

# 不同林龄杉木人工林林下植物组成及其生物量变化 Variety of Under-storey Species Composition and Biomass in Different Age *Cunninghamia lanceolata* Plantation

刘 磊<sup>1</sup>,温远光<sup>1</sup>,卢立华<sup>2</sup>,郭东升<sup>1</sup>

LIU Lei<sup>1</sup>,WEN Yuan-guang<sup>1</sup>,LU Li-hua<sup>2</sup>,GUO Dong-sheng<sup>1</sup>

(1. 广西大学林学院,广西南宁 530005;2. 中国林业科学研究院热带林业实验中心,广西凭祥 532600)

(1. College of Forestry, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530005, China; 2. Experiment Center of Tropical Forestry, CAF, Pingxiang, Guangxi, 532600, China)

**摘要:**在地处广西凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心的大青山地区,选择三个不同年龄阶段的杉木人工林,采用空间代替时间的研究方法,研究林下植物组成及生物量变化。结果显示:不同年龄阶段的杉木人工林林下植被的物种丰富度差异不大,在 1800m<sup>2</sup> 样地内有植物 48~54 种,但其优势物种的生物生态学特性差异较大,幼林以阳性物种葛藤 (*Pueraria thunbergiana*)、铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*) 等占绝对优势,中龄林中的优势种则是耐荫物种玉叶金花 (*Mussaenda pubescens*)、凤尾蕨 (*Pteris nervosa*) 等,成熟林中的优势物种是大沙叶 (*Aporosa chinensis*)、蔓生莠竹 (*Microstegium vagans*) 等中生偏荫性的物种。不同龄林林下植被的生物量差异很大,表现为成熟林>幼龄林>中龄林,尤其是中龄林生物量与其他两个林龄最为明显,其中成熟林是其 3.35 倍,幼龄林是其 2.7 倍。人工林林分郁闭度和冠层结构左右着林下植物组成及生物量格局。

**关键词:**杉木 林下植被 重要值 生物量

中图法分类号:Q948.1;S718.5 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2007)02-0172-05

**Abstract:** Three stand age gradations' biomass and species composition of under-storey were compared and analyzed, respectively, in *Cunninghamia lanceolata* plantations. These plantations lie in part region of Daqing Mountain which belongs to the Experimental Center of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry Science, Pingxiang city, Guangxi province. In this research, space is studied as object instead of time. The result shows that: compared with different stand age gradations, the diversity of under-storey species richness is not so obvious. There is about 48~54 plant species per 1800 m<sup>2</sup> in plot. However, the bio-ecological characteristics differences among dominant species are evident. The heliophilous species such as *Pueraria thunbergiana*, *Dicranopteris dichotoma* etc. are preponderant in sapling plantations. *Mussaenda pubescens*, *Pteris nervosa* and other shade species are dominant in composite plantations. Meanwhile dominant species in mature plantations is half-shady species such as *Aporosa chinensis*, *Microstegium vagans* etc. Under-storey biomass variety of different stand ages is significant. The rule shows as follows: biomass of mature plantation > biomass of sapling plantation > biomass of composite plantation. Compared with other two stand age gradations, biomass of composite plantation differentiates most evidently. Mature plantation' biomass is 3.35 times of composite plantation's. Biomass of sapling plantation' is 2.7 times of composite plantation's. Both canopy density and crown structure of plantation dominate species composition and biomass pattern of under-storey.

**Key words:** *Cunninghamia lanceolata*, under-storey, importance value, biomass

杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 是我国特有的

速生用材树种之一。杉木生长快,材性好,单产高,分布区域广,适应性强。在我国,它的天然分布区北起秦岭南坡、伏牛山、桐柏山、大别山一线,南至广东、广西中部和云南东南部。杉木的木材是优良的建筑、交通、电讯、车船和造纸等用材,杉木烧炭可作火药,杉木的

收稿日期:2007-02-06

修回日期:2007-04-28

作者简介:刘 磊(1980-),男,硕士研究生,主要从事林业生态研究工作。

碎屑、刨花等用蒸馏法可提取芳香油,杉木的树皮可以代瓦盖房、叶可入药品、种子可榨油供制皂<sup>[1]</sup>。所以,古往今来,杉木一直是我国重要的人工栽培树种。

