

文章编号: 1000-5692(2007)02-0162-06

中亚热带红壤丘陵区湿地松枝条生长规律

涂 洁^{1,2}, 刘琪³

(1. 南昌大学 环境工程与科学学院, 江西 南昌 330029; 2. 南昌工程学院 水利系, 江西 南昌 330029; 3. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在综述国内外林木枝条相关研究成果的基础上, 通过对江西省泰和县境内中国科学院千烟洲试验区湿地松 *Pinus elliottii* 枝条生长状况的调查, 分析了湿地松树冠各轮枝层枝条生长规律, 并建立了枝条生长与气象因子的相关关系回归模型。结果表明, 同一年份枝条节间长、基径生长量随轮枝层的下降呈波动式下降趋势。枝条基径随轮枝层的下降不断增大, 而在靠近树冠底部位置略微减小, 各轮枝层枝条材积分布为右偏正态分布曲线, 说明大枝条主要集中在冠层中下部。大量枝条样本材积与枝条基径的平方和枝条长度乘积的拟合精度只有 0.67, 说明该模型更适合拟合小枝条的材积。采用一元线性回归方程拟合枝条节间长、基径生长与枝条生长期主要气象因子的相关关系, 回归方程的相关系数判定系数都在 0.96 以上 ($P < 0.01$), 偏回归系数显著性检验的概率 P 均小于 0.01。由回归方程的偏相关系数可知, 枝条节间长生长量主要取决于冠层相对湿度, 基径生长量与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈负相关, 与降水量呈正相关。图 6 参 41

关键词: 植物学; 湿地松; 节间长; 基径; 气象因子; 轮枝层

中图分类号: S718.42 **文献标志码:** A

树冠的结构特征及其在林分中的分布形式不但直接决定了树木的个体形态、生产力和生长活力^[1-4], 还反映了树木在生长发育过程中的竞争效果和对环境因子变化的响应^[5]。树冠既是树木生长发育的结构基础, 又影响到种群的分布格局^[6]。因此, 许多生长和收获模型都将它作为一个重要的输入参数^[7-9]。然而, 树冠的直接测定相当困难, 而且工作量较大。作为树冠重要组成部分的枝条, 其生长和分布在很大程度上决定了树冠的结构特征和营养空间, 不仅为树叶提供了支撑体和光合作用的场所, 还担负着叶片和树木整体之间水分和营养物质的运输, 影响树木的同化作用^[10, 11]。树冠可以看作是不同生长阶段枝条沿树干方向的分布序列, 枝条的生长、死亡现象描述了树冠从幼龄阶段向老龄阶段发展的历程^[10], 而且大枝条的分布模式决定了树冠的冠形^[12]。许多学者提出可以通过测定单个枝条的分枝特性和生长动态来分析冠层结构特征及动态发育过程^[13, 14]。枝条节间长可以反映林分经营管理策略、立地条件等因素的变化以及评定木材质量^[15, 16]。枝条数量和尺寸也是评价木材质量的重要因子^[17]。湿地松 *Pinus elliottii* 原产美国东南部, 具有适应性强, 早期生长快和松脂产量高等优良特

收稿日期: 2006-06-25; 修回日期: 2006-11-24

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2002CB4125); 中国科学院生态网络野外台站基金资助项目

作者简介: 涂洁, 博士研究生, 从事区域生态生产力研究。E-mail: tujie8058@163.com。通信作者: 刘琪, 研究员, 博士, 从事森林生态及遥感应用研究。E-mail: liuqj@igsnrr.ac.cn

性, 在亚热带和部分热带地区广泛引种, 是培育短周期工业原料林的优良速生树种^[18]。目前, 对湿地松的研究报道主要包括湿地松人工林生长规律^[19, 20]、生长量模型^[21-23]以及湿地松生长与环境因子相关关系的分析^[24-27], 对湿地松枝条生长和分布规律涉及较少。为此, 笔者通过对江西省泰和县境内中国科学院千烟洲试验区湿地松枝条生长状况的调查, 得出湿地松树冠各轮枝层枝条的生长规律, 并建立起枝条生长与气象因子的相关关系模型, 以期为今后该地区及其他湿地松引种区的管理和抚育提供参考。

