

林带疏透度模型及其应用*

姜凤岐 周新华 付梦华** 朱教君 林鹤鸣

(中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

【摘要】 在应用数字图象处理法测定东北西部典型杨树林带疏透度的基础上, 采用逐步回归分析和推理方法分别构筑了疏透度与林带结构因子相关的主导因子模型和因配置方式和树种而异的机理模型, 并阐述了两种模型在林带结构调控中的作用。

关键词 林带 疏透度 模型 结构调控

Shelterbelt porosity model and its application. Jiang Fengqi, Zhou Xinhua, Fu Menghua, Zhu Jiaojun and Lin Heming (*Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015*). - *Chin. J. Appl. Ecol.*, 1994, 5(3): 251—155.

Based on the measurement of porosity of typical poplar shelterbelts in the west part of Northeast China with digitized photographic silhouettes, dominant factor model (DFM) and mechanism model (MM) of shelterbelt porosity are established. The DFM is made by dominant factors relating to shelterbelt structure with successive regression analysis, and the MM is constructed by tree species and their depositions with model theory. Meanwhile, the application of DFM and MM in regulating shelterbelt structure are also given in this paper.

Key words Shelterbelt, Porosity, Model, Structure regulation.

1 引言

正如用材林的结构与其生产力密切相关一样, 农防林结构直接影响其防护效益, 因此, 关于结构与效益的研究在农防林的研究中不仅起步早而且一直保持经久不衰的势头。以往的研究结果可以概括为以下3点: (1) 疏透度是林带结构的重要特征指标; (2) 疏透、通风和紧密结构是林带结构的3种基本类型并分别有其适用范围, 以疏透结构为最优; (3) 林带结构(疏透度)随诸多因子而变化, 通过合理设计和抚育措施可以适当调整^[5]。这些研究结果为林带结构的调控指明了方向, 但远不能适应科学经营的要求, 为此, 必须突破以下技术关键: (1) 探索林带结构的量化指标——疏透度测定新方法; (2) 确定林带最适结构疏透度范围; (3) 建立疏透度变化的数学

模型; (4) 建立合理结构调控体系。

2 应用数字图象处理法确定林带疏透度

疏透度是林带结构的重要特征指标。疏透度的测定方法通常以目测法应用最普遍, 目测法的粗放性很不适应结构研究与指导生产实践的需要, 为此, 首先探索一种新的测定方法——数字图象处理法。本法的原理是应用数字图像处理系统, 根据象片上林带枝体与其空隙之间的灰度差异, 经二值图象处理将它们严格分割开来, 由各自所占据的“像素”(Pixel)统计林带影像的孔隙度(林带象片疏透度), 用以估计林带实际疏透度, 数字图象处理法确定林带疏透度包括从测定样本量的确定和野外摄影到室内测定直至各项误差计算的一整

