

落叶松人工林间伐技术优化研究*

张会儒 姜文南

摘要 本文以林分生长模型为基础,将林分的经营指数作为状态变量,将主伐时林分平均直径作为目标,将达到这一目标时林分总收获蓄积量作为指标函数,建立了离散确定性动态规划模型,编制了计算机模拟系统。利用此系统即可对落叶松不同培育目标下的最佳间伐时间、间伐强度和主伐年龄等进行决策。结果表明,优化决策方法在保留株数、间伐次数和总收获蓄积量上都优于一般决策方法,它既可对落叶松林分进行生长预测,也可为制定经营单位的经营方案提供依据。

关键词 落叶松林分、间伐、动态规划、计算机模拟系统、森林经理

落叶松是我国北方的重要用材树种,在辽宁东部有人工林 18.5 万 hm^2 。“八五”期间,辽宁省还将利用世界银行贷款营造日本落叶松、长白落叶松速生丰产林 8.4 万 hm^2 ,这样大面积的落叶松人工林,首要的问题就是如何去经营它。以往,对落叶松的生长和经营已作了大量的研究工作,积累了许多有益的经验,但是这些研究都是针对落叶松的某一方面,获得的经验也是零碎的,缺乏用现代化的手段将其组装形成系统,从而进一步实现系统的优化。

解决多阶段最优化决策常用的方法就是动态规划方法,将它应用于林业上,始于研究林分的最适密度,确定林分最佳间伐量与间伐期^[4~11]。但是以往的研究,在优化间隔期的设置上,采取人为控制,划分成若干个年龄阶段,从而缩小了寻优的范围。本文是在继承前人研究的基础上,将优化间隔期细分为 1a,即与林分年龄一致,同时综合了林学和计算机的知识,探讨了在目标培育的前提下,落叶松经营管理的优化决策。决策的内容包括培育目标、最佳间伐时间、间伐强度、主伐年龄等。

1 材料来源及生长模拟

研究材料来自于辽宁东部 422 块日本落叶松 (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carr.) 和 1 375 块长白落叶松 (*Larix olgensis* Henry) 标准地资料,按不同立地指数分成三类:好立地(日本落叶松 18 以上,长白落叶松 17 以上);中等立地(日本落叶松 14~18,长白落叶松 13~17);劣等立地(日本落叶松 14 以下,长白落叶松 13 以下)。再分别三类拟合其各种生长模型,具体拟合过程及模型精度见文献 1)。

2 模型的建立

动态规划是运筹学的一个分支,是解决多阶段决策过程最优化问题的一种方法,大约产生于本世纪 50 年代。1951 年美国数学家贝尔曼等人,根据一类多阶段决策问题的特性,提出了

1993—05—17 收稿。

张会儒助理研究员(中国林业科学研究院资源信息研究所 北京 100091);姜文南(中国林业科学研究院林业研究所)。

* 本文属于辽宁省重点课题“辽宁落叶松经营质量管理体系及集约经营技术的研究”内容。

1) 落叶松集约经营研究协作组. 落叶松人工林生长、直径分布与经营数表编制成果汇集, 1992.

解决这类问题的“最优化原理”^[1~3]。对于林分密度控制和间伐问题而言,贝尔曼最优化原理可以表述成:作为整个经营期的最优采伐(间伐和主伐)策略,具有这样的性质,即无论过去的密度状态和间伐策略如何,对过去的决策所形成的密度状态而言,余下的诸决策必须构成最优策略。根据这一原理,对于目标确定的间伐控制问题,可将它的求解过程看成两步:先根据目标逆向确定各阶段各状态的策略和最优指标值,得到一系列最优化值,称之为优化表;然后针对实际问题,利用优化表顺向递推,即得到该林分的最优经营策略。

