

· 成果简介 ·

林窗研究进展

——国家自然科学基金重点项目部分成果简介

赵桂玲

(国家自然科学基金委员会生命科学部, 北京 100085)

[关键词] 林窗, 林窗立体结构, 林窗光指数, 林窗更新

引言

林窗(gap)是森林群落中老龄树木死亡或因各种干扰因素(如干旱、台风、火灾等)导致优势树木死亡,从而在林冠层造成空隙(已有文献报道空隙大小为4—1000 m²)的现象^[1]。林窗是森林生态系统中最普遍、最重要的小尺度干扰,是森林生态系统更新演替的驱动要素,更是森林结构和功能维持的重要因子。基于林窗发展的森林循环理论对森林经营与管理具有重要的理论与实践指导意义^[2]。因此,林窗研究一直是林学相关领域的研究热点。然而,由于林窗演化的长期性和动态性,关于林窗结构特征、林窗环境异质性及林窗更新规律等科学问题又是研究的难点^[3]。

在国家自然科学基金面上基金项目“次生林雪/风干扰特征及对建群种更新演替影响(30671669)和重点项目“东北次生林主要建群种天然更新过程中的光调节机制”(项目编号:30830085)资助下,中国科学院沈阳应用生态研究所朱教君研究员领导的研究团队,以东北次生林生态系统为对象,针对林窗开展了系统研究,确定了林窗结构量化方法体系,完善了林窗环境要素(尤其是光环境)的确定方法,在林窗结构与环境要素研究的基础上,揭示了林窗早期更新规律。上述研究成果有助于理解森林生态系统林窗变化过程与更新演替机制,对次生林生态系统恢复具有重要意义。具体研究结果简介如下:

1 提出高精度估算林窗面积的等角椭圆扇形法

传统林窗大小较精确的测度方法是等角多边形法,根据罗盘方向数量的不同可分为8边形法(octagon method, OM)和16边形法(sixteen-gon method, SM)等。其计算过程是首先测得林窗中心沿8或16个罗盘方向到林窗边缘的距离,再将林窗近似成等角8或16边形估测其面积。等角多边形法所估计的林窗面积精度与林窗划分边数和野外测度工作量成正比。受工作量的限制,目前常用的是8边形法,但其在估测林窗面积时受起测位置影响显著,难以获得精确的可比性结果。朱教君带领的研究团队经过研究,提出了“等角椭圆扇形法(elliptical-sector method, ESM)”估测林窗面积。

等角椭圆扇形法(ESM)的野外测量与等角多边形法相同,不同之处是计算时将相邻距离间的部分近似为椭圆扇形而不是等角多边形,椭圆扇形面积之和即为估测的林窗面积。经检验证实,ESM 8分法(即野外测量与8边形法相同)估测的同一林窗面积不受起测位置的影响;且ESM 8分法估测的林窗面积比OM估测的林窗面积(不同起测位置的平均值)高10%以上,与16边形法(SM)所得到的林窗面积没有显著差异($p < 0.05$) (封面图A、B)。该研究结果表明,利用野外8边形法获得的数据采用ESM可得到与野外16边形法获得数据相同的精度,而野外工作减半,真正达到“事半功倍”的效果;同时,ESM消除了8边形法确定林窗面积不具可比性的缺点,为正确、快速估测林窗大小提供了稳定可靠的方法。研究结果发表在 *Frontiers of Forestry in*

本文于2012年11月27日收到。

China, 2009, 4: 276—282, 目前, 该方法已在林窗估算实践中得到应用。

2 应用双半球面影像确定林窗立体结构

林窗立体结构是林窗的重要特征, 指林窗大小、林窗形状和形成林窗的边缘木高度 3 个特征量的组合。以往林窗立体结构确定需要分别测定 3 个特征量, 如林窗大小采用等角多边形法, 林窗形状采用单张半球面影像 (hemispherical photograph) 法等^[4]。无法同时获得林窗立体结构的 3 个特征量制约了林窗环境要素及更新演替的下游研究。

朱教君带领的研究团队应用双半球面影像实现了林窗立体结构主要特征量的同时提取。其基本原理是: 在林窗内同一位置不同高度拍摄 2 张半球面影像 (封面图 C、D), 通过 2 次拍摄时的高差及投影坐标, 利用鱼镜头的极坐标成像原理, 计算得到林窗立体结构特征参数 (式 1—3)。

$$A = 0.5 \sum_{i=1}^n D_{i,g} \cdot D_{(i-1),g} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right), \quad (1)$$

$$\rho = \sum_{i=1}^n \sqrt{\left(D_{i,g} \cdot D_{(i-1),g} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{n}\right)\right)^2 + \left(D_{(i-1),g} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{n}\right)\right)^2}, \quad (2)$$

$$H_{i,\alpha} = H_i + D_i \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \tan(\gamma). \quad (3)$$