林下植被作为森林群落的重要组成部分,对于维持森林物种多样性、水土保持、促进人工林养分循环、维护林地地力和揭示植被演替特征等方面具有不可忽视的作用,近年来倍受关注<sup>[2~4]</sup>。在林分生长发育的不同阶段,林下植被的物种组成和数量都有很大的变化,研究森林群落不同演替阶段的林下植被的物种数量及变化规律对于提高人工林的生物多样性和生态稳定性<sup>[5,6]</sup>,构建近自然恢复改造模式,实现森林的可持续经营以及退化森林生态系统的恢复与重建都有着重要的意义<sup>[7~10]</sup>。

为此,我们在地处广西凭祥市的中国林业科学研究院热带林业实验中心的大青山地区,选择三个不同年龄阶段的杉木人工林研究其下植物组成及生物量变化,为进一步研究林下植被优势物种和杉木之间的种间关系,以及退化人工林的生物多样性和生态功能的恢复、筛选恢复驱动树种,重建复合、稳定的森林群落提供参考。

## 1 研究地区与研究方法

### 1.1 实验地区概况

研究地位于广西西南边陲的凭祥市内,中国林业科学研究院热带林业实验中心大青山地区(21°57'~22°19'N,106°39'~106°59'E)。该地区位于北热带季风气候区,属湿润半湿润气候。该地区内日照充足,雨量充沛,干湿季明显(10~3月为干季,4~9月为湿季),光、水、热资源丰富。年平均气温20.5~21.7℃,极端高温40.3℃,极端低温-1.5℃,≥10℃,年活动积温6000~7600℃。年平均降雨量1200~1500mm。年蒸发量1261~1388mm,相对湿度80%~84%。地貌类型以低山丘陵为主,坡度25~30°。地带性土壤为砖红壤。

### 1.2 研究方法

本研究选择3个不同年龄阶段的杉木人工林,分别代表幼龄林、中龄林和成熟林,采用以空间代替时间的研究方法,对杉木人工林林下植被群落演替的不同阶段进行研究。

代表幼龄杉木的林分为1998年种植,该林地的前身为杉木林的采伐迹地,造林后的第三年采取了一次强度较大的间伐,之后便没有进行人为干预;样地中杉木平均树高7.1m,平均胸径8.2cm,总的乔木密度为2261株/公顷。代表杉木中龄林的林分为1993年种植,该林地亦为杉木林的采伐迹地,除了造林初

期的轻度间伐后便不再进行人为干预;样地中杉木的平均树高11.0m,平均胸径13.4cm,密度为2379株/公顷。代表杉木成熟林的林分为1982年种植,该林地人为活动很少,只在造林初期进行过轻度间伐,中间也未有高强度的间伐;样地中杉木平均树高13.2m,平均胸径13.4cm,密度为2305株/公顷。

在上述3个年龄阶段的杉木林内,分别设立3块20m×30m的大样方(其中中龄林为4块)每块大样方划分为6个10m×10m的中样方,每个中样方内以典型取样的方法选择一个2m×2m的小样方,分别记录高度小于4m的灌木、乔木幼树和草本植物的种名、高度和盖度,计算物种的重要值。重要值=相对频度(%) + 相对密度(%) + 相对盖度(%)<sup>[11]</sup>。

生物量的调查是在每个20m×30m大样方的4个角和中心分别选一个1m×1m的小样方,采用收获法分别称量草本和灌木(含乔木幼树、幼苗及藤本植物,下同)的地上及地下部分的鲜重,取部分样品带回实验室,在85℃恒温下烘干,测定其含水率,计算出生物量。

## 2 结果与分析

### 2.1 林下植被组成

杉木人工幼龄林在3个大样方(1800m<sup>2</sup>)内共出现维管束植物48种,其中灌木34种,占总种数的70.8%,分属21科31属;草本植物14种,占总数的29.2%,分属11科13属。

杉木人工中龄林在3个大样方(1800m<sup>2</sup>)内共出现维管束植物53种,其中灌木39种,占总种数的73.6%,分属28科38属;草本植物14种,占总数的26.4%,分属9科13属。

杉木人工成熟林在3个大样方(1800m<sup>2</sup>)内共出现维管束植物54种,其中灌木35种,占总种数的64.8%,分属21科32属;草本植物19种,占总数的35.2%,分属14科17属。

