

杉木树高曲线参数稳定性的研究*

杜纪山 李希菲

摘要 用浙江省开化县和江西省分宜县的 148 块杉木样地数据,在限制和非限制条件下,逐一分析了间伐及坡向、坡位、坡度、海拔 4 个立地因子对杉木树高曲线模型 $H = 1.3 + a_1 H d^{b_1} \exp(-b/D)$ 参数稳定性的影响,结果表明:模型参数 b 受间伐、坡向和海拔的影响较小, a_1 和 b_1 则受间伐和 4 个立地因子的影响较大。立地因子对杉木树高曲线参数的影响从大到小依次为坡度、坡位、海拔和坡向。

关键词 杉木 树高曲线 参数 稳定性

在林业研究、森林调查和经营管理中,研制树高曲线是编制材积表和进行林分生长分析的基础性工作^[1-4]。以往在选择树高曲线模型时,舒马克(Schumacher)型因具有良好的数学性质和生物学意义而得到广泛的应用和深入的研究^[3,6,7]。有研究发现^[5],选择舒马克型并增加优势木平均高因子作为杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.]树高曲线模型时,既具有较高的拟合精度,又便于实际应用,特别是模型中的三个参数具有一定的稳定性及地域性。模型参数稳定性的研究是当今模型研究的重点之一,它对于耦合不同的地理尺度、扩大模型应用范围和简化内外业工作非常有益。因此,为了更好地在实践中应用杉木树高曲线,有必要就小地域的立地因子和间伐对树高曲线模型参数的影响进行研究。

1 数据来源

杉木林样地数据来自浙江省开化县的 102 块、江西省分宜县的 46 块样地,间伐方式为下层间伐,样地的总体情况见表 1。据林分实际状况和有关专业调查规定,4 个立地因子加以归类进行树高曲线模型参数稳定性的研究:(1)坡位:上、中、下、全坡;(2)坡度:斜坡,16~25°;陡坡,26~35°;急坡,36~45°;(3)坡向:阳坡、阴坡;(4)海拔:200 m,201~400 m,>400 m。

表 1 杉木样地林分及立地因子概况

地区	间伐情况	样地数(个)	样木数(株)	年龄(a)	优势高(m)	海拔(m)	坡度(°)
浙江开化	未间伐	22	3 401	12~26	7.46~17.54	125~1 000	20~45
	间伐	80	8 275	10~29	5.85~18.42	100~1 063	16~45
江西分宜	未间伐	12	2 560	12~18	11.64~17.52	150~160	23~32
	间伐	34	5 682	12~18	11.52~16.68	130~190	22~35

2 研究方法

文献[5]提出的杉木树高曲线模型为:

$$H = 1.3 + a_1 H d^{b_1} \exp(-b/D) \quad (1)$$

1997—08—07 收稿。

杜纪山副教授,李希菲(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091)。

* 本文得到 1997~1999 年国家自然科学基金项目“林分生长的地理和种源变异及其模型的研究”的资助。

式中, H 为树高, H_d 为林分优势木平均高, D 为林木直径。为便于进行参数稳定性的检验, 本文取对数将(1)式线性化, 得到:

$$\ln(H - 1.3) = a + b_1 \ln(H_d) - b/D \quad (2)$$

式中, $a = \ln(a_1)$ 。这样, 模型(2)可用多元线性回归进行拟合和参数检验。模型(2)中参数稳定性的检验方法为先检验每一个参数的差异显著性, 然后检验整个模型的差异显著性。

已有结论^[5], 在包括浙江和江西等5省的杉木树高曲线模型参数检验中, 模型(1)的参数 b 存在有显著的地区差异, 故本文将浙江开化和江西分宜的杉木树高曲线模型参数稳定性分开研究, 并采用有限定条件和无限定条件的方法进行研究。本文中的限定条件是指将其它因子保持相同或基本一致, 基于限定条件可以更好地说明某一研究因子的规律或影响。

3 研究结果

3.1 无限定条件下的树高曲线模型参数的稳定性

3.1.1 间伐 用含有哑变量的多元线性回归方法对模型(2)进行拟合和参数差异显著性检验^[8], 结果见表2。从总体上说, 无论是开化还是分宜, 间伐和未间伐杉木林分的树高曲线回归参数均存在显著的差异, 两者不能合并共建统一的树高曲线。就分宜而言, 树高曲线模型的单个参数受间伐的影响不大, 其原因在于其样地布设是按照随机区组设计进行, 间伐林分和未间伐林分所处的立地条件基本一致。开化林分受间伐影响的大小, 随后将进一步分析。

