

Markov 过程在森林资源结构动态预测中的应用

——以福建省南平地区的树种结构为例

陈建忠 周世勇 (福建省建阳县林业委员会, 建阳 354200)

徐福余* (中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110015)

【摘要】 根据马尔可夫决策过程理论和森林资源连续清查的固定样地调查资料, 对南平地区的树种结构进行了预测与调整, 结果表明, 按现状发展, 针阔比例将日趋严重, 并且毛竹、经济林的占有率呈下降趋势, 最终达到以杉木 28.05%、马尾松 16.63%、阔叶树 19.01%、毛竹 5.43%、经济林 2.26%、其它类 28.71% 的树种结构。经调整后稳定状态的树种结构基本趋于合理, 即各树种的占有率分别为杉木 18.72%、马尾松 13.24%、阔叶树 26.98%、毛竹 10.84%、经济林 5.45%、其它类 24.77%。

关键词 森林资源结构 马尔可夫过程 转移概率

Application of Markov process in structural dynamic forecasting of forest resources with tree species structure in Nanping region of Fujian Province as an example. Chen Jianzhong, Zhou Shiyong (Forest Committee of Jianyang County, Fujian Province, Jianyang 354200), Xu Fuyu (Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang 110015). - Chin. J. Appl. Ecol., 1994, 5(3): 232-236.

Based on the theory of Markov process, and the data obtained from fixed plots for continuously surveying forest resources, the tree species structure in Nanping region is forecasted and adjusted. The results show that the ratio of conifers to broad-leaved trees will be seriously imbalance and the occupied ratios of *Phyllostachys pubescens* and economic trees will be decreased gradually. The tree species structure will be lied in a stable state, e.g., *Cunninghamia lanceolata* occupies by 28.05%, *Pinus massoniana* by 16.63%, broad-leaved trees by 19.01%, *Phyllostachys pubescens* by 5.43%, economic trees by 2.26%, and others by 28.71%. After adjustment, they occuy by 18.72, 13.24, 26.98, 10.84, 5.45 and 24.77% respectively.

Key words Forest resources structure, Markov process, Transition probability.

1 引言

综观国内外林业发展的趋势, 现代林业生产的目的, 不只是简单地为了木材及林产品的生产, 更重要的是注重森林多种效益的发挥, 而森林资源结构是否合理, 直接关系到森林整体效益的发挥, 科学合理地调整森林资源结构已成为林业生产活动的当务之急。由于林业生产具有时间的长期性、空间的广袤性、资源的可再生性和连续性, 经济生产过程与自然生长过程的交

错性以及效益的多样性等自身的特点, 致使森林资源结构的调整成为一项长期而又艰巨的任务。因此, 正确地预测与调整森林资源的结构, 为制定林业发展规划提供可靠的依据, 不仅是林业生产活动中迫切需要解决的问题, 也是国土整治规划, 国民经济长期规划以及研究陆地生态平衡课题迫切需要解决的问题。

* 本文第二作者。

1993年12月9日收到, 1994年5月3日改回。

马尔可夫过程已应用于预测植被的演替^[1,2,6,7]和土地利用变化^[3]以及水资源系统分析^[4],在林业上,研究林木生长竞争、林分年龄转移、地类林种动态以及松毛虫灾情同样取得了较满意的效果^[5]。本文根据马尔可夫决策过程理论,利用森林资源连续清查的固定样地调查资料,探讨森林资源结构动态预测并作出相应决策的方法,并以南平地区为例,对该地区的树种结构动态进行预测与调整,阐明应用效果。

2 研究方法

2.1 资料整理

根据森林资源调查的有关规定和所要研究的对象,如各地类面积动态的预测与调整,用材林各龄组蓄积动态的预测与调整等问题,划分系统状态,如各地类可划分为有林地、疏林地、灌木林地、未成林地、苗圃地及无林地等 6 种状态,树种结构可根据当地树种的分布情况和经营目的进行划分,本文应用实例中划分为杉木、马尾松、阔叶树、毛竹、经济林和其它等 6 种状态,在样地选择上需包含正常人为干扰的样地,然后统计两次调查的各状态分布。

