

林分密度对尾赤桉人工林群落结构与生态效应的影响研究

罗素梅^{1,3}, 何东进^{1*}, 谢益林², 李树忠², 董永平²,
王其炳¹, 罗建¹, 林美浩¹, 张中瑞¹

(1. 福建农林大学林学院, 福州 350002; 2. 福建永安林业(集团)股份有限公司, 福建 永安 366000;
3. 景德镇高等专科学校生化系, 江西 景德镇 333000)

摘要: 对永安市不同经营密度下尾赤桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. camalducensis*)人工林的林分结构、群落组成以及林下枯落物和土壤持水性能进行了分析,探讨造林密度对闽西北地区桉树人工林生态效应的影响。结果表明,密度对尾赤桉人工林林分径级结构有极显著影响,密度与平均胸径、树高间存在极显著的负相关,相关系数分别为-0.99和-0.93,对林分蓄积量也存在显著影响($r=0.84$)。密度对林下灌草层物种多样性的影响呈现分异现象,与灌木层的相关性达到极显著水平($r=0.94$),但与草本层的相关不显著($r=-0.52$)。不同密度林分的林下植物种类有较大差异,但低密度林分的林下植被收获量最大。林分密度对枯落物持水率的影响较大($r=0.94$)。

关键词: 尾赤桉; 密度; 径级结构; 多样性; 持水性

中图分类号: S753.3

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)04-0357-07

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.04.003

Effect of Stand Density on Community Structure and Ecological Effect of *Eucalyptus urophylla* × *E. camalducensis* Plantation

LUO Su-mei^{1,3}, HE Dong-jin^{1*}, XIE Yi-lin², LI Shu-zhong², DONG Yong-ping²,
WANG Qi-bing¹, LUO Jian¹, LIN Mei-hao¹, ZHANG Zhong-rui¹

(1. Forestry College of Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 35002, China; 2. Fujian Yong'an Forestry (Group) Joint-stock Co. Ltd., Yong'an 366000, China; 3. Department of Biochemistry, Jingdezhen Comprehensive College, Jingdezhen 333000, China)

Abstract: The community structure and water holding capacity of litter and soil of *Eucalyptus urophylla* × *E. camalducensis* plantations under different management densities in Yong'an City were studied. The results showed that the management density obviously affected the plantation structure, which had significant correlations to DHB and tree height, with correlation coefficient of -0.99 and -0.93, respectively, and that to stand volume with $r = 0.84$. The effects of densities on species diversities from shrub layer to herb layer were different, which had significant correlation to shrub layer with $r = 0.94$, and poor correlation to herb layer with $r = -0.52$. The species composition of undergrowth layer were great different under 5 different densities, and the vegetation yield under low density was the biggest. The litter maximum water holding capacity had significant correlation to stand densities with $r = 0.94$.

Key words: *Eucalyptus urophylla* × *E. camalducensis*; Density; Diameter class structure; Diversity; Water holding capacity

林分密度是用材积、断面积、树冠和株数等林分数量计测因子来反映单位面积上林木生长空间密集程度的一种数量标志。林分密度是指单位面积上林木的株数,即立木密度。Daniel 等认为,林分密度是仅次于立地质量评价立地生产力的第 2 个重要因子,这是因为林分密度是林业工作者能用来干预林分生长发育最易掌控的主要因子^[1]。大量研究已揭示出立木密度对林分生长的制约作用,并提出了一些密度效应模型,但这些研究多侧重于提高木材数量和质量,而忽略了林分密度对森林生态效应方面的影响。

桉树(*Eucalyptus* sp.)是我国南方重要的速生丰产树种。随着社会、科技的发展和林业经济增长方式的转变,如何让人工林的经营走上可持续发展的轨道是广大林业工作者亟待解决的问题。近年来,对桉树人工林的生长规律和经营方式作了大量的研究工作,如林分结构^[2]、立地类型及经营措施^[3]和生态效益^[4]等。对连栽模式^[5]、混交模式的林分生长已有较多报道^[6-7],但桉树人工林初植密度对林分结构和生态效应影响的研究尚少见。林分密度的差异直接影响到林分结构、产量和生态效益^[8],森林的经营管理就是在森林的整个生产过程中,通过人为干扰等方式,使森林处于最佳状态,以提高木材产量或发挥更大的生态效益^[9]。本研究试图对不同初植密度下桉树人工林的生长过程和生态效应进行比较研究,为桉树人工林可持续经营及密度控制提供基础资料和理论依据。