1 研究区域自然概况

研究地设于江西省泰和县中国科学院千烟洲试验区($26^{\circ}44'48''N$, $115^{\circ}04'13''E$), 概况见文献[28]。

2 试验内容和方法

2.1 生物量调查

树木生长在很大程度上受到林分年龄、密度以及土壤肥力等因素的影响, 因此, 样木应尽量在立地条件和林分密度基本一致的林地选取。在树木生长停止期(2004年11月至12月)选取20株18年生湿地松测定生物量, 此时测得的结果较准确^[29, 30]。对伐倒样木各轮枝层约600个健康枝条进行生长量分析, 依针叶树轮枝特征(图1), 避开枝节在离枝条基部约1 cm 处量取枝条基径(d_n)和相邻两枝节间长度(L_n)^[31], 然后从树干上锯下枝条并截取第1

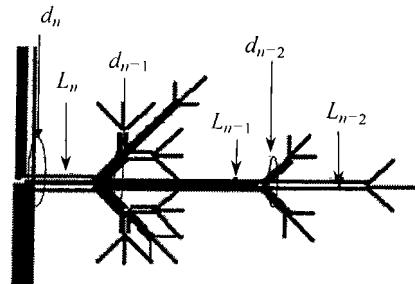


图1 湿地松枝系结构

Figure 1 A typical branch structure of *Pinus elliottii*

个解析盘。按此法依次测量各级枝条长度和直径。对于年轮易辨认的圆盘, 利用数显游标卡尺测量各轮直径, 解析枝条的逐年生长量(精度0.01 mm); 对于断面模糊或年轮有重合现象的圆盘, 先用数码相机拍摄其断面图像, 用Photoshop 6.0处理后得出各年轮直径。考虑到树枝发育并非为对称形, 往往偏心过重, 而且各树种枝截面的计算方法各不相同, 因此, 结合研究需要, 以枝条截面上长度接近长、短直径平均值的直径量取各年轮宽度, 以圆柱体计算枝条材积(梢头以圆锥体计算), 枝条各年度材积生长量为各级枝条该年度生长量之和。

2.2 气象资料的获得

气象观测资料由中国科学院千烟洲试验站气象综合观测场提供。为了分析影响枝条生长的主要生态因子, 根据湿地松生物学和生态学特性的研究结果^[19, 25, 32], 选择湿地松生长期(3月至9月)平均温度($^{\circ}C$) x_1 , $\geq 10^{\circ}C$ 积温($^{\circ}C$) x_2 , 日照时数(h) x_3 , 降水量(mm) x_4 , 平均相对湿度(%) x_5 作为气象因子, 运用SPSS 11.5软件分析枝条各生长量指标与气象因子的相关性。

3 结果与分析

3.1 各轮枝层枝条生长规律

以2004年度枝条生长情况为例, 对树冠顶端至底端的所有轮枝进行通体调查, 阐明不同轮枝层该年度枝条节间长、基径生长规律(图2和图3, 图中各标记分别代表不同径阶湿地松样木编号)。各轮枝层枝条的生长差异主要是由枝条在树冠中的位置引起的^[33, 34], 这从图2和图3中可以看出。位于树冠顶端的枝条表现出最强的生长势, 随着轮枝层次的下降, 枝条生长呈波动式下降趋势。产生这种现象是多方面因素综合作用的结果, 但树木自身生理代谢过程是主要原因。顶端优势枝比一般侧枝能产生更多的生长素, 顶端与内部营养物质来源的维管系统的连接也优于其他侧枝, 因而在营养物质的分配上占有较大优势, 并对侧枝起着最大的支配作用。邻近顶端的枝条受顶端优势枝的抑制作用较强, 生长较弱, 远离顶端的冠层下部枝条虽然受这种抑制作用减弱, 但由于树冠下部轮枝层受光很少, 净光合作用极弱, 造成下部枝条生长能力下降。据报道, 下部轮枝与主干的距离增加, 来自主干

