林业科学研究 2014,27(5):626～630
Forest Research

文章编号:1001-1498(2014)05-0626-05

杉木人工林自然整枝进程研究

孙洪刚[1], 张建国[2*], 段爱国[2]

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所,浙江 富阳 311400; 2. 国家林业局林木培育重点实验室,中国林业科学研究院林业研究所,北京 100091)

摘要:利用25年定位观测数据来阐明杉木人工林的自然整枝规律。研究结果表明:造林密度越大,杉木人工林自然整枝发生的时间越早,自然整枝强度也越大;当林木树冠比率(树冠长度/树高)降低到0.40时,不同造林密度小区的树冠比率降低幅度明显减小;当林木树冠比率减小到0.30时,发生林分自疏,且不受造林密度和林木死亡率的影响;在杉木人工林开始自然整枝但尚未进入到林分自疏阶段时,不同造林密度小区的树冠宽度/树冠长度比值均迅速上升;在林分自疏早期阶段,树冠宽度/树冠长度上升速率明显减缓;在林分自疏后期林木死亡率明显增大的条件下,树冠宽度/树冠长度又再次迅速上升,树冠形态的变化表现出明显的密度效应,但在自然整枝的整个过程中,树冠宽度/树冠长度均小于1;在杉木人工林自然整枝过程中,同化物质在林木生长过程中的分配模式发生改变,从而出现林木的干形指标(树高/胸径)随着自然整枝强度增大而减小的变化规律。

关键词:杉木;自然整枝;造林密度;林分自疏;干形

中图分类号:S791.27 **文献标识码**:A

Study on the Self-pruning of Chinese Fir Plantation

SUN Hong-gang[1], *ZHANG Jian-guo*[2], *DUAN Ai-guo*[2]

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400, Zhejiang, China; 2. Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Research Institute of Forestry, hinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract: The data of 25 years' positional observation were used to investigate the effects of self-pruning on Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantations. The study examined five initial density levels (2m×3m, 2m×1.5m, 2m×1m, 1m×1.5m, and 1m×1m) with three replications at each level based on the randomized block design. The higher the initial planting density, the sooner the self-pruning happened and the higher the self-pruning intensity was. While living crown ratio (CL/TH) decreased to 0.4, the CL/TH ratio fluctuation tended to a constant. When the CL/TH ratio decreased to 0.3, the self-thinning happened, regardless the initial planting density and mortality. When self-pruning happened, the ratio of tree crown width to the living crown height (CW/CH) rapidly increased, then slowly increased during the early self-thinning and increased rapidly again during the late self-thinning. However, the CW/CH ratio was always below 1. Allocation pattern with assimilation matter changed when self-pruning happened, and stem form index (H/D) decreased when the living crown ratio increased.

Key words: *Cunninghamia lanceolata*; self-pruning; initial planting density; self-thinning; stem form

人工修枝(green pruning)是速生用材林培育重要措施之一,在促进林木生长、改善树木干形和提高木材材质等方面均具有显著作用[1-3]。目前,世界上主要速生用材树种,如桉属(*Eucalyptus* L. Herit)、

收稿日期:2013-07-25
基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(RISF6158)
作者简介:孙洪刚(1976—),男,吉林通化人,副研究员,博士,主要从事森林培育研究.
* 通讯作者:研究员,博士生导师,主要从事森林培育、土壤学和分子生态学研究. zhangjg@caf.ac.cn

栎属(*Quercus* L.)、松属(*Pinus* Linn)和云杉属(*Picea Dietr.*)中的大部分树种,在自然整枝规律以及人工修枝技术模式构建等方面的研究都已很充分并用于指导用材林培育实践[4-8]。如 Mäkinen 对欧洲赤松(*P. sylvestris* L.)幼龄林发生自然整枝时的密度效应进行研究发现:随着造林密度增加,树冠下部枝条死亡率增高,树冠长度和树冠投影面积均下降,并依据林分材积生长速率确定了幼龄林修枝强度和造林密度的最佳组合[9]。O'Hara 研究修枝对花旗松(*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco)的影响表明:尽早、高强度修枝可以促进心材的生长,增加树干的通直度和圆满度,提高树枝残桩(stub)愈合几率,但可能会降低林木生长速率[10]。

