

适应价格的用材林主伐决策模型的研究^{*}

石海金 宋铁英

(北京林业大学森林资源与环境学院 北京 100083)

摘 要: 本文研究了木材价格的变化为一自相关随机过程时用材林采伐的随机决策分析问题, 分析了用材林经营决策中的不确定性因素及其对经营决策的影响, 建立了一个针对主伐的木材市场价格随机变动的适应价格的主伐决策模型, 利用动态规划求得在一个给定决策期内的主伐最优经营策略, 对应这个策略有一个最大的期望效益。并进一步分析了在价格波动情况下和不同贷款利率下的最优策略。
关键词: 随机决策分析, 森林经营, 主伐, 自适应控制, 动态规则

A TIMBER HARVEST DECISION MODEL ADAPTED FOR TIMBER PRICES

Shi Haijin Song Tieying

(College of Resource and Environment of Beijing Forestry University Beijing 100083)

Abstract: This study is on a timber harest decision problem, in which the timber price are varied as a self-correlation stochastic procedure. The uncertain factors in timber management and their effects are analyzed. An adaptive decision model for final harvest is established. The optimal decision policy which brings highest expected profit for harvest under a given decision period is obtained by the dynamic programming algorithm. The optimal policies under different risk and discount rate are also compared.

Key Words: Stochastic decision analysis, Forest management, Final harvest, Adaptive control, Dynamic programming

1 不确定性森林经营模型的研究概况

1.1 不确定性森林经营问题的提出

在传统的用材林经营模型的研究中, 生长和木材的价格都假定为时间的确定性函数, 这样的经营模型称之为确定性经营模型。确定性经营模型通常可以用于制定森林经营规划, 例如通过确定性模型的计算得到一个最优轮伐期。但是用于实际的经营决策则常常是不适宜的, 因为实际上森林的生长和木材价格市场的变动都有很多的不确定性, 两者相比较, 木材价格的不确定性更大。例如应用确定性经营模型得到“最优”轮伐期为 30 年, 经营者到 29 年时, 发现当年的木材价格很高, 就可以提前主伐。同样在 30 年时由于价格偏低, 他可以推迟一年主伐。如何分析这种不确定性对经营决策的影响, 制定适应价格变动的经营策略, 对森林经营者是一个很重要的问题, 这就要研究不确定性的森林经营模型。

国外对不确定性森林经营模型研究较早, 1966 年 Hool 应用动态规划马尔柯夫链研究了木材疏伐与收获问题。在该研究中, 木材生长具有随机性情况下, 他获得了一个最优的疏伐和皆伐策略(Hool, 1966)^[1]。Norström 在用材林一次性收获问题中, 首先应用了随机动态规划模型。Norström 认为木材生长是确定的, 而假设木材价格是随机的, 并且是一个平稳马尔柯夫过程。该研究表明, 应用随机模型获得的期望现值至少和用确定性模型所得结果一样大(Norström, 1975)^[2]。Lohmander、Brazee 和 Mendelshon 研究了同龄林经营的最优停止规则(Stopping rule)问题, 并得到了对于皆伐决策的最优保

收稿日期: 1997-04-16。

基金项目: 国家自然科学基金项目(39130080)。

留价格(Lohmander, 1987; Brazee, 1988)^[3, 4]。

对于不确定性的研究国内则很少见。而在当前市场经济下,不确定性对经营的影响日渐明显。以前在计划经济体制下,一般的经营指标由计划部门下达,木材价格不由市场决定。而当前在计划经济向市场经济的过渡过程中,计划问题正在向决策问题转化,也就是说,经营问题越来越面向经营者个人。即由经营者个人对自己所经营的森林作出正确合理的经营决策,不再由上级主管部门下达硬指标。而这就必然要求对市场条件和森林的不确定性有更详细的了解,从而使用材林经营中不确定性的研究更显出了它的重要性。

1.2 不确定性经营问题的数学描述

实际经营中经营者对采伐时间的决定会受到木材市场波动的影响,如果木材价格高,他们会提早采伐,而木材市场价格偏低时,他们宁肯推迟采伐。本文研究的针对主伐的适应价格的主伐决策模型就是试图产生在一个给定的采伐决策期内,经营者可以遵循的最优策略来代替由确定性经营模型得到的“最优”轮伐期,在这个最优策略的作用下,可以获得最大的期望效益。

