

文章编号: 1000-5692(1999)02-0145-06

江苏里下河地区池杉造林密度模型的研究

周林, 傅先义, 张正跃, 马以秀, 朱国生

(江苏省建湖县林牧业局, 江苏建湖 224700)

摘要: 采用 6 种不同密度配置方式营造池杉林, 经过 14 a 的跟踪调查, 并对各种密度配置方式林分的平均胸径、平均树高、平均单株材积、单位面积蓄积生长量、经济材积、经济出材率、木材总产值、成本、间作物纯收入、总利润进行比较分析。研究结果表明: 6 种不同密度的林分以密度 $1\ 666 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距 $1.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$) 的林地综合经济效益最高, 平均每公顷每年可获(木材+间作)纯收入 2 024 元, 比密度 $1\ 666 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距 $2.0 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$) 的林地综合经济效益提高 5.9%, 比其他密度林地的综合经济效益提高 23.2%~53.1%。表 6 参 7

关键词: 池杉; 造林密度; 模型

中图分类号: S725.6 **文献标识码:** A

池杉 (*Toxodium ascendens*) 原产北美东南部沿海, 19 世纪 20 年代初由原农商部林业元勋韩安先生引入河南省信阳地区鸡公山林场, 70 年代后期江苏开始引种池杉。由于该树种具有较耐湿的生物学特性, 所以, 自 80 年代以来, 江苏里下河地区发展很快, 已取代了水网地区原有的枫杨 (*Pterocarya stenoptera*) 和大部分柳树 (*Salix*)。因池杉引种栽培历史短, 前期栽培缺乏密度依据, 加之池杉干形直、树冠小, 人们往往靠经验造林, 致使多数林分密度偏大, 成材周期加长。为给生产实践提供合理造林密度依据, 准确评价不同密度造林效果, 对池杉造林密度规律、经营技术进行系统研究显得十分必要和迫切。其目的是正确了解池杉不同密度所形成的群体以及组成该群体的个体之间的相互作用规律以及不同密度林分的生态条件及间作物产量的关系^[1~2], 探索出池杉速生丰产栽培技术和间作经营技术, 以提高林地综合效益。

1 试验模型设计及造林地概况

试验采用 6 种密度。A: $10\ 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距 $1.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$); B: $6\ 666 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距为 $1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$); C: $5\ 000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距为 $1.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$); D: $3\ 333 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$

收稿日期: 1998-05-18; 修回日期: 1998-10-26

作者简介: 周林(1962—), 男, 江苏建湖人, 工程师, 从事森林培育研究。

(株行距为 $1.5\text{ m} \times 2.0\text{ m}$); E: $1666\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距为 $1.5\text{ m} \times 4.0\text{ m}$); F: $1666\text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ (株行距为 $2.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$)。随机区组排列, 重复3次, 小区面积为 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$, 总面积 3 hm^{-2} 。池杉作保护行。

试验地位于建湖县近湖乡近湖村, $33^{\circ}29'N$, $119^{\circ}48'E$ 。土壤为沼泽土, pH 7.3, 有机质含量为 2.3%, 全氮量 0.14%, 速效磷质量分数 3.2×10^{-6} , 速效钾质量分数 95×10^{-6} , 造林前为农田。常年地下水位 0.6 m。1983 年春季造林, 苗木为湖北省洪湖县小港农场调进的池杉种子育成。造林苗为 1 年生, 苗高 80 cm 左右, 地径 $0.8 \sim 1.1\text{ cm}$ 。

造林后每年 10 月调查树高、胸径及冠幅, 同时, 对间作物产量进行实测, 并就环境因子及生物量作了专题测定分析。

2 试验研究成果

2.1 不同造林密度对池杉胸径、树高和材积的影响

试验结果: 14 年生 6 种不同造林密度的林分平均胸径随造林密度的递减而递增(表 1), 经方差分析和 Duncan 检验, 不同造林密度林分之间在胸径生长方面存在极显著差异。A, B 及 B, C, D 与 E, F 差异显著, 而 A, B 之间, B, C, D 之间及 E, F 间差异不显著。

表 1 不同初植密度 14 年生池杉林分生长状况

Table 1 Growth indexes of 14-year-old stands

初植密度 $/\text{株} \cdot \text{hm}^{-2}$	配置方式 ($\text{m} \times \text{m}$)	平均胸径 $/\text{cm}$	平均树高 $/\text{m}$	平均材积 $/\text{m}^3$	林分蓄积量 $/\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$
10 000	1.0×1.0	9.2	8.9	0.033 4	334.1
6 666	1.0×1.5	10.3	9.1	0.040 1	279.6
5 000	1.0×2.0	10.9	10.3	0.052 5	262.9
3 333	1.5×2.0	12.4	11.4	0.072 1	240.2
1 666	1.5×4.0	14.3	12.1	0.104 0	173.3
1 666	2.0×3.0	14.6	12.2	0.108 7	181.1