2.1 模型的构成

树木的生长无论在个体还是在群体上,都是一个动态变化的过程,即都是时间(年龄)的函数,且这个函数是连续性的,为了研究的方便,将年龄按一定的间距(如 1a)分段,在每个阶段中,林分都有反映其生长状况的一些特征因子,如胸径、树高、蓄积、株数、经营指数等,这些因子随不同的立地条件取值有所不同,这些值的集合就是状态向量。对每一个状态,采取什么样的经营措施(决策),例如,是否间伐,强度是多少,才能使经营目标最优,这就成了一个多阶段的决策最优化问题。在本研究中,确定最终目标为主伐时林分胸径达到某个值,如 18、20 cm 等。指标为实施策略过程中总收获蓄积量,它包括两部分:间伐蓄积量和主伐蓄积量。各年龄阶段的状态取经营指数(经营指数为现实林分蓄积与密控图中最大密度线上的蓄积量之比),决策为间伐降低经营指数。

设任一年龄阶段为 k ,林分主伐年龄为 A ,经营指数为 Rd ,则林分动态间伐示意图见图 1。

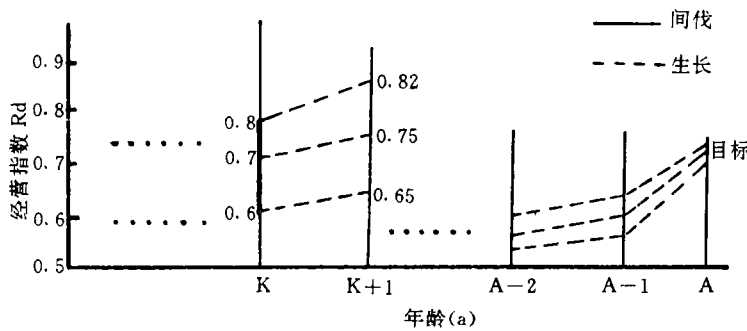


图 1 林分动态间伐示意

设第 k 阶段第 $r(k)$ 个状态的状态值为 $X_{kr(k)}$,此状态时采取的决策为 $U_k(X_{kr(k)})$,获得间伐蓄积量为 $T_k(X_{kr(k)})$,演变到 $k+1$ 阶段的 $X_{(k+1)r(k+1)}$ 状态时,蓄积为 $V_{(k+1)}(X_{(k+1)r(k+1)})$,那么 k 阶段 $X_{kr(k)}$ 状态时的蓄积总收获为:

$$V_k(X_{kr(k)}) = T_k(X_{kr(k)}) + V_{(k+1)}(X_{(k+1)r(k+1)}) \tag{1}$$

$V_k(X_{kr(k)})$ 即为指标函数,最优指标函数则为 $\text{Max}[V_k(X_{kr(k)})]$ 。

这里的状态向量为: $S_k = (\dots, 0.4, 0.41, \dots, 1.0)$ (2)

决策向量为: $D_k(X_{kr(k)}) = (0, -0.1, -0.11, -0.12, \dots, -0.20)$ (3)

其中 0 表示不间伐,负值表示间伐降低的经营指数。

2.2 间伐技术处理

为了充分发挥土地潜力,不同立地条件下应培育不同的材种,随着立地条件的不同,各材种的主伐年龄也有所不同,综合各种立地条件考虑,落叶松不同材种的主伐年龄范围见表 1。

表 1 落叶松不同材种主伐年龄

主伐年龄(a)	培育材种	成熟时的平均直径(cm)	
		日本落叶松	长白落叶松
15~35	小径材	16~18	16~20
20~45	中径材	20~24	22~26
30~50	大径材	26 以上	28 以上

表 2 间伐经营指数

培育材种	日本落叶松		长白落叶松	
	开始	保留	开始	保留
小径材	0.60	0.50	0.60	0.50
中径材	0.65	0.55	0.70	0.60
大径材	0.70	0.60	0.75	0.65

确定主伐年龄后,再确定各阶段的间伐措施。落叶松的间伐,以经营指数(Rd)为标准,开始考虑间伐的经营指数见表 2。间伐间隔期为 5~7 a,间伐次数为 2~5 次,每次间伐经营指数降低 0.1~0.2。考虑到主伐前 5 a 以内间伐已失去意义,所以,此时不宜间伐,即此时的决策只有一种——继续生长,这就限制了以后各阶段可能存在的状态,会造成经营指数中断,影响寻优过程,因此,为了解决这个问题,在主伐前 5 a 时可间伐 0.05~0.2。另外,如果 Rd 大于 1.0,一次可允许间伐 0.2 以上。据研究¹⁾,各树种间伐保留适应的经营指数见表 2。