表2 间伐对树高曲线模型参数的影响

地 区	间伐情况	样本数	a	b_1	b	模 型
浙江开化	未间伐	3 401	0.525 83	0.842 90	6.031 35	343.57**
	间伐	825	0.842 90	0.738 71	6.797 07	
	F 值		38.32**	28.65**	73.73**	
江西分宜	未间伐	2 560	0.835 06	0.787 43	7.921 54	6.82**
	间伐	5 682	0.853 94	0.773 21	7.826 17	
	F 值		0.05 ^{ns}	0.21 ^{ns}	0.83 ^{ns}	

注: ^{ns} 表示差异不显著($\alpha=0.05$ 水平), * 表示差异显著($\alpha=0.05$ 水平), ** 表示差异极显著($\alpha=0.01$ 水平), 以下各表相同。

由于间伐对树高曲线模型参数的影响, 以下立地因子对树高曲线参数模型的影响和分析, 是对间伐林分和未间伐林分分别加以研究的。

表3 坡向对树高曲线模型参数的影响

地 区	间伐情况	坡向	样本数	a	b_1	b	模 型
浙江开化	未间伐	阳坡	1 042	0.503 87	0.848 65	6.085 11	5.71**
		阴坡	2 359	0.490 26	0.864 05	6.027 34	
		F 值		0.02 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.12 ^{ns}	
	间伐	阳坡	4 738	0.813 55	0.749 47	6.763 24	
		阴坡	3 537	0.926 44	0.706 82	6.868 52	
		F 值		3.66 ^{ns}	3.53 ^{ns}	0.91 ^{ns}	
江西分宜	未间伐	阳坡	1 612	0.919 44	0.750 43	7.833 34	9.44**
		阴坡	948	0.494 98	0.925 16	8.062 95	
		F 值		8.59**	10.48**	1.90 ^{ns}	
	间伐	阳坡	3 752	0.761 84	0.804 54	7.656 71	
		阴坡	1 930	1.058 45	0.699 46	8.073 90	
		F 值		7.09**	6.33**	9.81**	

3.1.2 坡向 同样,用含有哑变量的多元线性回归方法对模型(2)进行拟合和参数差异显著性检验来研究坡向的影响,结果见表3。从表3中可以看出,未间伐林分坡向的不同对树高曲线模型参数 b 的影响不大,但总体上,树高曲线参数受到坡向的显著影响,不能合并建立统一的曲线。而间伐林分中坡向对树高曲线模型参数的影响在开化和分宜却表现出相反的情形。

3.1.3 坡位 从表4中可知,坡位对树高曲线模型参数的影响是全面的,每一个参数都表现出显著的差异,故建立树高曲线时应特别注意坡位的不同。

表4 坡位对树高曲线模型参数的影响

地 区	间伐情况	坡向	样本数	a	b_1	b	模 型
浙江开化	未间伐	下坡	968	0.407 21	0.868 24	5.432 00	
		中坡	1 255	0.818 79	0.724 05	5.813 64	
		上坡	1 178	0.547 68	0.844 95	6.453 90	
		F 值		5.68* *	5.11* *	16.34* *	19.66* *
	间伐	下坡	2 476	0.759 16	0.781 23	6.830 87	
		中坡	3 336	0.834 54	0.740 92	6.628 04	
		上坡	2 463	0.937 38	0.694 33	7.004 18	
		F 值		3.54*	5.78* *	4.22* *	32.26* *
江西分宜	未间伐	中坡	2 053	0.911 33	0.756 18	7.859 82	
		全坡	507	0.152 24	1.059 91	8.476 72	
		F 值		12.32* *	14.38* *	5.73*	7.92* *
	间伐	中坡	3 787	0.966 01	0.733 03	7.938 51	
		全坡	1 895	0.693 53	0.830 96	7.624 93	
		F 值		5.02*	4.60*	5.60*	2.64*

3.1.4 坡度 根据表5可发现,坡度对树高曲线参数的影响尽管也是全方位的和显著的,但参数 b 受到的影响要小一些。

表5 坡度对树高曲线模型参数的影响

地 区	间伐情况	坡度	样本数	a	b_1	b	模 型
浙江开化	未间伐	斜坡	221	-1.300 02	1.649 30	6.337 90	
		陡坡	2 029	0.537 30	0.829 38	5.731 64	
		急坡	1 151	0.764 36	0.758 44	6.306 59	
		F 值		32.59* *	32.72* *	7.80* *	38.69* *
	间伐	斜坡	625	0.521 14	0.889 45	7.173 54	
		陡坡	3 625	0.637 10	0.816 26	6.592 49	
		急坡	4 025	1.027 61	0.666 53	6.969 35	
		F 值		25.59* *	26.38* *	6.90* *	10.03* *
江西分宜	未间伐	陡坡	1 050	0.414 99	0.959 56	8.225 87	
		急坡	1 510	0.991 04	0.718 75	7.755 32	
		F 值		12.87* *	16.24* *	6.80*	19.50* *
	间伐	陡坡	1 494	0.599 63	0.880 26	8.126 45	
		急坡	4 188	1.015 88	0.707 65	7.765 43	
		F 值		9.58* *	12.07* *	4.90*	11.52* *