1 研究地概况

研究区设在福建省永安市。全市土地总面积 2941.1 km²,是福建省桉树引种造林的新区,近年桉树造林面积相当于全省桉树造林总面积的 1/5。永安市属于中亚热带海洋性气候,位于福建省中部

偏西,北纬 25°33'~26°12'、东经 116°56'~117°47',地貌类型以低山、丘陵为主,大小盆地错落其间。海拔在 800 m 以下,气候温和,雨量充沛,水热资源丰富,林木生长期长。土壤具有典型的中亚热带地带性土壤特征,据土壤普查显示,主要成土母岩有岩浆岩、沉积岩、变质岩 3 大类,地表出露的岩石主要有花岗岩、页岩、板岩、砂岩、石灰岩、紫色岩等。土壤类型以红壤为主,其次为黄壤。林地土壤深厚,有机质含量较高,养分丰富。

2 材料和方法

2.1 野外调查

研究对象为福建省永安林业(集团)股份有限公司选育的优良无性系尾赤桉(*Eucalyptus urophylla* × *E. eamalducensis* Dehd)。研究地伐前树种为马尾松,2005 年 3 月全翻穴植造林。2008 年 8 月,设置 5 种初植密度,即 1350、1950、2250、2700 和 3000 ind. hm²,分别为类型 A、B、C、D、E (表 1),每个类型代表地块设置两个 20 m × 30 m 调查样地,并用相邻格子法将其分成 6 个 10 m × 10 m 的小样方,对样方内的所有乔木树种进行每木检尺(起测胸径为 2.5 cm),记录树种名、胸径、树高、冠幅等测树因子。每个样方内设置 1 个 5 m × 5 m 的小样方,对样方内的灌木树种进行调查,记录种名、树高、株数或盖度等,草本层则调查 1 m × 1 m 样方内的草本植物,记录种名、盖度和频度。对调查区域的灌草层用收获法^[10]进行地上部分生物量测定。

在不同样地上以 S 形布点,用自封袋采集土样,按 0~20 cm、20~40 cm 和 40~60 cm 分层,用环刀取剖面,带回实验室进行土壤养分及物理性质分析。为了避免土壤肥力差异的干扰,本文采用改进内梅罗(Nemerow)指数(*P*)先对土壤肥力进行分级评价^[11],土壤属性分级标准值参照刘涛等^[12]的

表 1 不同密度桉树人工林样地

Table 1 Sampling plots of *Eucalyptus* plantation under different planting density

样地 Plot	海拔 Altitude (m)	坡向 Aspect	坡度 Slop (°)	土壤厚度 Soil depth (cm)	土壤肥力指数 Soil fertility index	密度 Density (ind. hm ⁻²)
A	324	东南坡 Southeast slop	26	80~90	0.74	1350
B	314	东南坡 Southeast slop	30	75~85	0.69	1950
C	312	东南坡 Southeast slop	29	80~90	0.62	2250
D	334	东南坡 Southeast slop	27	75~85	0.62	2700
E	322	东南坡 Southeast slop	28	75~85	0.79	3000

方法,结果表明 5 种土壤的平均内梅罗指数 P 分别为:0.74、0.69、0.62、0.62、0.79。根据土壤肥力评价标准 $P > 2.7$ 很肥沃,2.7 ~ 1.8 肥沃,1.8 ~ 0.9 一般, < 0.9 贫瘠,可见本研究区的土壤均属于贫瘠型土壤。

2.2 生物多样性分析

群落物种多样性指数^[13]选用以下几种:

(1)丰富度(S):指样地内所有物种数目。

(2)Simpson 指数: $D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2$

(3)Shannon-Wiener 指数:

$$H = 3.3219 \left(\log N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S N_i \log N_i \right)$$