及根部的营养物质和激素向侧枝输送减少, 抑制了下几层轮生枝条的生长^[16, 35]。

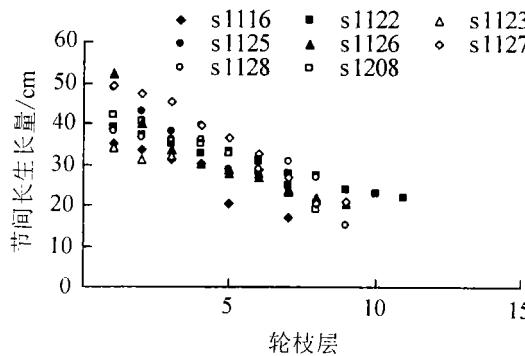


图2 各轮枝层枝条节间生长量变化

Figure 2 Changes of internode length growth at different whorls

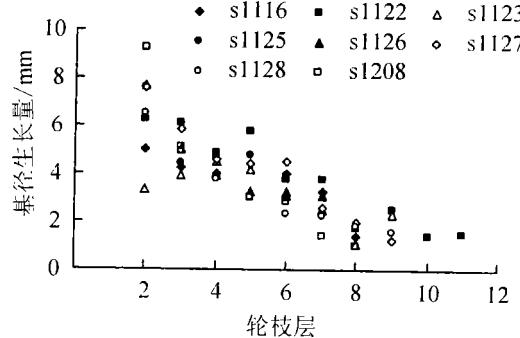


图3 各轮枝层枝条基径生长量变化

Figure 3 Changes of basal diameter growth at different whorls

3.2 各轮枝层枝条分布规律

基径作为描述枝条生长规律的一个重要因子, 其功能相当于描述树干生长的胸径。由于枝条基径的平均值比最大值, 最小值更稳定, 因此基于平均值的模型估计精度更高^[31]。以样木各轮枝层枝条基径的平均值绘图(图4)。由图4可知, 枝条基径随轮枝层的下降逐渐增大, 而在靠近树冠底部位置出现略微减小的现象, 这与许多前人的研究结果是一致的^[12, 16, 36]。除了枝条节间长和基径外, 枝条材积也是分析树冠冠顶至冠底变化的重要指标。根据树冠每一相对高处枝条材积的分布趋势, 可以推断树冠随年龄增长伴随的生物量的垂直分布情况^[11]。以样木各轮枝层枝条材积的平均值绘图(图5)。从图5中可以看出, 各轮枝层枝条材积的分布均为近似的右偏正态分布曲线, 这说明大枝条主要集中于冠层中下部, 而上部多为新生枝和细枝。结合样木每木检尺结果, 胸径越大, 枝条材积越偏向于冠层下部, 因此, 随样木胸径的增大, 曲线的右偏倾向更加明显。

