

泡桐胶合板材林最适经营密度 及主伐年龄研究*

李宗然 李芳东 王保平 周道顺 文瑞均 张春味

摘要 通过对403块兰考泡桐外业调查资料的分析,发现兰考泡桐的直径分布可用L-PRM进行预测;林分平均直径、任意高处的直径、单位面积胶合板材、檩材、椽材出材量可用建立的平均直径预估模型、干曲线方程、出材量预估模型进行预测。经检验其预测的精度能满足生产上的实际需要。用胶合板材出材量和内部收益率综合评价得出:40立地指数级林地培育大中径级、中径级胶合板材的最适造林密度分别为每公顷200株和250株,主伐年龄为13a,每公顷胶合板材出材量分别为76.37、81.39 m³,内部收益率分别为36.14%、34.66%;36立地指数级林地培育中径级胶合板材的最适密度为200株/hm²,主伐年龄为13a,每公顷胶合板材出材量为53.21 m³,内部收益率为30.82%。

关键词 兰考泡桐、胶合板材、最适密度、主伐年龄

兰考泡桐(*Paulownia elongata* S. Y. Hu)是我国华北平原最主要的速生优质用材和农用作林树种之一。在桐材的利用方面,由于过去一直没有合适的工业利用途径,除少量出口日本外,桐材主要用于民用建筑和制做家具。有关栽培技术的研究,则主要集中在农桐间作的空间配置、间作林内生态因子的时空变化规律、间作效益评估和间作配套栽培技术等方面^[1,2]。90年代初研制出泡桐胶合板加工工艺,根本上解决了大规模桐材的工业利用问题。近年来,随着桐木加工业的兴起,工业用桐材特别是胶合板用桐材的供需矛盾日益突出。借鉴国外成功经验,解决上述矛盾的快捷途径是实行定向培育和集约经营。而林分最适经营密度和主伐年龄的确定正是集约栽培模式研究中的一个重要课题^[3,4]。

1 研究方法

1.1 标地调查和树干解析方法

在黄泛立地亚区,选择不同立地条件下,不同林龄、不同密度、林相整齐的兰考泡桐林分,设置详测、简测标准地。

简测标准地调查的因子有:(1)立地因子,包括土壤剖面上中下部位的质地、pH值、地下水位、土壤质地等;(2)测树因子,包括全高、胸径、枝下高、各接干高、冠幅、树干形状(接干部位、发权情况)等。

详测标准地调查则在简测样地的基础上,增加树干解析内容。由于兰考泡桐的高生长靠人

1996-01-30 收稿。

李宗然副研究员,李芳东,王保平,周道顺,文瑞均,张春味(林业部泡桐研究开发中心 郑州 450003)。

* 本研究为国家“八五”科技攻关专题“泡桐胶合板材林优化栽培模式研究”的部分内容。

工或自然接干进行,而接干时间的不确定性常导致靠近接干部位上下方的直径出现异常的差异,因此用常规的 2 m 或 1 m 区分解析方法不能获得较为准确的材积。本研究根据兰考泡桐的生长特点,采用按接干部位区分解析方法,即在 $h=0, 1.3$ m 处和第一、二、三次接干的基部上下分别取盘,当盘与盘之间的距离大于 2 m 时,在其中间增加一个盘,三次接干以上按 2 m 区分段取盘,材积的计算分段进行。

通过调查共获得 468 块标准地资料,其中详测标准地 215 块、简测标准地 243 块。标准地的年龄范围为 7~13 a,直径分布的范围为 12~55 cm,密度范围为 200~700 株/hm²,标准地的检尺株数为 30~50 株。

1.2 分析研究方法

采用有林和无林立地统一评价方法,首先依照黄泛立地亚区数量化地位指数得分表^[5],计算各样地的立地指数得分值,然后按 4 cm 的级距将其进行归类,将每一立地指数级作为一个建模单元;选择适宜模型,分别建模单元建立林分平均直径预估和结构及干曲线模型;再按胶合板材、檩材、椽材的造材规格和标准(见表 1),每木造材,建立林分各材种出材量预估模型;以胶合板材出材量和综合经济效益最大为目标,确定各地位指数级最适的经营密度和主伐年龄。

表 1 兰考泡桐造材规格和标准

材种	规格	检尺径(cm)	长度(m)	造材顺序
胶合板材	大径材	$D \geq 40$	2.6, 1.2	(1)造 2.6 m 胶合板材
	中径材	$30 \leq D < 40$	2.6, 1.2	(2)造 1.2 m 胶合板材
	小径材	$26 \leq D < 30$	2.6, 1.2	(3)造檩材
建筑材	檩材	$12 \leq D < 26$	3.5	(3)造檩材
	椽材	$4 \leq D < 12$	2.4	(4)造椽材