2.2 建立状态转移概率矩阵

将两次调查的各状态分布除以第 1 次调查的样地总数,即得状态转移概率矩阵,可表示为

(j)

状态

0

1

2

...

m-1

↑

(i)

0

1

2

...

m-1

$$P = \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \cdots & p_{0m-1} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1m-1} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2m-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m-10} & p_{m-11} & p_{m-12} & \cdots & p_{m-1m-1} \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.3 预测模型的建立

根据马尔可夫随机过程理论,第 n 分期的转移概率为:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_{k=0}^{m-1} p_{ik}^{(n-1)} \cdot p_{kj} \quad (2)$$

$$i=0, 1, 2, \dots, m$$

$$j=0, 1, 2, \dots, m$$

式中, i, j 分别表示转移概率矩阵的行、列数, p_{ij} 即为 i 行 j 列的元素,式(2)可用下列矩阵形式表示

$$P^n = P^{n-1}P \quad (3)$$

根据初始面积占有率矩阵 $A^{(0)}$ 和第 1 分期的转移概率矩阵 $P^{(1)}$,可计算出第 1 分期期末的占有率矩阵 $A^{(1)}$,即

$$A^{(1)} = A^{(0)}P^{(1)} \quad (4)$$

同理,第 n 分期期末的占有率矩阵公式为:

$$A^{(n)} = A^{(0)}P^{(n)} \quad (5)$$

或

$$A^{(n)} = A^{(n-1)}P^{(1)} \quad (6)$$

将各分期各状态的占有率乘以总面积,即得各分期各状态面积,从而实现预测的目的。

2.4 稳定状态预测

如果随机过程的概率分布及数字特征均与时间无关,随机过程就成为平稳过程,其状态就为稳定状态,这时的转移概率称稳定(或恒定)状态转移概率,也是各状态的最终占有率。根据马尔可夫链的极限性质,即当 $n \rightarrow \infty$ 时, P^n 趋近于唯一的极限矩阵 A , 其中所有各行均为 $a_s = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1})$ 。即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} p_{rs}^{(n)} = a_s \quad (7)$$

式中 a_s 满足下列各方程

$$a_s \geq 0 \quad (8)$$

$$a_s = \sum_{r=0}^{m-1} a_r p_{rs} \quad (9)$$

$$1 = \sum_{s=0}^{m-1} a_s \quad (10)$$

式(9)和(10)的展开形式为

$$\begin{bmatrix} (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1}) \\ a_0 + a_1 + a_2 + \dots + a_{m-1} = 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} & \dots & p_{0m-1} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1m-1} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2m-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{m-10} & p_{m-11} & p_{m-12} & \dots & p_{m-1m-1} \end{bmatrix} = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_{m-1}) \quad (11)$$

求解方程组即可得稳定状态时各状态的占有率。

2.5 分析与调整

根据各分期及稳定状态森林资源结构的发展趋势预测,分析森林资源结构按现状发展存在的问题,结合本区域实际情况,提出调整的措施,并按调整措施再预测,再分析、再调整、再预测,最终确定合理的调整措施,从而为制定林业发展规划提供科学依据。

3 应用实例

以南平地区 1983 年和 1988 年 964 块

表 1 各树种样地分布统计表
Table 1 Distribution of sample plots of tree species

1983	1988					
	杉 木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	阔叶树 Broad-leaved trees	毛 竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	经济林 Economic trees	其它 Others
杉 木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	83	8	0	0	1	12
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	8	81	0	0	0	18
阔叶树 Broad-leaved trees	12	2	116	2	1	6
毛 竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	2	0	6	75	0	1
经济林 Economic trees	7	0	3	0	35	4
其 它 Others	39	27	44	5	4	362
合 计 Total	151	118	169	82	41	403

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 79.81 & 7.69 & 0 & 0 & 0.96 & 11.54 \\ 7.48 & 75.70 & 0 & 0 & 0 & 16.82 \\ 8.63 & 1.44 & 83.45 & 1.44 & 0.72 & 4.32 \\ 2.38 & 0 & 7.14 & 89.29 & 0 & 1.19 \\ 14.29 & 0 & 6.12 & 0 & 71.43 & 8.16 \\ 8.11 & 5.61 & 9.15 & 1.04 & 0.83 & 75.26 \end{bmatrix}$$