### 2.2 林下植被主要物种的重要值变化

从表1可以看出,灌木层的黄牛木(*Cratoxylum ligustrinum*)在幼龄林和成熟林中的重要值都很高,是这两个阶段的优势种,但是黄牛木在中龄林中却没有出现。这可能是由于黄牛木属于中生性偏阳的物种,可以在未郁闭的幼林以及乔木冠层逐渐稀疏透光度改善的成熟林中生长,却不能忍受中龄林较高的郁闭度。海金沙(*Lygodium japonicum*)、大沙叶(*Aporosa chinensis*)和野漆(*Toxicodendron succedaneum*)也有类似的表现。葛藤(*Pueraria thunbergiana*)重要值的变化规律则明显的反映出了

一个阳性物种在演替过程中的衰退过程,它在郁闭度较小的幼龄林中长势良好,在灌木层中占有重要地位,但是随着林冠的郁闭,其数量急速下降,直到在成熟林中消失。中龄林的优势物种是断肠草 (*Gelsemium elegans*)、玉叶金花 (*Mussaenda pubescens*)、乌葭莓 (*Cayratia japonica*) 和水东哥 (*Saurauia tristyla*), 它们对荫庇的环境有着较好的适应性,而在光照条件稍好的成熟林和有强烈直射光的幼林中则重要值很小或没有出现。在中龄林中,林冠的郁闭使得喜阳的物种很快衰退消失,而耐荫的物种则刚开始侵入该林分,加上这些耐荫的物种生长发育和繁殖都比较缓慢,所以林地的灌木数量很少,或者个体很小。中龄林的优势物种玉叶金花、断肠草、乌葭莓等,在群落演替的各个阶段都保持一个比较稳定的种群数量,本来其种群并不占优势,但是由于其他物种的衰退,它们的数量却并没有减少,所以其优势就逐渐显示出来。藤构 (*Broussonetia kaempferi* var. *australis*)、三桠苦 (*Evodia lepta*) 和大青 (*Clerodendron cyrtophyllum*) 则在整个群落演替过程中呈现逐渐平稳发展趋势,虽然在各个时期他们的重要值都不算很高,但是比较稳定的种群数量却显示出它们在灌木群落演替过程中有着不可忽视的作用。

表 1 不同龄林杉木林下灌木主要物种重要值的对比

Table 1 The importance value comparison of shrub layer among different ages of *Cunninghamia lanceolata* plantation

序号 Code	种名 Species	重要值 Important value*		
		幼龄林 Young	中龄林 Middle	成熟林 Mature
1	黄牛木 <i>Cratoxylon ligustrinum</i>	46.13		33.17
2	葛藤 <i>Pueraria thunbergiana</i>	36.11	4.21	
3	海金沙 <i>Lygodium japonicum</i>	35.53	5.32	13.05
4	粗叶榕 <i>Ficus hirta</i>	20.03	20.3	26.72
5	盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	18.23		
6	大沙叶 <i>Aporosa chinensis</i>	17.45	0.49	35.93
7	断肠草 <i>Gelsemium elegans</i>	9.39	34.76	
8	玉叶金花 <i>Mussaenda pubescens</i>	3.04	30.03	4.43
9	乌葭莓 <i>Cayratia japonica</i>	2.85	15.79	
10	水东哥 <i>Saurauia tristyla</i>		15.28	
11	野漆 <i>Toxicodendron succedaneum</i>	8.74		21.22
12	藤构 <i>Broussonetia kaempferi</i> var. <i>australis</i>		1.7	14.71
13	三桠苦 <i>Evodia lepta</i>	3.03	7.92	10.8
14	杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	1.45	9.1	9.1
15	大青 <i>Clerodendron cyrtophyllum</i>	5.19	5.24	9.68

\* 表中没有数据部分表示该物种在调查样地内未出现。

\* The block in the sheet means this species was not found in the plot.

