

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2018.06.014

## 密度调控对杉木人工林林分特征的影响

贾晨<sup>1</sup>, 简霁<sup>2</sup>, 靳伟<sup>1</sup>, 鄢武先<sup>1</sup>, 周永丽<sup>1</sup>, 宋鹏<sup>1</sup>, 杨靖宇<sup>1</sup>

(1. 四川省林业科学研究院, 四川 成都 610081; 2. 江油市林业局, 四川 江油 621700)

**摘要:**以洪雅林场杉木人工林为研究对象,研究密度调控对杉木林分生长、植物多样性、林分结构的影响。结果表明:杉木人工林分经密度调控后,低密度经营有利于林分的胸径、树高、材积加快生长,也能使树干更饱满,但不利于林分自然整枝;适宜的林分经营密度(750株·hm<sup>-2</sup>)能够增加灌草层的物种丰富度,而林分密度过高(1200株·hm<sup>-2</sup>)或过低(550株·hm<sup>-2</sup>)均降低了灌草层的物种丰富度,不利于林下植被演替发育;低经营密度林分的灌木和草本植物的物种多样性指数和均匀度指数都高于高经营密度林分,低经营密度林分使林下植物的群落复杂程度和物种个体分配均匀度更优异;随着林分经营密度的增大,林分中的大径级植株的比例逐步降低;合理密度(750株·hm<sup>-2</sup>)有利于林分树高生长;低经营密度有利于培育大径材植株,而高经营密度有利于培育中小径材植株。

**关键词:**密度调控;杉木人工林;林分特征

中图分类号:S791.27

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2018)06-0062-05

## Effects of Density Control on the Stand Features of *Cunninghamia lanceolata* Plantation

JIA Chen<sup>1</sup> JIAN Ji<sup>2</sup> JIN Wei<sup>1</sup> YAN Wu-xian<sup>1</sup> ZHOU Yong-li<sup>1</sup>  
SONG Peng<sup>1</sup> YANG Jing-yu<sup>1</sup>

(1. Sichuan Academy of Forestry, Chengdu 610081, China; 2. Forestry Bureau of Jiangyou city, Jiangyou 621700, China)

**Abstract:** A *Cunninghamia lanceolata* plantation of Hongya Forest Farm was selected as an object to research the stand features under density control from three respects of forest growth, species diversity and stand structure. The results showed that low density management was conducive to accelerating the growth of DBH, tree height, and wood volume, which could also make the trunk fuller. However, low density management reduced the natural pruning capacity of the stand. Appropriate density management (750 plants · hm<sup>-2</sup>) could increase the species richness of the shrub and herb and layers, while the high density (12 000 plants · hm<sup>-2</sup>) or low density (550 plants · hm<sup>-2</sup>) reduced the species richness of the shrub and herb and layers. The species diversity index and evenness index of shrubs and herbs in low density stand were higher than those in high density stand. The low density management made the community complexity and the species distribution evenness better. With the increase of forest density, the proportion of large-diameter plants in the stand decreased gradually. Reasonable density (750 plants · hm<sup>-2</sup>) was conducive to the growth of tree height. Low management density was beneficial to cultivating large-diameter trees, while high management density was beneficial to cultivating medium and small-diameter wood

收稿日期:2018-10-23

基金项目:四川省财政专项项目:基于密度调控的盆周山地杉木人工林近自然经营技术研究(2018CZZX13);“十三五”国家重点研发计划项目:四川杉木速生材高效培育技术研究(2016YFD0600302-5)

作者简介:贾晨(1989-),男,黑龙江兰西人,硕士研究生,主要从事森林经营与森林培育。

plants.

