

文章编号: 1008-2786-(2012)6-669-06

山地杉木人工林不同强度择伐后生长动态仿真

周成军¹ 巫志龙¹ 周新年^{1*} 林海明² 陈辉荣¹ 林志敏¹

(1. 福建农林大学 福建 福州 350002; 2. 福建省建瓯福人林业有限公司 福建 建瓯 353100)

摘 要: 基于山地杉木人工林择伐长期固定样地实测数据,构建了单木胸径生长模型,以及树高、枝下高、冠幅与胸径的关系模型,结合 Onyx TREE 和 3Ds MAX 技术,实现了不同强度择伐下,不同时期的林分生长动态仿真,可直观、生动地观察杉木的生长状态,对山地杉木人工林的科学经营决策具有实用价值。

关键词: 杉木人工林; 择伐强度; 生长动态; 仿真

中图分类号: S752.2 S758.5+2

文献标识码: A

杉木(*Cunninghamia lanceolata*)是我国南方最重要的造林树种之一,在人工林发展中有重要地位。第 6 次全国森林资源清查结果表明,我国杉木人工林面积在各造林树种中最大,已达 $921.50 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占全国人工林面积的 17.3%^[1]。如何更直观、生动地模拟山地杉木人工林生长动态和择伐经营措施对杉木生长的影响,对解决复杂的管理规划问题、科学地制订高效合理的经营管理方案具有重要理论意义和应用价值。

国内专家学者将林分调查所得的数据,运用新的技术手段,如 GIS、Agent、FVS 和 3Ds MAX 等计算机图形学和虚拟技术,以图形给人以立体感、空间感的形式,表达及分析复杂的林分生长规律。宋铁英以单株树的典型形体为原型,应用图像采样技术,通过多次缩放,按坐标位置合成了具有立体感的林分图^[2]。彭道黎等为了更加逼真地模拟油松林分的生长过程,采用目前较为先进的 Agent 动画技术作为基本架构,通过三维可视化绘制技术,实现了油松林分生长过程的可视化,并详细介绍了该架构在油松生长模拟中的属性和功能的设计过程^[3]。罗云

深基于 FVS 设计理念和其主流程重构了一套完整的本地化的仿真框架,提供模型接口,实现了模型的修改替换,最后选择了北京地区油松作为典型树种,替换了部分模型,利用试验调查数据验证了该框架的完整性和有效性^[4]。针对以发挥生态效益为主要目的的人工林林区(如水源涵养林),或兼有重要生态意义的商品林应实行择伐^[5]。福建省“关于加快造林绿化,推进森林福建建设的通知”中明确规定要转变采伐方式,按照建设资源节约型和环境友好型社会要求,加强生态建设和保护,在合理开发利用的同时,节约造林成本,始终保持青山常在。从 2011 年起,坡度 $> 25^\circ$ 的一般人工用材林提倡实行择伐。该研究以中亚热带杉木人工林为研究对象,在不同强度择伐下,利用长期固定样地的连续实测数据,构建单木生长模型,然后运用 Onyx TREE 和 3Ds MAX 技术,实现择伐后不同时期的生长动态仿真,直观地体现不同择伐强度对林分生长动态变化的影响,为确定合理择伐强度和制订最优经营措施提供科学的决策依据。

收稿日期(Received date): 2012-08-30。

基金项目(Foundation item): 国家自然科学基金资助项目(30972359);福建省林业厅科学基金资助项目(闽林科[2012]2号)。[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30972359); the Science Foundation of Forestry Committee of Fujian Province(Forestry Science of Fujian[2012] No. 2).]

作者简介(Biography): 周成军(1987-),男,助教,硕士,从事生态采运和工程索道等研究。[Zhou Chengjun(1987-),male,assistant, master, studying in forest ecological harvesting and engineering cableway et al.]