从表 2 结果可以看出,处于演替衰退趋势的草本物种为铁芒萁 (*Dicranopteris dichotoma*)。铁芒萁是

一个喜阳的蕨类植物,在光照充足的幼龄林中有着极广泛的分布,种群数量很大,但是在荫蔽的中龄林下却难见其踪影,群落演替到了成熟阶段,随着光照条件的重新改善,其种群数量又有了较大回升。与铁芒萁情况相似的物种是飞机草 (*Eupatorium odoratum*) 和扇叶铁线蕨 (*Adiantum flabellulatum*),不同的是飞机草的种群数量要远小于铁芒萁,扇叶铁线蕨不属于喜阳的物种而是中生性的物种。蔓生莠竹 (*Microstegium vagans*)、弓果黍 (*Cyrtococcum patens*)、淡竹叶 (*Lophatherum gracile*) 这三个禾本科的草类在调查的所有样地中都频繁的出现,除了淡竹叶的种群相对较小,数量变化稳定之外,蔓生莠竹、弓果黍的数量变化幅度则显得十分明显,它们可以在一个或两个年龄阶段出现极大的种群数量,而在另一个阶段却消失不见或者是数量很小,这可能与它们的分布特性有关。福建观音座莲 (*Angiopteris fokiensis*)、江南短肠蕨 (*Allantodia metteniana*)、凤尾蕨 (*Pteris nervosa*)、金毛狗 (*Cibotium barometz*)、半边旗 (*Pteris semipinnata*) 这几个物种则表现得十分喜阴,它们在郁闭度很高的中龄林中优势明显,而在光照条件稍好的其他两个林分中则不具优势或者优势不明显。乌毛蕨 (*Blechnum orientale*) 和铁线蕨 (*Adiantum capillus-veneris*) 是生偏阴性的物种,它们在光照强烈的幼龄林或者光照

表 2 不同龄林杉木林下草本主要物种重要值的对比

Table 2 The importance value comparison of herb layer among different ages of *Cunninghamia lanceolata* plantation

序号 Code	种名 Species	重要值 Important value		
		幼龄林 Young	中龄林 Middle	成熟林 Mature
1	蔓生莠竹 <i>Microstegium vagans</i>	10.29	13.92	103.32
2	弓果黍 <i>Cyrtococcum patens</i>	67.09	63.74	
3	乌毛蕨 <i>Blechnum orientale</i>	7.87	8.09	67.01
4	铁芒萁 <i>Dicranopteris dichotoma</i>	128.01		30.98
5	铁线蕨 <i>Adiantum capillus-veneris</i>	5.55	0.71	21.42
6	淡竹叶 <i>Lophatherum gracile</i>	16.79	8.39	18.8
7	金毛狗 <i>Cibotium barometz</i>		29.36	13.72
8	扇叶铁线蕨 <i>Adiantum flabellulatum</i>	29.91		11.49
9	飞机草 <i>Eupatorium odoratum</i>	12.38		1.21
10	凤尾蕨 <i>Pteris nervosa</i>	2.09	37.98	1.21
11	福建观音座莲 <i>Angiopteris fokiensis</i>		26.74	
12	江南短肠蕨 <i>Allantodia metteniana</i>		16.49	1.97
13	半边旗 <i>Pteris semipinnata</i>		14.76	3.81

\* 表中没有数据部分表示该物种在调查样地内未出现。

\* The block in the sheet means this species was not found in the plot.

条件太差的中龄林中优势均不明显,只在半透光的成熟林中生长表现最佳。在杉木人工林下,草本层优势物种几乎都为蕨类植物,禾本科植物也占据一定的位置,而双子叶植物几乎没有进入优势种的范围,这说明受到人为活动干扰,杉木人工林林下生境更有利于蕨类植物和禾本科植物的生长,不利于双子叶植物的大量定居和发展。

### 3.3 不同龄林杉木人工林林下植被生物量的比较

从表3中可以看出,整个林下植被总生物量的大小关系是成熟林>幼龄林>中龄林,而且中龄林与其他两个林龄的差异还很明显,其中成熟林是其3.35倍,幼龄林是其2.7倍。生物量的数据进一步说明中龄林处于林下植被演替的衰退阶段,原有阳性优势物种迅速衰退,后来侵入的中生性和耐阴性物种发育缓慢,导致林下植被群落在这一阶段的极度萎缩,生物量很小。而成熟林林下植被的演替已处于后期,其物种组成和数量都达到了一个相对稳定的高峰期,并且随着演替的继续进行,林下植被个体的生长,只要没有强烈的干扰,其林下植被生物量必然会呈缓慢增长的趋势。幼龄林由于大量速生的先锋物种的存在,使得其林下植被整体的生物量也相当高。

表3 不同林龄杉木人工林林下植被生物量

Table 3 The biomass comparison among different ages of *Cunninghamia lanceolata* plantation