**Key words:** Density control, *Cunninghamia lanceolata* Plantation, Stand features

杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook)是我国南方林业生产中重要的速生用材树种,杉木人工林面积约占我国人工林总面积的24%<sup>[1]</sup>。杉木具有自肥能力差的特点,大面积纯林高密度栽培模式导致杉木人工林地力衰退,是影响杉木产业可持续发展的重要因素<sup>[2]</sup>。森林经营是提高森林质量和产量的重要手段,而密度抚育管理是重要营林措施之一,密度调控林分改变了林分空间结构<sup>[3]</sup>、光照条件进而影响林木生长、林下植被发育<sup>[4]</sup>、林木水分运输能力<sup>[5]</sup>和土壤肥力<sup>[6]</sup>的变化。许多学者对杉木人工林开展了林分密度对杉木生长<sup>[7-10]</sup>、林下物种多样性<sup>[11-13]</sup>、优势高生长过程<sup>[14]</sup>、碳储量<sup>[15]</sup>的影响研究。在杉木人工林种内竞争规律<sup>[16]</sup>、杉木生物量、断面积变化规律等方面<sup>[17-18]</sup>开展了大量的相关研究。多数研究仅针对林分密度对某一或二要素的影响,很少以林木生长、生物多样性、林分结构等多因素探讨密度调控影响。本研究以洪雅林场杉木人工纯林为对象,探讨杉木不同调控密度的林木生长差异、生物多样性以及林分结构特征等变化规律,以期对四川地区杉木人工林林分结构调整、植被管理及可持续经营提供科学依据。

## 1 试验地概况

试验地设在洪雅林场八面山工区,洪雅县地处四川盆地西南边缘,地理坐标为东经102°49′~103°32′,北纬29°24′~30°00′,位于成都、乐山、雅安三角地带。地形由西南向东北高低梯次变化形成高山、中山、深丘、浅丘、台地、河谷、平坝;地势由西南向东北倾斜,境内地貌以山地丘陵为主,最高海拔3 172 m;最低海拔417.5 m。属中亚热带湿润气候,年降雨量1 435.5 mm,年日照1 006.1 h,年无霜期307 d,最冷月一月均温6.1℃,最热月7月均温25.3℃,年平均气温16.6℃;境内土壤以黄壤、山地黄壤、紫色土为主。

## 2 研究方法

选择洪雅林场八面山工区2000年营造的杉木纯林为试验林,造林密度为3 000株·hm<sup>-2</sup>,2000年—2012年间开展过1次透光伐和1次生长伐。

2014年,在立地条件基本一致(海拔差<100 m,坡度差<5°,坡向相似,土壤类型一致)的林分设定了11个20 m×20 m的固定样地(设定3个密度调控强度各重复3次,共9个处理;2个对照样地),并对样地进行密度调控。2018年对样地中现有的乔木进行编号和每木调查(树种、树高、胸径、枝下高等);在每样地内的4个角和1中心机械设置5个5 m×5 m的灌木样方,在每个灌木样方各设置1个2 m×2 m的草本样方,调查记录灌木层和草本层的种类、数量、平均高度、盖度。对样地内的物种丰富度(S)、Shannon-Wiener多样性指数(H′)、Simpson多样性指数(D)和Pielou均匀度指数(J),按如下公式计算:

物种丰富度 S = 样地内包含的所有植物种类

Shannon-Wiener多样性指数(H′):

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i$$

Simpson多样性指数(D):

$$D = 1 - \sum_{i=1}^s P_i^2 = 1 - \sum \left( \frac{N_i}{N} \right)^2$$

Pielou均匀度指数(J):

$$J = \frac{(- \sum P_i \ln P_i)}{\ln S} = \frac{H'}{\ln S}$$

其中N为群落中所有物体的个体数目,P<sub>i</sub>为第i个物种所占的比例,N<sub>i</sub>为第i个物种的个体数目。

杉木二元材积公式:

$$V_{\text{杉木}} = 0.000058777042 * D^{1.9699831} * H^{0.89646157};$$

式中:V表示材积(m<sup>3</sup>);H为树高(cm);D为胸径(cm)。

采用WPS office 2016对数据进行整理和计算;应用SPSS18.0软件单因素方差分析(ANOVA)及多重比较进行差异显著性分析。

## 3 结果与分析

### 3.1 杉木林分生长情况

各经营密度的林分中杉木生长量统计结果见表1。由表1可知,随着经营密度的增大,林分的平均胸径和平均单株材积呈下降的趋势,3个经营密度间的杉木平均胸径和平均单株材积差异显著,但1000株·hm<sup>-2</sup>的林分平均胸径和平均单株材积与