* 通讯作者(Corresponding author): 周新年(1951-),男,教授,博士生导师,主要从事生态采运、工程索道和森林经理等研究。[Zhou Xinnian(1951-),male, professor, supervisor of Ph.D, studying in forest ecological harvesting, engineering cableway and forest management et al.]

1 试验地概况

试验地于福建省建瓯市叶坑林业采育场 204 林班 03 大班 04 小班。建瓯市地处 117°58′~118°57′E 和 26°38′~27°20′N,位于福建名胜武夷山东南侧,地形地貌属中亚热带山地丘陵,多为低山和高丘山地,属中亚热带海洋性季风气候,年均气温 18.7℃,年均相对湿度为 80%,年均降水量为 1 733 mm,平均蒸发量为 1 450 mm,年日照时数为 1 612 h,全年无霜期平均为 286 d。土壤为花岗片麻岩发育而成的山地黄红壤,海拔 250~350 m。试验林为 33 a 生杉木(*Cunninghamia lanceolata*)人工林,2006-07 进行本底调查,地面平均坡度为 25°,伐前立地条件基本相同,郁闭度 0.9,林分平均胸径 25.1 cm,平均树高 18.4 m。林下灌木草被稀疏,盖度 10%,主要有:芒箕(*Dicranopteris pedata* Nakaike)、苦竹(*Pleioblastus amarus* Keng f.)、茅根(*Perotis indica* Kuntze)、蕨属(*Pteridium Gled*)等。2006-08 进行 4 种不同强度(弱度 12.9%、中度 23.5%、强度 47%和极强度 61.5%)择伐,每种择伐强度设置 1 块 20 m×20 m 的标准样地,伐后均天然恢复植被,择伐作业概况见表 1,另设 1 块 20 m×20 m 未采伐标准样地作为对照。按采坏留好、采弱留壮、采老留小和采密留稀的原则选择采伐木,择伐作业按照单株择伐的技术要求进行,对采伐木单独记录并挂号。作业措施为:油锯采伐,林内打枝造材,人力肩驮集材,>5 cm 以上的枝桠全部收集利用,其余归堆清理。于 2011-07 对试验林进行伐后 5 a 全面复查。

2 研究方法

2.1 野外调查

在标准样地内,乔木层植被调查采用相邻格子法(每块标准地划分为 16 个 5 m×5 m 的样方)进行调查,对样方内出现胸径 DBH>5 cm 的每株树木进行每木调查,记录种名、胸径、树高 H、枝下高 HCB、冠幅 CW、坐标等。时间为 2006-07 本底调查和 2011-07 伐后 5 a 调查。

2.2 动态仿真

首先利用固定样地实测数据,运用 SPSS 进行单木生长模型拟合;然后结合所构建的单木生长模型和林分空间分布,运用 Onyx TREE 和 3Ds MAX 实现林分生长动态仿真。

2.2.1 单木生长模型构建

应用单木生长模型可模拟林分生长和各种森林经营措施对林木生长的影响^[4]。Weibull 单木胸径生长模型具有适应性强、精度高、参数少等优点^[6],其表达式如下^[7,8]

$$y = a(1 - \exp(-bt^c)) \tag{1}$$

式中 y 为林木胸径生长因子;t 为树龄;a、b、c 为待定参数,其中 a 为胸径渐近线,b 为尺度,c 为形状参数。

单木的树高、枝下高、冠幅参数多为估测数据,结合福建省杉木人工林主要分布区的标准地资料^[9]构建树高与胸径、枝下高与胸径、冠幅与胸径关系模型,表达式为

$$Y = a_1 + b_1D + c_1D^2 \tag{2}$$

式中 Y 为林木生长因子,枝下高或冠幅;D 为胸径;a₁、b₁、c₁ 为待定系数。

2.2.2 林分生长动态仿真

以单木生长模型为基础,分析 Onyx TREE 插件进行单木形态模拟所需的生长参数的关系方程,利用 Onyx TREE 实现不同胸径的单株杉木生长仿真;结合择伐林分空间分布图,选择各样地每株树的主要决定参数,胸径、树高、枝下高和冠幅,在 3Ds MAX 平台上,最终实现林分的可视化仿真。

