

三种人工林分的冠层结构参数与林下光照条件

贾小容^{1,2}, 苏志尧^{1,2}, 区余端¹, 解丹丹¹

(1. 华南农业大学 林学院, 广州 510642; 2. 华南农业大学 农业部生态农业重点开放实验室, 广州 510642)

摘要: 以样方法为基础, 用半球面影像技术测定了桉树林、湿地松林和混交林(木荷+青冈+银木荷)3种人工林分的冠层结构(叶面积指数 LAI 和林冠孔隙度 CO)和林下光照条件(林下直射光 TransDir 和林下散射光 TransDif), 并分析了冠层结构与林下光照条件之间的关系。测定结果表明, 桉树林、湿地松林和混交林的 LAI 平均值分别是 1.9、2.7 和 2.6, 变异系数为 11.3%、14.4% 和 19.3%; CO 的平均值分别为 18.1%、10.4% 和 11.0%, 变异系数为 13.9%、17.7% 和 26.2%; TransDir 的平均值分别为 6.5、4.0 和 3.9 mol·m⁻²·d⁻¹, 变异系数为 22.1%、22.9% 和 30.8%。TransDif 的平均值分别为 5.5、3.2 和 3.3 mol·m⁻²·d⁻¹, 变异系数为 15.2%、14.8% 和 19.2%, 以混交林林下光照的空间异质性最明显。相关分析表明, 在 3 种林分中, TransDif 均与 LAI 或 CO 显著相关, 而 TransDir 仅在混交林中与 LAI 或 CO 显著相关。混交林冠层结构具有较高的空间异质性, 并直接影响林下光照条件。

关键词: 冠层结构; 林冠孔隙度; 叶面积指数; 半球面影像技术

中图分类号: Q948 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)04-0473-06

Canopy structural parameters and understory light regimes of 3 artificial forest stands in South China

JIA Xiao-Rong^{1,2}, SU Zhi-Yao^{1,2}, OU Yu-Duan¹, XIE Dan-Dan¹

(1. College of Forestry, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2. Key Laboratory of Ecological Agriculture of Ministry of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Canopy parameters and understory light regimes of three artificial forest stands in South China, i. e., *Eucalyptus*, slash pine and mixed forest stands, were estimated using hemispherical photography based on quadrat method together with plant census, and the relationship between canopy structure and understory light regimes was analyzed. Leaf area indexes (LAI) of the 3 artificial forest stands were 1.9, 2.7, and 2.6, respectively, and their CV (coefficient of variation) was 11.3%, 14.4%, and 19.3%, respectively. Canopy Openness (CO) was 18.1%, 10.4% and 11.0%, and their CV was 13.9%, 17.7% and 26.2%, respectively; Transmitted direct gap light (TransDir) was 6.5, 4.0 and 3.9 mol·m⁻²·d⁻¹, respectively, and their CV was 22.1%, 22.9% and 30.8%, respectively. Transmitted diffuse gap light (TransDif) was 5.5, 3.2 and 3.3 mol·m⁻²·d⁻¹, respectively, and their CV was 15.2%, 14.8% and 19.2%, respectively. High spatial heterogeneity in understory light regimes was found in the mixed forest stand. Correlation analysis indicated that in all the 3 forest stands TransDif was significantly correlated with LAI or CO, while TransDir was significantly correlated with LAI or CO in the mixed forest stand. Canopy structure of the mixed forest stand exhibited higher spatial heterogeneity and had a direct impact on understory light regimes.

Key words: canopy structure; canopy openness (CO); leaf area index (LAI); hemispherical photography

收稿日期: 2010-09-31 修回日期: 2011-01-08

基金项目: 广东省科技计划项目(2002C20703); 广东高校优秀青年创新人才培养项目(209028) [Supported by Science and Technology Program Projects of Guangdong Province(2002C20703); Foundation for Distinguished Young Talents in Higher Education of Guangdong(209028)]

作者简介: 贾小容(1978-), 女, 湖北天门人, 在读博士, 讲师, 从事森林生态学的教学和研究工作, (E-mail) xiaorongj@scau.edu.cn.

