林业科学研究 2001, 14(4): 349～355
Forest Research

文章编号: 1001-1498(2001)04-0349-07

笋材两用毛竹林冠层结构及其生产力功能研究

陈双林[1], 吴柏林[2], 张德明[2], 盛方清[2], 胡建军[2]
(1. 中国林业科学研究院 亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400;
2. 浙江省龙游县林业局, 浙江 龙游 324400)

摘要: 研究了笋材两用毛竹丰产林的冠层结构特征与林地生产力功能间的关系, 表明在一定立竹密度范围内(2 250～3 150 株·hm^{-2})笋材两用毛竹林在人工经营措施的干扰下, 竹冠冠幅受密度影响程度低, 同胸径、枝下高、全高关系紧密, 顺序为胸径> 全高> 枝下高; 立地等级对竹林产量有显著影响, 具体体现在对立竹度的显著影响, 对冠幅影响不显著, 笋材两用毛竹丰产林应选择半阳坡、半阴坡的缓坡林地(Ⅰ类立地); 毛竹林冠层具明显的垂直和水平二维分布规律, 该分布规律有利于立竹充分利用地上营养空间。建立了竹林竹材产量同立竹结构因子间的数学模型 $G = -302.27 + 42.08M - 0.00056N + 15.94D + 29.37h - 9.32H$, 经微机模拟该模型计算值同实际产量间误差小, 对生产中建立合理的竹林林分结构具参考价值, 可采用冠层结构的代表因子——冠幅作为衡量林分生产力的补充因子。

关键词: 笋材两用毛竹林; 冠层结构; 生产力功能
中图分类号: S795.706 **文献标识码**: A

毛竹(*Phyllostachys pubescens* Mazel ex H. de Lehaie)天然分布于 23°23′～32°20′N、104°30′～122°00′E 的广阔区域内, 是我国分布最广, 面积最大, 集经济、生态、社会效益于一体的优良竹种。笋材两用毛竹林作为一种新型的竹林经营类型, 在全国各主要产竹区得到迅速推广应用, 对山区农民的脱贫致富起到越来越重要的作用。

笋材两用毛竹林的关键技术是建立合理的林分结构。已往树木冠层结构方面的研究多集中于杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]、马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)、大叶相思(*Acacia auriculaeform is* A. Cunn.)等 10 余种树种, 涉及树冠形态结构特征[1], 树冠表面积及营养面积的测定[2], 树木叶面积的空间分布状况对冠层辐射场和光合生产力的影响[3, 4]等。从毛竹冠层结构方面探索其生产力功能的研究甚少。由于毛竹林枝高叶茂, 具有很强的生理整合性功能, 且各地生态环境、经营水平等存在差异, 毛竹林的独特经营方式——择伐作业对林分波动的影响等, 给毛竹林冠层结构研究带来一定的困难。本文旨在通过对笋材两用毛竹林的冠层结构特征及林地生产力内在关系的研究, 讨论竹林冠层空间分布状况, 寻求竹林立地生产力最佳的经营模式。

1 试验地概况

试验地位于浙江省龙游县庙下乡, 属毛竹中心分布区, 当地竹林资源丰富, 人均毛竹林面

收稿日期: 2000-11-16
基金项目: 国家"九五"攻关项目"工业用竹材林培育技术"(96-011-02-07)课题内容
作者简介: 陈双林(1965-), 男, 浙江龙游人, 助理研究员

积 0.57 hm^2, 笋材两用毛竹林集约经营水平高, 竹农家庭收入 30% 以上来源于竹林经营。

试验地地处 28°31′～29°20′N, 118°41′～119°06′E, 属中亚热带气候区, 四季分明, 年平均气温 17.3 ℃, 7 月平均气温 28.6 ℃, 1 月平均气温 4.9 ℃, 极端高温 41 ℃, 极端低温 -11.4 ℃, 10～20 ℃的持续天数 182.8 d, 年均无霜期 261.5 d。年平均降水量 1 621.9 mm, 降水量随季节变化, 2～4 月份 325～538 mm, 占全年 22%～29%; 5、6 月份 450～570 mm, 占全年 30%; 7～9 月份 350～500 mm, 10～12 月份 180～240 mm; 年平均蒸发量 1 392 mm, 年平均相对湿度 80%。土壤类型为黄壤土, 分黄壤、表潜黄壤 2 类, 系山地草甸黄泥土, pH 值 5.5, 土层厚度 80 cm 以上, 有机质含量 6%, N 素含量高, 速效 P、K 含量中等。