根据式(2)、(5)、(11)即可计算出 1983 年至 2023 年各分期(以 5 年为 1 个

固定样地调查资料为例,这里仅对树种结构动态进行预测和调整,以评价此法的实用性和可行性。

3.1 转移概率矩阵的构建及预测结果计算

根据森林资源调查有关规定,将树种结构划分为 6 种状态,两次调查的各树种样地分布见表 1。

转移概率矩阵 $P^{(1)}$ 由表 1 中各栏数除以 1983 年调查时各状态的样地总数,即

分期)及稳定状态各树种的面积占有率(表 2)。

表 2 各分期各树种占有率预测结果(%)

Table 2 Prediction for occupied percentage of tree species in different years(%)

年 度 Years	杉 木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	马尾松 <i>Pinus masso-niana</i>	阔叶树 Broad-leaved trees	毛 竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	经济林 Economic trees	其 它 Others
1983	10.79	11.11	14.42	8.71	5.08	49.90
1988	15.66	12.24	17.53	8.51	4.25	41.80
1993	19.13	13.07	19.32	8.28	3.66	36.53
1998	21.59	13.69	20.28	8.05	3.24	33.18
2003	23.35	14.18	20.73	7.83	2.95	30.97
2008	24.60	14.57	20.87	7.61	2.73	29.61
2013	25.50	14.88	20.84	7.40	2.59	28.79
2018	26.14	15.14	20.71	7.21	2.48	28.31
2023	26.61	15.36	20.54	7.03	2.41	28.05
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
稳定状态 Stable state	28.05	16.63	19.01	5.34	2.26	28.71

3.2 预测结果分析

从表 2 可见,各树种占有率的动态趋势有以下几个特征:1) 杉木、马尾松、阔叶树在不同程度上均呈上升趋势,且杉木增长幅度最大,由 1983 年的 10.79% 增加到稳定状态的 28.05%,增加了 17.26%;而马尾松增加了 5.52%,阔叶树为 4.59%。2) 毛竹、经济林和其它类在不同程度上呈下降趋势,其它类下降最大,由 1983 年的 49.9% 下降到稳定状态的 28.71%,下降了 21.19%;而毛竹下降了 3.36%,经济林类下降了 3.82%。3) 各树种比例不合理现象日趋严重,针阔比例由 1983 年的 6 针 4 阔变化为稳定状态的 7 针 3 阔,且毛竹、经济林类呈下降趋势。显然,按现状自由发展的趋势与区域经济发展的要求和理想状态的树种结构是很不适应的,需要对目前的森林经营状况进行适当的调整。

3.3 调整措施

分析第 1 分期(1983—1988 年)的转移概率矩阵 $P^{(1)}$ 可知,造成上述树种不合理的主要原因有:1) 其它类转为杉木、马尾松、阔叶树的比例大,分别占 8.11%、5.61% 和 9.15%;而转为毛竹、经济林类的仅占 1.04% 和 0.83%。2) 杉木转为马尾松的占 7.69%,转为阔叶树和毛竹的均为零;马尾

松转为杉木的占 7.48%,转为阔叶树、毛竹、经济林均为零;阔叶树转为杉木的占 8.63%,转为马尾松的为 1.44%,转为毛竹和经济林的分别仅占 1.44% 和 0.92%;毛竹转为杉木的占 2.38%,转为阔叶树的占 7.14%;经济林转为杉木的占 14.29%,转为阔叶树的为 6.12%,转为马尾松、毛竹的均为零。由此可以看出,无论是无林地还是采伐迹地,用于发展杉木、马尾松和阔叶树的比重较大,而用于发展毛竹、经济林的比重则偏低。为了控制目前的发展趋势,就必须对现有发展对象进行调整,使其趋于合理,调整的目标是要提高阔叶树、毛竹和经济林的比重,为此,采取如下调整对策:1) 对阔叶树林分由皆伐为主改为择伐为主,即将阔叶树转至杉木的概率从 8.63% 降为 2.88%,阔叶树转至阔叶树的概率从 83.45% 提高到 89.21%。2) 对其它类的无林地,增加毛竹、经济林的比重,降低杉木、阔叶树的比重,即将其它类转为经济林的概率从 0.83% 提高到 4.78%,转为毛竹的概率从 1.04% 提高到 3.12%,转为杉木的概率从 8.11% 降低为 3.95%,转为阔叶树的概率从 9.15% 降为 7.28%。因而,调整后的转移概率矩阵为