式中, A : 林窗大小 (面积), P : 林窗形状指数, $H_{i,\alpha}$: 边缘木高度; α : 天顶角, β : 坡向, γ : 坡度, g : 天顶角变化的步长; H_i : 校正后地面至相机高度, D_{α} : 天顶角 α 对应的林冠边缘水平投影距离, $D_{i,g}$, $D_{(i-1),g}$: 天顶角 α 按步长 g 变化对应的林冠边缘水平投影距离。

应用双半球面影像法对 12 个人工林窗和 14 个天然林窗立体结构参数进行了测量与估算 (范例见封面图 E), 并与现有最精确的单一特征量确定方法进行了配对比, 结果表明: 林窗面积与 ESM 16 分法所得数值无显著差异 ($p < 0.05$)、林冠边缘高度与测距仪的测量值无显著差异 ($p < 0.05$)、林窗形状与单张半球面影像确定值一致。

双半球面影像法仅需要在林窗内同一位置不同高度拍摄 2 张半球面影像, 且影像处理时的角度间隔设为 10 度时, 测量精度不受拍摄位置影响; 此外, 双半球面影像法不受地形限制, 不需要假设林冠边缘木同高。与传统方法比较, 双半球面影像法具有简单、精确等优点。因此, 双半球面影像法适合可重复、可比较的长期林窗研究。相关内容发表于 *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009, 149: 862—872。

3 基于林窗立体结构的林窗光指数

林窗形成导致的环境变化是驱动林窗更新演替的主要动力, 尤其是光环境的变化, 更是决定植物萌发、生长乃至生存的最重要因子之一^[5, 6]。然而, 由于林窗光环境复杂的时空分布特征, 直接采用光量子仪器测量林窗光环境异质性质耗时费力且成本昂贵; 目前常用的估测林窗光环境的方法是林窗光指数 (GLI 范围: 0—100, 0 无光, 100 全光, 式 * 4) 模型^[7, 8]。监测与计算 GLI 需要确定林窗坐标, 即从林窗内某一固定位置沿多个方位角到林窗林冠顶点的一组天顶角。林窗内不同位置点均有不同的林窗坐标, 一般采用在林窗内某位置点垂直向上拍摄半球面影像来确定, 但一张半球面影像只能确定林窗内一点的林窗坐标^[7]。因此, 林窗内多点或全部林窗坐标获得所需要的超大工作量成为该模型应用的主要限制因子。朱教君研究团队通过林窗立体结构, 使在同一位置获得林窗内任意点林窗坐标成为可能^[9], 为 GLI 简捷高效应用奠定了基础。其基本原理如下:

$$GLL = (T_{diffuse} \cdot P_{diffuse} + T_{beam} \cdot P_{beam}) \times 100, \quad (4)$$

式中, $T_{diffuse}$ 和 T_{beam} 分别为林冠下方与林冠上方散射光的比值和直射光的比值; $P_{diffuse}$ 和 P_{beam} 分别为林冠上方散射光与全光的比值和直射光与全光的比值。

确定 GLI 所需参数可由输入林窗坐标的专门公式确定^[7], 因此, 林窗坐标的确定便成为关键。

林窗立体结构 (不包括林窗形状) 可用式 5 和式 6 表达:

$$D = f(\theta), \quad (0 \leq \theta \leq 360), \quad (5)$$

$$H = g(\theta), \quad (0 \leq \theta \leq 360). \quad (6)$$

式中, θ 、 D 和 H 分别是林窗林冠边缘相对于林窗中心 (O , 图 1) 的方位角、水平距离和高度。因此, 林窗中任一点 (P) 的极坐标可表示为: $d(\theta_p)$ 和 $h(\theta_p)$, 其中, θ_p 、 d 和 h 分别是 P 到坐标原点的方位角、水平距离和高度 (图 1)。

当 $h(\theta_p) = 0$ 时, 方位角等于 α 的水平向量 PE 极坐标方程可由式 7、8 表达:

$$D_{PE} = d(\theta_p) \cdot \sin\theta_p / \sin\theta, \quad (7)$$

$$D_{PE} = \frac{d(\theta_p) \cdot (\cos\theta_p - \tan(\pi/2 - \alpha) \cdot \sin\theta_p)}{\cos\theta - \tan(\pi/2 - \alpha) \cdot \sin\theta}, \quad (\alpha = 0) \quad (8)$$