森林冠层的结构不仅直接影响森林截获太阳辐射的程度以及截留大气降水的能力,还影响森林内部的小气候特征,如光环境、风速、空气温湿度、土壤有机质含量等,进而影响林下植被的生长和更新以及森林群落的演替动态(任海等,1996;张小全等,1999;李德志等,2004;Norby等,2003)。因此,森林的冠层结构对森林的功能意义重大。广东自20世纪80年代以来大规模植造人工林,形成了人工纯林多、混交林少、年龄增加的现状,由于纯林树种单一、层次结构简单、生物多样性低和老龄化而导致土壤质量退化,病虫害严重,生态与经济效益较差,为此,2007年正式启动林分改造工程,以提高广东森林质量,加快林业生态省建设。大面积林分改造的科学实施离不开对现有人工林冠层结构的评估。

近年来,半球面影像技术,可进行大范围、众多地点的实时冠层结构和林下光照等的分析、监测和比较,且具有快捷、准确、非破坏性和高性价比等优点,在国外得到较广泛应用,国内冠层结构的研究由来已久,但罕见运用此新技术(马钦彦等,2001;赵平等,2002;陈高等,2004;苏志尧等,2007;Frazer等,2001;Silbernagel等,2001;Beaudet等,2002;Archibold等,2004)。

桉树20世纪50年代起被大量发展,是华南地区最重要的速生阔叶材用树种(徐大平等,2006);70年代,湿地松以其幼龄期速生、根系生长迅速和生长适应性强等特征在广东迅速发展;木荷更是广东省营造速生丰产林的主要乡土阔叶树种之一(林永标等,2003)。本研究以华南农业大学树木园三种占有较大面积以及在广东省占有较大比例的典型人工林分:桉树林、湿地松林和混交林(木荷+青冈+银木荷)作为研究对象,选取2种冠层结构参数:叶面积指数(leaf area index, LAI)、林冠孔隙度(canopy openness, CO)和林下光照条件,主要是林下直射光(transmitted direct gap light, TransDir)和林下散射光(transmitted diffuse gap light, TransDif),定量研究三种人工林分的冠层结构和林下光照及其异质性,并对三种人工林分的冠层结构与林下光照的关系进行了分析,对华南农业大学树木园在调整林分结构和充分发挥树木园生态功能等经营管理方面,将起到重要指导作用;为广东省林分改造工程顺利、高效实施提供科学依据。本研究利用半球面影像技术获得三种人工林分的林冠影像,通过专用软件对影像进行分析,得出LAI、CO指标等冠层结构参

数和林下光照条件。

1 研究地概况

本研究三种人工林分样地位于华南农业大学树木园(以下简称“树木园”),该园位于广州市天河区东北部。研究区位于北回归线附近,占地面积约28 hm²,地貌类型为缓坡低丘,土壤类型为赤红壤。气候为南亚热带季风气候,年平均气温高,有效积温充足,冬季少严寒,霜日少,雨量充沛。年均气温22℃左右,最冷月(1月)平均气温13℃左右;最热月(7月)平均气温29℃左右,年降雨量1800 mm左右(章家恩等,2005)。树木园于20世纪70年代初创建,桉树、湿地松、木荷等树种占有树木园较大面积。

2 研究方法

2.1 林分调查和影像获取

在研究区域,对桉树林、湿地松林和混交林(木荷+青冈+银木荷)三种人工林分,选择有代表性的地段各随机设置3个20 m×20 m的样方进行每木调查,记录胸径(DBH)≥2 cm的立木。记载内容包括种名、树高(H, height)、胸径(DBH, diameter at breast height)等。半球面影像的获取使用Nikon CoolPix 4500数码相机,外接Nikkor FC-E8鱼镜头;用1600×1200分辨率,按低压缩比率(1:4)的JPEG图像格式保存图片。因为这种设置不会对后续相关参数的分析产生影响(Frazer等,2001),又不至于使图像文件太大。在每个样方的中心点离地面1.6 m处,保持相机水平,镜头朝上,拍照5个半球面林冠影像,共获得45个影像文件,用于计算分析冠层结构参数和林下光照系数。

2.2 影像处理

Nikkor鱼镜头为180°广角,所获得的林冠照片为圆形或称半球面影像(circular or hemispherical images)。本项研究采用WinScanopy软件(版本2.3B,加拿大Regent Instruments公司出版)对所获得的半球面影像进行分析。在参数设置中输入样地经纬度坐标和海拔,其他则采用软件默认设置,由此获得一系列林冠结构和林下光照指标。本项研究冠层结构参数采用LAI和CO,林下光照包括林下直射光和林下散射光。