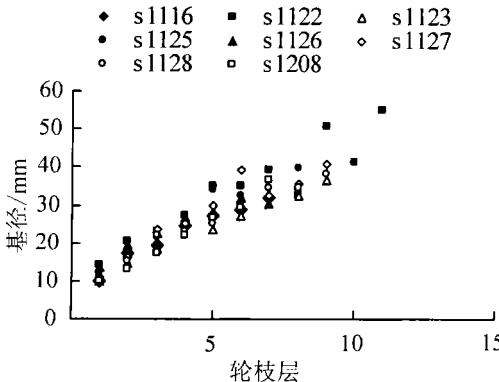


图4 各轮枝层枝条基径分布

Figure 4 Distribution of basal diameter at different whorls

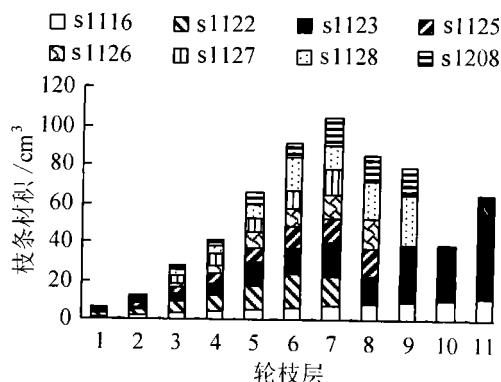


图5 各轮枝层枝条材积分布

Figure 5 Distribution of branch volume at different whorls

用散点图对大量枝条样本的材积与 $d^2 \times l$ (枝条基径的平方与枝条长度的乘积)进行拟合(图6), 图6中大量散点主要集中于左下角, 且方程的拟合精度只有0.67。由此可以认为, 该模型更适合拟合小枝条的体积, 如果用于大枝条的估计, 会产生较大的误差。这与Annabel等^[30]的研究结果基本一致。

3.3 枝条生长与气象因子的相关性分析

在一定的林分密度和立地条件下, 枝条的生长除取决于林木本身的生物学特性外, 还与气象因子密切相关。为了探讨和了解该区域湿地松枝条生长对气象因子的响应规律, 对枝条节间长连年生长量 y_1 (cm), 基径连年生长量 y_2 (mm) 与生长期主要气象因子(作自然对数变换)进行回归分析。气象因子包括: 冠层温度(°C) x_1 , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温(°C) x_2 , 日照时数(h) x_3 , 降水量 x_4 , 冠层相对湿度(%) x_5 。

枝条节间长连年生长量 y_1 和基径连年生长量 y_2 与气象因子的回归分析表明: 两回归方程调整的 R^2 分别达到 0.962 和 0.979, 说明回归方程对样本数据的拟合程度很高, 且两回归方程显著性检验的概率 P 接近于 0, 因此, 枝条生长变量与入选气象因子的线性关系极显著。另外, 两回归方程所有气象变量偏回归系数显著性检验的概率 P 均小于 0.01 (见回归方程各变量右下角), 说明各入选气象因子与枝条生长量之间的线性关系均达到极显著水平。综合以上分析, 该回归方程能很好地解释枝条生长与气象因子的相关关系。结合回归方程的偏相关系数分析, 冠层相对湿度的提高有利于枝条节间长的生长, 树木所处环境的水分条件直接决定了枝条的伸长能力。枝条基径的生长与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈负相关, 与降水量呈正相关。

$$y_1 = -83.445 + 33.846 \ln x_{5(0.00)}; \quad y_2 = 17.126 - 2.481 \ln x_{2(0.007)} + 3.682 \ln x_{4(0.000)}.$$

4 讨论

4.1 各轮枝层枝条生长与分布规律

随着轮枝层次的下降, 枝条节间长和基径的生长都表现出波动式下降的趋势。枝条基径大小随轮枝层的下降不断增大, 而在靠近树冠底部位置略微减小。枝条基径的差异不但存在于树种之间, 还沿树干不同高度发生变化^[37]。因此, 要准确描述枝条基径, 必须明确枝条基径在树干上的分布规律。Worllons 等^[34]认为大枝条基本服从威布尔分布; Makinen 等^[31]通过建立一系列模型, 描述了欧洲赤松 *Pinus sylvestris* 枝条基部面积沿树干不同高度的变化, 这些都为今后开展相关研究工作提供了参考。

各轮枝层枝条材积的分布可近似为右偏的正态分布曲线, 大枝条主要集中于冠层中下部。有研究表明: 根据大枝条的分布模式可以推断树冠的冠形, 例如针叶树幼龄时大枝条集中在冠层底部, 所以树冠呈圆锥形^[37], 而老龄树冠因大枝条均匀分布而接近圆柱形^[10]。笔者所调查样木的大枝条主要集中在冠层中下部, 因此可以推断其冠形为圆锥形, 而且树木生长正处于中龄生长期。