对照林分的差异不显著(见表2)。3个经营密度间的平均树高差异不显著,但都显著高于对照林分。低经营密度的林分枝下高显著低于高经营密度林分,表明高密度经营时杉木自然整枝能力较好,说明低密度经营不利于自然整枝。不同经营密度间的高

径比差异显著,低密度经营林分的高径比值小,树干生长较饱满。表明杉木林分经密度调控后,低密度经营有利于胸径、树高、材积生长,也能使树干更饱满,但不利于林分自然整枝。

表1 密度调控林分杉木生长情况

| 经营密度(株·hm <sup>-2</sup> ) | 胸径(cm)       | 树高(m)       | 枝下高(m)     | 高径比(m/cm)    | 单株材积(m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------|--------------|-------------|------------|--------------|-----------------------|
| 550                       | 21.3 + 2.9a  | 13.7 + 1.2a | 4.7 + 1.6b | 0.65 + 0.07d | 0.2618 + 0.0813a      |
| 750                       | 18.0 + 3.4b  | 13.9 + 2.1a | 4.7 + 1.5b | 0.78 + 0.09b | 0.1976 + 0.0836b      |
| 1000                      | 17.1 + 2.8c  | 13.8 + 1.6a | 7.0 + 1.7a | 0.81 + 0.09a | 0.1737 + 0.0707c      |
| 1200(CK)                  | 17.9 + 4.0bc | 12.7 + 2.1b | 6.6 + 2.4a | 0.71 + 0.13c | 0.1841 + 0.0858bc     |

注: + 后数字为标准差;同列中相同字母表不差异不显著,其他均为差异显著(P < 0.05),CK为对照林分。

表2 密度调控林分杉木各生长性状的方差分析

| 性状   | 来源 | 平方和     | df | 均方      | F      | 显著性   |
|------|----|---------|----|---------|--------|-------|
| 胸径   | 组间 | 782.631 | 3  | 260.877 | 24.211 | 0.000 |
| 树高   | 组间 | 75.861  | 3  | 25.287  | 7.807  | 0.000 |
| 枝下高  | 组间 | 420.841 | 3  | 140.28  | 43.015 | 0.000 |
| 高径比  | 组间 | 1.352   | 3  | 0.451   | 42.213 | 0.000 |
| 单株材积 | 组间 | 0.356   | 3  | 0.119   | 18.732 | 0.000 |
| 胸径   | 组间 | 782.631 | 3  | 260.877 | 24.211 | 0.000 |

## 3.2 物种丰富度和物种多样性情况

### 3.2.1 物种丰富度

杉木纯林经过密度调控后,林下植被发展演替产生了一定的变化。不同经营密度的林分林下物种丰富度出现了差异(见表3),经营密度750株·hm<sup>-2</sup>的林分灌草层植物的种类最多达40种,灌草层植物的种类最少的是550株·hm<sup>-2</sup>林分和对照林分(34种);550株·hm<sup>-2</sup>的林分灌木层的物种最少(16种),低于另外两个经营密度和对照组的种类;对照林分的草本层植物种类最少(15种),相比于草本种类最多的750株·hm<sup>-2</sup>林分低了28.6%。对林分开展密度调控后,林分的光照强度、光照时长

表3 密度调控林分中灌草层物种丰富度情况

| 经营密度(株·hm <sup>-2</sup> ) | 灌木+草本 | 灌木 | 草本 |
|---------------------------|-------|----|----|
| 550                       | 34    | 16 | 18 |
| 750                       | 40    | 19 | 21 |
| 1000                      | 36    | 19 | 17 |
| 1200(CK)                  | 34    | 19 | 15 |