2 研究方法

2.1 调查方法

选取不同立竹密度、立地等级毛竹纯林(立竹密度 2 250～3 150 株·hm^{-2}), 按(20×20) m^2 设立标准地 15 块, 重复 3 次。

调查标准地立竹胸径、全高、枝下高、冠幅, 根据林分平均胸径、平均竹高、平均冠幅等指标, 在标准地中伐标准竹各 1 株, 调查标准竹冠层结构垂直分布、水平分布情况。垂直分布按冠层基部自下而上每隔 1 m 分垂直层, 调查每层枝盘数; 取标准枝调查标准枝长、枝幅、枝分角、枝夹角、枝基径、枝叶质量。水平分布为取标准竹的标准枝, 自基部从下至上每隔 0.5 m 分水平层调查各层标准枝长、枝幅、枝分角、枝夹角。此外, 在林缘空旷处选单独生长的立竹, 调查立竹胸径、全高、枝下高、冠幅。比较林缘、林内立竹生长差异情况。

2.2 统计分析方法

按竹材质量同胸径关系调查公式 $M = 0.009\,35D^{2.237\,4}$ (试验地伐取不同径级立竹 70 株分别称竹材质量回归统计得, M —— 竹材质量, D —— 立竹胸径), 计算新竹竹材产量; 按公式 $LAI = (G_E \times N)/A$ [5] (LAI —— 叶面积指数, G_E —— 竹叶鲜质量, A —— 林分面积, N —— 系数 9.93) 计算竹叶面积指数; 利用公式 $S = (4/\pi) \times L \times B/2$ [2] (L —— 竹冠长度, B —— 冠幅) 计算竹冠表面积; 应用 SPSS (Statisticas Package for Social Sciences) 统计软件分析各因子间关系并建立数学模型。

3 结果与分析

3.1 立竹结构因子对冠层的影响

在较小密度的林分, 林木为了适应环境, 有的树种侧枝生长或从基部分叉产生多干现象, 增大冠幅, 扩大营养空间, 促进林分郁闭, 从而加速林分生长。对于较大密度的林分, 在林分生长过程中出现自然稀疏现象[6]。毛竹具有极强的生理整合性功能, 一片竹林是由若干个完整的鞭—竹系统构成, 其竹茎相当于林木的侧枝, 鞭系统在地下年年生长孕笋长竹, 幼竹生长结束后立竹各因子指标(除材质生长)不再发生差异性变化。毛竹林同样存在快速郁闭和自然稀疏现象, 通过林地立竹密度的变化反映出来, 竹林立竹密度过大, 出笋量显著减少甚至不出笋, 出现地下鞭根系统部分死亡腐烂, 竹株枯死现象; 立竹密度小, 通过地下鞭系统的延伸生长孕笋长竹, 在短时期内郁闭成林。

在一定立竹密度范围内(2 250～3 150 株·hm^{-2}, 不存在自然稀疏) 立竹冠幅受密度影响

程度低, 其数学模型为:

$$N = 502.133 - 138.333L$$

式中, N ——立竹密度, L ——冠幅, 偏相关系数 $R = 0.073\ 7$。林缘具自由生长空间的立竹冠幅同立竹密度为 3 120 株·hm^{-2}的同一径级区间内立竹冠幅差异不显著($F = -1.415$, $F_{0.05} = 2.364\ 6$), 枝下高、全高差异显著($F_1 = 3.825\ 4$, $F_{0.05} = 2.364\ 6$; $F_2 = 3.950\ 5$, $F_{0.05} = 2.446\ 9$)(表 1)。说明一定程度下立竹密度同胸径、枝下高、全高关系较为紧密, 立竹密度增大, 胸径、枝下高、全高也随之相应增大, 数学模型分别为:

表 1　林缘、林内立竹结构因子比较

项目	胸径/cm	枝下高/m	全高/m	冠幅/m
林缘	11.1	4.8	12.4	2.56
林内	11.3	5.8	14.0	2.42

立竹密度—胸径　$\lg N = 2.142\ 2 + 1.194\ 8\lg D$　($F = 0.749$, $F_{0.05} = 0.467$)

立竹密度—全高　$N = -39\ 663 + 6\ 350.99H - 236.96H^2$　($F = 1.23$, $F_{0.05} = 0.537$)

立竹密度—枝下高　$N = 0.007\ 1h^{7.278\ 3}$　($F = 2.41$, $F_{0.05} = 0.261$)

式中, N ——立竹密度, D ——胸径, H ——全高, h ——枝下高。

分析表明(表 2), 立竹结构各因子中, 冠幅同胸径、枝下高、全高关系紧密, 顺序为胸径> 全高> 枝下高; 胸径同全高、枝下高关系紧密, 顺序为全高> 枝下高。Daniel 等[2]认为林分密度是评定某一立地生产力的仅次于立地质量的第二重要因子, 而且是人们用以干预林分生长发育的最主要因子。而在笋材两用毛竹丰产林中立竹密度同其它几项因子关系仅较为紧密, 这同竹林经营特点和经营水平及供试竹林立竹密度有关, 主要原因是笋材两用毛竹丰产林是异龄林, 竹林立竹年龄级多为 1～3 度(2 年为 1 度), 采取具双重作用(利用采伐和抚育采伐)的择伐作业方式和定时、定点、定量科学挖笋技术等, 导致竹林立竹密度相近, 林相相似, 林分结构较为一致的现象。

表 2　立竹结构因子的相关系数

结构因子	冠　幅	立竹密度	胸　径	枝下高	全　高
冠　幅	1				
立竹密度	0.073 700	1			
胸　径	0.871 092	0.496 754	1		
枝下高	0.705 730	0.698 154	0.829 737	1	
全　高	0.868 775	0.545 276	0.991 705	0.893 895	1

3.2　立地条件对竹林冠层结构的影响

立地条件包括竹林气候和竹林立地等级两部分, 它们是相互关联、相互影响, 综合作用于竹林生长的。本试验于同一地进行, 可忽略气候因素的影响。立地等级分为 2 类, Ⅰ类为半阴坡、半阳坡的缓坡地(坡度≤15°), Ⅱ类为阴坡、阳坡、山脊台地和陡坡地(坡度≥30°)。

不同立地等级竹林除立竹密度有显著差异外, 其它因子胸径、枝下高、全高、冠幅之间都不存在差异(表 3)。说明立地等级对竹林冠层影响程度低, 而对毛竹林的产量有显著影响, 这同经营笋材两用毛竹林需选择低缓坡

表 3　不同立地等级的立竹结构因子

立地	立竹密度/(株·hm^{-2})	冠幅/m	胸径/cm	枝下高/m	全高/m
Ⅰ	2 812.5	2.41	11.2	5.8	13.3
Ⅱ	2 187.0	2.42	11.2	5.7	13.0

的半阳坡或半阴坡竹林地技术要求相吻合。

3.3 竹林冠层的空间分布规律

树木叶面积及其在树冠内的空间分布是影响冠层辐射场和光合生产最重要的因子之一,冠层总光合速率除受叶片本身光合特征和所处的环境条件等因素影响外,还取决于冠层叶面积及其分布状况。叶面积大小直接决定了冠层光合叶面积[7]。农作物叶层厚度通常为 20～50 cm,叶面积指数不太稳定,而竹子叶层厚度在 5～8 m 区间,叶面积指数比较稳定[5]。仅在密度过于大时,立竹个体间对空间的竞争激烈,在竹冠中下部逐渐形成无叶区或少叶区。

如上所述,不同密度的竹林林冠冠幅差异不显著,而不同密度相同径级立竹的枝盘数、冠长差异显著,从而引起叶面积、林冠表面积差异大(表 4)。密度提高,竹林内相邻立竹的竹冠重叠度增加,2 031.4 株·hm^{-2}竹林重叠度为 8.2%,2 500.1 株·hm^{-2}竹林增加到 18.5%。竹林为了维系自身的营养供给,尽可能多地制造光合作用产物,就需增加叶面积,表现在立竹冠层中上部节间缩短,枝盘数增加,冠长增长,竹叶面积大幅度增加,每公顷增加 66.7%,单株增加 35.5%。