4.2 枝条生长与气象因子的相关关系

枝条生长与生长期气象因子相关关系分析结果表明, 枝条节间长的生长与冠层相对湿度密切相关, 适宜的相对湿度有利于枝条的伸长。基径生长与 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温呈负相关, 与降水量呈正相关, 说明水分条件对于枝条的径向生长是有利的。然而, 枝条的生长是外界环境因素综合作用的结果, 对于没有入选回归方程的气象因子, 并不是对枝条生长没有影响, 可能是因为该地区这些气象因子正好处于枝条适合生长的范围内, 对其生长不构成限制性因子。目前已报道的枝条模型大多是基于测树因子而建立起来的静态模型^[13-14], 不能对枝条的生长动态进行长期预测, 而且模型的构建还大大依赖于建模的树木种类^[38-40]。文中得出的枝条节间长、基径生长与气象因子的回归方程能较好地预测该特定条件下枝条的生长情况, 因此可以考虑将其作为今后森林经营管理的有效补充手段。

4.3 林分密度对枝条生长的影响

研究区的林分密度约为 $1800 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$, 林分密度对林木的生长和自然整枝影响很大。林分过密, 除单株有效光合面积减少, 光照条件不能满足需要外, 营养空间不足也会导致合成产物少, 林木的高生长受到抑制, 因而单位林分蓄积量减少^[41]。基于以上考虑, 文中所得预测模型只在此项试验研究的林分密度范围内适用, 要推广到其他密度范围的林分, 还需作进一步探讨。

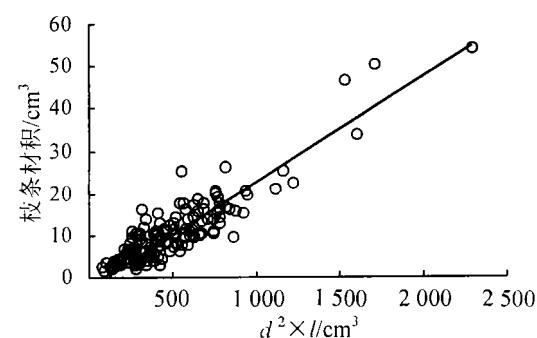


图 6 枝条材积拟合曲线

Figure 6 Curves of branch volume growth

参考文献:

- [1] 刘兆刚, 郭承亮, 袁志强, 等. 落叶松人工林树冠形状的预估[J]. 东北林业大学学报, 1996, 24(6): 14-20.
 [2] 刘兆刚, 刘继明, 李凤日, 等. 檫子松人工林树冠结构的分形分析[J]. 植物研究, 2005, 25(4): 465-470.
 ?1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