2.3 数据统计分析

样方每木调查数据及半球面影像分析数据经整理后,用 STATISTICA 统计软件(版本 5.5,美国 Statsoft 公司出版)进行各项数据分析。

3 结果与分析

3.1 林分概况

通过样方调查获得三种人工林分的资料,各林分乔木层优势种及其特征如表 1 所示。调查结果显

示:桉树林,乔木层主要是尾叶桉,此外还有少量大叶相思和柠檬桉;湿地松林,乔木层只有湿地松;混交林主要由青冈、荷木和银木荷等亚热带典型常绿阔叶林树种组成乔木层。桉树林无论平均胸径还是平均树高都大于湿地松林和混交林,而湿地松林和混交林平均胸径和平均树高差异都不大。说明在所立地条件下,桉树比湿地松和荷木更为速生。

3.2 冠层结构及其空间异质性

计算各林分的 CO 和 LAI 两个指标的平均值、标准误、最大值、最小值和变异系数(表 2)。研究表

表 1 三种人工林分样地乔木层概况
Table 1 Tree layer of three artificial forest stands

林分 Forest stands	乔木层优势种 Dominant species of tree layer	胸径 DBH (cm)	树高 H (m)
		均值±标准误 Mean±SE	均值±标准误 Mean±SE
桉树林 <i>Eucalyptus</i> stand	尾叶桉 <i>Eucalyptus urophylla</i>	18.5±0.8	17.9±1.4
湿地松林 Slash pine stand	湿地松 <i>Pinus elliottii</i>	14.7±0.9	13.7±1.0
混交林 Mixed forest stand	青冈 <i>Cyclobalanopsis glauca</i> , 荷木 <i>Schima superba</i> , 银木荷 <i>Schima argentea</i>	14.9±2.8	12.3±0.9

表 2 三种人工林分冠层结构的基本统计特征
Table 2 Statistical characteristics of canopy structure of the three artificial forest stands

林分 Forest stands	林冠孔隙度 CO (%)			叶面积指数 LAI		
	均值±标准误 Mean±SE	最小值—最大值 Min-Max	变异系数 CV(%)	均值±标准误 Mean±SE	最小值—最大值 Min-Max	变异系数 CV(%)
桉树林 <i>Eucalyptus</i> stand	18.1±0.7	10.9—21.9	13.9	1.9±0.1	1.6—2.5	11.3
湿地松林 Slash pine stand	10.4±0.5	7.8—13.4	17.7	2.7±0.1	2.2—3.5	14.4
混交林 Mixed forest stand	11.0±0.7	7.8—18.4	26.2	2.6±0.1	1.5—3.5	19.3

明,三种人工林分的 LAI 整体偏低,而生产力较高的热带雨林的 LAI 高达 12~15,我国鼎湖山地区的针叶林 LAI 也高达 6.61(任海等,1996)。以上资料说明该三种人工林分生产力水平较低。

三种林分相互比较,桉树林 CO 最大, LAI 最小。桉树的速生性对资源(光照、水分、土壤养分等)的竞争较强造成的其他植物相对资源不足,从而使林冠层物种比较单一,从而 LAI 最小;可能也与桉树林分高大,林龄过大树冠衰退,郁闭度下降等及种植密度和株行配置等有关。湿地松林和混交林 LAI 近似,可能与湿地松林和混交林平均胸径和平均树高差异都不大有关。

从统计数据看,三种人工林分 CO 和 LAI 的空间异质性表现为中等变异性,其变异系数(CV)范围分别是 13.9%~26.2%和 11.3%~19.3%。三种人工林分冠层结构的空间异质性明显程度为:混交林>湿地松林>桉树林,表明混交林有较低的 CO

和较高的变异程度,有较高的 LAI 和较高的变异程度,其原因在于混交林物种组成偏多,林冠结构比较复杂,使其冠层结构变化程度较大。所以湿地松林和混交林 CO 和 LAI 虽然较为近似,但混交林 CO 和 LAI 的空间异质性还是较高。

3.3 林下光照及其空间异质性

由表 3 可知,三种林分的林下直射光均比散射光强,表明各林分其林冠郁闭度相对较小。同时,桉树林无论是林下直射光还是散射光,其均值均大于湿地松林和混交林,因为桉树是速生树种,根系周围的水分和营养多数被其吸收,而其它植物在竞争中处于劣势地位,故分布的种类少,长势也差,对冠层郁闭度贡献不显著。湿地松根系较为发达,延伸广,能直接吸收地下水,所以物种之间的竞争没有桉树纯林突出,林下光照条件较桉树林差。在混交林中,各种树种根系优势互补,协调共生,增加了郁闭度,林下光照条件较弱。