3 动态优化表的计算

这一步骤即为动态规划求解过程。先确定主伐年龄时的目标(直径),再由终点向始点逆向递推,求出各阶段各状态的最优决策。

寻优方法:据前面的假设,对于任一阶段 k ,状态向量如(2)式,对于任一状态 $X_{kr(k)}$,决策向量如(3)式,采取每种决策后,指标函数(到主伐时的蓄积总收获)由(1)式确定,然后比较每一个 $V_k(X_{kr(k)})$,找出其中最大者,即为 k 阶段 $X_{kr(k)}$ 状态时的最优指标,这时的决策 $U_k(X_{kr(k)})$ 即为此状态的最优决策。以此法即可求出各阶段各状态的最优决策。

本研究因缺乏幼林的资料,故优化开始计算年龄都在 10 a 以上,见表 3。

各状态的最优决策即为优化表,表 4 为日本落叶松 18 立地指数、培育直径 20 cm 的动态优化表的一部分。

表 3 不同立地各材种起始优化年龄

(单位:a)

培育材种	立地指数		
	≤ 10	10~17	≥ 17
小径材	20	15	10
中径材	20	15	10
大径材	13	13	13

4 落叶松林分优化计算

有了优化表后,对于具体的某一落叶松林分,可以结合立地指数和经营指数,对其抚育间伐和生长进行动态预测。例如,有一日本落叶松林分,立地指数为 18,年龄为 23,经营指数为 0.80,每公顷 2 200 株,培育目标为直径 20 cm,利用表 4 对其进行生长预测。查表 4 可知,当 $A=23, Rd=0.80$ 时, $U_{Rd}=0.04$,说明这时不间伐,继续生长,利用生长模型求出生长因子,采取这种决策后, $Au=24$,演变到下一阶段;1 a 后(即 $A=24$ 时), $Rd=0.84$,这时查表 4, $U_{Rd}=-0.14$,说明这时需要间伐,且经营指数降低 0.14,利用经营指数和蓄积量及株数的关系¹⁾就可求出间伐木因子(间伐直径、间伐蓄积、间伐株数),采取此决策后, $A_0=29$,即继续生长 5 a,到 29 a 再考虑间伐。以此类推直到主伐,就可实现生长的动态预测,且这种预测是最优的。表 5 为一小班优化计算结果。

表4 日本落叶松18指数培育直径20的优化表(部分)

A (a)	Au (a)	Rd	U _{Rd}	M (m ³ /hm ²)	A (a)	Au (a)	Rd	U _{Rd}	M (m ³ /hm ²)
24	25	0.68	0.03	359.4	23	24	0.67	0.03	356.3
24	25	0.69	0.03	363.8	23	24	0.68	0.03	364.9
24	29	0.70	-0.05	356.3	23	24	0.69	0.03	369.3
24	29	0.71	-0.05	364.9	23	24	0.70	0.03	373.6
24	29	0.72	-0.05	369.3	23	24	0.71	0.03	377.9
24	29	0.73	-0.05	373.6	23	24	0.72	0.03	382.2
24	29	0.74	-0.06	377.9	23	24	0.73	0.03	385.9
24	29	0.75	-0.05	382.2	23	24	0.74	0.03	389.6
24	29	0.76	-0.06	385.9	23	24	0.75	0.03	393.3
24	29	0.77	-0.07	389.6	23	24	0.76	0.03	397.0
24	29	0.78	-0.08	393.3	23	24	0.77	0.03	400.7
24	29	0.79	-0.09	397.0	23	24	0.78	0.03	404.4
24	29	0.80	-0.10	400.7	23	24	0.79	0.03	408.1
24	29	0.81	-0.11	404.4	23	24	0.80	0.04	415.5
24	29	0.82	-0.12	408.1	23	24	0.81	0.04	419.2
24	29	0.83	-0.13	411.8	23	24	0.82	0.04	422.9
24	29	0.84	-0.14	415.5	23	24	0.83	0.04	426.6
24	29	0.85	-0.15	419.2	23	24	0.84	0.04	430.3