注:CK为对照林分。

表4 密度调控林分灌草层的物种多样性及均匀度情况

| 经营密度<br>(株·hm <sup>-2</sup> ) | 灌木+草本  |        |        | 灌木     |        |        | 草本     |        |        |
|-------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                               | H'     | D      | J      | H'     | D      | J      | H'     | D      | J      |
| 550                           | 3.2762 | 0.9548 | 0.9370 | 1.1764 | 0.9896 | 0.4243 | 2.0998 | 0.9652 | 0.7265 |
| 750                           | 3.2563 | 0.9490 | 0.8827 | 0.8893 | 0.9958 | 0.3020 | 2.3670 | 0.9532 | 0.7775 |
| 1000                          | 3.1874 | 0.9516 | 0.8827 | 1.2210 | 0.9896 | 0.4147 | 1.9664 | 0.9621 | 0.6941 |
| 1200(CK)                      | 3.1138 | 0.9392 | 0.8830 | 1.1666 | 0.9934 | 0.3962 | 1.9472 | 0.9458 | 0.7190 |

注:H':Shannon - Wiener 多样性指数;D:Simpson 多样性指数;J:Pielou 均匀度指数;CK为对照林分。

以及光质都会改变,对林下物种丰富度有一定影响,林分密度为750株·hm<sup>-2</sup>有利于灌草层的植物发育生长,而林分密度过高(1200株·hm<sup>-2</sup>)或过低(550株·hm<sup>-2</sup>)均不利于林下植物发育演替。

### 3.2.2 物种多样性

对密度调控后的杉木林分灌木层和草本层植物的物种多样性指数和均匀度指数进行计算,结果见表4。对于灌草复合层植物的Shannon-Wiener多样性指数、Simpson多样性指数和Pielou均匀度指数来说,其值均呈现出随着经营密度的增大而减少的规律,说明在低经营密度林分中,灌木和草本植物的群落复杂程度高于高经营密度林分,其物种个体分配也更均匀。对于灌木层的物种多样性来说,1000株·hm<sup>-2</sup>的林分中植物的Shannon-Wiener多样性指数最高,表明该密度下其灌木层植物多样性更好,同时,其Pielou均匀度指数也较高,植物物种个体配置较均匀;而750株·hm<sup>-2</sup>的林分中植物的Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数都是最低的,明显小于对照林分的值,表明该经营密度对灌木层的物种多样性有明显影响,物种结构简单,个体配置不均匀。在草本层中,750株·hm<sup>-2</sup>的林分中植物的Shannon-Wiener多样性指数和Pielou均匀度指数却都是最高的,表明该密度下草本植物物种多样性较好,物种个体配置也更均匀,有利于草本植物演替发育。

### 3.3 林分结构变化

#### 3.3.1 林分水平结构

对各经营密度的林分的胸径按 2cm 的径阶进行划分统计,结果表明(见表 5),不同经营密度的林分中,从小径阶到大径阶的植株数量呈现上升后下降的趋势;随着林分的经营密度的增大,林分中的大径级植株的比例逐步降低。经营密度 550 株·

hm<sup>-2</sup>的林分中径级 >20 cm 的植株比例为 68.18%,而 1 000 株·hm<sup>-2</sup>的林分中仅占 25.8%。对各经营密度的林分中,径级在 14 cm~20 cm 间,经营密度 550 株·hm<sup>-2</sup>的林分中占 30.31%,经营密度 750 株·hm<sup>-2</sup>的林分中占 63.44%,经营密度 1 000 株·hm<sup>-2</sup>的林分中占 75.21%,这表明林分密度增加有利于培育中小径材。