三种人工林分林下光照均表现为中等变异性,林下直射光的变异程度要强于林下散射光,其林下直射光和林下散射光的变异系数范围分别是22.1%~30.8%和14.8%~19.2%。而混交林林下光照的空间异质性最明显,桉树林和湿地松林林下光照的空间异质性较为接近,均小于混交林,其原

因应归于混交林冠层结构空间异质性较高。

湿地松林 LAI 的变异系数是 14.4%,与其林下散射光的变异系数 14.8% 相近似。混交林 LAI 的变异系数是 19.3%,与其林下散射光的变异系数 19.2% 极近似,说明混交林和湿地松林 LAI 的空间格局是影响其林下散射光空间分布的主要因素。

表 3 三种人工林分林下光照的基本统计特征

Table 3 Statistical characteristics of understory light regimes of the three artificial forest stands

林分 Forest stands	林下直射光 TransDir			林下散射光 TransDif		
	均值±标准误 Mean±SE	最小值-最大值 Min-Max	变异系数 CV(%)	均值±标准误 Mean±SE	最小值-最大值 Min-Max	变异系数 CV(%)
桉树林 <i>Eucalyptus</i> stand	6.5±0.4	1.7-7.9	22.1	5.5±0.2	3.3-6.8	15.2
湿地松林 <i>Slash pine</i> stand	4.0±0.2	2.5-5.7	22.9	3.2±0.1	2.5-4.0	14.8
混交林 <i>Mixed forest</i> stand	3.9±0.3	1.3-5.7	30.8	3.3±0.2	2.5-4.7	19.2

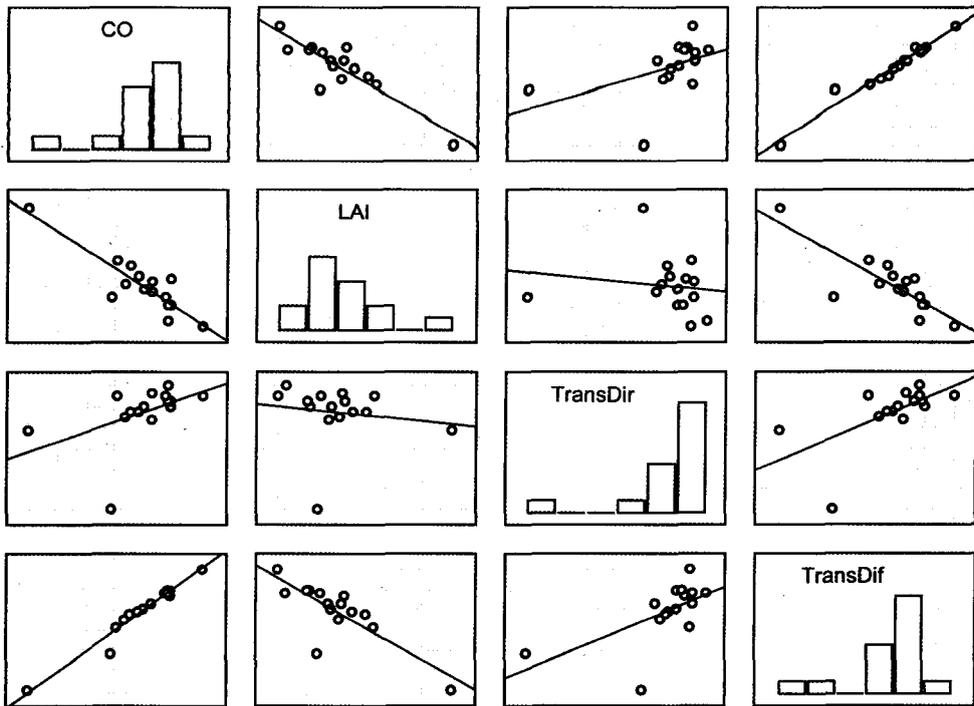


图 1 桉树林冠层结构与林下光照的关系

Fig. 1 The relationship between canopy structure and understory light regimes of *Eucalyptus* stand

3.4 冠层结构与林下光照的关系

矩阵图(Matrix plot)是散点图的一种,可在一张二维图中,显现多个变量间的分布关系图,这样可在一张图表中观察多个变量间的相关性,方便了多个数据间的数据分析,可以节省很多时间。本研究即利用矩阵图分析 CO、LAI、林下直射光和林下散射光两者之间的两两关系。