表 1 择伐作业概况

Table 1 The composition of selective cutting operation

择伐类型	样地	总株数	择伐株数	总蓄积量	择伐蓄积量	择伐强度
Selective type	Plots	Total trees	Selective trees	Total volume /m ³	Selective volume /m ³	Selective Intensity /%
NC	1	39	0	16.143 4	0	0
LI	7	44	3	18.654 1	2.412 1	12.9
MI	3	27	5	15.568 9	3.653 1	23.5
HI	5	36	18	15.686 5	7.372 1	47.0
OHI	4	49	24	20.854 8	12.819 2	61.5

注: NC - 未伐 Non cutting; LI - 弱度 Low intensity; MI - 中度 Medium intensity; HI - 强度 High intensity; OHI - 极强度 Over - high intensity

2.2.3 模型拟合精度检验

所构建的模型进行拟合精度检验是仿真实现过程的重要组成部分^[10],将不同强度择伐样地各样方实测数据分为2个部分,80%的数据用于建模,20%的数据进行检验。模型拟合时,需对选定的回归模型参数初始值进行设定。若初始值设置不当,则会导致模型收敛很慢,或收敛到局部极小值,甚至出现不收敛,这些情况都会导致模型拟合的精度大大降低。为解决这一问题,将采用不同的初始值进行拟合,观察最终结果是否相同。若相同,则得到最优解;若不同,则通过比较所求的局部最优解来调整初始值,再次进行拟合,从而到最优解。模型拟合后,用剩余的20%的独立样本数据,运用所拟合的模型,算出预测值,并与实测值进行比较,分析模型拟合的精度。模型拟合精度采用以下指标进行检验

$$RSS = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-p}} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right] \quad (5)$$

$$CV = \frac{RMSE}{\bar{y}} \times 100\% \quad (6)$$

式中 RSS 为剩余残差平方和,用来估算模型的系统偏差; $RMSE$ 为回归标准差,用来估计测量的准确程度; R^2 为决定系数,用来说明回归模型对真实模型的拟合程度; CV 为变动系数,用来检验模型的稳定性; y_i 为第 i 株树相应测树因子实测值; \hat{y} 为第 i 株树相应测树因子预测值; \bar{y} 为第 i 株树相应测树因子平均值; n 为观测值的数量; p 为模型参数的个数。

3 结果与分析

3.1 单木生长模型拟合

不同强度择伐下,单木胸径生长方程拟合参数见表2。从表2的参数 a 可知,中度择伐的胸径渐近线值最大(103.430),之后依次为弱度、强度和极强度择伐,说明弱度和中度择伐更有利于大径材的培育,且随着采伐强度的增大,样地内大径材的最大胸径将逐渐变小;由参数 b 可知,不同强度择伐的 b 值都很接近,说明不同强度择伐对参数 b 的值影响不大;由参数 c 可知,极强度择伐的形状参数最大(0.816),中度择伐的形状参数最小(0.652),说明中度择伐更有利于杉木的笔直生长,这更有利于树高的增长,从而促进材积的增长。从模型拟合和检验的 R^2 和 $RMSE$ 数值来看,胸径生长模型的拟合精度都比较高,而变动系数均很小,说明所拟合的杉木胸径生长方程是合理的。

不同强度择伐下,单木树高、枝下高和冠幅与胸径的关系模型拟合结果见表3。由表3可知,单木树高、枝下高和冠幅与胸径的关系模型的精度均达到0.7以上,而变动系数均很小,说明模型满足精度要求,是合理的。