表 5 密度调控林分水平结构

| 径阶<br>(cm) | 550(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 750(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 000(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 200(CK)(株·hm <sup>-2</sup> ) |       |
|------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|            | 株数                       | 比例(%) | 株数                       | 比例(%) | 株数                         | 比例(%) | 株数                             | 比例(%) |
| (6,8]      | 0                        | 0     | 2                        | 2.15  | 0                          | 0     | 0                              | 0     |
| (8,10]     | 0                        | 0     | 0                        | 0     | 0                          | 0     | 0                              | 0     |
| (10,12]    | 0                        | 0     | 2                        | 2.15  | 2                          | 1.65  | 1                              | 1.27  |
| (12,14]    | 1                        | 1.52  | 6                        | 6.45  | 14                         | 11.57 | 7                              | 8.86  |
| (14,16]    | 1                        | 1.52  | 10                       | 10.75 | 23                         | 19.01 | 14                             | 17.72 |
| (16,18]    | 5                        | 7.58  | 30                       | 32.26 | 46                         | 38.02 | 20                             | 25.32 |
| (18,20]    | 14                       | 21.21 | 19                       | 20.43 | 22                         | 18.18 | 16                             | 20.25 |
| (20,22]    | 21                       | 31.82 | 14                       | 15.05 | 9                          | 7.44  | 7                              | 8.86  |
| (22,24]    | 10                       | 15.15 | 6                        | 6.45  | 3                          | 2.48  | 8                              | 10.13 |
| (24,26]    | 10                       | 15.15 | 4                        | 4.30  | 1                          | 0.83  | 4                              | 5.06  |
| (26,28]    | 4                        | 6.06  | 0                        | 0     | 0                          | 0     | 1                              | 1.27  |
| (28,30]    | 0                        | 0     | 0                        | 0     | 1                          | 0.83  | 1                              | 1.27  |

#### 3.3.2 林分垂直结构

对各经营密度的林分的树高按 1m 的级距进行划分统计,结果表明(见表 6),不同经营密度的林分中,植株树高由低到高的植株数量均表现为先上升后下降的规律。经营密度 550 株·hm<sup>-2</sup>的林分中

的高大植株比例要低于其他经营密度的林分,该密度不利于杉木的高生长;经营密度 750 株·hm<sup>-2</sup>的林分中高大植株的比例较大,该密度有利于林木高生长。由此可知,合理的经营密度可以促进杉木高生长。

表 6 密度调控林分垂直结构

| 树高(m)   | 550(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 750(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 000(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 200(CK)(株·hm <sup>-2</sup> ) |       |
|---------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|         | 株数                       | 比例(%) | 株数                       | 比例(%) | 株数                         | 比例(%) | 株数                             | 比例(%) |
| (5,6]   | 1                        | 1.52  | 1                        | 1.08  | 3                          | 2.48  | 2                              | 2.53  |
| (6,7]   | 3                        | 4.55  | 0                        | 0     | 4                          | 3.31  | 3                              | 3.80  |
| (7,8]   | 5                        | 7.58  | 1                        | 1.08  | 11                         | 9.09  | 4                              | 5.06  |
| (8,9]   | 10                       | 15.15 | 1                        | 1.08  | 26                         | 21.49 | 14                             | 17.72 |
| (9,10]  | 24                       | 36.36 | 2                        | 2.15  | 35                         | 28.93 | 23                             | 29.11 |
| (10,11] | 20                       | 30.30 | 5                        | 5.38  | 15                         | 12.40 | 21                             | 26.58 |
| (11,12] | 3                        | 4.55  | 6                        | 6.45  | 17                         | 14.05 | 9                              | 11.39 |
| (12,13] | 0                        | 0     | 8                        | 8.60  | 9                          | 7.44  | 2                              | 2.53  |
| (13,14] | 0                        | 0     | 19                       | 20.43 | 1                          | 0.83  | 1                              | 1.27  |
| (14,15] | 0                        | 0     | 23                       | 24.73 | 0                          | 0     | 0                              | 0     |
| (15,16] | 0                        | 0     | 20                       | 21.51 | 0                          | 0     | 0                              | 0     |
| (16,17] | 0                        | 0     | 6                        | 6.45  | 0                          | 0     | 0                              | 0     |
| (17,18] | 0                        | 0     | 1                        | 1.08  | 0                          | 0     | 0                              | 0     |