(4)Brillouin 指数: $J_{ws} = \frac{\sum_{i=1}^S P_i \log P_i}{\log S}$

(5)均匀度采用 Shannon-Wiener 信息指数:

$$J' = H' / H'_{max}$$

式中, S 为样地中物种的种数; N_i 为种 i 的重要值; N 为样地中所有物种的重要值之和; P_i 为种 i 的相对重要值, $P_i = N_i / N$ 。

2.3 枯落物现存量与持水性以及土壤持水量测定

枯落物现存量测定采用样方法,每种密度类型设 20 cm × 20 cm 的小样方 10 个,收集枯落物用室内浸泡法^[14]测定持水率,然后烘干称重测定其贮量。用环刀法^[15]测定土壤持水量。

3 结果和分析

3.1 林分密度对林分径级结构的影响

随着密度增大,4 年生尾赤桉胸径均值从 12.6116 cm 下降到 9.8139 cm。从表 2 看出,低密度林分胸径分布较均匀,变异系数仅为 0.1236。经正态检验,5 种密度胸径分布均为负偏、峰度为正值,表明林分中大中径级数量较多且分布较为集中,胸径正态分布曲线比标准正态曲线高窄,但是林分密度的增大削弱了这种趋势。Weibull 分布有较大的灵活性,可拟合不同偏度、峰度的直径分布,Weibull 分布的拟合效果理想。

由表 3、图 1 可以看出,密度对尾赤桉径级分布影响明显,样地类型 A 的胸径主要为第 IV 径级,占 63%,其次为第 V 径级,占 19%;B 和 C 样地的径级分布比较相似,主要为第 IV 和第 III 径级,只是随密度增大,第 IV 径级稍有减少,从 47% 降到 42%,第 III 径级分布增加了两个百分点;高密度的 D、E 样地类型植株径级分布明显向中小径级偏移,已由低密度的 22% 增加到 83%,大径级(14 ~ 16 cm)的株数为 0。胸高断面积是衡量林分蓄积的重要指标,本研究表明,中等密度的样地类型 D 的林分蓄积量最大(表 3)。

表 2 不同密度尾赤桉的直径分布特征及 χ^2 检验

Table 2 Diameter distribution and χ^2 test of *Eucalyptus* plantation under different planting density

样地 Plot	均值 Mean	标准差 Standard deviation	变异系数 Coefficient of variation	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	χ^2	正态分布 Normal distribution	Weibull 分布 Weibull distribution
A	12.6116	1.5585	0.1236	-1.7942	6.3377	15.50713	9.26973	6.10131
B	11.3846	2.4094	0.2116	-1.6833	2.6929	18.30704	9.87212	1.58912
C	11.2261	2.006	0.1787	-1.4535	2.5815	15.50713	12.12953	0.94783
D	10.1641	1.9537	0.1922	-0.7122	0.1783	15.50713	4.01807	2.79823
E	9.8139	2.2266	0.2269	-0.3244	0.0887	16.91899	13.34465	0.39914

表 3 不同初植密度尾赤桉的径级分布及蓄积量

Table 3 Diameter class and stand volume of *Eucalyptus* plantation under different densities

样地 Plots	I (5 ~ 8 cm)		II (8 ~ 10 cm)		III (10 ~ 12 cm)		IV (12 ~ 14 cm)		V (14 ~ 16 cm)		合计 Total		蓄积量 Stand volume ($m^3 \text{ hm}^{-2}$)
	株数 Number	%	株数 Number	%	株数 Number	%	株数 Number	%	株数 Number	%	株数 Number	%	
	A	2	1.2	3	1.9	31	19.1	102	63.0	24	14.8	162	
B	12	5.1	18	7.7	83	35.5	110	47.0	11	4.7	234	100	8.815
C	15	6.2	30	12.4	89	36.8	102	42.1	6	2.5	242	100	8.88194
D	35	10.9	88	27.3	141	43.8	58	18.0	0	0	322	100	10.0419
E	57	17.5	85	26.1	129	39.6	55	16.9	0	0	326	100	9.08746