林分 Stand	灌木层 Shrub layer (kg/m <sup>2</sup> )			草本层 Herb layer (kg/m <sup>2</sup> )			总生物量 Biomass compara- tion (kg/m <sup>2</sup> )
	地上 Over ground	地下 Under ground	合计 Total	地上 Over ground	地下 Under ground	合计 Total	
幼龄 Young	308.17	295.02	603.19	245.74	132.66	378.40	981.59
中龄 Middle	62.75	29.50	92.25	142.56	128.35	270.91	363.16
成熟 Mature	315.23	140.19	455.42	219.62	542.99	762.61	1218.03

表3中,草本层的生物量变化规律与生物总量的变化规律一致,而灌木层中,幼龄林的生物量大于成熟林,这应该是由幼龄林中良好的光照条件和肥力条件使喜阳、速生的先锋物种生长迅速,短时间内积累了大量的生物量;成熟林的木本植物也有不少较大个体的植株,但是其数量没有幼龄林中多,而且超过4m的大植株都划分到乔木层,这也在一定程度上减少了成熟林下木本植物的总生物量。草本层中成熟林的生物量高出其他两个林分很多,但是相对灌木层的差别,中龄林的草本生物量与其他两个林分的差距要小很多,这应该与草本植物生长期短,繁殖迅速有关。

表3中,对比分析林下植物地上部分和地下部分生物量的关系发现,除了成熟林中草本层外,其他林

分的各层都是地上部分生物量大于地下部分。这可能是由于大青山地区水肥条件好,物种对于水肥的竞争不是很激烈,因此投入地上部分的营养物质较多。草本层中生物量的主要提供者是蕨类植物,中龄林和成熟林中的荫生的蕨类植物多具有储藏营养物质的地下器官,很多大型蕨的地下部分生物量甚至是地上叶片生物量的10多倍,因此造成了草本层地下部分生物量大于地上部分的现象,这也是成熟林中草本层生物量高出灌木层很多的一个原因。

## 3 讨论

本次研究得出,3个年龄阶段的杉木人工林林下植被的物种丰富度差异不大,在1800m<sup>2</sup>样地内有植物48~54种,但是其优势物种的生物生态学特性差异较大,幼龄林以阳性物种黄牛木、葛藤、铁芒萁占绝对优势,中龄林中的优势种则是耐荫物种玉叶金花、断肠草、乌莓、福建观音座莲、江南短肠蕨、凤尾蕨、金毛狗、半边旗等,成熟林中的优势物种是中生偏荫性的物种大沙叶、乌毛蕨和铁线蕨等。根据群落演替理论,群落内物种的相互取代,是不同物种对光照、土壤等环境资源竞争利用,是物种间,物种和环境间的相互作用共同导致的,一个物种的退出,说明它们在变化的环境中竞争处于不利地位而逐渐被淘汰<sup>[12]</sup>。因此,如果想要人为地加快恢复速度,进行恢复启动物种的筛选的时候,不能选择那些在群落某一阶段处于优势地位,但是在另一个阶段却销声匿迹的物种,例如,本研究中的海金沙、大沙叶、野漆、葛藤等,这些物种对于群落演替特定阶段的环境依赖性过强。另外一些物种,它们的数量虽然不是很多,且不一定在任何一个演替阶段处于优势地位,但是它们的适应性强,种群数量稳定,在群落演替的整个过程中都能见到它们的身影,例如,本研究中的藤构、三桠苦和大青,在整个群落演替过程中呈现逐渐平稳发展的趋势,虽然在各个时期他们的重要值都不算很高,但是它们与大多数的物种都能良好相处,对于林下植被群落的稳定起着不可忽视的作用,这些物种可以考虑作为恢复林分的启动的物种。还有那些在林下环境中可以顺利的完成天然更新,将来有望成为群落优势种甚至建群种的地带性顶级群落优势物种,也可以考虑在早期人为的引入,以加快整个群落的恢复进程。

本研究表明,杉木人工林不同林龄阶段林下植被的发育情况呈现出明显的发育—萎缩—发育的规律,即幼龄林下因光照和土壤养分充足,有着发育良好的灌木层和草本层;随着林分的郁闭,中龄林的林下植被处于衰退的状态,这期间林下植被的生物量是在整