#### 3.3.3 林分材积结构

对各经营密度的林分的单株材积按 0.05 m<sup>3</sup> 的级距进行划分统计,结果表明(见表 7),不同经营密度的林分中,单株材积由低到高的植株数量均表现为先上升后下降的规律。在各经营密度的林分中,单株材积 >0.25 m<sup>3</sup> 的植株比例各有差异,其中 550

株·hm<sup>-2</sup>的林分中占 48.49%,750 株·hm<sup>-2</sup>的林分中占 23.66%,1 000 株·hm<sup>-2</sup>林分中占 11.58%。随着经营密度的增大,林分中的中小材积植株的比例增高,大材积的植株的比例降低,这表明低密度有利于培育大径材植株,而高经营密度有利于培育中小径材植株。

表7 密度调控林分材积结构

| 材积<br>(m <sup>3</sup> ) | 550(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 750(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 000(株·hm <sup>-2</sup> ) |       | 1 200(CK)(株·hm <sup>-2</sup> ) |       |
|-------------------------|--------------------------|-------|--------------------------|-------|----------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|                         | 株数                       | 比例(%) | 株数                       | 比例(%) | 株数                         | 比例(%) | 株数                             | 比例(%) |
| (0.00,0.05]             | 0                        | 0     | 2                        | 2.15  | 0                          | 0     | 1                              | 1.27  |
| (0.05,0.10]             | 1                        | 1.52  | 7                        | 7.53  | 13                         | 10.74 | 7                              | 8.86  |
| (0.10,0.15]             | 3                        | 4.55  | 18                       | 19.35 | 37                         | 30.58 | 21                             | 26.58 |
| (0.15,0.20]             | 12                       | 18.18 | 29                       | 31.18 | 39                         | 32.23 | 24                             | 30.38 |
| (0.20,0.25]             | 18                       | 27.27 | 15                       | 16.13 | 18                         | 14.88 | 10                             | 12.66 |
| (0.25,0.30]             | 13                       | 19.70 | 8                        | 8.60  | 7                          | 5.79  | 7                              | 8.86  |
| (0.30,0.35]             | 8                        | 12.12 | 9                        | 9.68  | 3                          | 2.48  | 7                              | 8.86  |
| (0.350,0.40]            | 6                        | 9.09  | 4                        | 4.30  | 3                          | 2.48  | 0                              | 0     |
| (0.40,0.45]             | 4                        | 6.06  | 1                        | 1.08  | 0                          | 0     | 1                              | 1.27  |
| (0.45,0.50]             | 1                        | 1.52  | 0                        | 0     | 1                          | 0.83  | 1                              | 1.27  |

## 4 讨论

本研究中,杉木人工林经密度调控后,低密度经营林分的胸径、树高、材积生长量显著高于高密度经营林分,且低密度经营林分的高径比较小,其树干更饱满,但低密度经营不利于林分自然整枝。这与前期诸多研究结果基本一致<sup>[7,9]</sup>,张鹏和龙忠于等研究发现,随着对杉木林间伐强度增大,林分的胸径、蓄积生长加快,但对树高的影响不显著。马履一等<sup>[4]</sup>对油松按不同强度间伐试验表明,间伐后第6年,油松林的各项生长指标均表现为强度间伐>中度间伐>弱度间伐>对照。

适宜的林分经营密度(750株·hm<sup>-2</sup>)能够增加杉木人工林灌草层的物种丰富度,而林分密度过高(1 200株·hm<sup>-2</sup>)或过低(550株·hm<sup>-2</sup>)均降低了灌草层的物种丰富度,不利于林下植被演替发育。在低经营密度林分中,灌木和草本植物的物种多样性指数和均匀度指数都高于高经营密度林分,低经营密度林分使林下植物的群落复杂程度和物种个体分配均匀度更优异,这与王晓蓉<sup>[3]</sup>、孙楠<sup>[19]</sup>的研究结论相似。王晓蓉<sup>[3]</sup>研究显示马尾松林分密度的降低均在一定程度上促进林下生物多样性增加。孙楠等<sup>[19]</sup>研究经营密度对蒙古栎次生林生物多样性结果显示,经营密度600株·hm<sup>-2</sup>以下的林分,草本植物和灌木植物的群落复杂程度高,物种个体分配均匀。本研究结果中,杉木林经营密度750株·hm<sup>-2</sup>的林分中草本植物物种多样性较好,物种个体配置较均匀,表明该密度有利于草本植物演替发育,这与孙冬婧等<sup>[19]</sup>结果相似,孙冬婧开展近自然化改造对杉木人工林物种多样性研究结果显示草本层的物种多样性在中等间伐强度(55%)林分中最高。