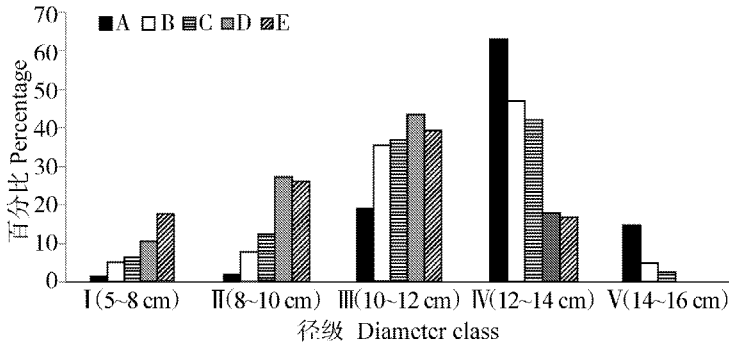


图 1 林分径级分布图

Fig. 1 Diameter class distribution

3.2 林分密度对林下植物多样性的影响

对不同样地林下灌木层和草本层物种多样性的分析表明(表 4):灌木层的物种丰富度和多样性指数均高于相应的草本层,这与温远光等^[4]的研究结果一致。灌木层和草本层的各多样性指数均呈

分异现象,致使林下灌木层与草本层多样性指数出现多元化趋势,已很难简单地分析两者的关系,为此,本研究采用灌草层合并计算,其多样性指数变化见表 4。

表 4 林下灌木层、草本层物种多样性指数比较

Table 4 Species diversities at shrub and herb layers under different densities

	样地 Plot	个体数 Number	<i>S</i>	<i>J'</i>	<i>J</i>	<i>H</i>	<i>Jws</i>	收获量 Yield (t hm ⁻²)
灌木层 Shrub layer	A	129	14	0.532	0.554	2.026	1.824	1.600
	B	274	26	0.616	0.760	2.896	2.702	3.100
	C	96	17	0.773	0.852	3.159	2.827	2.200
	D	108	31	0.897	0.948	4.441	3.902	2.100
	E	119	22	0.862	0.907	3.844	3.458	1.400
草本层 Herb layer	A	79	11	0.920	0.884	3.181	2.873	0.716
	B	27	6	0.890	0.795	2.302	1.930	0.548
	C	57	10	0.917	0.873	3.044	2.686	0.842
	D	28	11	0.845	0.847	2.924	2.336	0.398
	E	90	9	0.793	0.794	2.515	2.307	0.240
灌草层 Undergrowth layer	A	208	25	0.720	0.795	3.303	3.043	2.316
	B	301	32	0.646	0.792	3.201	2.984	3.648
	C	153	27	0.847	0.918	3.980	3.608	3.042
	D	136	42	0.903	0.961	4.836	4.266	2.498
	E	209	31	0.860	0.931	4.220	3.897	1.640

S: 丰富度 Abundance index; *J'*: 均匀度 Evenness; *J*: Simpson 指数 Simpson index; *H*: Shannon-wiener 指数 Shannon-wiener index; *Jws*: Brillouin 指数 Brillouin index.

林下灌草层的收获量在密度为 1950 ind. hm⁻² 时最大,随着造林密度的增加,其收获量逐渐减少,密度达到 3000 ind. hm⁻² 时,收获量最低。群落株数随密度变化的趋势与收获量大体相似。值得一提的是密度为 3000 ind. hm⁻² 样地的个体数剧增,但其收获量却并没有增加,这可能跟林分密度过大,有利于喜阴草本的生长有关,野外调查时该林分下主要有柳叶箬(*Isachne globosa*)等小型草本。

密度为 2700 ind. hm⁻² 的林下植被 Simpson 指数、Shannon 指数和 Brillouin 指数均是最高,但总体上,各造林密度林下植物多样性的差异不大。

3.3 林分密度对枯落物和土壤持水能力的影响

不同初植密度桉树人工林的枯落物持水特性研究表明(表 5),不同密度林分枯落物腐烂程度不同,其中高密度林分林冠层透光率低,林内阴湿利

于枯落物的腐烂。在一定的腐烂等级内枯落物持水率与腐烂程度呈正相关^[16]。枯落物持水率随林分密度增大而升高,为 296%~345%,最大持水率高于张洪江等^[14]在三峡库区的研究结果(310.4%)。枯落物厚度与现存量存在极显著线性相关,与林分密度没有明显的相关性,林分密度对土壤的物理性质也无明显影响。