注:根据对商丘桐木制品有限公司及其它一些桐木加工企业的调查,参照国家有关标准,制定此造材规格和标准。

2 结果分析

2.1 建模单元的确定

由于兰考泡桐的高生长具有间歇性的特点,主干高度在很大程度上依赖接干的质量,而兰考泡桐的接干质量(接干的长度)不但对易变的天气条件非常敏感,同时还依赖于接干芽的部位和质量,因此无论是平均高或优势木高都不能作为评价兰考泡桐林分立地质量的指标。当林木间不存在竞争时,由于优势木胸径较其它测树因子对立地更敏感,因此可用优势木胸径评价立地质量;但当林分密度大到使林木个体间产生竞争时,因优势木胸径的大小受密度的影响,优势木胸径就不再能用于立地质量的评价,这时只有通过建立有林地和无林地统一评价方法,间接实现兰考泡桐林分的立地质量评价。

依照黄泛亚区数量化地位指数得分表,对各标准地立地指数得分值计算的结果表明(表 2),黄泛亚区全部标准地的立地得分值均分布在 32~44 指数级内,而且每个指数级正好与一些土壤类型相对应。为便于生产上直接推广应用,本研究将一个指数级定为一个建模单元;同时考虑到黄泛亚区是我国的主要产粮区,而 44 立地指数级所对应的土壤类型正是该区高产农田,因此在这类立地上发展胶合板材林显然不符合我国现行农业政策,故本研究没有把该立地

指数等级考虑在内。

表 2 黄泛亚区立地指数分级表

建模单元	立地指数级	土壤名称 (质地)
1	44 cm	腰沙两合土、底沙两合土
2	40 cm	沙土、体沙两合土、底粘两合土、腰粘两合土
3	36 cm	底粘沙土、腰粘底沙两合土、体沙粘土
4	32 cm	泡沙土、体粘沙土、粘土

2.2 兰考泡桐林分直径生长规律

2.2.1 兰考泡桐胶合板材林材种结构 林分直径结构表示的是林木株数按径级分布的状况,根据本项研究,兰考泡桐的林分直径结构可用 L-PRM(Logistic 模型)进行恰当预测。据此,并结合表 1 的造材标准,求得不同平均直径林分内达到大中小径级胶合板材造材标准的林木的比例,如表 3。

2.2.2 林分平均胸径预估模型 林分断面面积平均胸径(D_g),是林分生产力大小的重要特征,亦是体现竞争的关键指标。因此,林分平均直径的预估被视为森林生长与收获预估的重要环节。

林分平均胸径的大小受立地、年龄和密度的影响,在采用多种模型拟合和检验的基础上,选择下式作为各立地指数级的林分平均胸径预估模型,即

$$D_g = b_0 \times N^{b_1} \times A^{b_2} \quad (D_g、N、A \text{ 分别为平均胸径、密度和年龄})$$

各立地指数级模型参数求解和检验结果(见表 2~4)表明,三个立地指数级的平均胸径预估模型的精度均在 90% 以上,因此可满足生产上的精度要求。

表 4 直径预估方程参数求解结果

立地指数	模 型 拟 合			模 型 检 验					
	b_0	b_1	b_2	相关系数	标准差	n	标准差	相对误差(%)	n
40	26.020 9	-0.187 91	0.526 1	0.99	1.01	98	1.30	4.7	32
36	18.406 4	-0.192 76	0.634 1	0.96	1.33	102	1.44	5.8	17
32	16.563 8	-0.193 82	0.613 1	0.98	0.99	75	1.33	5.9	15

对于胶合板材定向培育的林分,林分内达到胶合板造材标准的林木的比例应不低于 70%,按此标准并对照表 3,如果以培育中小径级、中径级、大中径级胶合板材为主,林分平均胸径必须分别达到 30、34、38 cm。根据各林分平均胸径预估模型即可推算出胶合板材林的主伐年龄与目的材种的关系(如表 5)。

2.2.3 干曲线方程 除林木大小外,树干形状也是影响材种出材量的重要因素,因此在建立兰考泡桐林分材种出材量预估模型前,必须拟合出较高精度的干曲线模型以预测树干任一高