目前,我国对杉木(*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、福建柏(*Fokienia hodginsii* (Dunn) Henry et Thomas)、红松(*P. koraiensis* Sieb. et Zucc)和欧美杨 107 号(*Populus* × *euramericana* cv. '74/76')等用材林树种,已开展部分关于林分修枝效应的研究[11-16],其中对杉木人工林的修枝效应研究相对比较完善。如段爱国等[12]按照不同树冠长度比例对 7 年生杉木幼龄林进行人工修枝研究表明:30% 强度修枝可以促进杉木树高和胸径的生长,修枝强度超过 40% 时会显著抑制杉木的生长。程朝阳[13]按照修除枝条基径大小作为修枝强度标准,对 5 年生杉木人工林进行修枝效应的研究发现:杉木 8 年生前林分的保留密度对杉木生长无显著影响;不同修枝强度对杉木生长造成显著影响,随着修枝强度的增大,杉木的树高、胸径和冠幅生长都显著下降,考虑到修枝效果和杉木生长两方面因素,以 10 cm 的修枝强度为最好。张群[14]也按照修除枝条基径大小作为修枝强度标准,对 15 年生杉木人工林进行不同强度修枝试验的结果表明:人工修枝可以促进生长,提高无节材比例,降低幼龄材比例等,但修枝强度较大时,会抑制杉木的树高、胸径和材积生长,延缓杉木的数量成熟时间,降低杉木木材密度和冲击韧性等木材物理力学指标。

但必须指出:上述研究主要强调林分的修枝效应,对林分生长阶段、培育措施以及树种本身生物学特性对生长、干形和材性的影响等方面则重视不足。事实上,任何定向培育模式的构建必须以目的树种的生长特性为基础,并辅以最佳培育技术才有可能实现培育目标。对人工林修枝而言,首先要清楚人工林经营树种的自然整枝规律才可能科学地确定其修枝模式。杉木是我国南方最重要的造林树种之一,生长速度快,林木竞争发生时期早,且具有一定的宿存枯枝的特性,高密度造林有利于自然整枝,培育尖削度小、材质优良的林木,但高密度林分中的林木间过早竞争,单木生长受到限制,不利于大径材的培育,而修枝有助于缓解林分竞争,加速林分生长且有利于无节良材的形成。因此,本研究对不同造林密度下的杉木人工林自然整枝规律进行研究,旨在为通过密度调控或修枝措施来培育符合利用目标的杉木木材提供理论依据和技术指导。

1　试验地概况

试验区设置在江西省分宜县中国林业科学研究院亚热带林业实验中心年珠林场场部后山,属罗霄山脉北端的武功山支脉,地理坐标为 27°34″N,114°33″E,海拔高度 250 m。气候温暖湿润,属南亚热带季风湿润区,年平均气温 15.8 ~ 17.7℃;7 月份月平均气温最高,为 28.8℃,日最高温度 39.9℃;1 月份为平均气温最低,为 -5.3℃,日最低温度 -8.3℃;年平均日照时数为 1 657 h,最高为 2 047 h,最低为 1 378 h,日照百分率为 37%。年平均太阳总辐射为 48 616 kJ · cm^{-2}。年平均蒸发量约为 1 503 mm,最多为 1 771 mm,最少为 1 274 mm。年平均降水量为 1 591 mm,最多为 2 228 mm,最少为 1 070 mm。年平均无霜期为 265 d。本区属地带性低山丘陵红壤、黄壤类型及其亚类的分布区。