* 国家自然科学基金资助项目。

** 现在林业部规划院工作。

1994年2月25日收到, 5月9日改回。

表 1 各林带 G、L、N 及枝下高条件下的疏透度(β)观测值

Table 1 Porosities of shelterbelts under different G, L, N and clear bole height

No.	林带结构参数 Parameters of belt structure					疏透度 Porosity(β)				
	G ($\text{m}^2 \cdot 100\text{m}^{-1}$)	L	N($\text{N} \cdot \text{ha}^{-1}$)	枝下高 Clear bole height		有叶期 Leaf period			无叶期 Aphyllous period	
				h(m)	h ₀	树冠 Crown	树干 Trunk	林带 Belt	树冠 Crown	林带 Belt
1	1.986	4	1800	2.01	0.1755	0.1580	0.8431	0.2783	0.4222	0.4961
2	1.896	3	1833	2.05	0.1814	0.1593	0.8892	0.2917	0.4056	0.4933
3	2.802	7	1512	2.48	0.2195	0.1055	0.8244	0.2633	0.3683	0.4684
4	2.769	5	1588	2.27	0.1970	0.1085	0.8124	0.2472	0.4466	0.5187
5	2.019	5	1910	2.13	0.1825	0.1509	0.8360	0.2760	0.4254	0.5004
6	2.316	5	1723	2.22	0.1720	0.1172	0.8558	0.2442	0.3976	0.4764
7	2.169	4	2350	2.09	0.1994	0.1359	0.8073	0.2698	0.4538	0.5243
8	2.474	4	2238	2.12	0.2038	0.1087	0.8442	0.2586	0.4639	0.5415
9	2.736	4	2069	2.50	0.2205	0.0969	0.8266	0.2578	0.4378	0.5235
10	2.235	5	1390	2.28	0.1873	0.1324	0.8755	0.2716	0.4512	0.5307
11	4.278	7	2757	1.87	0.1582	0.0362	0.7541	0.1498	0.3142	0.3831
12	4.591	7	1893	2.44	0.2211	0.0322	0.7132	0.1828	0.3173	0.4048
13	2.217	4	1350	2.41	0.2090	0.1304	0.8484	0.2805	0.4516	0.5345
14	2.933	4	1616	2.44	0.1921	0.0871	0.7811	0.2204	0.6924	0.4671
15	4.961	8	1756	4.64	0.3242	0.0374	0.7299	0.2620	0.3382 *	0.4322 *
16	2.259	4	1488	3.26	0.2322	0.1261	0.8448 *	0.2939	0.3986	0.5031
17	4.512	14	1443	1.76	0.2032	0.0304	0.6457	0.1555	0.3440 *	0.3912 *
18	3.057	5	3507	3.72	0.3226	0.0848	0.7991 *	0.3153	0.3741	0.5112
19	2.210	5	3224	2.50	0.2465	0.1394	0.8426 *	0.3127	0.3606	0.4794
20	2.397	5	2573	2.82	0.2450	0.1157	0.8261	0.2902	0.4006	0.5250
21	3.832	4	2713	2.11	0.1562	0.0528	0.7385	0.1599	0.3574	0.4169
22	3.556	4	1800	2.06	0.1469	0.0537	0.8157	0.1657	0.3120	0.3860
23	2.686	4	1425	2.08	0.1624	0.0924	0.8266	0.2116	0.4244	0.4897
24	2.400	4	1525	2.17	0.1799	0.1018	0.8407 *	0.2348	0.3865	0.4682
25	3.368	6	1745	2.08	0.1758	0.0639	0.7770 *	0.1893	0.3458	0.4216
26	0.506	3	1445	1.92	0.3189	0.7446	0.9449 *	0.8085	0.8367	0.8712
27	1.952	5	1347	2.66	0.2920	0.1658	0.8499	0.3656	0.4611	0.5746
28	2.501	5	2957	3.18	0.2901	0.1157	0.8429	0.3267	0.3980	0.5271
29	2.617	5	1453	1.74	0.1843	0.1058	0.8200 *	0.2374	0.2609	0.4793
30	3.425	4	1825	2.97	0.2567	0.0679	0.8062	0.2574	0.3360	0.4549
31	3.221	5	2053	2.83	0.2745	0.0798	0.7507	0.2639	0.3516	0.4611
32	4.323	4	1650	2.84	0.2051	0.0355	0.7447	0.1816	0.3460	0.4282
33	2.128	4	1950	2.55	0.2493	0.1233	0.8844	0.3130	0.4158 *	0.5473 *
34	3.370	4	1890	3.66	0.3040	0.0676	0.8320	0.3000	0.3633	0.5058
35	2.453	5	4290	2.16	0.2077	0.1288	0.8286	0.2741	0.4529	0.5310

注:带“*”为估算值(拍摄时因有玉米等庄稼遮掩,没有观测值)。

套技术已有专文论述^[2-4]。值得一提的是,在本项研究的过程中,加拿大学者 W. A. Kenney 于 1987 年发表了应用数学图象法测定林带疏透度的论文,两相对照,相差无几^[6]。

3 疏透度变化的数学模型

3.1 杨树林带疏透度与其主要结构因子的相关模型——主导因子模型

试验地区昌图县宝力镇北京杨(*Populus beijingensis*)林带建于 1975 年,林带高度在 8—15m,一般 3—7 行,为通风结构类型。应用数字图象处理法对野外拍摄的林带黑白照片分别按树干层和林冠层测定,然后加权平均计算整个林带疏透度。对应林带疏透度的林带结构调查因子为 100m 林带段所有林木胸高断面积总和(G)、林带行数(L)、密度(N)和林带相对