式中, θ 和 D_{PE} 分别为 PE 上某一点相对原点 O 的方位角和距离 (图 1), θ 在 α 和 θ_p 之间变化。

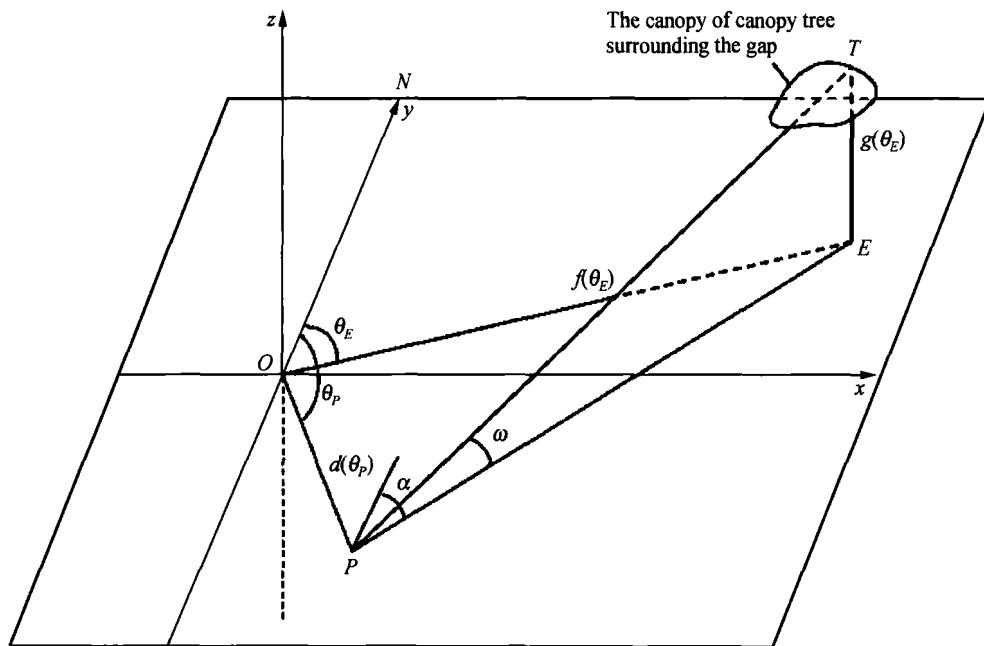


图1 林窗坐标几何计算方法示意图

注:以林窗中心为坐标原点 O , P 是平面 xy 上任一点,其 z 坐标为 0 , θ_p 和 $d(\theta_p)$,分别是点 P 相对于坐标原点的方位角和距离。方位角等于 α 的水平向量 PE 与林窗轮廓的垂直投影线相交于 E 点,垂直投影于 E 点的林窗边缘点 T 相对于坐标原点的方位角、水平距离和垂直高度分别为 θ_E 、 $f(\theta_E)$ 和 $g(\theta_E)$;则, P 点到沿方位角 α 至林窗边缘点 T 的仰角等于 ω 。

当射线 PE 的方位角 α 以角度间隔 S 从 0 到 360 之间变化时, n ($=360/S$)个方位角对应的天顶角 Z 即可获得。最后, P 点的林窗坐标可表示为 n 对 $(\alpha$ 和 $Z)$ 。

经7个大($>500\text{ m}^2$)、中($500-150\text{ m}^2$)、小($<150\text{ m}^2$)三类林窗内93个拍摄点检验发现,采用传统方法(每个拍摄点垂直向上拍摄1张半球面影像)与基于林窗立体结构确定林窗坐标进而得到的GLI两者没有显著差异($p < 0.001$)。因此,基于林窗立体结构可获得林窗内连续各点的GLI值(封面图F),使GLI简捷高效应用成为可能。相关内容发表于*Canadian Journal of Forest Research*, 2008, 38: 2337—2347。

4 发现了林窗内种子—幼苗阶段更新规律

在林窗结构研究得以突破的基础上,朱教君研究团队开展了林窗早期更新研究,揭示了林窗内种子—幼苗阶段更新规律:

(1) 在林窗形成的土壤种子库分布规律方面,发现温带次生林生态系统适合种子入侵和种子库发展为地上植被的最佳林窗面积在 150 m^2 到 500 m^2 之间;林窗内土壤种子与地上植被的相似性与林窗面积成反比,林窗面积增加有利于更多物种的种子进入土壤(林窗内的种子种类是林内的1.25倍),但林窗形成不能改变种子库数量(密度)。相关结果