我们先以一个简单的在特定时间 t_0 时的主伐决策问题为例。

假设在 t_0 时的决策者对林分经营的选择有两个,主伐或推迟到 t_1 再主伐。若 t_0 时的价格为 P_0 ,材积为 V_0 ,则伐后的收益 J_0 是确定的,即 $J_0 = P_0 V_0$ (不计成本)。而推迟主伐后未来的效益在 t_0 时刻是难以确定下来的,因为即便排除掉自然灾害的风险,木材价格也是不确定的,但未来价格变化可以有一先验概率分布,那么我们得到一个期望现值 W_0 。

$$W_0 = \int_{P_{\min}}^{P_{\max}} f_1(P_1) V_1 dP_1 e^{-r(t_1-t_0)} \tag{1}$$

其中: $f_1(P_1)$ 是在 t_1 时木材价格的先验概率密度; V_1 是 t_1 时的林分材积; r 为年利率; P_{\min} 为 t_1 时的预测最低木材价格; P_{\max} 为 t_1 时的预测最高木材价格。假设森林经营者风险偏好是中立的, $f_1(P_1)$ 与 P_0 之间没有相关性,则经营者可以比较 J_0 和 W_0 后作出决策。

当 $J_0 \geq W_0$ 时 则在 t_0 主伐
当 $J_0 < W_0$ 时 则推迟到 t_1 主伐

由以上条件可知 $J_0 - W_0$ 是 P_0 的一个单调增值函数,我们由 $J_0 - W_0 = 0$ 可解得一个 P_0^* , P_0^* 称之为保留价格(reservation price),则经营者的决策可以变得更为简单,当 t_0 时的木材价格高于 P_0^* 时就主伐,反之就推迟主伐。在以上条件下 Lohmander(1987)^[3]应用严格的数学方法证明了这种策略的最优性。

如果以上的问题推广到一个主伐决策允许推迟多次,则在每一个决策时间点上,都有主伐与推迟的选择,这就构成了一个多阶段的随机决策问题。根据贝尔曼的最优性原理“无论过去的状态和决策如何,对当前的决策所形成的状态而言,余下的诸决策必须构成最优策略”。如果我们采用上述保留价格的假设,则可以得到解决这个问题的随机动态规划的递推函数:

定义:

$$W_k = W_k(P_{k+1}^*) = \max \{ W_k(P_{k+1}) \}$$

则:

$$W_k = \left\{ \int_{P_{k+1}^*}^{P_{k+1}^{\max}} P_{k+1} V_{k+1} f_{k+1}(P_{k+1}) dP_{k+1} + \int_{P_{k+1}^{\min}}^{P_{k+1}^*} W_{k+1} f_{k+1}(P_{k+1}) dP_{k+1} \right\} \cdot e^{-r(t_{k+1}-t_k)} \tag{2}$$

W_k 中的第一部分 t_{k+1} 时进行主伐的期望收益,第二部分为 t_{k+1} 时推迟主伐的期望收益。显然第二部分中 W_{k+1} 又可以 t_{k+2} 的随机决策递推而来。若在最后第 n 阶段必须主伐,则 W_n 是已知的, $W_n = \int_{P_{\min}}^{P_{\max}} V_n P_n f(P_n) dP_n$, 可以应用动态规划的后推法,从后推到 W_0 , 从而获得一最优决策策略。

2 同龄林适应价格的主伐决策模型

2.1 问题假设

在实际的木材价格市场上,相近年度的木材价格的涨跌是有相互关系的,在数学上可描述为一个自相关的随机过程,则 $J_0 - W_0$ 与 P_0 的关系就变得十分复杂,难以在数学上严格证明在每一时刻存在

着唯一的一个对应于最优期望现值的保留价格。但是我们仍然可以利用算法来求解这个动态规划得到最优策略, 并从最优策略上来判断是否在每一时刻有一个保留价格。本文就是利用动态规划的数值算法, 求解价格为一自相关随机过程的适应价格的主伐决策模型, 从而得到一系列最优决策策略。

价格为一自相关随机过程的适应价格的主伐决策模型。

假设与定义

设主伐决策期 $[t_1, t_n]$ 分为 $n-1$ 个等长决策区间, 决策时间点(林分年龄)记作 $t_i, i=1, 2, \cdots n$ 。

决策开始时 t_1 的林分直径分布已知, 林分各直径林木的生长可由生长模型产生。

假定在决策期内贡献年利率 r 不变。

决策者的风险偏好为中立。

将主伐价格离散为 m 个等级, 价格从 P_i 到 P_{i+1} 的价格概率转移矩阵为常数阵, $A=[A(1, j), A(2, j), \cdots A(k, j), \cdots A(m, j)]^T$ 为 $m \times m$ 矩阵, $k, j=1, 2, \cdots m$, 其中元素 $A(k, j)$ 为 t_i 时刻处在 k 等级的木材价格, 到 t_{i+1} 时刻可能变为 j 等级的转移概率。