枝下高(h_0 ,即枝下高与树高之比),结果列于表 1. 通过逐步回归分析,结构参数与林带疏透度之间有如下数学关系:

有叶期树干部分

$$\beta_1 = 0.99437 - 0.30821 \text{Log}G \\ - 0.00913L \quad R = 0.907 \quad (1)$$

有叶期树冠部分

$$\beta_2 = -0.05115 + 0.40384/G \\ R = 0.998 \quad (2)$$

有叶期全林带

$$\beta_{\text{有}} = 0.27430 - 0.40418 \text{Log}G \\ + 0.93034h_0 \\ R = 0.972 \quad (3)$$

无叶期树冠部分

$$\beta_3 = 0.27980 + 0.28948/G \\ R = 0.908 \quad (4)$$

无叶期全林带

$$\beta_{\text{无}} = 0.56253 - 0.41959 \text{Log}G \\ + 0.47902h_0 \quad R = 0.952 \quad (5)$$

结果表明,无论是无叶期还是有叶期,树干、树冠及整个林带的疏透度各有其同一形式的数学表达式. 树干部分疏透度由林带单位长度胸高断面面积值和林带行数两因子决定. 在林带幼期,若要使林带达到比较理想的 β 值,除了不修枝叶,可以用增加行数(同时也增大了 G 值)来加以解决,待林带长成后再行抚育伐,保留 4—5 行即可. 相对枝下高(h_0)是影响疏透度的一个重要因素. 林带相对枝下高每增加 0.1,林带疏透度在一定范围内在有叶及无叶期分别增加 0.09 和 0.05. 因此,控制修枝高度也是对林带结构进行调控的重要手段.

3.2 杨树林带疏透度机理模型

为探讨适宜性较广,能够指导区域性农田防护林带疏透度定量调控的一般性理论,以林带配置、行数(n)、株距(t)、保存率(p)、胸径($D_{1.3}$)、冠下平均干径(D)、相对枝下高(h_0)等易测因子对林带疏透度影响

规律的机理为依据,分别以矩形、品字形和随机(随机配置指无固定株距或行距的配置方式)3 种配置类型,推导建立了相应于干部与冠部的疏透度模型,通过林带冠长和干长加权确立林带整体疏透度模型,权且称为机理模型. 推理模拟结果:

矩形配置林带的为

$$\beta_j(n, t, p, D_{1.3}, D, h_0) = \\ h_0(1 - \frac{C_1 D}{t})[1 - \exp(-\frac{C_2}{np})] + \\ \frac{C_3(1 - h_0)}{C_4[np(1 + C_6 D_{1.3})^2/t]^{C_5} + C_3} \quad (6)$$

品字形配置林带的为

$$\beta_p(n, t, p, D_{1.3}, D, h_0) = \\ h_0(1 - \frac{2C_1 D}{t})[1 - \exp(-\frac{C_2}{np})] + \\ \frac{C_3(1 - h_0)}{C_4[np(1 + C_6 D_{1.3})^2/t]^{C_5} + C_3} \quad (7)$$

随机配置林带的为

$$\beta_r(n, t, p, D_{1.3}, D, h_0) = \\ h_0(1 - \frac{D}{t})(C_1 D + C_2)^n + \\ \frac{C_3(1 - h_0)}{C_4[np(1 + C_6 D_{1.3})^2/t]^{C_5} + C_3} \quad (8)$$

式中, $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ 为取决于树种的冠体形状、分枝角的大小、枝的粗细以及叶的疏密有关外貌形态的待定参数.

现以东北西部具代表性的杨树林带为例,求解待定参数.

基本资料取自于 1989 年 6—10 月对吉林省长春地区农安等 6 县区以及辽宁省昌图县的农田防护林调查,共摄得 144 条林带有叶期黑白照片 288 张,其中北京杨林带 80 张;双阳快杨(*P. × xiaozhuanica*)林带象片 70 张;小黑杨(*P. × xiaohei*)、小青黑杨(*P. pseudosimonii × nigra*)、白城杨 *P. × xiaozhuanica* 等 3 个树种林带 50 张,小青杨(*P. simonii*)和小叶杨(*P. pseudosimonii*)52 张. 所有林带为同龄纯

林,其中 3—10 年生的 22 条,11—20 年生的 81 条,21—27 年生的 21 条.带内配置有矩形、品字形和随机等 3 种类型.