杉木人工林经密度调控后,不同经营密度的林分中,胸径、树高、材积等3性状的不同级别的植株从小到大出现的比例呈现先上升后下降的趋势;随着林分的经营密度的增大,林分中的大径级植株的

比例逐步降低;合理密度(750株·hm<sup>-2</sup>)有利于林分树高生长;低密度有利于培育大径材植株,而高经营密度有利于培育中小径材植株。

## 参考文献:

- [1] 邓宝珍.生态型林地清理对杉木生长及物种多样性的影响[J].林业科技开发,2007,21(5):32~34.
- [2] 陈龙池,汪思龙,陈楚莹.杉木人工林衰退机理探讨[J].应用生态学报,2004,15(10):1953~1957.
- [3] 王晓蓉,刘学全,唐万鹏,等.丹江口湖北库区不同调控密度马尾松人工林林分特征[J].西南林业大学学报,2014,34(06):16~23.
- [4] 马履一,李春义,王希群,等.不同强度间伐对北京山区油松生长及其林下植物多样性的影响[J].林业科学,2007,(5):1~9.
- [5] 田小琴,韦小丽.修枝和密度调控对猴樟人工林水分运输及消耗的影响[J].贵州科学,2017,35(06):21~24.
- [6] 邵英男,田松岩,刘延坤,等.密度调控对长白落叶松人工林土壤呼吸的影响[J].北京林业大学学报,2017,39(06):51~59.
- [7] 张鹏,王新杰,韩金,等.间伐对杉木人工林生长的短期影响[J].东北林业大学学报,2016,(2):6~10,14.
- [8] 吉灵波,舒德伟.杉木林分密度对林分生长的影响研究[J].林业调查规划,2017,42(05):135~137.
- [9] 龙忠于,周开德,王华东.不同间伐强度对杉木人工林林分生长的影响[J].湖南林业科技,2016,43(05):104~108.
- [10] 洪伟,吴承祯.杉木人工林种群密度与生长规律研究[J].福建林学院学报,2001,(4):293~296.
- [11] 曹小玉,李际平.福寿林场杉木人工林林下植物物种多样性研究[J].西北林学院学报,2014,(3):57~61.
- [12] 詹桂尧.不同间伐强度对杉木人工林林下植物多样性的影响[J].安徽农学通报,2017,(16):111~116.
- [13] 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,(5):463~471.
- [14] 洪玲霞.初植密度、间伐对杉木林分优势高生长过程的影响[J].林业科学研究,1997(04):109~113.
- [15] 刘佳.抚育间伐对杉木人工林碳储量的影响[D].西北农林科技大学,2014.
- [16] 巢林,洪滔,李键,等.不同林龄、径级杉木人工林种内竞争规律[J].浙江农林大学学报,2015,(3):353~360.
- [17] 段爱国,ZHANG Jian-guo,何彩云,et al.杉木人工林生物量变化规律的研究[J].林业科学研究,2005,(2):125~132.
- [18] 段爱国,张建国,童书振,等.杉木人工林林分断面积分布规律的研究[J].福建林学院学报,2006,(3):247~252.
- [19] 孙楠,邢亚娟.经营密度对蒙古栎次生林植物多样性的影响[J].林业科技,2018,43(05):1~3+32+64.
- [20] 孙冬婧,温远光,罗应华,等.近自然化改造对杉木人工林物种多样性的影响[J].林业科学研究,2015,28(02):202~208.