2　材料与方法

2.1　试验设计

1981 年春天采用 1 年生杉木裸根苗营造试验林。造林后,通过成活率调查,对死亡的苗木,用同龄苗在当年冬或翌年春进行补植。造林后的前 3 年,每年夏、秋各砍除林下杂草 1 次。以后没有实施任何培育措施。试验采用随机区组设计,由 2 m × 3 m(A)、2 m × 1.5 m (B)、2 m × 1 m (C)、1 m × 1.5 m (D)、1 m × 1 m (E) 5 种密度组成一个区组,重复 3 次,共 15 个小区,分别记为(A_1、A_2、A_3,B_1、B_2、B_3,…,E_1、E_2、E_3),每个小区面积均为 600 m^2。在每个小区周围各栽植 2 行同样密度的杉木作为保护带。对每株林木进行挂牌观测。杉木 2 ~ 5 年生时,每年停止生长后,测定树高、胸径;6 年生开始,除每木检尺外,在每个小区内采用机械抽样法,测定 100 株杉木的树高、冠径和枝下高、林分平均高和平均胸径;每个小区选 6 株优势

木用来计算立地指数。林分达10年生后,改为2年调查1次,树高,冠径和枝下高改测50株。样地基本统计数据见表1。

表1 样地基本数据

林分因子	平均值	标准差	最小值	最大值
林分密度/(株·hm^{-1})	3 452	1 326	1 633	5 433
胸径/cm	16.15	3.16	13.82	21.70
树高/m	16.02	3.11	13.53	21.67
树冠比率	0.28	0.07	0.17	0.41

2.2 指标和数据分析

以林木树冠比率(树冠长度/树高)作为林分自然整枝强度指标;自然整枝过程中树冠圆满度以树冠宽度/树冠长度比值表示;林木干形变化采用树高/胸径比值表征。利用SPSS 18.0软件进行数据单因素方差分析和显著性比较。

3 结果与分析

3.1 不同造林密度下的自然整枝规律

当杉木林分发生自然整枝时,造林密度越大,由林木间竞争导致的自然整枝强度也越高,林木树冠比率(树冠长度/树高)下降的程度越大,表现出强烈的密度效应;但当树冠比率下降到一定程度时,不同造林密度小区的树冠比率下降趋势明显减弱且基本保持不变,造林密度大的小区其树冠比率相对较小(图1)。具体表现在:在林龄5 a时,造林密度最小的A密度小区自然整枝强度最小,树冠比率为0.93,随着造林密度的增加,自然整枝强度也越大,B、C、D和E密度小区的树冠比率分别为A密度小区的1.01、1.05、1.08和1.20倍。而对于任一密度小区而言,在自然整枝开始后,随着林龄增长,自然整枝强度也有所加强,当树冠比率降低到一定程度后,基本固定在某一数值上。在本研究中,不同造林密度小区树冠比率大于0.40时,树冠比率差异显著($p<0.001$)。但当树冠比率小于0.40以后,各密度小区的树冠比率基本保持不变且差异不显著($p=0.07$),只是不同密度小区树冠比率降到0.40时的林龄有所差异,其中A密度小区树冠比率减低到0.40时的林龄为15 a;B和C密度小区为11 a,D密度小区为9 a,E密度小区为8 a。因此,基于杉木人工林自然整枝进程中树冠比率减小进程,可以判定林分是否处于自然整枝状态。

3.2 林分自疏对自然整枝进程的影响

林分自疏的发生导致杉木人工林密度降低,这在一定程度上缓解了存活木林冠生长的空间限制,

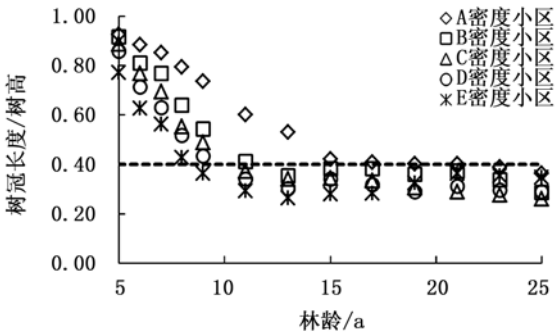

图1 杉木人工林自然整枝动态

从而改变了自然整枝的进程(图2)。已有研究表明:杉木人工林在林木死亡率达到2%时,即开始林分自疏[17]。在杉木人工林没有发生林分自疏时,林木树冠比率(树冠长度/树高)随着造林密度增大而减小,表现出明显的密度效应;随着自然整枝进程的深入,各密度小区的树冠比率进一步迅速降低,A、B、C、D和E密度小区的树冠比率在林分自疏发生