矩阵图中每个散点图所反映相关关系的变量为

该散点图横向和纵向分别对应的变量。如图 1 的矩阵图中右上角的散点图横向对应变量“CO”,纵向对应变量“林下散射光”,所以该散点图反映了变量“CO”和“林下散射光”间的相关关系。图 1、图 2 和图 3 中,TransDir 是林下直射光,TransDif 是林下散射光。

由图 1 可知,除了林下直射光与 CO、LAI 均呈不显著关系之外,其它两者之间均有显著相关关系。

CO 与 LAI 呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 与林下散射光呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 与林下直射光关系不显著 ($P > 0.05$); LAI 与 CO、林下散射光呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 与林下直射光关系不显著 ($P > 0.05$); 林下直射光与 CO、LAI 关系均不显著, 与林下散射光显著正相关 ($P < 0.05$).

由图 2 可知, 除了林下直射光与其余三者均不相关之外, 其它两者之间均有显著相关关系。CO 与 LAI 呈极显著负相关, 与林下散射光呈极显著正相关, 与林下直射光关系不显著; LAI 与 CO、林下散射

光均呈极显著负相关, 与林下直射光关系不显著。

由图 3 可知, 四个变量两者之间均有显著相关关系。CO 与 LAI 呈极显著负相关, 与林下散射光呈极显著正相关, 与林下直射光呈显著正相关, 说明 CO 与林下光照条件关系密切, CO 越大, 林下光照条件越好。LAI 与 CO、林下散射光呈极显著负相关, 与林下直射光呈显著负相关, 说明 LAI 对林下光照条件贡献极大, LAI 越大, 林下光照条件越差。林下直射光与 CO、林下散射光均呈显著正相关, 与 LAI 呈显著负相关。

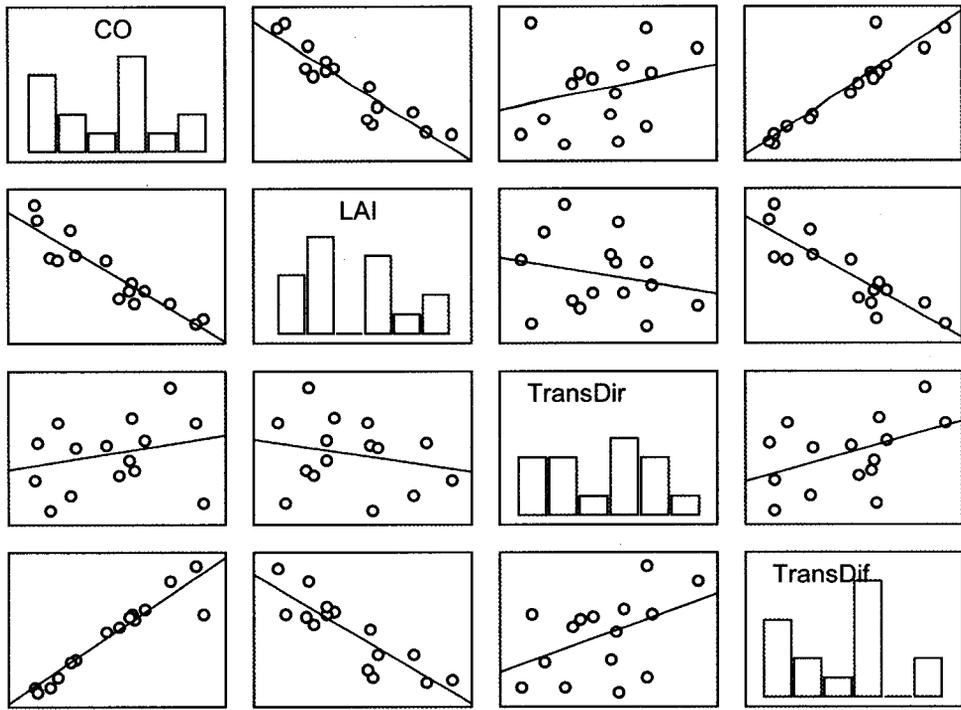


图 2 湿地松林冠层结构与林下光照的关系

Fig. 2 The relationship between canopy structure and understory light regimes of slash pine stand