表 3 不同平均胸径林分中达到胶合板材造材标准林木的比例

平均胸径 (cm)	大径材 (%)	中径材 (%)	小径材 (%)	合计 (%)
22	0	3	7	10
24	0	5	15	22
26	0	10	26	36
28	0	20	35	55
30	0	36	37	74
32	1	55	29	85
34	5	71	20	96
36	10	78	9	97
38	22	73	3	99

处的直径以实现合理造材。

表5 不同立地指数级和不同采伐年龄的目的材种

密度 (株/hm ²)	40 立地指数级					36 立地指数级				
	9 a	10 a	11 a	12 a	13 a	9 a	10 a	11 a	12 a	13 a
200	小径级	小径级	中径级	中径级	大中径级	—	—	小径级	小径级	中径级
250	—	小径级	小径级	中径级	中径级	—	—	—	小径级	小径级
300	—	—	小径级	小径级	中径级	—	—	—	—	小径级
350	—	—	—	小径级	小径级	—	—	—	—	小径级
400	—	—	—	小径级	小径级	—	—	—	—	—
500	—	—	—	—	小径级	—	—	—	—	—
600	—	—	—	—	小径级	—	—	—	—	—
700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

任意高处 h 的直径 D_h 依赖于 h 、胸径 $D_{1.3}$ 和树高 H , 因此, 在拟合干曲线方程时应把 h 、 H 、 $D_{1.3}$ 综合考虑在内。通过 $D_h/D_{1.3}$ 与 h/H 的散点图可直观看出两者间的关系为三次抛物线式, 即

$$D_h/D_{1.3} = b_0 \times (h/H)^3 + b_1 \times (h/H)^2 + b_2 \times (h/H) + b_3$$

由于树干形状还受立地及经营密度的影响, 因此需分别立地指数级和密度级拟合干曲线模型。拟合结果(见表6)表明, 各干曲线模型拟合精度均能满足要求。

表6 干曲线方程参数求解结果

立地指数级	密度(株/hm ²)	曲线方程参数				相关系数	标准差	样本数
		b_0	b_1	b_2	b_3			
40	200~400	0.980 3	-0.379 8	-1.025 2	0.556 7	0.97	1.31	32
	400~700	0.944 8	0.326 5	-2.132 1	0.995 9	0.97	1.35	40
36	200~400	0.992 8	-0.568 7	-0.627 8	0.354 9	0.98	1.10	30
	400~700	0.984 0	-0.178 7	-1.379 5	0.703 5	0.99	0.98	35
32	200~400	0.977 2	0.020 2	-1.683 5	0.817 1	0.98	1.11	42
	400~700	0.973 2	0.224 8	-1.921 3	0.883 5	0.98	1.17	34

2.3 兰考泡桐胶合板材林材种出材量预估模型

2.3.1 胶合板材出材量预估模型 就单株林木而言, 其胶合板材出材量的大小主要取决于直径、树高和干形等指标; 而单位面积的出材量则同时依赖于单木的出材量和经营密度。由于受兰考泡桐高生长特性的限制, 林分平均胸径的大小成为衡量林分胶合板材出材量高低的指标。

现随机抽出 298 块实测标准地资料, 按造材规格、标准和干曲线方程分别进行每木造材, 并计算出单位面积胶合板材出材量和平均单株胶合板材出材量。经拟合发现平均单株胶合板材出材量 V_{pj} 与平均胸径 $D_{1.3}$ 的关系为:

$$V_{pj} = -0.000\ 017\ 36 \times D_{1.3}^3 + 0.002\ 460\ 5 \times D_{1.3}^2 - 0.074\ 35 \times D_{1.3} + 0.641\ 28$$

$$(r=0.99, s=0.012\ 4, n=298), (22 \leq D_{1.3} \leq 55 \text{ cm})$$

2.3.2 檩材和椽材出材量预估模型 檩材和椽材虽然不是胶合板材林经营的目的材种, 但它们属于胶合板材林总产出的一个重要组成部分。因此准确预测这部分的产出, 对于制定适宜的经营密度、确定主伐年龄具有一定的意义。

为预测檩、椽材的出材量, 用实测样地资料拟合出了与下两式相配套的檩椽材平均单株出

材量预测模型:

$$V_{p1} = 0.000\ 019\ 58 \times D_{1.3}^3 - 0.002\ 268\ 8 \times D_{1.3}^2 + 0.081\ 256 \times D_{1.3} - 0.772\ 0$$

$$(r=0.975, s=0.005\ 37, n=298), (14 < D_{1.3} \leq 55\ \text{cm})$$

$$N = 9.435\ 6 e^{-0.069\ 7 D^{1.3}} \quad (N \text{ 为椽材的根数}, r=0.89, s=0.25, n=298)$$