个杉木人工林发育各阶段中最小的;由于间伐等人工抚育手段和自然稀疏过程,以及自然整枝和林木高度的增加,渐渐达到成熟期的杉木人工林林下光照条件逐步改善,林下植被的发育也进入快速恢复和发展的阶段,这一时期的林下植被生物量是最高的,而且有着随林龄的增大继续增加的趋势。这一结果与中国林科院林业研究所焦如珍等<sup>[13]</sup>对江西省分宜县中国林科院亚热带林业实验中心的上村林场和年珠林场不同林龄杉木人工林林下植被的研究结果是一致的。中国林科院林业研究所何忆玲等<sup>[14]</sup>总结了近20年来林下植被的研究现状与热点问题,认为上木对林下植被的作用机制实质上是通过控制光照为主的环境因子的变化来影响林下植被的发育的,林地内部光照的改变将影响到林下植被种类、数量和生物量的分布。这一结论也支持了我们的研究结果。因此,适当加大间伐强度,人为改善林下透光条件<sup>[2,3,15,16]</sup>,可以加快林下植被的发育进程,促进植物群落发展。

在群落演替过程中,杉木人工林的这些优势物种和杉木之间的种间关系还有待进一步研究,弄清了林下植被优势物种和杉木之间的种间关系就可以为恢复杉木退化人工林生物多样性和生态功能,筛选恢复驱动物种,重建复合的和稳定的森林群落结构等工作提供参考。增加林下植被的生物多样性和生物量,构建复合层次的林分结构,而不仅仅是只注重乔木层生长的“空中绿化”,这样必然可以使现有的人工林的地力衰退,病虫害严重,生态功能低下等问题得到很大程度上的改善。

#### 参考文献:

[1] 李貽格. 中国杉木栽培史考[M]. 北京:中国林业出版社,1990.  
 [2] 方海波,田大伦. 杉木人工林间伐后林下植被生物量的研究[J]. 中南林学院学报,1998,18(1):5-9.

[3] 方海波,田大伦. 杉木人工林间伐后林下植被养分动态的研究[J]. 中南林学院学报,1998,18(2):1-5.  
 [4] 吕勇. 马尾松林下植被及其生物量的研究[J]. 中南林业调查规划,1997,16(1):53-56.  
 [5] 冯耀宗. 物种多样性与人工生态系统稳定性探讨[J]. 应用生态学报,2003,14(6):853-857.  
 [6] 黄建辉. 物种多样性与生态系统功能:影响机制及有关假说[J]. 生物多样性,2001,9(1):1-7.  
 [7] 彭少麟. 南亚热带退化生态系统恢复和重建的生态学理论和应用[J]. 热带亚热带植物学报,1996,4(3):36-44.  
 [8] 温远光,黄棉. 大明山中山植被恢复过程植物物种多样性的变化[J]. 植物生态学报,1998,22(1):33-40.  
 [9] 康冰,刘世荣,温远光,等. 南亚热带人工马尾松林下植物组成特征及主要木本种群生态位研究[J]. 应用生态学报,2005,16(9):1786-1790.  
 [10] 莫江明,Sandra Brown,彭少麟. 林下层植物在退化马尾松林恢复初期养分循环中的作用[J]. 生态学报,2002,22(9):1407-1413.  
 [11] 游水生,张志翔. 福建武平帽布米槠林火烧后植物种类变化的研究Ⅱ:火烧前后重要值和物种多样性变化[J]. 福建林学院学报,1998,18(1):20-23.  
 [12] 杨小波. 植物群落演替的生理生态机理研究的现状和展望[J]. 海南大学学报:自然科学版,1997,15(2):147-152.  
 [13] 焦如珍,杨承栋,屠星南,等. 杉木人工林不同发育阶段林下植被、土壤微生物、酶活性及养分的变化[J]. 林业科学研究,1997,10(4):373-379.  
 [14] 何忆玲,傅懋毅. 人工林林下植被的研究现状[J]. 林业科学研究,2002,15(6):727-733.  
 [15] 江民锦. 不同间伐强度对杉木人工林下植被发育及生物量的影响[J]. 江西林业科技,2001,4:5-8.  
 [16] 盛炜彤. 不同密度杉木人工林林下植被发育与演替的定位研究[J]. 林业科学研究,2001,14(5):463-471.

(责任编辑:邓大玉)