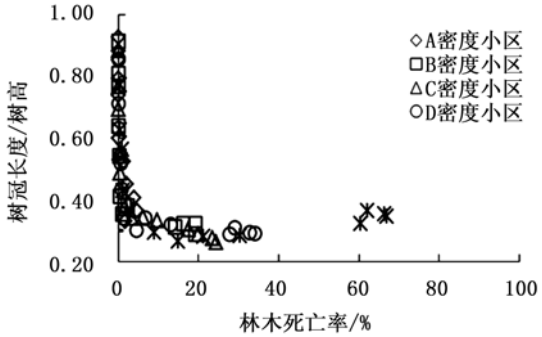

图2 林分自疏与自然整枝的关系

前分别为0.59、0.38、0.37、0.34和0.32,仍然表现出造林密度越大树冠比率越小的趋势;当林木死亡率超过2%发生林分自疏时,不同林分密度小区的树冠比率围绕0.30上下变动,且不随林木死亡率增大而表现出任何变化趋势。值得指出的是,E密度小区在林分死亡率为30%时,树冠比率为0.29;在林木死亡率超过60%时,树冠比率迅速增加到0.36以上,明显偏离0.30,但这并不是林分自疏导致,而是该小区在1998年遭受严重雪灾造成的杉木人工林的非密度依赖死亡,从而出现了与上述规律不符的变化趋势。在林分自疏发生后林木死亡率不断增大的情况下,树冠比率并没有表现出显著增大或降低的变化趋势,而是一直围绕0.30上下变动,这一结论可以作为判定杉木人工林是否发生林分自疏的理论依据。

3.3　自然整枝进程中树冠形态的变化规律

在杉木人工林自然整枝过程中,杉木树冠圆满度(树冠宽度/树冠长度)呈现有规律的变化,且与造林密度和林分自疏进程关系密切(图 3)。在开始自然整枝至林分自疏发生前,不同造林密度小区的树冠宽度/树冠长度比值均快速上升,且造林密度越小,比值上升速率越大;林分自疏发生时,B、C、D 和 E 4 个密度小区的树冠宽度/树冠长度比值分别为 0.64、0.61、0、57 和 0.54,仍然表现出随造林密度增大树冠宽度/树冠长度比值增大的趋势;在杉木林分自疏的早期,随着林木死亡率不断增加,各小区的树冠宽度/树冠长度比值也有所增加,但增加幅度均有所降低,B、C、D 和 E 4 个密度小区的比值分别为 0.70、0.64、0.61 和 0.59;在此后的林分自疏进程中,不同密度小区的树冠宽度/树冠长度比值又再次表现出快速上升的趋势,且造林密度越大,树冠宽度/树冠长度比值上升的速度也越大,B、C、D 和 E 4 个密度小区的比值分别为 0.87、0.90、0.92 和 0.96。在这一过程中,树冠宽度/树冠长度比值变化基本上表现出快—慢—快的规律,且不论任何生长阶段,树冠宽度/树冠长度比值均小于 1。这一现象的出现主要与杉木林分内单木间树冠伸展空间受限有关:在杉木林分郁闭但尚未发生林分自疏时,各单木树冠间相互遮蔽导致树冠下部枝条逐渐枯死脱落,树冠长度变小,而着生于树冠中部的较长枝条没有受到遮蔽而继续生长使冠幅进一步增加,从而导致树冠宽度/树冠长度比值增大;但随着林冠相互遮蔽的程度不断加剧,林木为获得尽可能多的光照,主梢生长加速导致树冠长度变长,而树冠中部较长枝条则由于树冠间遮蔽程度增加而出现不同程度的枯死和脱落,树冠宽度/树冠长度比值增加幅度逐渐减小;当杉木林分自疏发生后,被压木死亡为存活木树冠水平伸展又提供了较大的生长空间,尤其是造林密度越大的林分由于其林木死亡也率越大,树冠水平伸展加速,相应的树冠宽度/树冠长度比值也越大。

