果与测量结果最为接近。

引起 LAI 估计误差的其他因素还有木质部分、叶倾角和阻塞效应^[26]。由于 TLS 无法区分绿叶和木质部分，造成 LAI 估算结果偏大。叶倾角也会引起一定的测量误差，但多数学者认为相比于其他因素，叶倾角的影响不大^[26]。激光在传播路径上遇到物体反射衰减从而产生阻塞效应，导致后面被遮挡的部分无法探测到。从本研究的结果看，阻塞效应(图 1d 的结果显示树冠中心无明显数据缺失的现象)和叶倾角的影响都相对较小，引起误差的主要原因是非光组合分，所以本试验的结果相对于采用直接方法测得的结果可能略微偏大。

4 结论

本研究应用 TLS 重建了一棵 5 年生杉木的三维立体模型，并且提出了一种以树干为轴心，提取 LAI 径向分布的体元模型切分方式。此棵 2.62 m 高的杉

木纵向和径向上,冠层元素分布都不均匀,纵向上,LAI 最大值是最小值的 9 倍;径向上,树干处的 LAI 可达到树冠边缘处的 8~25 倍。东南 SE、东北 NE、西北 NW、西南 SW 四个方位的 LAI 分布有一定差异,表现为下坡向(SW、NW)大于上坡向(SE、NE),这可以用下坡向的偏冠现象来解释。因此,进行冠下研究时,采样设计应将坡向和与树干的距离考虑在内。整棵杉木的叶面积指数为 $2.45 \text{ m}^2/\text{m}^2$,此株 5 年生幼杉冠层可有效保持林下水土,这对杉木林分建成过程中林下土壤侵蚀控制意义重大。未来可将应用 TLS 重建立木三维结构与林下侵蚀研究结合,以分析树冠对降雨的截留过程以及研究冠层结构因子对林下降雨侵蚀力及其异质性的综合作用。

参考文献:

- [1] 赵其国. 我国南方当前水土流失与生态安全中值得重视的问题[J]. 水土保持通报, 2006, 26(2): 1-8
- [2] Geoffrey GP. Structure and microclimate of forest canopies[A] // Lowman M, Madkarni N, Forest Canopies[C]. California: Academic Press, 1995: 73-105
- [3] Norman JM, Campbell GS. Canopy structure[J]. Plant Physiological Ecology, 1989: 301-325
- [4] Weiss M, Baret F, Smith GJ, Jonckheere I, Coppin P. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination. Part . Estimation of LAI, errors and sampling[J]. Agricultural and Forest Meteorol, 2004, 121: 37-53
- [5] Chen JM, Black TA. Defining Leaf-Area Index for non-flat leaves[J]. Plant Cell and Environment, 1992, 15(4): 421-429
- [6] Elwell HA, Stoching MA. Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia[J]. Geoderma, 1976, 15: 61-70
- [7] 张文太. 用 LAI 定量表征植被防治水土流失功能研究[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2010
- [8] 孙佳佳, 于东升, 史学正, 顾祝军, 张文太, 杨浩. 植被叶面积指数与覆盖度定量表征红壤区土壤侵蚀关系的对比研究[J]. 土壤学报, 2010, 47(6): 1 060-1 066
- [9] Hosoi F, Omasa K. Voxel-based 3-D modeling of individual trees for estimating leaf area density using high-resolution portable scanning lidar[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2006, 44(12): 3 610-3 618
- [10] Moorthy I, John RM, Hu BX, Chen J, Li QM. Retrieving crown leaf area index from an individual tree using ground-based lidar data[J]. Canadian Journal of Remote Sensing, 2008, 34(3): 320-332
- [11] Hosoi F, Nakabayashi K, Omasa K. 3-D modeling of Tomato canopies using a high-resolution portable scanning lidar for extracting structural information[J]. Sensors, 2011, 11: 2 166-2 174
- [12] Bruelheide H, Böhnke M, Both S. Community assembly during secondary forest succession in a Chinese subtropical forest[J]. Ecological Monographs, 2011, 81: 25-41
- [13] Bruelheide H. The BEF-China Project [EB/OL]. 2014-07-11. <http://www.bef-China.de/index.php/en/>
- [14] Zheng G, Moskal LM. Leaf area index (LAI) from aerial and terrestrial lidar. Factsheet #2[OL]. Remote Sensing and Geospatial Application Laboratory, University of Washington, Seattle, WA. 2008. <http://depts.washington.edu/rsgal/factsheets/UW-RSGALFactsheet2.pdf>
- [15] 吴春峰, 陆怀民, 郭秀荣, 张立富. 三维激光扫描系统在测树中的应用[J]. 林业机械与木工设备, 2008, 36(12): 48-49, 54
- [16] 赵西平, 郭平平, 张全智. 白桦枝叶的空间分布及导管特征[J]. 林业科学, 2013, 49(7): 69-74
- [17] 刘蕾, 刘家冈. 非均匀林冠降雨截留模型[J]. 林业科学, 2007, 43(3): 8-14
- [18] 孙佳佳. LAI 表征植被水土保持功能及恢复度研究[D]. 南京: 中国科学院南京土壤研究所, 2010
- [19] Geißler C, Kühnke P, Bruelheide H, Shi XZ, Scholten T. Splash erosion potential under tree canopies in subtropical SE China[J]. Catena, 2012, 91: 85-93
- [20] Geißler C, Nadrowski K, Kühn P, Baruffol M, Bruelheide H. Kinetic energy of throughfall in subtropical forests of SE China - effects of tree canopy structure, functional traits, and biodiversity[J]. Plos One, 2013, 8(2): 1-8
- [21] 雷瑞德. 华山松冠层对降雨动能的影响[J]. 水土保持学报, 1988, 2(2): 31-39
- [22] 王库, 史学正, 于东升, 田庆久. 红壤丘陵区 LAI 与土壤侵蚀分布特征的关系[J]. 生态环境, 2006, 15(5): 1 052-1 055
- [23] 周国逸. 几种常用造林树种冠层对降水动能分配及其生态效应分析[J]. 植物生态学报, 1997, 21(3): 250-259
- [24] Nanko K, Onda Y, Ito A, Moriwaki H. Spatial variability of throughfall under a single tree: Experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2011, 151: 1 173-1 182
- [25] 马波, 吴发启, 马璠. 种植大豆地表土壤溅蚀效应及其空间分布特征[J]. 土壤学报, 2013, 50(1): 50-58
- [26] Béland M, Widlowski JL, Fournier RA, Côté JF, Verstraete MM. Estimating leaf area distribution in savanna trees from terrestrial lidar measurements[J]. Agricultural and forest meteorology, 2011, 151: 1 252-1 266

Study on 3-D Modeling Chinese Fir Tree and Representation of Crucial Crown Architecture Parameters on Erosion Control

ZHU Pan-pan^{1,2}, SHI Xue-zheng^{1*}, YU Dong-sheng¹, ZHANG Hai-dong¹,
SONG Zheng-shan³, Scholten T³

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China*; 2 *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*; 3 *Institute of Geography, Eberhard Karls University Tübingen, Tübingen D-72070, Germany*)

Abstract: Building the 3-D model of individual tree and analyzing completely the spatial distribution of leaf area index (LAI) are of great significance to understand the process and prevention of soil erosion under the forest in the south of China. A case study was conducted in the experiment site of the joint Chinese-German-Swiss research project “BEF-China”, which was located in the hilly region of the eastern part of Jiangxi Province, China. Initially, the point cloud data of a 5-year-old Chinese fir tree was obtained by using terrestrial laser scanner (TLS), then the spatial distribution of LAI was extracted and the impact of crown structure, its spatial heterogeneity on soil erosion under the forest was analyzed. The results showed that TLS was a powerful tool for reconstructing the 3-D model of individual trees. An effective segmentation algorithm to extract the radial distribution of canopy elements was presented. The spatial distribution of LAI of the whole tree was uneven: LAI ($\Delta H=0.1\text{m}$) ranged from 0.02 to 0.18 m^2/m^2 in the vertical direction, while radially LAI values, close to the trunk, could reach 8 – 25 times of those on the crown edge. LAI in the downhill was greater than that in the uphill. LAI of the whole fir tree was 2.45 m^2/m^2 . In addition, it was found that TLS was sensitive to wind in our field measurement and the voxel size was a crucial factor in predicting LAI with the voxel-based method.

Key words: Terrestrial laser scanning system; Voxel-based model; Leaf area index; Soil erosion under forest