用于估计模型中待定参数的林带疏透度,用数字图象处理法确定,其绝对误差限为 0.031. 鉴于调查的杨树种类较多,故按外貌特征的相似性和样本数的要求将全部调查树种归为杂交杨(北京杨、小黑杨、小

青黑)、小钻类杂交杨(双阳快、白城杨)、乡土杨(小青杨和小叶杨)3 个树种组,用麦夸脱(Marquardt, D. W.)迭代法模拟出 3 种配置林带冠部和干部疏透度模型中诸参数的最小二乘估计组合成 7 套参数(表 2). 若将其相应代入(6)–(8)式中则可得 3 种配置方式对应于 3 个树种组的 7 个林带疏透度变化模型.

表 2 3 种配置林带干部和冠部疏透度模型中对应于 3 个树种组的参数

Table 2 Parameters for porosity model of trunk and crown in 3 patterns and 3 tree species groups

配置 Pattern	树种组 Tree species	样本数 No.	干 部 Trunk				冠 部 Crown					
			C ₁	C ₂	R	Sy. x	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	R	Sy. x
矩 形 Rectan- gle	杂交杨 Hybird poplar	62	2.8235	4.7076	0.83	0.065	1.0014	0.7926	0.9419	6.5294	0.82	0.075
	小钻类 <i>P. xiaozhua</i> - <i>nica</i>	32	1.4336	2.4885	0.90	0.079	0.5000	0.4484	0.8851	4.1415	0.95	0.043
品 字 形 Trangle	杂交杨 Hybird poplar	32	1.2032	4.3447	0.92	0.057	1.0000	0.5569	1.3001	5.9819	0.98	0.038
	小钻类 <i>P. xiaozhua</i> - <i>nica</i>	52	1.1125	2.9894	0.91	0.057	4.4934	0.2990	1.0787	23.903	0.91	0.051
随 机 Random	杂交杨 Hybird poplar	36	1.5205	0.1165	0.93	0.048	0.8951	0.1701	1.3678	11.138	0.97	0.040
	小钻类 <i>P. xiaozhua</i> - <i>nica</i>	42	2.0837	0.0200	0.91	0.055	1.2461	0.1804	1.0666	15.681	0.95	0.041
	乡土杨 Local poplar	34	2.3857	0.0692	0.84	0.090	0.4500	1.1368	0.7696	1.5843	0.88	0.042

4 林带最适疏透度的确定

调整林带结构,除了要满足林木正常生长发育的要求之外,更重要的是使林带处于最佳防护状态.因此,确定维持林带最佳状态的最适疏透度至为关键.以往的研究表明,当疏透度值达 0.25—0.40 时,林带的防护效益最大^[1,9],为了应用这一结论不致产生偏颇,1987 年在宝力试验区选取具不同疏透度的林带在主害风盛行的 5—6 月(全叶期)对林带的防风效益进行了对比观测.结果发现,具不同疏透度的林带均在迎风面 10H 至背风面 20H 范围内产生明显作用,30H 处的风速均恢复到旷野水平.但是,具不同疏透度的林带之间的防风

效果及有效防护距离是有显著差别的.图 1 反映了林带防风效果与林带疏透度的关系.从图 1 可更直观地看出,当疏透度为 0.25 时,3 个风速减弱值均达到最大.由此可以得出在昌图试验地区,疏透度为 0.25 的林带具最优的防护效益,疏透度大于或小于 0.25 均会导致防护效益的降低,偏差

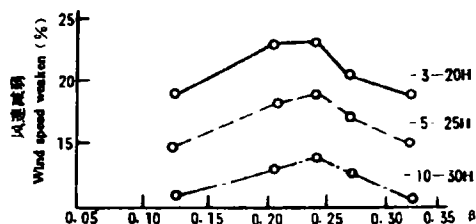


图 1 不同疏透度林带防风效果比较

Fig. 1 Comparison of wind protecting effect of belts with different porosities.