3.1.5 海拔 由于分宜的杉木样地海拔均低于 200 m, 故仅用开化的杉木样地进行海拔对树高曲线模型参数影响的分析。从表 6 中可以看出, 在未间伐林分中, 不同的海拔高度组对树高曲线参数模型 b 的影响不大, 间伐林分则三个参数均受海拔的影响。

表 6 海拔对浙江开化杉木树高曲线模型参数的影响

间伐情况	海拔	样本数	a	b_1	b	模型
未间伐	200	988	1.092 98	0.629 21	6.046 08	
	201 ~ 400	1 792	0.646 26	0.788 47	5.977 86	
	> 400	621	0.254 82	0.953 67	6.277 51	
	F 值		14.48**	13.45**	1.45 ^{ns}	33.49**
间伐	200	1 757	0.824 14	0.765 43	7.125 08	
	201 ~ 400	4 707	1.110 01	0.632 41	6.910 53	
	> 400	1 811	0.586 64	0.827 97	6.669 33	
	F 值		27.15**	28.74**	3.15*	39.65**

3.2 限定条件下树高曲线模型参数的稳定性

上述各个立地因子对树高曲线模型参数影响的分析, 是在没有排除其它因子的前提下进行研究的, 因此, 有必要在保证林分数量的基础上, 对有些因子加以约束, 以更好地说明间伐和立地因子对树高曲线参数的影响。

3.2.1 开化杉木林分中间伐的影响 在 3.1.1 节的结果中, 开化杉木间伐林分和未间伐林分树高曲线模型参数存在着显著的差异。为分析这种差异是由间伐引起, 还是由立地因子的不同所产生, 将立地因子固定为: 坡位, 中坡; 坡度, 陡坡; 海拔, 201 ~ 400 m, 坡向则根据表 3 的结果, 此处未加限制。从表 7 可知, 间伐和未间伐的树高曲线模型参数 b 之间没有显著的差异, 间伐主要影响参数 a 和 b_1 。与表 2 结果相结合, 间伐影响树高曲线模型参数 a 和 b_1 , 而对 b 无多大的影响。

表 7 间伐对浙江开化杉木树高曲线模型参数的影响

间伐情况	样本数	a	b_1	b	模型
未间伐	470	- 5.226 35	3.243 62	6.429 30	
间伐	452	1.934 53	0.243 93	6.029 69	
F 值		102.96**	105.38**	1.87 ^{ns}	47.94**

3.2.2 分宜杉木林分中坡向的影响 同样, 对分宜的杉木林分加以立地因子约束, 分析坡向对树高曲线模型参数的影响, 此处的限制因子为坡位和坡度。从表 8 可以看出, 除了中坡且斜坡的间伐林分外, 坡向对树高曲线模型中的单个参数均无显著的影响。与表 3 结果相联系, 说明了树高曲线模型的各个参数基本不受坡向的影响。

3.2.3 分宜杉木林分中坡位和坡度的独立影响 为了反映坡位和坡度的各自影响, 在分宜的间伐和未间伐林分中, 就它们对树高曲线模型参数的影响进行研究, 结果见表 9。可以看出, 无论是未间伐林分还是间伐林分, 坡度对分宜杉木树高曲线模型参数的影响较坡位要大。而在限制条件下, 参数 b 受坡度或坡位的影响都不大。

表 8 坡向对江西分宜杉木树高曲线模型参数的影响

间伐情况	限制因子	坡向	样本数	a	b_1	b	模 型
未间伐	中坡, 陡坡	阳坡	925	1. 129 49	0. 663 11	7. 717 77	1. 49 ^{ns}
		阴坡	585	1. 411 14	0. 566 47	8. 220 39	
		F 值		0. 81 ^{ns}	0. 66 ^{ns}	3. 16 ^{ns}	
间伐	全坡, 陡坡	阳坡	642	0. 250 92	0. 990 65	7. 395 17	5. 23 ^{**}
		阴坡	1 253	0. 551 14	0. 889 87	7. 644 40	
		F 值		0. 88 ^{ns}	0. 70 ^{ns}	1. 05 ^{ns}	
	中坡, 陡坡	阳坡	1 918	1. 182 56	0. 641 48	7. 675 88	7. 82 ^{**}
		阴坡	381	1. 047 76	0. 696 22	8. 133 35	
		F 值		0. 19 ^{ns}	0. 22 ^{ns}	3. 35 ^{ns}	
	中坡, 斜坡	阳坡	1 192	0. 458 67	0. 927 54	7. 821 99	9. 97 ^{**}
		阴坡	302	1. 702 02	0. 476 16	8. 813 32	
		F 值		9. 36 ^{**}	8. 92 ^{**}	10. 51 ^{**}	