- [3] OKER-BLOM P, KELLOMAKIS. Theoretical computations on the role of crown shape in the absorption of light by forest trees [J]. *Math Biosci*, 1987, **59**: 291—311.
- [4] SPRINTZ P T, BURKHART H E. Relationships between tree crown, stem, and stand characteristics in unthinned loblolly pine plantations [J]. *Can J For Res*, 1987, **17**: 534—538.
- [5] RANDY L R, DOUGLAS A M. Crown profile models based on branch attributes in coastal Douglas-fir [J]. *For Ecol Manage*, 1997, **96**: 77—100.
- [6] 马克明, 祖元刚. 兴安落叶松分枝格局的分形特征 [J]. 植物研究, 2000, **20**(2): 235—241.
- [7] 胥辉. 一种与材积相容的生物量模型 [J]. 北京林业大学学报, 1999, **21**(5): 32—36.
- [8] 张会儒, 唐守正, 王奉瑜. 与材积兼容的生物量模型的建立及其估计方法研究 [J]. 林业科学, 1999, **12**(1): 53—59.
- [9] WYKOFF W R, CROOKSTON N L, STAGE A R. User's guide to the stand prognosis model [M]. *USD A-FS Gen Tech Rep*, 1982, **133**: 112.
- [10] HIROAKI I, JOEL P C, DAVID C S. Branch growth and crown form in old coastal Douglas-fir [J]. *For Ecol Manage*, 2000, **131**: 81—91.
- [11] HIROAKI I, NATE M. Age-related development of crown structure in coastal Douglas-fir trees [J]. *For Ecol Manage*, 2002, **169**: 257—270.
- [12] GILMORE D W, SEYMOUR R S. Crown architecture of *Abies balsamea* from four canopy positions [J]. *Tree Physiol*, 1997, **17**: 71—80.
- [13] CLUZEAU C, LEG N, OTTORINI J M. Development of primary branches and crown profile of *Fraxinus excelsior* [J]. *Can J For Res*, 1994, **24**: 2315—2323.
- [14] RANDY L R, DOUGLAS A M. Crown profile models based on branch attributes in coastal Douglas-fir [J]. *For Ecol and Manage*, 1997, **96**: 77—100.
- [15] CARSON M J, INGLIS C S. Genotype and location effects on internode length of *Pinus radiata* in New Zealand [J]. *N Z J For Sci*, 1988, **18**: 267—279.
- [16] GRACE J C, CARSON M J. Prediction of internode length in *Pinus radiata* stands [J]. *N Z J For Sci*, 1993, **23**: 10—26.
- [17] UUSVAARA O. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine [J]. *Commun Inst For Fern*, 1985, **130**: 53.
- [18] 涂育合, 董建文, 陈永聪, 等. 湿地松、火炬松与马尾松人工林生长过程的比较研究 [J]. 福建林业科技, 2000, **27**(1): 25—27.
- [19] 陈文友, 张习耕, 陈志. 湿地松人工林生长分析 [J]. 四川林业科技, 1997, **18**(4): 43—47.
- [20] 田大伦, 项文化, 闫文德. 马尾松与湿地松人工林生物量动态及养分循环特征 [J]. 生态学报, 2004, **24**(10): 2207—2210.
- [21] 彭洪华, 刘先梓. 人工杉木林与湿地松林胸径生长模型 [J]. 江西林业科技, 2000(3): 38—39.
- [22] 许业洲, 全龙. 湖北省湿地松人工林整体生长模型的研究 [J]. 湖北林业科技, 2001(3): 10—13.
- [23] MÓNICA D, EDUARDO A, GRACIELA V, et al. Growth curves for *Pinus elliottii*, *Pinus taeda* and *Pinus radiata* in two areas of the Calamuchita Valley [J]. *For Ecol Manage*, 1997, **95**: 175—181.
- [24] 林金国, 黄清峰, 林志高. 坡相对杉木人工林和湿地松人工林木材密度的影响 [J]. 四川农业大学学报, 1998, **16**(1): 118—121.
- [25] 李淑芳. 立地条件与湿地松幼林树高生长关系 [J]. 福建林学院学报, 1999, **19**(3): 276—278.
- [26] 岳春雷, 高智慧, 陈顺伟. 湿地松等3种树种的光合特性及其与环境因子的关系 [J]. 浙江林学院学报, 2002, **19**(3): 247—250.
- [27] RODNEY E W, GREG A B, E COLTER B, et al. Relationship between intercepted radiation, net photosynthesis, respiration, and rate of stem volume growth of *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different densities [J]. *For Ecol Manage*, 2001, **154**: 155—163.
- [28] 陈永瑞. 千烟洲湿地松人工林林分养分元素的特征 [J]. 北京林业大学学报, 1999, **21**(6): 40—44.
- [29] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力 [M]. 北京: 科学出版社, 1999: 32—36.
- [30] ANNABEL P, TRICHET P, DIDIER B, et al. Allometric relationships for branch and tree woody biomass of Maritime pine (*Pinus pinaster*) [J]. *For Ecol Manage*, 2002, **158**: 71—83.