表 4 不同密度竹林的结构因子

立竹密度/(株·hm^{-2})	胸径/cm	枝盘数/盘	冠长/m	冠幅/m	叶面积/(m^2·hm^{-2})	林冠表面积/(m^2·hm^{-2})	鲜叶质量/(kg·hm^{-2})	叶面积指数
2 031.4	10.2	26	5.55	2.46	54 250.92	17 234.55	6 893.76	6.8
2 500.1	10.5	34	7.45	2.50	90 460.41	29 658.83	7 101.78	7.1

立竹枝叶在竹林内充分伸展以最大限度地利用空间,竹叶在竹冠内具有明显的水平分布和垂直分布规律——二维分布。

3.3.1 垂直分布 竹林林冠各垂直层枝长、枝幅、枝叶质量呈两头小、中间大的趋势,而枝夹角、枝分角两头大、中间小(图 1)。说明竹林内立竹冠层中下部空间竞争激烈,冠层上部竞争相对较小。在竹业生产过程中,有的竹区有钩毛竹梢头传统,并且已作为一种常规的经营措施,这对于毛竹林的生长不利,钩梢后恰恰消除了接受太阳辐射能力最强、光合作用最旺盛的林冠中上部,如果竹林密度相对较小,竹林生长势必受到较大的影响,达不到其应有的立地生产力。

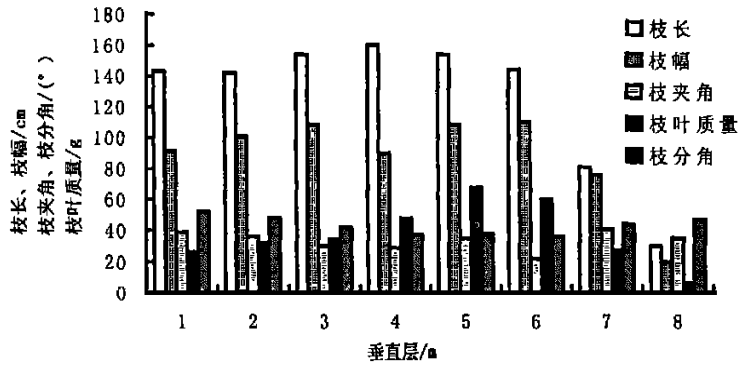

图 1 竹林冠层垂直分布

竹林林冠各垂直层叶面积呈现出两端少、中间多的特点。竹冠中下层各层(4～6 层次)枝盘数大多相同,节间长相近,而叶面积自下而上逐步增多(图 2),主要来源于枝长、枝幅的增大

而致竹叶片数量成倍增加。经数学模拟得叶面积与冠高比(各层顶端至第 1 活枝高度同冠长之比) 方程式为:

$$S = 4.397\,2 - 24.774h + 74.327\,8h^2 - 53.490h^3$$

式中, S ——叶面积, h ——冠高比, 偏相关系数 $R = 0.980\,8$。起初随着冠高比的增大, 叶面积逐渐增多, 当冠高比为 0.671 时叶面积达到峰值, 为各竹冠层叶面积平均数的 1.72 倍, 并与其上下层即立竹竹冠的中部构成叶面积最大的部位, 占全株叶面积的 56%, 随后随着冠高比的增大, 叶面积急剧下降。由此说明竹林中制造光合作用产物最多的冠层集中于林冠的中部区域。