从表 6 可以看出,林分密度与平均胸径、平均树高、单株立木材积呈显著负相关,对枯落物持水率也存在极显著影响。林下枯落物的贮存量直接决定了土壤的物理性质,对土壤容重、持水量、孔隙度影响显著。土壤持水量与枯落物的贮存量相关

达到极显著水平($P > 0.01$),土壤容重、孔隙度及持水量均与样地枯落物贮量有关,枯落物的存在直接影响了土壤的物理性质,随贮量增大土壤持水量和孔隙度不断增大,容重则呈负增长趋势。土壤养分的过度消耗,会导致土壤板结,致使土壤容重增加,孔隙度的下降,也必然导致土壤持水量下降。廖善刚等^[17]对桉树人工林与杉木林、毛竹林的土壤理化性质进行比较,认为种植桉树可能会造成土壤物理性退化,但随着树龄的增长,这种影响会得到一定程度的缓解。黄宇等^[18]和盛炜彤^[19]等研究结果也表明人工林种植会导致土壤容重增加,孔隙度和持水量下降等一系列土壤物理性状的改变。

表 5 不同密度桉人工林林下枯落物和土壤的持水性

Table 5 Water holding capacity of litter-fall and soil of *Eucalyptus* plantation under different densities

样地 Plot	枯落物 Litter-fall			土壤 Soil			
	厚度 Thickness (cm)	现存量(g m ⁻²) Standing storage	持水率 Water holdup (%)	容重 Bulk density (g cm ⁻³)	饱和持水量 Saturated water content (%)	田间持水量 Field capacity (%)	总孔隙度 Porosity (%)
A	1.6	1687.452	295.6745	1.273	34.0216	32.9751	40.3
B	2.0	2274.074	324.8677	1.243	35.1046	33.6553	42.9
C	1.5	1553.213	338.9558	1.282	33.8523	32.8113	39.2
D	2.1	2739.726	342.4658	1.241	35.8954	33.8220	42.7
E	1.8	1835.915	344.7887	1.265	34.1761	33.1100	41.5

表 6 研究因子相关表

Table 6 Correlation among factors

	D	DHB	H	V	M	J ₁	J ₂	J ₃	LS	LC	B	FC
DBH	-0.99**											
H	-0.93**	0.93**										
V	-0.91*	0.91*	0.99**									
M	0.84*	-0.87*	-0.76	-0.68								
J ₁	0.94**	-0.94**	-0.83*	-0.76	0.95**							
J ₂	-0.52	0.59	0.40	0.45	-0.42	-0.42						
J ₃	0.86*	-0.82*	-0.85*	-0.78	0.77	0.87*	-0.02					
LS	0.33	-0.43	-0.46	-0.40	0.68	0.44	-0.34	0.24				
LC	0.94**	-0.92**	-0.77	-0.71	0.90*	0.98**	-0.46	0.84*	0.31			
B	-0.24	0.36	0.33	0.31	-0.56	-0.32	0.56	-0.01	-0.95**	-0.22		
FC	0.24	-0.36	-0.34	-0.30	0.60	0.35	-0.46	0.07	0.98**	0.24	-0.99**	
P	0.29	-0.41	-0.38	-0.39	0.50	0.30	-0.69	-0.03	0.88*	0.22	-0.98**	0.94**

* : $P < 0.05$; ** : $P < 0.01$; D: 造林密度 Density; DHB: 胸径 Diameter at breast height; H: 树高 Height; V: 单株材积 Individual volume; M: 蓄积量 Stand volume; J₁: 灌木层 Simpson 多样性指数 Simpson diversity index of shrub layer; J₂: 草本层 Simpson 多样性指数 Simpson diversity index of herb layer; J₃: 地被层 Simpson 多样性指数 Simpson diversity index of undergrowth layer; LS: 枯落物现存量 Litter-fall storage; LC: 枯落物持水量 Litter-fall water holding capacity; B: 土壤容重 Bulk density; FC: 田间持水量 Field capacity; P: 总孔隙度 Porosity.