由图 1、图 2 和图 3 可知, 三种人工林分中, 林下直射光与 CO、LAI 和林下散射光之间的关系存在差异。桉树林中, 冠层结构与林下散射光极相关, 与林下直射光不相关, 直射光和散射光相关; 湿地松林中, 冠层结构与林下散射光极相关, 与林下直射光不相关, 林下直射光和散射光不相关; 在混交林中, 冠层结构与林下光照条件均相关。

4 结论与讨论

三种人工林分 LAI 均偏低, 但混交林和湿地松林比桉树林高; 三种人工林分的冠层结构皆与林下

散射光极相关; 混交林 CO 和 LAI 空间异质性相对较高; 混交林和湿地松林的 LAI 和林下散射光的变异系数近似, 混交林和湿地松林 LAI 的空间格局是影响其林下散射光空间分布的主要因素; 混交林冠层结构与林下光照条件均相关。说明以荷木等本地种形成的混交林冠层结构具有较高的空间异质性, 并直接影响林下光照条件, 从而影响林下植物的生长和更新, 最终影响森林生态系统的生物多样性及其功能。

广东现在正在进行大面积的林分改造, 采取的措施是尽可能选择乡土树种营建混交林。根据本研究的结果, 在营建混交林时同样不能盲目, 应尽量达到

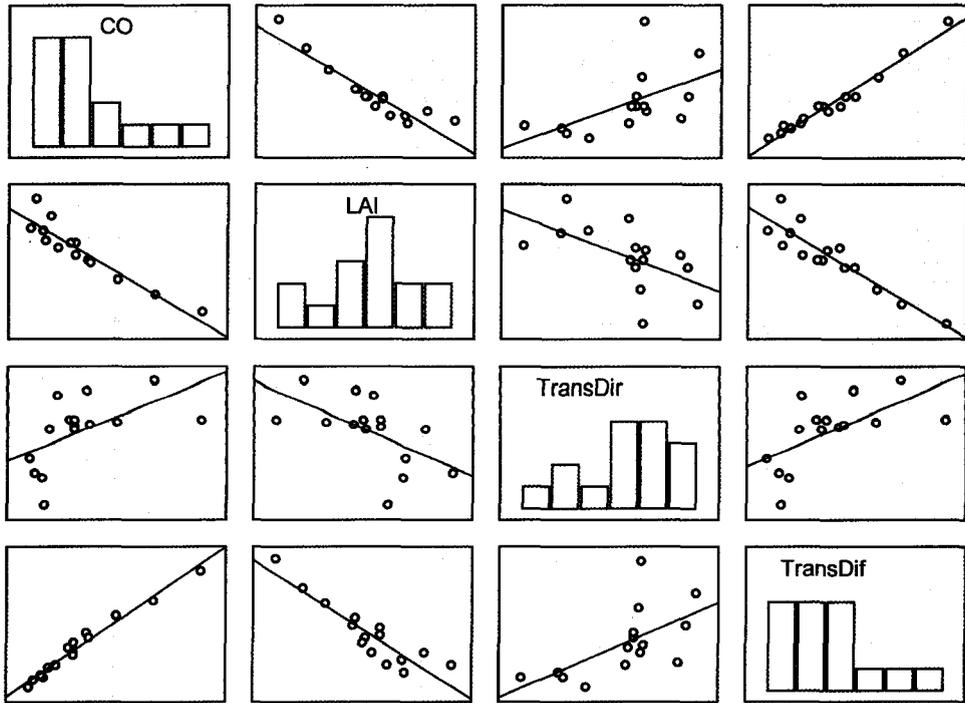


图3 混交林冠层结构与林下光照的关系

Fig. 3 The relationship between canopy structure and understory light regimes of mixed forest stand

最适的叶面积指数,从而为林下植物营造适宜的光照条件,以提高生物多样性及其功能。同时,本研究亦显示,林下光环境与林冠结构密切相关,下一步如果能详细描述两者之间的关系,对准确预测林下光照有重要的意义。

参考文献:

- Archibold OW, Ripley EA. 2004. Assessment of seasonal change in a young aspen (*Populus tremuloides*) canopy using digital imagery[J]. *Appl Geograph*, **24**:77-95
- Beaudet M, Messier C. 2002. Variation in canopy openness and light transmission following selection cutting in northern hardwood stands: an assessment based on hemispherical photographs[J]. *Agric Fore Meteorol*, **110**:217-228
- Chen G(陈高), Dai LM(代力民), Zhou L(周莉). 2004. Structure of stand and canopy characteristics of disturbed communities of broad-leaved *Pinus koraiensis* forest in Changbai Mountain (受干扰长白山阔叶红松林林分组成及冠层结构特征)[J]. *Chin J Ecol*(生态学杂志), **23**(5):116-120
- Frazer GW, Fournier RA, Trofymow JA, et al. 2001. A comparison of digital and film fisheye photography for analysis of forest canopy structure and gap light transmission[J]. *Agric Fore Meteorol*, **109**:249-263
- Li DZ(李德志), Zang RG(藏润国). 2004. The research advances on the structure and function of forest canopy, as well as their temporal and spatial changes(森林冠层结构与功能及其时空变化研究进展)[J]. *World Fore Res*(世界林业研究), **17**(3):12-16
- Lin YB(林永标), Shen WJ(申卫军), Peng SL(彭少麟), et al. 2003. Comparison of microclimatological effects of three plantations in Heshan of the lower subtropical, China(南亚热带三种人工林小气候效应对比)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **23**(8):1657-1666
- Ma QY(马钦彦), Liu ZG(刘志刚), Pan XL(潘向丽), et al. 2000. A study on the canopy structure and light distribution of *Larix principis-rupprechtii* during the growing season(华北落叶松人工林生长季内的林冠结构和光分布)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报), **22**(4):18-21
- Norby RJ, Sholtis JD, Gunderson CA, et al. 2003. Leaf dynamics of a deciduous forest canopy: no response to elevated CO₂[J]. *Oecologia*, **136**:574-584
- Ren H(任海), Peng SL(彭少麟), Zhang ZP(张祝平), et al. 1996. Study on canopy structure and canopy radiation of monsoon evergreen broad leaf forest in Dinghushan biosphere reserve, Guangdong(鼎湖山季风常绿阔叶林林冠结构与冠层辐射研究)[J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), **16**(2):174-179
- Silbernagel J, Moeur M. 2001. Modeling canopy openness and understory gap patterns based on image analysis and mapped tree data[J]. *Fore Ecol Manage*, **149**:217-233
- Su ZY(苏志尧), Jia XR(贾小容), Xie DD(解丹丹), et al. 2007. Determination of canopy structural parameters in an urban forest stand using hemispherical photography(用半球面影像技术测定城市林分的冠层结构参数)[J]. *J South China Agric Univ*(华南农业大学学报), **28**(2):65-69
- Xu DP(徐大平), Zhang NN(张宁南). 2006. Development of the research on ecological effects of *Eucalyptus* stand(桉树人工林(下转第 544 页 Continue on page 544))

参考文献:

- 吴德邻,陈忠毅. 1988. 极有开发前途的野生姜科花卉资源[J]. 植物杂志, 2(24)
- 曾宋君,段俊,刘念. 2003. 姜目花卉[M]. 北京:中国林业出版社
- Burger DW, Liu LL, et al. 1990. Organogenesis and plant regeneration from immature embryos of *Rosa hybrida* [J]. *Plant Cell Tiss Org Cult*, 21(2):147-152
- Gao LX(高丽霞), Liu N(刘念), Huang BH(黄邦海), et al. 2008. Optimization and formation SRAP system in *Hedychium* (姜花属 SRAP-PCR 体系的优化与建立)[J]. *Guihaia*(广西植物), 28(5):604-607
- Hong L(洪柳), ; Liu YZ(刘永忠), Deng XX(邓秀新). 2005. Obtaining of ponkan (*Citrus reticulata*) tetraploid by culturing embryos of mature seeds(柑成熟种子胚培养获得四倍体植株)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), 32(4):688-690
- Lei JJ(雷家军), Pang L(庞兰), Lin YF(林翼飞), et al. 2009. Embryo culture of interspecific hybrids from *Lilium lancifolium* (卷丹百合种间杂种胚培养研究)[J]. *J Shenyang Agric Univ* (沈阳农业大学学报), 40(1):84-87
- Li WS(李文生), Niu AG(牛爱国), Yan GH(闫国华), et al. 2005. Immature embryo culture for interspecific hybrids of cherry(樱桃种间杂交种的幼胚培养)[J]. *Plant Physiol Comm*(植物生理学通讯), 41(2):196
- Pan Y(潘俨), Liao K(廖康). 2006. Effect of different embryo-collecting time on hybrid grape embryos culture(不同取胚时期对葡萄杂交胚培养的影响)[J]. *Xinjiang Agric Sci*(新疆农业科学), 43(6):459-462
- Raghavan V, Srivastava PS. 1982. Embryo culture[C]//Johri BM (ed). *Experimental Embryology of Vascular plants*. Springer Verlag, Berlin:195-230
- Raghavan V. 1980. Embryo Culture[M]. *Internet Rev Cytol L B*:209-240
- Serge G. 1994. Embryo rescue in *Rosa hybrida* [J]. *Euphytica*, 72:205-212
- Shang XL(尚霄丽), Zhu GR(朱更瑞), Li J(李靖), et al. 2009. Study on the interspecific hybridization compatibility between *Prunus* crops and embryo culture of their hybrids(李属种间杂交亲和性及胚培养研究)[J]. *J Fruit Sci*(果树学报), 26(6):826-829
- Shen QB(沈庆斌), Lai ZX(赖钟雄), Cai HQ(蔡汉权), et al. 2005. *In vitro* culture of immature embryos and plant regeneration via somatic embryogenesis in loquat(枇杷幼胚培养与体胚诱导植株再生)[J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*(江西农业大学学报), 27(3):379-384
- Song WX(宋维秀), Song XD(宋西德), Zhou FL(周锋利), et al. 2008. A preliminary study on inducing buds of *Pinus tabulaeformis* f. *shekannesis*(柴松胚培养诱导芽形成的初步研究)[J]. *J Northwest Fore Univ*(西北林学院学报), 23(3):114-116
- Sun L(孙亮), Leng P(冷平). 2008. Apple-pear hybrid and *in vitro* rescue culture of zygotic embryo(苹果和梨属间杂交及其幼胚挽救研究)[J]. *J China Agric Univ*(中国农业大学学报), 13(2):25-29
- Wei ZZ(卫尊征), Zhang JF(张金凤), Zhang DQ(张德强), et al. 2008. Immature ovule culture of inter sectional hybrids between (*Populus tomentosa* P. *bolleana*) and *P. simonii* and molecular identification of the hybrid filial generation(白、青杨派间杂交幼胚培养及杂种子代的分子鉴定)[J]. *J Beijing Fore Univ*(北京林业大学学报), 30(5):73-77
- Wu TL, Larsen K. 2000. Zingiberaceae[M]//Wu ZY, Raven PH (eds). *Flora of China*. Beijing: Science Press; St. Louis, Missouri Botanical Garden Press, 24:370-377
- Yi HL(伊华林), Deng XX(邓秀新). 1998. A study of culture of citrus triploid plantlets(培养三倍体柑桔植株的研究)[J]. *J Frit Sci*(果树科学), 15(3):212-216
- Zeng YL(曾艳玲), Tan XF(谭晓凤), Wu YTN(乌云塔娜), et al. 2005. Reseach on shoot regeneration from the immature embryos of different crossbred and selfed pear combinations(梨不同杂交和自交组合幼胚组织培养的研究)[J]. *J Central South Fore Univ*(中南林学院学报), 25(1):29-32
- Zhuang EJ(庄恩及), Yao Q(姚强), Wu YL(吴钰良), et al. 1991. Studies on in-ovulo embryo culture techniques of early-maturing and very early-maturing peaches(早熟和特早熟桃胚珠培养研究)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), 18(4):303-308

(上接第 478 页 Continue from page 478)

- 生态效应研究进展)[J]. *Guangxi Fore Sci*(广西林业科学), 35(4):179-201
- Zhang JE(章家恩), Huang ZX(黄兆祥), Tang GL(唐国玲). 2005. Investigation of the composition of soil animal communities under forest vegetations in Guangzhou(广州市几种林型土壤动物群落调查研究)[J]. *J South China Agric Univ*(华南农业大学学报), 26(3):47-51
- Zhang XQ(张小全), Xu DY(徐德应), Zhao MS(赵茂盛). 1999.

- Review on forest canopy structure, radiation transfer and canopy photosynthesis(林冠结构、辐射传输与冠层光合作用研究综述)[J]. *Fore Res*(林业科学研究), 12(4):411-421
- Zhao P(赵平), Zeng XP(曾小平), Cai XA(蔡锡安), et al. 2002. Report on measurement of leaf area index of low subtropical forests by using digital plant canopy imager(利用数字植物冠层图像分析仪测定南亚热带森林叶面积指数的初步报道)[J]. *Guihaia*(广西植物), 22(6):485-489