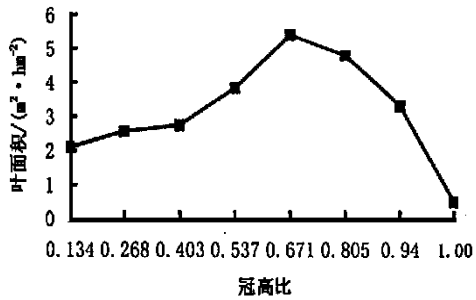

图 2　竹冠层叶面积空间分布状况

3.3.2　水平分布　竹林水平分布各因子区间为枝长 10～70 cm, 枝幅 10～30 cm, 枝分角 15～35 °, 枝夹角 45～65 °之间。各水平分布层自下而上枝盘数逐渐增多, 上层比下层多 1 倍以上, 节间缩短, 叶面积减少; 枝长、枝幅中下层变化较小, 上层则急剧减少; 枝分角两头小、中间大, 以上层为最小, 比中层小 59.5%; 枝夹角各层相近, 变化很小(图 3)。水平分布枝夹角与垂直分布枝夹角角度一般较大, 说明立竹枝叶舒展, 能充分利用林内有限空间, 利于竹叶的生长和更新, 也直接影响林冠内的辐射分布, 从而间接影响叶片和整个冠层的光合速率。

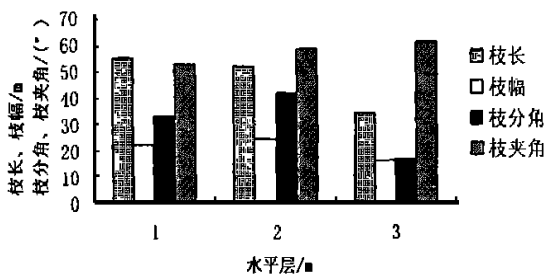

图 3　竹林冠层水平分布

3.4　冠层结构与竹材产量关系分析

笋材两用毛竹林是将竹材和竹笋同时作为林分主产品生产的一种竹林经营类型。竹林内营养空间分地上和地下部分, 地下部分吸收土壤中的水、矿物质和其它营养成分, 而地上部分则利用太阳辐射直接制造自身所必需的养分并参与生物圈的物质循环。要获得竹林高产稳产, 除需要好的立地条件外, 还必须建立合理的林分结构, 包括竹林冠层结构。冠层结构与立地条件和立竹结构诸因子综合作用于竹林, 由于试验地立地条件基本相同, 故除去立地条件因素, 立竹冠幅最能代表竹林的冠层结构, 所以采用立竹结构因子和冠幅综合分析同竹材产量间的关系。

经对调查数据分析, 建立了竹材产量同立竹结构各因子之间的数学模型:

$$G = -302.27 + 42.08M - 0.000\,56N + 15.94D + 29.37h - 9.32H$$

式中, G ——竹材产量, M ——冠幅, N ——立竹密度, D ——胸径, h ——枝下高, H ——全高, 偏相关系数 $R = 0.996\,5$, 表明关系式显著存在, 可采用该模型对毛竹林竹材产量进行预测及

丰产林分结构的构建。

以上模型经微机模拟处理, 构建出笋材两用毛竹丰产林林分结构因子指标:

Ⅰ类立地笋材两用毛竹丰产林: 胸径 9.6 cm, 冠幅 2.58 m, 立竹密度 2 926 株·hm^{-2}, 竹材预测产量 27.53 t·hm^{-2};

Ⅱ类立地笋材两用毛竹丰产林: 胸径 9.1 cm, 冠幅 2.51 m, 立竹密度 2 565 株·hm^{-2}, 竹材预测产量 23.53 t·hm^{-2}。

Ⅰ类立地竹材实际产量 24.18 t·hm^{-2}, 与预测比较误差 3.35 t·hm^{-2}; Ⅱ类立地竹材产量 20.29 t·hm^{-2}, 与预测比较误差 3.24 t·hm^{-2}。由于笋材两用毛竹林人工干扰经营措施强, 特别是留笋期多为出笋的中后期, 且留养的新竹径级在 9～10 cm 区间内, 存在着一定的误差。用上述的竹材产量数学模型构建笋材两用毛竹丰产林林分结构等因子指标具一定的可靠性, 也表明在建立林分结构的同时间接地建立了合理的冠层结构, 使竹林在充分利用土壤营养空间的同时也充分利用冠层空间, 尽可能地发挥竹叶的光合作用效率。