4 讨论

人工林的研究大多集中于用材方面,但树种的作用是多方面的,特别是象桉树这样的速生树种,过快的生长对土壤养分和水分的需求大,容易导致土壤理化性质的改变,不利于植物根系的生长。人工林下植被的物种多样性也是一个重要但颇有争议的问题^[20]。林下植被是人工林生态系统的重要组成部分,在促进人工林养分循环和维护林地土壤质量中起着不可忽视的作用^[21],对维护整个系统的物种多样性也十分重要。人工林的建植影响生物多样性^[22],秦新生等指出在影响物种多样性的众多因素中林分密度最显著^[23],本研究表明桉树人工林的造林密度与林下灌木层多样性极显著相关,但没有使林地灌草层物种多样性下降,这与前人的研究结果^[24-25]不尽相同。

密度是影响林分胸径、材积的重要因子,低密度林分的胸径、树高明显占优势,随着密度的增大,林分蓄积增大,但是当密度大于 2700 ind. hm⁻²时,林分蓄积也出现下降趋势,因此,我们认为对于闽西北地区桉树大径材的最佳种植密度为 1950 ind. hm⁻²,而中小径材培育时应选择林分蓄积量最大的 2700 ind. hm⁻²。密度对林下植物多样性没有明显的影响,但植物种类有差异。密度为 1950 ind. hm⁻²时林下植物的收获量最大。枯落物的存在有利于维持土壤良好的理化性质,防止土壤质量的快速下降。因此,在人工林经营时保存适量的森林粗死木质残体对维护森林健康、生态安全、水源涵养等均有重要意义^[26-27],这与近年自然林业经营的理念是一致的。

参考文献

[1] Wu C Z(吴承祯), Hong W(洪伟). Introduction of Fir Quantity Management Vol. 7 [C]. Beijing: Forestry Press of Chinese, 2000: 213-222.(in Chinese)

[2] Han Y S(韩艺师), Wei Y C(魏彦昌), Ouyang Z Y(欧阳志云), et al. Effects of continuous planting rotation on forest structural characteristics and water holding capacity of Eucalyptus plantations [J]. Acta Ecol Sin(生态学报), 2008, 28(9): 4609-4617.(in Chinese)

[3] Zhang J W(张金文). Thinning trial on *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* stand for large-diameter timber production [J]. For Res(林业研究), 2008, 21(4): 464-468.(in Chinese)

[4] Wen Y G(温远光), Liu S R(刘世荣), Chen F(陈放), et al. Plant diversity and dynamics in industrial plantations of *Eucalyptus* [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2005, 27(4): 17-22.(in Chinese)

[5] Yu X B(余雪标), Xu D P(徐大平), Long T(龙腾), et al. Studies on the growth characteristics and the crown structure of *Eucalyptus* plantation with the different continuous planting rotation [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2000, 36(S1): 137-142.(in Chinese)

[6] Forrester D I, Bauhus J, Khanna P K. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globules* and *Acacia mearnsii* [J]. For Ecol Manag, 2004, 193(1/2): 81-95.

[7] Ye S M(叶绍明), Zheng X X(郑小贤), Xie W D(谢伟东), et al. Influences of *Eucalyptus urophylla* × *E. grandis* sprout regeneration in different density treatments on primary growth of forest stand [J]. For Resour Manag(林业资源管理), 2007, 3(3): 94-97.(in Chinese)

[8] Xu C Y(徐程扬), Zhang H(张华), Jia Z K(贾忠奎), et al. Effects of stand density and site types on root characteristics of *Platycladus orientalis* plantations in Beijing mountainous area [J]. J Beijing For Univ(北京林业大学学报), 2007, 29(4): 95-99.(in Chinese)

[9] Chen D L(陈东来), Liu L H(刘丽华), Zhang J L(张景兰). A new index of stand density — The crown volume index [J]. J NE For Univ(东北林业大学学报), 2003, 31(5): 15-17.(in Chinese)

[10] Wen Y G(温远光), Liang H W(梁宏温), Zhao L J(招礼军), et al. Biomass production and productivity of *Eucalyptus urophylla* [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 2000, 8(2): 123-127.(in Chinese)

[11] Zhong M Y(钟慕尧), Huang S C(黄树才), Yang M S(杨民胜), et al. Research on soil fertility of *E. urophylla* × *E. grandis*, *Pinus massoniana* Lamb and *Acacia mangium* plantations [J]. Eucalypt Sci Techn(桉树科技), 2006, 23(2): 33-37.(in Chinese)