3.4　自然整枝进程中林木干形变化规律

随着杉木人工林自然整枝强度增大,杉木树干的干形也呈现有规律的变化,具体表现在树高/胸径比值随着树冠比率(树冠长度/树高)的增大而逐渐减小(图 4)。当杉木的树冠长度/树高比值超过 0.30 时,即开始林分自疏,被压木死亡所形成的林隙使得存活木树冠的水平伸展获得更大的空间,处于树冠下部的枝条也可获得较多光照,可以生产更多的同化物质来保证林木生长需要。已有研究表明:通过光合作用生产的同化物质将优先供应枝条着生部位并向树干基部运输[18],同化物质的这一分配模式使得林分径向生长加速,而树高生长由于同化物质供应不足而放缓,并导致树高/胸径比值随着自然整枝强度增加而逐渐降低。自然整枝强度增加导致同化物质分配模式的改变,并最终影响林木干形的变化这一规律表明:可以通过调节林木间自然整枝强度来改变同化物质的分配方式,从而控制林木干形的生长。

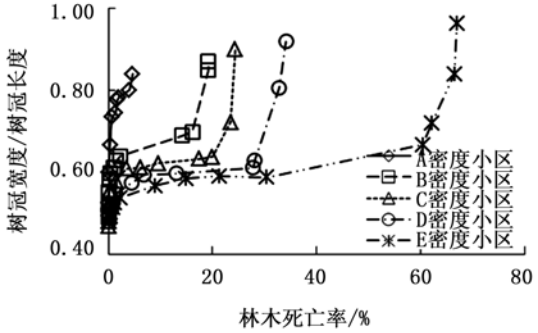

图 3　自然整枝过程中树冠形态变化规律

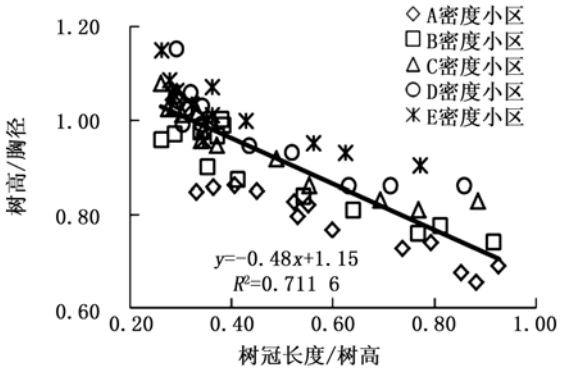

图 4　自然整枝过程中林木干形变化规律

4　结论

当杉木林分内各单木的生长空间受限和可利用资源不足时,林木树冠下部枝条逐渐枯死和脱落导致林分开始自然整枝。在这一过程中,造林密度越大,林木间为争夺可利用资源的竞争程度越高,自然整枝出现的时间越早,自然整枝强度也越大。但当杉木树冠比率(树冠长度/树高)降低到 0.40 以后,造林密度对自然整枝的作用强度明显减弱,不同杉木密度小区的树冠比率基本围绕某一固定值变动。因此,对杉木人工林而言,修枝后的树冠比率必须控制在 0.40 以下才有可能缓解林分密度对杉木生长的影响。

在杉木人工林自然整枝发生后,树冠比率不断减小。当杉木人工林发生林分自疏后,虽然林木死亡率不断增加,但树冠比率在0.30上下进行变动,并不随自疏进程发生变化。因此,根据杉木人工林的树冠比率可以判定杉木人工林是否处于林分自疏阶段。