表 1 表明, 14 年生 6 种不同造林密度的林分平均树高随密度的减少而增加, 其相对增加幅度小于胸径增加幅度。经方差分析和 Duncan 检验, 不同造林密度林分的树高生长也存在极显著差异。即 A, B 与 C, C 与 D, E, F 存在显著差异, 而 A, B 之间, D, E, F 之间差异不显著。分析其原因, 树高差异与林地的间作年限有关。因为间作时间长短可以引起土壤肥力变化。

密度对材积影响包括 2 个方面, 即单株材积和林分蓄积量。试验处理之间在单株立木材积方面存在极显著差异。方差分析和 Duncan 检验, 不同密度对其单株立木材积的差异显著性与其对胸径生长差异显著性表现完全一致。林分单位面积蓄积量取决于单株材积和单位面积立木株数。就 14 年生池杉人工林来说, 蓄积量是随密度的增加而增加。密度较小的林分, 虽然单株立木材积较大, 但单位面积株数较少, 总蓄积量仍然较低。

2.2 不同造林密度林分的生态条件与间作物产量的关系

2.2.1 不同密度林分的小气候因子变化情况 由表 2 可见, 4 年生池杉林内的辐射强度随密度的增加而下降, 林木发叶前林内的辐射强度比空旷农田随不同密度下降 $2.0\% \sim 11.0\%$;

林木展叶后，则下降 8.3%~36.0%。林内外相对湿度在发叶前后分别相差 2.0%~13.0% 及 6.3%~9.8%，不同密度林分间相差 3.0%~11.0% 及 0.6%~3.5%。

表 2 4 年生不同密度池杉林内及农田小气候因子的日平均值

Table 2 Mean values of meteorological factors in different density stands at 4-year-old

林分密度 /株	配置方式 (m×m)	发叶前			展叶后		
		辐射强度 /W·m ⁻²	气温 /℃	相对温度 /%	辐射强度 /W·m ⁻²	气温 /℃	相对湿度 /%
10 000	1.0×1.0	630	13.5	56.0	473	22.1	65.5
6 666	1.0×1.5	652	13.5	59.0	520	22.0	66.8
5 000	1.0×2.0	670	13.6	64.0	575	21.9	68.0
3 333	1.5×2.0	675	13.8	58.0	590	21.8	64.5
1 666	1.5×2.0	698	13.8	53.0	680	21.9	65.1
1 666	2.0×3.0	692	13.6	58.0	640	21.9	65.8
农田	—	706	14.1	51.0	742	22.2	58.2

说明: 数据由南京林业大学森林生态教研室师生于 1987 年 4 月 3 日和 1987 年 9 月 7 日测定

林分密度决定了林分中林木个体所占据的营养空间大小，直接影响林木本身的生长发育，同时对林下间作物产量产生影响，反映在上层林木和林下间作物之间对生长空间的竞争程度。

2.2.2 不同密度林分间作产量比较 由表 3 可见，4 年生的池杉林内，随着密度的增加，林下小麦产量减产率为 6.1%~65.0%。林木展叶后林内辐射强度的减弱，使小麦灌浆—成熟期内干物质积累减少，是造成减产的主要原因之一^[3]。

表 3 4 年生不同密度林内小麦产量与农田小麦产量比较

Table 3 Wheat yields in farmland and different density stands at 4-year-old

林分密度 /株	配置方式 (m×m)	小麦产量 /kg·hm ⁻²	减产率 /%	千粒质量 /g
10 000	1.0×1.0	1 785	65.0	32.1
6 666	1.0×1.5	3 002	41.0	—
5 000	1.0×2.0	3 150	38.0	32.4
3 333	1.5×2.0	3 519	31.0	33.3
1 666	1.5×4.0	4 812	6.1	36.1
1 666	2.0×3.0	4 723	8.0	36.0
农田	—	5 118	0	35.5

为进一步分析小麦不同生育期内小气候因子对间作物(小麦)产量的影响程度，现运用灰色系统理论的关联分析法^[4~5]，找出主导因子。

将不同密度林内及农田的小麦产量数据列为参考数据列，记 $X_{o(k)}$ ($k = 1, \dots, 7$)，以林木展叶后和展叶前的辐射强度、气温、相对湿度为比较数据列 $X_{i(k)}$ ($i = 0, \dots, 6; k = 1, \dots, 7$)。关联度值及大小顺序见表 4。