[12] Liu T(刘涛), Yang S M(杨民胜), Liu D T(刘德桃), et al. Effects of *Eucalyptus* plantation on soil nutrient and its soil fertility evaluation [J]. Eucalypt Sci Techn(桉树科技), 2007, 24(1): 31-34.(in Chinese)

[13] Ma K P(马克平). The Methods of Measuring Community Biodiversity — A Method of α -Diversity Measure [J]. Chin Biodiv(生物多样性), 1994, 2(3): 162-168.(in Chinese)

[14] Zhang H J(张洪江), Cheng J H(程金花), Shi Y H(史玉虎), et al. Reserves and water capacity characteristics of three kinds of litter of Three Gorges Area [J]. Soil Water Conserv(水土保持学报), 2003, 17(3): 55-58.(in Chinese)

[15] Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry(中国林业科学院林业科学研究所). The determination of forest soil moisture — Physical properties (LY-T 1215-1999) [S]// Forest Soil Analysis Methods. Beijing: China Standard Press, 1999: 21-24.(in Chinese)

[16] Zhao Y T(赵玉涛), Yu X X(余新晓), Cheng G W(程根伟), et al. A slighting tache in field of forest hydrology research — Hydrological effects of coarse woody debris (CWD) [J]. J Mt Sci(山地学报), 2002, 20(1): 12-18.(in Chinese)

[17] Liao S G(廖善刚), Ye Z J(叶志君), Wang Y M(汪炎明), et al. A comparative study on physical and chemical properties of soils in *Eucalyptus* plantations, Chinese fir plantations and bamboo forest [J]. J Subtrop Resour Environ(亚热带资源与环境学报), 2008, 3

- (3): 53–58.(in Chinese)
- [18] Huang Y(黄宇), Wang S L(汪思龙), Feng Z W(冯宗炜), et al. Soil quality assessment of forest stand in different plantation ecosystems [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2004, 15(12): 2199–2205.(in Chinese)
- [19] Sheng W T(盛伟彤), Yang C D(杨承栋), Fan S H(范少辉). Variation of soil properties of Chinese fir plantation [J]. *For Res(林业研究)*, 2003, 16(4): 377–385.(in Chinese)
- [20] Zhe J M(褚建民), Lu Q(卢琦), Cui X H(崔向慧), et al. Review on species diversity of undergrowth vegetation in plantation ecosystem [J]. *World For Res(世界林业研究)*, 2007, 20(3): 9–13. (in Chinese)
- [21] Lin K M(林开敏), Yu X T(俞新妥), Hong W(洪伟), et al. Effects of undergrowth plant on soil fertility in Chinese fir plantation [J]. *Sci Silv Sin(林业科学)*, 2001, 37(1): 94–98.(in Chinese)
- [22] Hartley M J. Rationale and methods for conserving biodiversity in plantation forests [J]. *For Ecol Manag*, 2002, 15(5): 81–95.
- [23] Qin X S(秦新生), Liu Y Q(刘苑秋), Xin F W(邢福武). Species diversity in undergrowth of artificial forests on lower hilly land [J]. *J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报)*, 2003, 11(3): 27–32. (in Chinese)
- [24] Lin Q Q(林琴琴), Li B Y(李宝银). The species composition and diversity of different plant communities in Fujian [J]. *For Resour Manag(森林资源管理)*, 2007, 12(6): 55–57.(in Chinese)
- [25] Chen S P(陈世品). Changes in species diversity of plants in *Cyclobalanopsis chungii* forest during the course of restoration [J]. *J Zhejiang For Coll(浙江林学院学报)*, 2004, 21(3): 258–262.(in Chinese)
- [26] Hou P(侯平), Pan C D(潘存德). Coarse woody debris and its function in forest ecosystem [J]. *Chin J Appl Ecol(应用生态学报)*, 2001, 12(2): 309–314.(in Chinese)
- [27] He D J(何东进), He X J(何小娟), Hong W(洪伟), et al. Quantitative characteristics of coarse woody debris in natural *Rhododendron simiarum* forests in Tianbaoyan National Nature Reserve [J]. *J Fujian Coll For(福建林学院学报)*, 2008, 28(4): 293–298.(in Chinese)