愈大,防护效益也就愈不理想。

5 疏透度模型在林带结构调控中的应用

5.1 主导因子模型的应用

以昌图县宝力镇的林带为例,应用已建立的疏透度模型,取最优结构 0.25 疏透度时的各林分结构因子制成不同林带高、枝下高对应的最适胸高断面面积(G)和最适株数表(表 3)。对于现实林带的任一条,只要通过常规的林带调查,取得 100m 段林带的 G 值和 h_0 后,代入(1)–(5)式,即可

得到该林带的疏透度 β 值。若有叶期林带疏透度小于 0.25,表明林带过于紧密,可以通过修枝或间伐,即改变 G 值或 h_0 值使林带恢复到最适结构状态。抚育调整量均可由(9)式计算得出。

$$\text{间伐强度} = \frac{G - G_{\text{适}}}{G} \times 100\% \quad (9)$$

式中, $G_{\text{适}}$ 为表 3 中所给参数, G 为林带实际调查值。

调查及计算表明,昌图宝力镇大约有 1/3 林带需要进行不同程度的间伐,其平

表 3 杨树林带不同树高及枝下高条件下最适 G 值($\text{m}^2 \cdot 100\text{m}^{-1}$)

Table 3 G value of poplar belts under different tree height and clear bole height

枝下高(m) Clear bole height H	树 高 Tree height (m)									
	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
1.5	3.310	2.835	2.524	2.306	2.146	—	—	—	—	—
2.0	4.750	3.864	3.310	2.935	2.665	2.463	2.306	2.182	—	—
2.5	—	—	4.340	3.734	3.310	2.999	2.763	2.578	2.429	2.306
3.0	—	—	—	4.750	4.111	3.653	3.310	3.045	2.835	2.665
3.5	—	—	—	—	5.106	4.448	3.965	3.598	3.310	3.079
4.0	—	—	—	—	—	—	4.750	4.251	3.864	3.558
4.5	—	—	—	—	—	—	—	5.022	4.511	4.111
5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	5.267	4.750

均间伐强度约为 20%。

5.2 机理模型的应用

林带疏透度机理模型是根据林带诸项易测因子对疏透度影响机理一般规律而建立的,具有较普遍的适用性。在实际中,每一个模型对于其相应的配置与树种组成的林带可解决以下 4 个结构定量调控技术问题:(1)计算林带疏透度,为其最基本的应用。(2)在给定 t 、 $D_{1.3}$ 、 h_0 的条件下模拟出维持林带既定疏透度,100m 段林带需保留的林木株数,为以间伐为手段调控林带结构提供依据。(3)在给定 n 、 t 、 $D_{1.3}$ 、 p 的条件下,模拟出维持林带既定疏透度(大于其冠部疏透度)应该保留的相对枝下高,为以修枝为手段调控林带结构提供依据。(4)在给定 n 、 t 、 h_0 条件下,计算出对应于与胸径和每 100m 段林带株数的疏透度动态变化表,作为制定林带各生长发育阶段结构定

量调控方案的依据。

为减少上述 4 个方面应用的计算量,以 7 个模型为基础,编写出 BASICA 程序(略)以供应用。

参考文献

- [1] 朱廷曜. 1980. 林带防风作用的风洞实验. 中国科学院林业土壤研究所集刊(5), 科学出版社, 北京, 29—46.
- [2] 周新华等. 1991. 数字图象处理法测定林带疏透度随机误差研究. 应用生态学报, 2(3): 193—200.
- [3] 周新华等. 1992. 数字图象处理法测定林带疏透度投影误差和影缩误差研究. 应用生态学报, 3(2): 111—119.
- [4] 姜凤岐等. 1989. 应用“数字图象处理”对林带疏透度进行测定. 东北西部内蒙东部防护林研究. 东北林业大学出版社, 哈尔滨, 399—401.
- [5] 曹新孙主编. 1983. 农田防护林学. 中国林业出版社, 北京, 1—89.
- [6] Kenney, W. A. 1987. A method for estimating windbreak porosity using digitized photographic silhouettes. Agric. & For. Meteorol., 39: 91—94.