分析结果表明：林木展叶后的林内辐射强度对间作小麦产量影响程度最大，湿度对间作小麦产量影响程度次之，气温对间作小麦产量影响程度最小。林地的水分、营养元素变化对

表4 关联度值及大小顺序

Table 4 Correlative analysis and order

关联度因子	关联度值	关联度大小顺序	关联度因子	关联度值	关联度大小顺序
r_1	0.593 0	1	r_4	0.549 3	2
r_2	0.519 5	6	r_5	0.537 8	4
r_3	0.535 7	5	r_6	0.546 4	3

间作物产量的影响有待于进一步研究。

2.3 不同造林密度林分的间作经营年限的确定

测定不同密度池杉林分的林冠覆盖率与林下间作小麦产量, 计算林下间作产量的相对减产率:

$$\text{相对减产率}(\%) = \frac{\text{农田产量} - \text{林内间作产量}}{\text{农田产量}} \times 100\%$$

根据林冠覆盖率(X)和林下间作相对减产率(Y)的直角坐标散点图观察, 可用直线回归方程^[6]表示为:

$$Y = 0.003\ 831 + 0.973\ 78X (r = 0.990^{**}) \quad (1)$$

在池杉的幼林期, 树冠间相互重叠很小, 林冠的覆盖率可以近似地表示

$$P \approx 0.785\ 4 \times 10^{-4} - \overline{D}_c^2 N \quad (2)$$

式中: \overline{D}_c 为林分平均树冠直径(m), N 为每公顷株数。

若林下间作物的产值和所需成本投入达到相等时, 这时的林分年龄视为该树种间作物在林下的理论间作年限。根据测定, 林下小麦产量比农田减产40%左右时, 其产值与成本近于相等, 即间作物产出投入盈亏达到平衡点。根据(1)式可得 $P_{\text{上限}} = 0.41$, 根据(2)式可得林冠覆盖率达到 $P_{\text{上限}}$ 时的林分平均冠径。

$$\overline{D}_c_{\text{上限}} = 112.837\ 8 \sqrt{P_{\text{上限}}/N}$$

根据不同密度林分生长的测定数据, 可估测不同密度池杉林的理论间作年限(表5)。

表5 不同密度池杉林下小麦理论间作年限

Table 5 Theoretical menagerial period of wheat in different density stands

林分密度/株·hm ⁻²	配置方式 (m× m)	林分平均树冠直径/m	理论间作年限/a
10 000	1.0×1.0	0.72	2
6 666	1.0×1.5	0.88	3
5 000	1.0×2.0	1.02	4
3 333	1.5×2.0	1.25	5
1 666	1.5×4.0	2.03	9
1 666	2.0×3.0	1.81	8

说明: 4.0 m×1.5 m 的林分, 树冠以椭圆形面积计算

2.4 不同造林密度林分的木材收益比较分析

将14年生各种密度的林分林木全部采伐, 地上部分按4类产品分类。一类材: 胸径大于16 cm 的原条; 二类材: 胸径为12~14 cm 的原条; 三类材: 胸径为8~10 cm 的原条; 四类材胸径小于8 cm 的木材及树枝、树梢等薪材。根据样地每木检测结果按“材类”推算出

各类产品的产量和各种密度林分每公顷的木材产值、经济材积、经济出材率(表 6)。结果表明, 在一定密度范围内, 初植密度较大的林分, 只能获得较多的林木生物产量, 并不能获得较多的经济用材和较高的经济效益。

2.5 林地早期间作效益比较分析

幼林的早期间作可以充分利用林地的光热、土壤资源, 提高系统的生物生产力。通过对间作物产量实测, 以现值计算产值, 结果见表 6。初植密度 $1\ 666 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($1.5 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$) 的林分间作纯收益最高, 间作纯收入为 $7\ 269 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 与初植密度 $1\ 666 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ ($2.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m}$) 的林分纯收入 $4\ 134 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$ 相比, 增加 $3\ 135 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增长 75.8% ; 比其他密度林分间作平均纯收入 $1\ 483 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增加 $5\ 786 \text{ 元} \cdot \text{hm}^{-2}$, 提高 390.1% 。这表明, 间作纯收入不但与造林密度有密切的关系, 而且与配置方式也有较大的关系, 间作纯收入是随造林密度的减小而增加的。