注:A——年龄;Au——决策实施后年龄;Rd——A年时的经营指数;M——主伐时总收获蓄积量;U_{Rd}——生长或间伐的经营指数增量,即决策(正值表示生长量,负值表示间伐量)。

表5 小班优化计算结果

林班号:24		小班号:1.2		面积:6.6 hm ²		树种:日本落叶松		立地指数:14		育林直径:16 cm	
时 间 (a)	年 龄 (a)	上层高 (m)	平均高 (m)	平均径 (cm)	株 数	蓄 积 (m ³ /hm ²)	经营指数	间伐株数	间伐蓄积 (m ³ /hm ²)	总收获 (m ³ /hm ²)	收获累加 (m ³ /hm ²)
1	16	12.0	9.7	8.5	2 325	68	0.51				
6	21	14.5	11.7	10.7	2 325	126	0.62				
11	26	16.4	13.3	12.5	2 325	190	0.73				
14	29	17.4	14.8	14.3	1 389	171	0.59	936	59	59	59
19	34	18.8	16.0	15.8	1 389	219	0.67				59
20	35	19.0	16.2	16.0	1 389	229	0.68			229	288
26	6	5.2	4.1	2.9	3 300	5					288
31	11	8.9	7.0	5.6	3 300	32					288
36	16	12.0	9.4	8.1	3 300	82	0.62				288
41	21	14.5	11.3	10.2	3 300	150	0.74				288
45	25	16.1	13.1	12.3	2 220	173	0.69	1 080	37	37	325
50	30	17.7	15.1	14.7	1 367	179	0.60	853	58	237	562
规 划 期							总收获=3 709(m ³)				

5 结果分析和讨论

(1)将优化结果与一般决策结果比较(表6)(一般决策为,对间伐间隔期及每次间伐量不做限制,只控制保留经营指数),可见:在主伐年龄相同情况下,两者培育直径相差较小,不超过一个径阶;而在保留株数上优化比一般合理;间伐次数优化少于一般;总收获蓄积量优化大于

一般,且这种差别随着立地指数的增高而增大,就主伐时每公顷蓄积收获而言,两者相差 3~123 m³ 不等。故采取不同的经营决策获得的效益差别是很明显的。

(2)以林分生长模型为基础,用动态规划方法实现了落叶松目标经营的优化控制,结果表明,它既可以对落叶松林分进行生长预测,也可为制定经营单位经营方案提供依据。

(3)动态规划模型求解和林分优化决策的计算工作量很大,手工操作难以解决,所以用 BASIC 语言编成了计算机程序,采用人机问答方式即可显示打印结果,方便迅速。

(4)研究的材料是落叶松,只要将生长模型及有关参数换成其它树种的,就可实现对其它树种的优化决策。

(5)本次研究由于缺乏小年龄的落叶松人工林资料,所以使这一阶段的预测结果有一定偏差,有待于以后补充,使决策更全面、更准确。

表 6 一般决策与优化决策结果对比

单元号	决策种类	树 种	立地指数	年 龄 (a)	株 数	主伐年龄 (a)	主伐直径 (cm)	主伐株数	间伐次数	总收获蓄积量 (m ³ /hm ²)
1	一 般 优 化	日本落叶松	14	15	1 755	40	17.3	1 313	1	299
							17.5	1 141	1	302
2	一 般 优 化	日本落叶松	16	15	2 100	50	24.0	687	4	509
							23.0	1 021	3	607
3	一 般 优 化	日本落叶松	16	17	3 240	50	24.0	687	5	542
							23.1	1 011	4	665
4	一 般 优 化	长白落叶松	13	13	3 045	30	14.2	1 387	2	186
							14.0	1 499	2	191
5	一 般 优 化	长白落叶松	15	10	3 045	50	28.0	463	6	401
							27.0	659	6	466