- [31] MAKINEN H, MAKELA A. Predicting basal area of Scots pine branches [J]. *For Ecol Manage*, 2003, **179**: 351—362.
- [32] 唐代生, 成子纯, 曾思齐. 我国湿地松人工林种植范围的立地气候分区研究 [J]. 中南林学院学报, 1998, **18** (3): 37—43.
- [33] BARTELINK H H. Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir forest [J]. *Ecol Manage*, 1996, **86**: 193—203.
- [34] WOLLONS R C, HAYWOOD A, MCNICKLE D C. Modeling internode length and branch characteristics for *Pinus radiata* in New Zealand [J]. *For Ecol Manage*, 2002, **160**: 243—261.
- [35] 田志诚, 于瑞安, 刘新田, 等. 兴安落叶松树冠发生及生长特点的研究 [J]. 林业科技通讯, 1997 (2): 27—29.
- [36] COLIN F, HOULLIER F. Branchiness of Norway spruce in northern France: predicting the main crown characteristics from usual tree measurements [J]. *Ann Sci For*, 1992, **49**: 511—538.
- [37] MASSMAN W J. Foliage distribution in old-growth coniferous tree canopies [J]. *Can J For Res*, 1981, **12**: 10—17.
- [38] MAGUIRE D A, MOEUR M, BENNETT W S. Models for describing basal diameter and vertical distribution of primary branches in young Douglas-fir [J]. *For Ecol Manage*, 1994, **63**: 23—55.
- [39] MAGUIRE D A, JOHNSON S R, CAHILL J. Predicting branch diameters on second-growth Douglas-fir from tree-level descriptors [J]. *Can J For Res*, 1999, **29**: 1 829—1 840.
- [40] MÄKINEN H, COLIN F. Predicting branch angle and branch diameter of Scots pine from usual tree measurements and stand structural information [J]. *Can J For Res*, 1998, **28**: 1 686—1 696.
- [41] 方华, 孔凡斌. 火炬松生物量与叶面积指数模型的研究 [J]. 福建林学院学报, 2003, **23** (3): 280—283.

Branch growth of *Pinus elliottii* in the hilly red-soil area of the mid-subtropical climatic zone

TU Jie^{1,2}, LIU Qi-jing^{1,3}

(1. Institute of Environmental Engineering and Science, Nanchang University, Nanchang 330029, Jiangxi, China;

2. Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330029, Jiangxi, China; 3. Institute of Geographical Science and Natural Resources, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: From a review of the *Pinus elliottii* (mash pine) domestic and overseas literature on branching, the branch growth at the whorls was analyzed at the Qianyanzhou Experimental Station of the Chinese Academy of Sciences in Taihe County, Jiangxi Province, China and its relationship with several meteorological factors was determined. Branch growth for internode length (IL) and basal diameter (BD) was determined by vernier caliper, and their partial correlations with respect to the whorls were calculated. Additionally, the response to these meteorological factors during the growing periods was described in a multiple linear regression model. Results showed that branch IL growth for a given year declined from the upper whorls to the lower whorls. Also, branch BD increased gradually from the upper whorls to the lower whorls, but slightly declined near the base of the crown. Distribution of the annual total branch volume was well fitted to skewed left normal distribution curves. This showed that large branches were mainly concentrated in the middle-lower part of crowns. The linear regression accuracy for branch volume versus $(BD^2 \times \text{branch length})$ was not very strong ($r^2 = 0.45$). However, the adjusted R^2 of the multiple linear regression equations for IL and BD with several meteorological factors were all highly significant (> 0.96) ($P < 0.01$), and the partial correlations were all highly significant ($P < 0.01$). The partial correlations showed that IL growth mainly depended on canopy relative humidity. Also, BD growth was negatively correlated with a cumulative temperature of $\geq 10^\circ\text{C}$, while it was positively correlated with total precipitation. [Ch, 6 fig, 41 ref.]