3.2 林分生长动态仿真

首先,在所建立的不同强度择伐样地的单木胸径生长模型,以及与其相关林分调查因子间的关系模型基础上,利用 Onxy Tree 软件进行不同强度择伐样地的杉木生长仿真,此处仅展示了胸径为20 cm时的生长状态,如图1所示,其余的将在后续的林分图中展现;其次,结合单木生长的变化动态,依据各株树在样地内的相对坐标位置,将相应单株树“种植”在样地内的相对坐标位置上,最终实现在不同强度择伐下,杉木不同时期的生长动态仿真。在保证精度的前提下,所构建的单木胸径生长模型及与其相关林分调查因子间的关系模型,只用于预测各样地择伐后15 a内的林分生长动态变化,仿真结果如图2所示。图3用冠幅表示保留林木大小。

表2 不同强度择伐下单木胸径生长模型

Table 2 DBH increment model of individual trees growing under different intensity selective cutting

择伐类型 Selective type	相关参数 Relevant parameters			模型拟合 Model fitting			模型验证 Model validation		
	a	b	c	R^2	$RMSE$	CV	R^2	$RMSE$	CV
NC	76.962	0.032	0.707	0.999 6	0.139	0.005	0.998 9	0.227	0.009
LI	87.738	0.030	0.680	0.999 7	0.112	0.004	0.998 9	0.176	0.006
MI	103.430	0.027	0.652	0.999 6	0.129	0.005	0.999 1	0.277	0.010
HI	65.689	0.033	0.752	0.999 0	0.290	0.011	0.998 6	0.293	0.011
OHI	52.640	0.036	0.816	0.999 0	0.221	0.010	0.997 9	0.296	0.013

表 3 不同强度择伐下单木树高、枝下高和冠幅与胸径的关系模型

Table 3 The relationship model of H HCB CW with DBH under different intensity selective cutting

关系模型 relationship model	择伐类型 Selective type	相关参数 Relevant parameters			模型拟合 Model fitting			模型验证 Model validation		
		a_1	b_1	c_1	R^2	$RMSE$	CV	R^2	$RMSE$	CV
树高与胸径 H and DBH	NC	10.006 1	0.329 3	-0.000 9	0.833	0.823	0.046	0.706	1.244	0.070
	LI	11.479 9	0.242 7	0.000 3	0.845	0.753	0.040	0.761	1.022	0.055
	MI	15.303 2	0.115 0	-0.000 1	0.797	0.299	0.016	0.692	0.691	0.037
	HI	2.454 7	0.945 7	-0.012 0	0.832	1.148	0.061	0.748	1.412	0.075
	OHI	-8.078 9	1.824 0	-0.030 1	0.822	1.355	0.080	0.822	1.355	0.080
枝下高与胸径 HCB and DBH	NC	12.524 9	-0.607 9	0.015 0	0.733	0.764	0.100	0.702	1.554	0.204
	LI	7.506 3	0.084 6	0.003 6	0.747	0.991	0.079	0.717	1.215	0.097
	MI	-49.639 2	4.162 8	-0.068 6	0.695	2.132	0.199	0.672	2.249	0.210
	HI	-9.074 1	1.758 4	-0.030 9	0.761	1.343	0.096	0.716	1.411	0.101
	OHI	1.252 1	0.559 7	-0.009 4	0.719	0.503	0.057	0.718	0.617	0.069
冠幅与胸径 CW and DBH	NC	1.278 2	0.027 6	0.001 1	0.752	0.317	0.111	0.739	0.595	0.208
	LI	-0.849 3	0.258 8	-0.002 6	0.771	0.312	0.072	0.706	0.498	0.116
	MI	10.482 9	-0.615 2	0.012 3	0.695	0.624	0.188	0.630	0.823	0.248
	HI	0.664 9	0.035 3	0.002 4	0.792	0.598	0.187	0.703	0.827	0.259
	OHI	0.669 1	0.113 5	0.000 3	0.780	0.353	0.103	0.739	0.520	0.152