2.3.3 胶合板材、檩材出材量预测结果检验 随机从没有参加出材量建模的标准地中抽取 39 个样地组成检验样本,对每公顷胶合板材和檩材出材量预测结果进行检验的结果(见表 7)

表明,胶合板材与檩材出材量预测的精度均

在 85% 以上,因此平均单株胶合板材和檩材

出材量预估模型,以及林分平均胸径与结构

预估模型能对兰考泡桐胶合板材林的生长与

收获进行正确预测,其精度能满足生产实际需要。

表 7 胶合板材和檩材出材量预测结果检验

材 种	标准差(m ³)	精度(%)	标准地数(块)
胶合板材	2.5 37 8	93.9	39
檩 材	4.871 1	92.3	39

2.4 最适经营密度、主伐年龄的确定及经济效益分析

根据桐材市场和营林费用调查结果,大、中、小径胶合板材和檩材的价格分别为 1 100、900、700、250 元/m³,椽材为 5 元/根;造林当年的投入为:种苗费 4.0 元/株、造林费 1.0 元/株、肥料费 1.0 元/株、抚育费 0.5 元/株,合计 6.5 元/株;第二年按 10% 补植,费用平均为 0.65 元/株;第三年的抚育和补植费平均为 0.65 元/株。

表 8 能达到胶合板材培育目标的立地、密度及年龄组合的单位面积产出

规 格	胶 合 板 材				檩材 产值(元)	椽材 产值(元)	产值 合计(元)	净现值 (元)	内部收 益率(%)
	立地等级	密度/年龄	出材量(m ³)	产值(元)					
大中径级	40	200/13	76.37	66 441	5 993	712	73 146	17 104	36.14
	40	200/11	54.74	38 864	6 890	885	46 639	11 737	38.48
	40	200/12	65.47	56 959	6 455	792	64 206	16 788	38.40
中径级	40	250/12	69.50	49 342	8 571	1 097	59 010	14 876	34.53
	40	250/13	81.89	71 248	8 066	990	80 304	18 525	34.66
	40	300/13	86.06	61 101	10 180	1 292	72 573	16 122	31.47
	36	200/13	53.21	37 781	6 949	900	45 630	10 042	30.82
	40	200/9	34.24	24 311	7 559	1 122	32 992	10 227	43.96
	40	200/10	44.28	31 440	7 271	994	39 705	11 101	41.06
小径级	40	250/10	45.68	32 432	9 377	1 363	43 172	11 813	38.87
	40	250/11	57.38	40 739	9 020	1 220	50 979	12 568	36.60
	40	300/11	59.05	41 928	11 136	1 580	54 644	13 204	35.04
	40	300/12	72.36	51 372	10 701	1 426	63 499	15 749	33.18
	40	350/12	74.37	52 806	12 825	1 776	67 407	16 455	32.03
	40	350/13	89.23	63 350	12 308	1 613	77 271	16 911	30.46
	40	400/12	75.76	53 790	14 932	2 145	70 867	17 032	31.01
	40	400/13	91.64	65 060	14 437	1 953	81 450	17 567	29.57
	40	500/13	94.78	67 295	18 663	2 680	88 638	18 576	28.06
	40	600/13	96.33	68 398	22 815	3 460	94 673	19 290	26.81
	36	200/11	33.03	23 454	7 586	1 140	32 180	7 581	33.35
	36	200/12	42.82	30 404	7 318	1 011	38 733	9 265	32.09
	36	250/12	43.83	31 117	9 424	2 777	43 318	10 365	30.74
	36	250/13	55.4	39 334	9 087	2 484	50 905	10 978	29.57
	36	300/13	56.66	40 225	11 204	1 611	53 040	11 109	28.03
36	350/13	57.26	40 650	13 287	2 003	55 940	11 436	26.94	

对表 2~5 中能达到胶合板材培育目标的经营密度和主伐年龄组合,计算单位面积各材种的出材量,并据此计算胶合板材产值,櫟、椴材产值,总产值,净现值和内部收益率。结果表明(见前页表 8),适合于大中径级胶合板材培育的立地仅有 40 立地级,最适经营密度为 200 株/hm²,主伐年龄为 13 a,每公顷胶合板材出材量为 76.37 m³,净现值为 17 104 元,内部收益率为 36.14%;40 立地级适宜中径级胶合板材林培育的密度/年龄组合为:200/11、200/12、250/12、250/13 和 300/13。尽管后两个组合的内部收益率比前三个组合下降了 4%,但胶合板材出材量却提高了 50%,因此最适的经营密度/年龄组合应在 250/13 和 300/13 中产生。由于 250/13 的内部收益率比 300/13 高 3.2%,而出材量仅下降 5%,所以对于 40 立地指数级,以培育中径级胶合板材为目标,最适的经营密度应为 250/hm²,主伐年龄 13 a,单位面积胶合板材出材量为 81.89 m³,净现值为 18 525 元,内部收益率为 34.66%。对于 36 立地指数级,培育中径级胶合板材的适宜经营密度为 200 株/hm²,主伐年龄为 13 a,每公顷胶合板材出材量为 53.21 m³,净现值为 10 042 元,内部收益率为 30.82%。