$$P^{(1)} = \begin{bmatrix} 79.81 & 7.69 & 0 & 0 & 0.96 & 11.54 \\ 7.48 & 75.70 & 0 & 0 & 0 & 16.82 \\ 2.88 & 1.44 & 89.21 & 1.44 & 0.72 & 4.32 \\ 2.38 & 0 & 7.14 & 89.29 & 0 & 1.19 \\ 14.29 & 0 & 6.12 & 0 & 71.43 & 8.16 \\ 3.95 & 5.61 & 7.28 & 3.12 & 4.78 & 75.26 \end{bmatrix}$$

据此,再按式(2)、(5)和(11)计算 1983 年至 2023 年各分期及稳定状态各树种面积的占有率(表 3)。从表 3 可以看出,通过采取调整对策后,各树种占有率都有不同程度的增长,且阔叶树增长速度最快。在稳定状态时,杉木、马尾松、阔叶树、毛竹、经济林分别占 18.72%、13.24%、26.98%、10.84 和 5.45%,其它类占 24.77%,其树种结构基本合理。

4 结 论

4.1 从马氏链模型预测南平地区树种结

表 3 调整后各分期各树种占有率预测结果(%)

Table 3 Prediction for occupied percentages of tree species in serial periods after adjustment(%)

年度 Years	杉 木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	马尾松 <i>Pinus masso - niana</i>	阔叶树 Broad - leaved trees	毛 竹 <i>Phyllostachys pubescens</i>	经济林 Economic trees	其 它 Others
1983	10.79	11.11	14.42	8.71	5.08	49.90
1988	12.76	12.24	17.43	9.54	6.22	41.80
1993	14.37	12.85	19.65	10.08	6.69	36.37
1998	15.62	13.15	21.31	10.41	6.80	32.70
2003	16.58	13.30	22.55	10.62	6.72	30.23
2008	17.28	13.37	23.48	10.75	6.57	28.55
2013	17.79	13.39	24.20	10.83	6.39	27.41
2018	18.15	13.39	24.74	10.87	6.22	26.63
2023	18.40	13.38	25.72	10.89	6.07	26.09
∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
稳定状态 Stable state	18.72	13.24	26.98	10.84	5.45	24.77

当调整,经调整后,稳定状态各树种的占有率分别为杉木 18.72%、马尾松 13.24%、阔叶树 26.98%、毛竹 10.84%、经济林 5.45%、其它类 24.77%。

参考文献

[1] 阳含熙、潘愉德、伍业钢. 1988. 长白山阔叶红松林马氏链模型. 生态学报, 8(3):211-219.
[2] 孙宏义. 1990. 沙坡头人工植被变化的动态平衡. 生态学杂志, 9(4):53-56.
[3] 徐 岚、赵 羿. 1993. 利用马尔可夫过程预测东

陵区土地利用格局的变化. 应用生态学报, 4(3):272-277.
[4] 姚汝祥、廖 松等. 1987. 水资源系统分析及应用. 清华大学出版社, 北京, 114-149.
[5] 陈平留、林 杰. 1989. 地类林种动态变化预测与控制的研究. 华东森林经理. (1):7-14.
[6] de Smit Lippe, E. J. T. and Glenn - Lewin, D. C. 1985. Markov models and succession: A test from a healthland in the Netherlands. *J. Ecology*, 73:775-791.
[7] Van Hulst, R. 1979. On the dynamics of vegetation: Markov chains as models of succession. *Vegetation*, 40:3-14.

4.2 根据对南平地区树种结构变化趋势的预测结果分析,对现有树种结构进行适