参 考 文 献

- 1 罗伯特 E 拉森,约翰 L 卡斯梯. 动态规划原理. 北京:清华大学出版社,1984.
- 2 《运筹学》编写组. 运筹学. 北京:清华大学出版社,1982.
- 3 郎奎健,唐守正. IBM-PC 系列程序集. 北京:中国林业出版社,1989.
- 4 Elliot L Amidom, Garth S Akin. Dynamic programming to determine optimum levels of growing stock. For. Sci., 1968, 14(3):287~291.
- 5 Brodie J D, Adams D M, Kao C. Analysis of economic impacts on thinning and rotation for Douglas-fir, using dynamic programming. For. Sci., 1978, 24(4):513~522.
- 6 Brodie J D, Kao C. Optimizing thinning in Douglas-fir with three-descriptor dynamic programming to account for accelerated diameter growth. For. Sci., 1979, 25(4):665~672.
- 7 Chen C M, Rose D W, Leary R A. Derivation of optimal stand density overtime —— a discrete stage, countinuous state dynamic programming solution. For. Sci., 1980, 26(2):217~227.
- 8 Martin G L, A REK. A dynamic programming analysis of sivicultural alternatives for red pine plantations in Wisconsin. Can. J. F. Res., 1981, 11(2):370~379.
- 9 Kao C. Optimal stocking levels and rotation under risk. For. Sci., 1982, 28(4):711~719.
- 10 张运锋. 用动态规划方法探讨油松人工林最适密度. 北京林业大学学报, 1986, 8(2):20~29.
- 11 张兴源. 林分最佳间伐量与间伐期的确定. 林业资源管理, 1987, (1):29~32.

The Study of Thinning and Its Optimum Control for Larch Plantation

Zhang Huiru Jiang Wennan

Abstract Based on the stand growth models, a discrete deterministic dynamic programming model was established which took the management index as state variables, the mean diameter of final cutting as a goal and the total volume as the objective function at the time when the goal is reached. A computer simulation system was produced. With this system, the optimum thinning time, thinning intensity and final cutting age could be decided for larch plantation with different goals. The result shows that the number of reserved trees, number of times of thinning and total volume yield calculated by this method are better than those by the common one. It not only forecasts growth of stand for larch plantation but also provides basis for making managerial plans.

Key words larch stand, thinning, dynamic programming, computer simulation system, forest management

Zhang Huiru, Assistant Professor (The Research Institute of Forest Resources Information Techniques, CAF Beijing 100091); Jiang Wennan (The Research Institute of Forestry, CAF).

“毛竹林养分循环规律及其应用的研究”通过技术鉴定

由中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 中国林业科学研究院亚热带林业试验中心, 浙江省安吉县灵峰寺林场和福建省林业厅造林经营处等单位共同承担的《毛竹林养分循环规律及其应用的研究》, 于1994年1月14日在浙江富阳中国林业科学研究院亚热带林业研究所通过技术鉴定。

技术鉴定会由中国林业科学研究院研究员洪菊生副院长主持。鉴定委员会由林业部科技司司长刘于鹤研究员、浙江省林科所名誉所长周重光教授等15名多学科的专家组成。与会专家一致认为该项目的研究内容符合世界森林生态系统研究动向, 主题起点高、方向正确, 研究内容广、技术难度大, 历时八年的定位观察, 取得了大量的数据, 经统计分析其结论既有重要的理论意义, 也有很好的实际应用价值。目前已在浙江、江西、福建与湖南等省的38万亩毛竹林中推广应用这项技术, 并取得了净增收4千万元以上的经济效益。从而为毛竹林的科学经营、合理施肥、速生丰产提供了重要的理论依据和行之有效的技术措施, 填补了我国毛竹林生态系统养分循环研究的空白, 在基础理论研究或应用技术试验方面均达到国际领先水平。

(中国林学会竹子分会 吴璧璋)