4 结论与讨论

利用杉木人工林不同强度择伐固定样地实测数据,运用 SPSS 进行不同强度择伐下的单木胸径生长模型,以及树高与胸径、枝下高与胸径、冠幅与胸径

关系模型的拟合和检验精度要求,所构建的模型是合理的。在此基础上,基于 Onxy Tree 和 3Ds MAX 技术平台,实现了杉木林分择伐后 15 a 内的生长动态仿真。在不同强度择伐下,弱度和中度择伐更有利于大径材的培育,且随着择伐强度的增大,样地内大径材的最大胸径将逐渐变小;中度择伐更有利于树



图 1 不同强度择伐下杉木生长状态示意图 ($DBH = 20\text{ cm}$)

Fig. 1 The growth state of Chinese fir plantation under different intensity selective cutting ($DBH = 20\text{ cm}$)

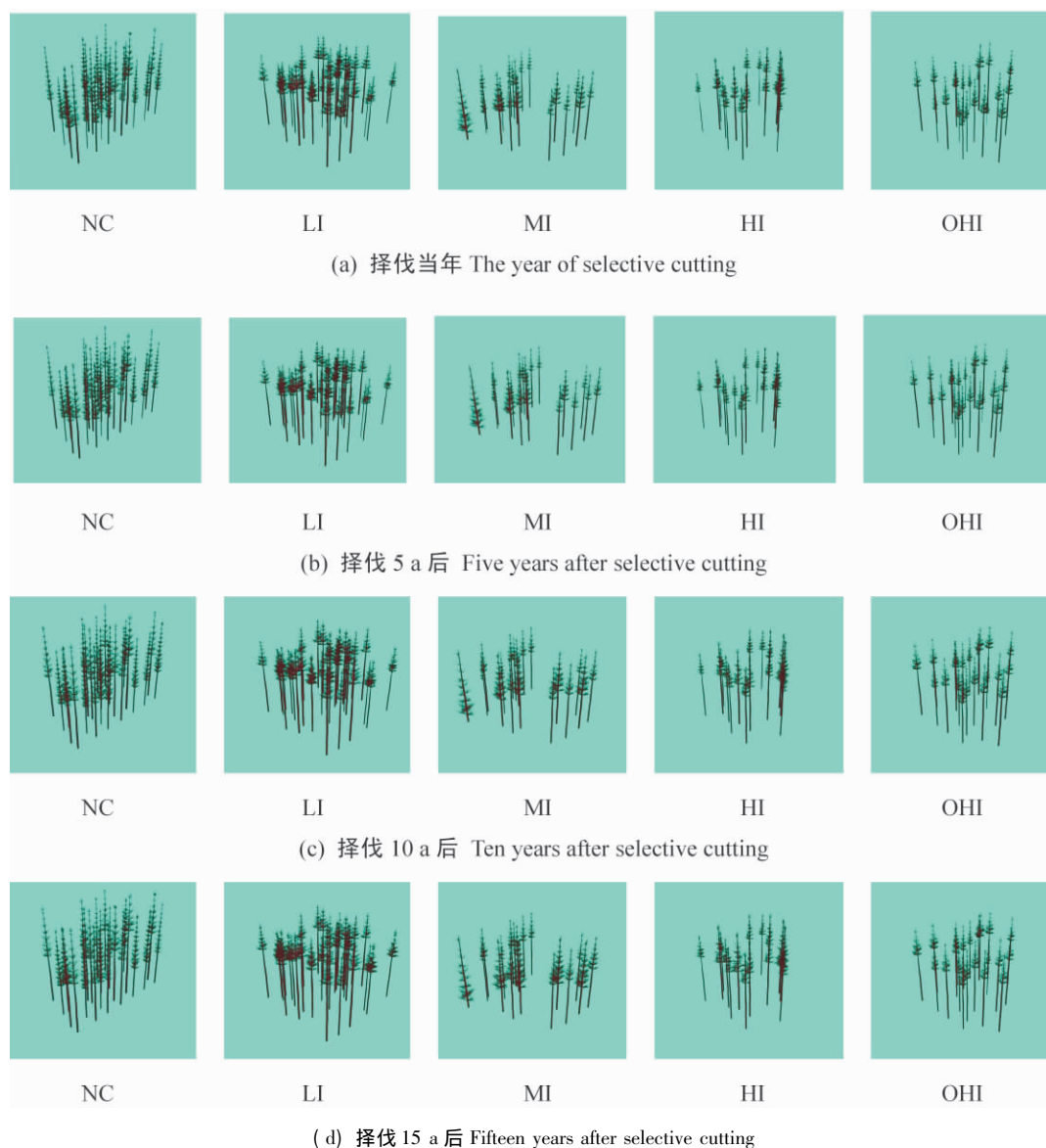


图2 不同强度择伐样地不同时期林分生长动态

Fig. 2 Stand growth status in different years under different selective cutting intensity

高的增长。这为科学合理地确定山地杉木人工林择伐强度,制订出有效的择伐经营管理措施提供重要依据。