发表于*Plant and Soil*, 2010, 329: 469—480。

(2) 在林窗幼苗出现的影响机制方面,通过对林窗土壤种子萌发形成幼苗以及种子今后的命运研究,发现了温带次生林生态系统建群树种蒙古栎(*Quercus mongolica*)和色木槭(*Acer mono*)等是“林窗依赖种”,即林窗形成能促进上述树种种子形成幼苗,其作用机制是由于林窗内光照增加,打破了种子形成幼苗的土壤温度这一主要限制因子。研究还发现,尽管林窗可以促进“林窗依赖种”幼苗出现,但种子库对幼苗出现的贡献不足10%。相关结果发表于*PLoS One*, 2012, 7: e39502。

结束语

这是一项林学与数学和生态学紧密交叉的研究课题,对推动森林经营学的理论发展具有重要学术意义。4年来,项目组在林窗结构特征和林窗环境异质性方面取得了突破性进展,在林窗早期更新研究中也取得了阶段性成果,并衍生出以下科学问题:首先,在个体/林分林窗尺度上,(1)形成土壤种子库之前,种子传播到林窗土壤的传播方式是什么?不同传播方式对形成种子库的贡献有多大?(2)种子库内仅10%的种子萌发形成幼苗,剩余90%的种子命运如何?是失去活性、腐烂还是形成持久种子库等待下一次林分结构的变化?(3)林窗内幼苗出现后,采用怎样的存活和生长策略形成幼苗库?其

次,在群体/景观林窗尺度上,(1)林分尺度的林窗更新过程如何向景观尺度转换?(2)如何追溯历史时期林窗更新过程?(3)个体林窗与群体林窗在次生林生态系统更新过程中有何异同?(4)如何将林窗更新过程机制应用于次生林生态系统恢复实践中?在未来的工作中,该课题组将针对上述问题开展深入系统的研究。

参 考 文 献

- [1] Watt A S. Pattern and process in the plant community. *Journal of Ecology*, 1947, 35: 1—22.
- [2] Ott R A, Juday G P. Canopy gap characteristics and their implications for management in the temperate rainforests of southeast Alaska. *Forest Ecology and Management*, 2002, 159: 271—291.
- [3] 谭辉,朱教君,康宏樟等. 林窗干扰研究. *生态学杂志*, 2007, 26: 587—594.
- [4] He L L, Gong Z W, Li J S et al. Estimation of canopy gap size and gap shape using a hemispherical photograph. *Trees-Structure and Function*, 2009, 23: 1101—1108.
- [5] Page L M, Cameron A D. Regeneration dynamics of *Sitka spruce* in artificially created forest gaps. *Forest Ecology and Management*, 2006, 221: 260—266.
- [6] Zhu J J, Gonda Y, Yu L Z et al. Regeneration of a coastal pine (*Pinus thunbergii* Parl.) forest 11 years after thinning, Niigata, Japan. *PLoS One*, 7: e47593.
- [7] Canham C D. An index for understory light levels in and around canopy gaps. *Ecology*, 1988, 69:1634—1638.
- [8] Domke G M, Caspersen J P, Jones T A. Light attenuation following selection harvesting in northern hardwood forests. *Forest Ecology and Management*, 2007, 239: 182—190.
- [9] 胡理乐,朱教君,李俊生等. 林窗内光照强度的测量方法. *生态学报*, 2009, 29: 5056—5065.

PROGRESS ON STUDY OF FOREST GAP

Zhao Guiling

(Department of Life Science, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085)

Key words canopy gap, tridimensional shape of canopy gap, gap light index, regeneration of forest gap

(上接第 213 页)

ence ethics in China was investigated. The results show that there are some ethical issues in the process of scientific research, as well as in the results of scientific research. The sense of ethics of researchers is strong but the knowledge of ethics is weak; the management and education of science ethics need to be strengthened urgently, and the environment of science ethics needs to be further improved. The results provide a reference for the construction of science ethics in China.

Key words science ethics, investigation, researchers

(上接第 217 页)

PEER-REVIEW RESEARCH FOR NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA —Analysis of Relevant Literature

Zhang Gaizhen

(School of Social Sciences, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Number and research topics of journal articles in CNKI, dissertations and monographs related to Chinese peer-review research for natural science foundation are added up and analyzed. It is found, over time, the number of research papers and books, micro-depth research and macro research radiate gradually increasing trend, but the latter two accounting for a smaller proportion of the total, indicating the degree of depth for research is not enough. Based on the practice of peer review of China and research results at home and abroad, relying on the core of the research group, to strengthen the micro-depth and macro studies are suggested, and excellent approach of macro study abroad is illustrated.

Key words peer-review, natural science foundation, number and topics of studies, micro-depth research, macro research