若以培育小径级胶合板材为目标,40 立地指数级的最适经营密度为 300 株/hm²,主伐年龄为 12 a,每公顷可生产小径级胶合板材 72.36 m³,净现值为 15 749 元,内部收益率为 33.18%;36 立地指数级的最适经营密度为 250 株/hm²,单位面积胶合板材出材量为 55.4 m³,净现值为 10 978 元,内部收益率为 29.57%。

3 结 论

(1)不同立地级兰考泡桐的林分平均直径可用建立的型如 $D_{1.3} = b_0 \times N^{b_1} \times A^{b_2}$ 的模型进行预估,其预估的精度均在 90%以上。

(2)根据单位面积胶合板材出材量与经济效益综合评价的结果,兰考泡桐最适的经营密度、主伐年龄及相应的产出为:仅 40 立地指数级适宜培育大中径级胶合板材,其最适的经营密度为 200 株/hm²,主伐年龄为 13 a,胶合板材出材量为 76.37 m³/hm²,内部收益率为 36.14%;40 立地指数级培育中径级胶合板材的经营密度为 250 株/hm²,主伐年龄为 13 a,胶合板材出材量为 81.89 m³/hm²,内部收益率为 34.66%;36 立地指数级培育中径级胶合板材的最适经营密度为 200 株/hm²,主伐年龄为 13 a,内部收益率为 30.82%;40 立地指数级培育小径级胶合板材的最适经营密度为 300 株/hm²,主伐年龄为 12 a,胶合板材出材量为 72.36 m³/hm²,内部收益率为 33.18%;36 立地指数级培育小径级胶合板材的最适经营密度为 250 株/hm²,胶合板材出材量为 55.4 m³/hm²,内部收益率为 29.57%。

参 考 文 献

- 1 蒋建平. 泡桐栽培学. 北京:中国林业出版社,1990. 155~173.
- 2 竺肇华. 农桐间作综合效能及合理模式的研究总报告. 泡桐与农用林业,1991,(1):1~21.
- 3 惠刚盈,盛炜彤,Gadow K. V.,等. 杉木人工林收获模型系统的研究. 林业科学研究,1994,7(4):353~358.
- 4 成子纯等. 马尾松经营体系研究. 北京:中国林业出版社,1991.
- 5 惠刚盈,盛炜彤. 林分直径结构模型的研究. 林业科学研究,1995,8(2):127~131.

Study on Optimum Management Density and Crop Age of Plywood-oriented *P. elongata* Plantation

Li Zongran Li Fangdong Wang Baoping Zhou Daoshun
Wen Ruijun Zhang Chunwei

Abstract Through the field survey and analyses of total 403 *Paulownia elongata* standard sampling plots, it was discovered and concluded that the *DBH* distribution of *P. elongata* stand can be predicted by L-PRM. Stand mean *DBH* diameters at free heights, timber yield of plywood, purlin and rafter in unit area can also be predicted by the models of stand mean *DBH*, stem curve, and timber output. The predicting accuracy checked can meet the practical demands. The conclusions drawn by the comprehensive evaluation on plywood timber yield and economic benefit are as follows: (1) for site index 40, the optimum densities for middlelarge, middle diameter class plywood-oriented *P. elongata* plantation are 200 and 250 trees per ha with 13 years as crop age, 76.37 and 81.39 m³ per ha of plywood timber yield, 36.14% and 34.66% of *IRR*, respectively. (2) for site index 36, the optimum density for middle diameter class plywood-oriented *P. elongata* plantation is 200 trees per ha with 13 years as crop age, 53.21 m³/ha of plywood timber yield, 30.82% of *IRR*.

Key words *Paulownia elongata*, plywood timber, optimum density, crop age

Li Zongran, Associate Professor, Li Fangdong, Wang Baoping, Zhou Daoshun, Wen Ruijun, Zhang Chunwei (Paulownia Research Center of China Zhengzhou 450003).