无论是当今森林生态学研究领域还是森林培育学科,有关林木在水平地域上的分布以及林木的各个属性的分布信息愈来愈重要。正确地反映林分的生长情况,可为经营现有林木提供真实有效的信息,也为评价与经营森林生态系统提供先决条件。以往基于林分调查数据,经过统计、分析、建模所构造的传统林分生长模型,仅能提供林分各调查因子,如株数、胸径、树高、断面积等的数值变化或动态变化曲线(以表格或简单的二维平面图形来表示)^[11-12],虽其优点是可简便地应用于生产实践,但并不能直

观地反映林分生长的动态变化。在森林经营管理中,往往需要精确预测到未来林分的生长和收获状态。随着森林经营集约程度的不断提高,人们对林分动态信息的要求也日益增多,需要研究更详细、更直观明了地反映林分动态的三维图形模拟系统。随着计算机技术的发展,林分动态的三维图形模拟,既能真实地表现现实林分的生长状况,又能满足人们的视觉要求,它将为探索森林生长过程的规律以及林业科学研究带来新的契机,但已有的林分生长模拟模型对自然因素、人为经营等多因素处理方面,以及新的可视化技术手段运用方面仍存在一定的局限性^[13]。该研究所使用的杉木树种样地是人工纯林,在不同强度择伐下,进行模型拟合时仅考虑了胸径、

树高、枝下高和冠幅的影响,以及林木空间位置,为进一步优化模型结构及预测精度;在今后的建模中还应考虑到树木的光合生理特性、林分的空间结构变化、季节变化和环境条件等对林木枯损率的影响。

参考文献(References)