表 9 坡位和坡度对江西分宜杉木树高曲线模型参数的影响

间伐情况	限制因子	比较因子	样本数	a	b_1	b	模 型
未间伐	中坡	斜坡	543	0. 517 26	0. 922 10	8. 098 08	18. 89 ^{**}
		陡坡	1 510	0. 991 04	0. 718 75	7. 755 32	
		F 值		4. 67 [*]	6. 14 [*]	2. 46 ^{ns}	
	斜坡	中坡	543	0. 517 26	0. 922 10	8. 098 08	7. 43 ^{**}
		全坡	507	0. 152 24	1. 059 91	8. 476 72	
	F 值		1. 59 ^{ns}	1. 63 ^{ns}	1. 49 ^{ns}		
间伐	中坡	斜坡	1 494	0. 599 63	0. 880 26	8. 126 45	16. 23 ^{**}
		陡坡	2 293	1. 262 13	0. 613 98	7. 846 04	
		F 值		18. 11 ^{**}	21. 34 ^{**}	2. 55 ^{ns}	
	陡坡	中坡	2 293	1. 262 13	0. 613 98	7. 846 04	6. 86 ^{**}
		全坡	1 895	0. 693 53	0. 830 96	7. 624 93	
		F 值		15. 88 ^{**}	16. 38 ^{**}	2. 18 ^{ns}	

4 结论与讨论

(1) 间伐是杉木人工林的主要经营措施之一, 其对杉木树高曲线模型参数的影响表现为: 在严格控制立地因子的条件下, 间伐对舒马克型树高曲线模型的单个参数并无显著的影响, 但总体上仍有显著差异。由于间伐体制本身的多样性和复杂性, 所以, 在建立统一的杉木树高曲线时, 应持谨慎的态度, 特别是对参数 a/a_1 和 b_1 。

(2) 就本文所研究的立地因子而言, 无论是间伐林分还是未间伐林分, 对杉木树高曲线模型参数影响从大到小依次为坡度、坡位、海拔和坡向。

(3) 从杉木树高曲线各个参数本身受间伐和立地因子的影响来看, 参数 b 比较稳定, 仅在一定程度上受坡度或坡位的影响, 而参数 a/a_1 和 b_1 受诸多立地因子的影响, 这与已往研究得出的树高曲线模型林分间具有差异性相吻合的。可以认为, 参数 b 基本不受小范围立地条件差异的影响, 在一定的地域内是稳定的。

(4) 由于有比较完整立地记录的研究材料有限, 本文未进行更大范围和更多立地因子的杉

木树高曲线模型参数稳定性研究,这方面工作有待于继续进行。

参 考 文 献

- 1 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.
- 2 李希菲,唐守正,袁国仁,等.自动调控树高曲线和一元立木材积模型.林业科学研究,1994,7(5):512~518.
- 3 孟宪宇主编.测树学(第二版).北京:中国林业出版社,1996.82~90.
- 4 唐守正,李希菲.用全林整体模型计算林分纯生长量的方法及精度分析.林业科学研究,1995,8(5):471~476.
- 5 王明亮,唐守正.标准树高曲线的研制.林业科学研究,1997,10(3):259~264.
- 6 李凤日.广义Schumacher生长方程的推导及应用.北京林业大学学报,1993,15(3):148~154.
- 7 Schumacher F X. A new growth curve and its application to timber yield studies. J. For., 1939, 37(10): 819~820.
- 8 郎奎健,唐守正.IBMPC系列程序集.北京:中国林业出版社,1989.126~129.

Studies on Stability for Parameters in Height-diameter Curve of Chinese Fir

Du Jishan Li Xifei

Abstract For height-diameter relationship model $H = 1.3 + a_1 H^{d^{b_1}} \exp(-b/D)$, the effects on stability of the model parameters by thinning and four site factors (aspect, orientation, slope and elevation) are analyzed respectively with or without limit condition based on 148 plots of Chinese fir in Kaihua County of Zhejiang Province and Fenyi County of Jiangxi Province. The results have shown that thinning, different aspects and elevation have no significant influence on the parameter b . But thinning and the above-mentioned 4 site factors have significant influence on the parameters a_1 and b_1 . The effect order from big to small on the stability for parameters in the height-diameter relationship model is slope, orientation, elevation and aspect.

Key words Chinese fir height-diameter curve parameter stability

Du Jishan, Associate Professor, Li Xifei (The Research Institute of Forest Resource Information and Technique, CAF Beijing 100091).