表 6 不同初植密度林分经济效益

Table 6 Economic benefits of different initial density stands

初植密度 / 株·hm ⁻²	配置方式 (m×m)	经济材 积/m ³	经济出材 率/%	经济材 产值/元	薪材 /m ³	薪材产 值/元	木材总产 值/元	成本 /元	木材纯 收入/元	间作纯 收入/元	总利润 /元
10 000	1.0×1.0	52.6	15.7	9 232	281.5	11 260	20 492	2 700	17 792	723	18 515
6 666	1.0×1.5	67.9	24.3	11 546	211.7	8 468	20 014	1 801	18 213	1 061	19 274
5 000	1.0×2.0	75.6	28.8	13 576	187.3	7 492	21 068	1 350	19 718	1 627	21 345
3 333	1.65×2.0	82.4	34.3	15 064	157.8	6 312	21 376	899	20 477	2 521	22 998
1 666	1.5×4.0	96.2	55.5	18 440	77.1	3 084	21 524	451	21 073	7 269	28 342
1 666	2.0×3.0	101.6	56.1	19 912	79.5	3 180	23 092	451	22 641	4 134	26 775

说明: 木材价格、间作收入均以 1996 年市场价格计算; 经济林产值加权平均价 $185 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$; 薪材产值 $40 \text{ 元} \cdot \text{m}^{-3}$

从林地经营的林木和间作物总体效益来看, 初植密度较小的林分, 能够获得较高的综合经济效益^[7]。

3 结论

3.1 从 6 种不同初植密度的林分总生长量来看, 其一般趋势是随密度减小而递减, 但林分的经济材积产量、总产值、利润均是随密度的递减而递增, 而且差异较大。这说明, 在一定密度范围内, 初植密度较大的池杉林分, 只能获得较多的材积产量, 并不能获得较高的经济收益。

3.2 林冠覆盖率(X)与间作物(小麦)相对减产率(Y)之间的线性关系式可表示为 $Y = 0.003\ 831 + 0.973\ 78 X$, 当减产率达到一定大小时, 计算出林冠覆盖率($P_{\text{上限}}$)值, 则 $\bar{D}_c^{\text{上限}} = 112.8378 \sqrt{P_{\text{上限}}/N}$, 根据不同密度下林分达到 $\bar{D}_c^{\text{上限}}$ 时需要的年限可计算出理论间作年限。这为制定林农复合生态系统工程经营目标, 确定合理的林分初植密度提供了理论依据。

3.3 研究表明, 为充分发挥林地综合效益, 相对延长林地间作经营利用年限, 不仅与造林密度有关, 而且与造林配置方式有关。

3.4 从生产成本来看, 初植密度较大的林分, 投入成本高, 投入产出比随密度增加而显著减少。

3.5 从目前池杉木材销售市场及培育目标来看, 池杉材主要是提供檩条、建筑、装潢和包装用材, 就初植密度($10\,000$ 株、 $6\,666$ 株、 $5\,000$ 株、 $3\,333$ 株、 $1\,666$ 株· hm^{-2})而言, 考虑林地复合经营利用, 以初植密度为 $1\,666$ 株· hm^{-2} ($1.5\,\text{m} \times 4.0\,\text{m}$)的配置方式, 造林经济效果为最好。

参考文献:

- 1 叶镜中. 森林经营学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989. 37~63.
- 2 孙时轩. [M]. : , 1989. 165~176.
- 3 . . [A]. : .
- [C]. : , 1988. 133~135.
- 4 . [M]. : , 1986. 261~274.
- 5 . [M]. : , 1987. 405~425.
- 6 , , . [M]. : , 1991. 25~41.
- 7 , . [M]. : , 1992. 156~166.

On plantation density models of *Taxodium ascendens* in Lixiahe region of Jiangsu Province

ZHOU Lin, FU Xian-yi, ZHANG Zheng-yue, MA Yi-xiu, ZHU Guo-shen

(Forestry and Pasture Bureau of Jianhu County, Jianhu 224700 Jiangsu, China)

Abstract: Six planting spacings in *Taxodium ascendens* stands were tested and their yield and economic indexes were investigated, including average diameters at the height of breast, average tree heights, average volume of single tree, stocking volume increment and commercial volume per hectare and total production value, cost, interplanted crop revenue and total profits. The results from tested 14-year-old stands showed that the stand with a spacing of $1.5\,\text{m} \times 4.0\,\text{m}$ had the highest integrated benefits, about $2\,024$ yuan (RMB)· $\text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ (timber+interplanted crops), which was 5.9% higher than that in the stand with a spacing of $2.0\,\text{m} \times 3.0\,\text{m}$ and also $23.2\% \sim 53.1\%$ higher than that in other tested stands.

Key words: *Taxodium ascendens*; density of plantation; model