- [1] Lei Jiafu. Forest resource of china [M]. Beijing: China Forestry Publishing House 2005 [雷加富. 中国森林资源 [M]. 北京: 中国林业出版社 2005]
- [2] Song Tieying. A visible stand model based on image of tree [J]. Journal of Beijing Forestry University, 1998 20(4): 93–97 [宋铁英. 一种基于图像的林分三维可视模型 [J]. 北京林业大学学报, 1998 20(4): 93–97]
- [3] Peng Daoli, He Shanshan. Growth simulation of pinus tabulaeformis stands based on agent technology [J]. Journal of Beijing Forestry University 2009 31(Suppl. 2): 69–72 [彭道黎, 贺姗姗. 基于 Agent 的油松林分生长模拟 [J]. 北京林业大学学报 2009 31(增刊 2): 69–72]
- [4] Luo Yunshen, Chen Zhibo. Study on FVS – based framework of pinus tabulaeformis growth simulation [J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research 2007 22(4): 355–359 362 [罗云深, 陈志泊. 基于 FVS 构建北京地区油松生长仿真框架的研究 [J]. 河北林业研究 2007 22(4): 355–359 362]
- [5] Zhou Xinnian, Chen Huirong, Wu Zhilong et al. Research advance of plantation forest selective cutting [J]. Journal of Mountain Science, 2012 30(1): 121–126 [周新年, 陈辉荣, 巫志龙, 等. 山地人工林择伐技术研究进展 [J]. 山地学报 2012 30(1): 121–126]
- [6] Jiang Xidian, Wen Suping, Yu Xi. Studies on the variable – density whole stand model of cunninghamia lanceolata plantations and its application [J]. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2000 27(2): 44–47 [江希钿, 温素平, 余希. 杉木人工林可变密度的全林分模型及其应用研究 [J]. 福建林业科技 2000 27(2): 44–47]
- [7] Wang Yanxia, Chen Chan, Fan Hailan et al. Growth process of cunninghamia lanceolata plantation with weibull model [J]. Journal of Beihua University: Natural Science 2007 8(6): 276–279 [王艳霞, 陈灿, 范海兰, 等. 杉木人工林生长过程威布尔模型的模拟 [J]. 北华大学学报: 自然科学版 2007 8(6): 276–279]
- [8] Li Yongci. Study on parameter estimate of stand growth and harvest models [D]. Beijing Forestry University 2004 [李永慈. 林分生长收获模型的参数估计研究 [D]. 北京: 北京林业大学. 2004]
- [9] Li Wei. Probe into the relationship among some dendrometer factors of the tree species constructing broad – leaf forest Community [J]. Fujian Soil and Water Conservation 2005 17(3): 56–58 [李蔚. 天然阔叶林建群树种若干测树因子相关关系的探讨 [J]. 亚热带水土保持 2005 17(3): 56–58]
- [10] Zhang Jianguo, Sun Honggang. Basal area growth and modeling of Chinese fir plantations [M]. Beijing: Science Press 2010. [张建国, 孙洪刚. 杉木人工林断面积生长规律及动态模拟 [M]. 北京: 科学出版社 2010]
- [11] Tang Shouzheng, Li Xifei, Meng Zhaohe. The development of studies on stand growth models [J]. Forest Research 1993 6(6): 672–679 [唐守正, 李希菲, 孟昭和. 林分生长模型研究的进展 [J]. 林业科学研究 1993 6(6): 672–679]
- [12] Guo Mingchun, Liu Jianfeng. Modeling the stand growth of chinese fir plantations [J]. Journal of Fujian College of Forestry 2011 31(1): 65–68 [郭明春, 刘建锋. 杉木人工林林分生长模拟 [J]. 福建林学院学报 2011 31(1): 65–68]
- [13] Liu Qian. Research on the application of tree 3D visualization technology [D]. Henan: Henan Agriculture University 2009 [刘倩. 树木三维可视化技术的应用研究 [D]. 河南: 河南农业大学 2009]

The Stand Growth Dynamics Simulation of the Mountain Chinese Fir Plantation Under Different Selective Cutting Intensity

ZHOU Chengjun¹, WU Zhilong¹, ZHOU Xinnian¹, LIN Haiming², CHEN Huirong¹, LIN Zhimin¹

(1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. Fujian Jian'ou Furen Forestry Co., Ltd., Jian'ou 353100, Fujian, China)

Abstract: Based on the long – term tracking retest data to construct diameter at breast height (DBH) increment model of individual trees growing for the mountain Chinese fir plantation and the relationship model of the tree height (H), height at clear bole (HCB), crown width (CW) with DBH. Then use Onyx TREE and 3Ds MAX to achieve the stand growth dynamics simulation of different growth stages in different selective cutting intensity samples. The results show that the realization of stand growth simulation have more intuitive and vivid effect and have important practical value and realistic meaning for the management of the mountain Chinese fir plantation.

Key words: Chinese fir plantation; selective cutting intensity; growth dynamics; simulation