4 结论与讨论

(1) 笋材两用毛竹丰产林将竹材、竹笋同时作为林分主产品生产, 在竹林经营上采用定时定点定量科学挖笋及择伐作业, 立竹径级相近, 龄级集中(1～3 度), 竹林冠层结构相仿, 因此采用冠幅作为衡量林分结构合理性的一种补充因子具一定的科学性和可靠性。然而对毛竹林冠层结构与立地生产力关系的研究选择于人工干扰措施少的天然毛竹林中进行也许更具代表性, 有待于深入探讨。

(2) 毛竹林冠层结构具明显的垂直和水平二维分布规律, 该分布规律有利于充分发挥林冠层的光合作用效率, 并导致竹林冠层枝叶舒展, 错落有致, 垂直和水平分布枝夹角角度大、变化小, 中层区间叶面积最大, 立竹中上层林冠光合作用效率最高。立竹密度增加, 竹冠长增长, 竹冠层中上部节间缩短, 叶面积大量增多, 2 500 株·hm^{-2}比 2 031 株·hm^{-2}叶面积增加 35.5%。随着立竹密度的增加, 竹冠层间的重叠度增大, 在一定立竹密度范围内叶面积与林分的光合作用效率呈同步增强趋势。

(3) 运用建立的竹材产量同立竹结构因子间的数学模型 $G = -302.27 + 42.08M - 0.000\,56N + 15.94D + 29.37h - 9.32H$ 进行竹林生产力最佳的林分结构因子指标模拟, Ⅰ、Ⅱ类立地竹林竹材预测产量同实际产量比较准确率分别为 87.8%、86.2%, 具有一定的可靠性和实用性。据此, 建议现生产上采用的笋材两用毛竹林丰产栽培模式经营密度(2 400～2 700株·hm^{-2})可以适当增加到 2 550～2 900 株·hm^{-2}。

参考文献:

[1] 姜志林, 叶镜中. 杉木树冠形态结构的初步研究[J]. 南京林产工业学院学报, 1980, (4): 46～52.

[2] 刘群然. 林分密度理论及应用[M]. 北京: 中国林业出版社, 1994. 23～25.

[3] 曾杰, 郑海水, 翁启杰, 等. Nelder 试验: 大叶相思树冠生长、多干特征与密度的关系[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 577～580.

[4] Wang Y P, Jarvis P G. Influence of crown structural properties on PAR absorption, photosynthesis, and transpiration in sitka spruce: application of a model(MAESTRO)[J]. Tree Physiol, 1990, 7: 297～316.

[5] 温太辉. 竹林生产力因子的评价[J]. 竹子研究汇刊, 1990, 11(2): 1～9.

[6] 郑海水, 曾杰, 翁启杰, 等. Nelder 试验: 大叶相思树生长与密度、年龄的相关研究[J]. 林业科学研究, 1996, 9(2): 158～164.

[7] 张小全, 赵茂盛, 徐德应. 杉木中龄林树冠叶面积密度空间分布及季节变化[J]. 林业科学研究, 1999, 12(6): 612～619.

Study on Crown Structure and Function of *Phyllostachys pubescens* Stands for Culm and Shoot Production

CHEN Shuang-lin[1], *WU Bo-lin*[2], *ZHANG De-ming*[2], *SHENG Fang-qing*[2], *HU Jian-jun*[2]

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;
2. Forestry Bureau of Longyou County, Longyou 324400, Zhejiang, China)

Abstract: The relationship between crown structure and productivity of *Phyllostachys pubescens* stands for culm and shoot production was studied. The results showed that with certain stock density (2 250～3 150 culms per hectare), under the disturbance of artificial management, the crown width was less influenced by density, but correlated closly with DBH, clear bole height and total height (DBH > total height > clear bole height). Site quality had significant effect on the yield of bamboo stand, especially on stocking, but less affected the crown width. The crown layer of *P. pubescens* stand obeyed the vertical and horizontal distribution pattern, which benefited stocking bamboo to fully utilize the soil nutrient elements. A model for estimate the relationship between bamboo yield and stand structure factors was established: $G = -302.27 + 42.08M - 0.000\,56N + 15.94D + 29.37h - 9.32H$. The crown width could be used as a factor to estimate stand productivity.

Key words: *Phyllostachys pubescens* stand for culm and shoot production; crown structure; productivity