在杉木人工林开始自然整枝但尚未进入到林分自疏阶段时,不同造林密度小区的树冠圆满度(树冠宽度/树冠长度)均迅速上升;在林分自疏阶段早期,由于林分内单木间高强度的竞争,树冠宽度/树冠长度比值上升速率明显减缓;在林分自疏后期林木死亡率明显增大的条件下,树冠宽度/树冠长度比值又再次迅速上升,树冠形态的变化表现出明显的林分密度效应。但在杉木人工林自然整枝的整个过程中,林木树冠宽度/树冠长度比值均小于1。

杉木人工林自然整枝过程中,枝条的枯死脱落以及林分自疏的发生,使得同化物质在林木生长过程中的分配模式发生改变,从而出现林木的干形指标树高/胸径比值随着自然整枝强度增大而减小的变化规律。

参考文献:

[1] Cornelius J P. The effectiveness of pruning in mitigating *Hypsipyla grandella* attack on young mahogany (*Swietenia macrophylla* King) trees [J]. Forest Ecology and Management, 2001, 148(1-3): 287-289.

[2] Douglas G P, Bell F W. Effects of stand tending on the estimation of aboveground biomass of planted juvenile white spruce [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2004, 34(3): 649-658.

[3] Smith R G B, Dingle J, Kearney D, *et al*. Branch occlusion after pruning in four contrasting sub-tropical eucalypt species [J]. Journal of Tropical Forest Science, 2006, 18(2): 117-123.

[4] Luckhofhf A. Pruning of *Eucalyptus grandis* [J]. Forestry in South Africa, 1967, 8: 75-85.

[5] Majidn M, Paudyabl K. Pruning trial for *Acacia mangium* Wild. plantation in Peninsular Malaysia [J]. Forest Ecology and Management, 1992, 47(1-4): 285-393.

[6] Reichp B, Waltersm B, Krauses C, *et al*. Growth, nutrition and gas exchange of *Pinus resinosa* following artificial defoliation [J]. Trees, 1993, 7(2): 67-77.

[7] Uotila A, Mustonen S. The effect of different levels of green pruning on the diameter growth of *Pinus sylvestris* L. [J]. Scandinavian Journal of Forestry Research, 1994, 9(1-4): 226-232.

[8] Makella A. A carbon balance model of growth and self - pruning in trees based on structural relationships [J]. Forest Science, 1997, 43(1): 7-23.

[9] Mäkinen H. Growth, suppression, death, and self-pruning of branches of Scots pine in southern and central Finland [J]. Canadian Journal of Forest Research, 1999, 29(4): 585-594.

[10] O'Harak K L. A biological justification for pruning in coastal Douglas fir stands [J]. Western Journal of Applied Forestry, 1991, 6(3): 59-63.

[11] 黄 冶,袁玉峰,孔红娃. 修枝对红松人工林林木生长和木材力学性质的影响 [J]. 东北林业大学学报,2002,30(1): 76-77.

[12] 段爱国,赵世荣,章允清,等. 杉木中密度幼林光环境与生长修枝效应[J]. 福建林学院学报,2009,29(4):340-344.

[13] 程朝阳. 杉木人工林无节材培育技术研究 [J]. 林业科学研究,2005,18(5): 530-534.

[14] 张 群. 人工修枝对提高杉木木材质量影响的研究[D]. 北京:中国林业科学研究院,2011.

[15] 肖祥希. 修枝对福建柏林分生长及无节材形成的影响 [J]. 林业科学研究,2005,18(1):22-26.

[16] 陈森锟,尹伟伦,刘晓东,等. 修枝对欧美107杨木材生长量的短期影响 [J]. 林业科学,2008,44(7):130-135.

[17] Sun H, Zhang J, Duan A, *et al*. Estimation of the self-thinning boundary line within even-aged Chinese fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) stands: Onset of self-thinning [J]. Forest Ecology and Management, 2011, 261(6): 1010-1015.

[18] Bouvet J, Vigeron P, Saya A. Phenotypic plasticity of growth trajectory and ontogenic allometry in response to density for eucalyptus hybrid clones and families [J]. Annals of Botany, 2005, 96(5): 811-821.