决策向量 h_{t_i} 为 m 维向量。

$h_{t_i}=[h(1, t_i), h(2, t_i), \cdots h(k, t_i), \cdots h(m, t_i)]^T$; $h(k, t_i)$ 表示在 t_i 时刻价格处于 k 等级时的决策变量, 为二值函数, $h(k, t_i)=0$ 表示推迟, $h(k, t_i)=1$ 表示主伐。

$h^*(k, t_i)$ 是 t_i 时刻价格为 k 等级时获得期望效益最优的决策。

$h^*(k, t_i), i=1, 2, \cdots n$ 构成一条最优的决策轨线。

2.2 模型的描述

根据动态规划原理我们可以得出如下的对本文所研究问题数学描述的递推式。即在 t_i 时刻价格为 k 等级时的期望效益值为:

$$W(k, t_i) = h(k, t_i)J(k, t_i) + [1 - h(k, t_i)]Q(k, t_{i+1}) \tag{3}$$

$$J(k, t_i) = (V_{t_i}P_k)e^{-rt_i} + L \tag{4}$$

(4)式表示在价格级 k 时, t_i 时刻主伐收获的现值, L 表示地价

$$Q(k, t_{i+1}) = \sum_{j=1}^m W(j, t_{i+1})A(k, j) \tag{5}$$

(5)式表示在 t_i 时刻价格级为 k 时, t_i 时刻推迟主伐的期望现值

$P_k=(p_{k1}, p_{k2}, \cdots p_{kv}, \cdots, p_{ks})^T, p_{kv}$ 表示 k 等级, v 径阶价格。

$V_{t_1}=(v_{t_11}, v_{t_12}, \cdots v_{t_1v}, \cdots, v_{t_1s})$ 为直径分布的材积向量, 由直径分布整体模型(唐守正, 1993; 1991, 1997)^[5~7]获得 v_{t_1v} 表示 t_i 时刻, v 径阶材积。

则在 t_i 时刻价格处在 k 等级获得最优期望效益现值的决策可以根据如下决定:

当 $J(k, t_i) < Q(k, t_{i+1})$ 时, $h^*(k, t_i)=0$, 即推迟主伐, 则 $W(k, t_i)=Q(k, t_{i+1})$ 。当 $J(k, t_i) \geq Q(k, t_{i+1})$ 时, $h^*(k, t_i)=1$, 即主伐, 则 $W(k, t_i)=J(k, t_i)$ 。

因为在最后阶段 $t=n$ 时必须主伐, 决策变量恒等于1, 即 $h(k, t_n)=1, W(k, t_n)=J(k, t_n)$, 而从式(3)可以推出 t_{n-1} 阶段的期望现值, 依次一直可以推到 t_1 , 并可获得 $h^*(k, t_i)$ 。从而得到一最优决策策略。

2.3 应用实例与分析

以一块年龄为15年人工杉木用材林样地为例, 该样地面积为 1hm^2 , 直径分布见表1。

表1 杉木15年直径分布表

Tab.1 Diameter distribution of fifteen-year China Fir

径阶	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
Diameter grade(cm)										
株数	30	139	215	340	378	316	152	56	3	1
Number										

林分生长采用文献^[7]提供的直径分布整体模型。

木材价格资料由福建省、安徽省和广西省统计汇总获得,见表 2。将所得价格从 1 到 10 划分为 10 个等级,即 $m=10$,在每个价格等级上木材价格按直径递增。

表 2 木材价格级表

Tab. 2 Classes of timber price (yuan/ m³)

径 阶 Diameter grade (cm)	价 格 级 Classes of timber price									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6~8	600	610	622	632	643	654	665	676	688	700
10~12	900	916	932	948	965	981	997	1013	1029	1045
14~16	1150	1171	1191	1212	1232	1253	1274	1294	1315	1335
18~20	1450	1476	1502	1528	1554	1581	1607	1633	1659	1685
22~24	1650	1679	1709	1739	1769	1799	1828	1858	1887	1917
26~28	1900	1934	1968	2003	2037	2071	2105	2139	2173	2208
30~32	2150	2189	2227	2266	2305	2343	2382	2421	2460	2498
34~36	2500	2545	2590	2635	2680	2725	2770	2815	2860	2905

我国杉木用材林主伐年龄为 35 年左右,设定决策时间区间为[15, 40],5 年为一个决策期,即 $n=6$,决策时间点为 1, 2, ...6。

林业贷款利率 $r=0.04$,地价 $L=5000$ 。

价格转移矩阵参考美国的木材价格历史数据推导得到,结果见下:

$$A=\left\{\begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.33 & 0.33 & 0.34 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.29 & 0.14 & 0.29 & 0.14 & 0.14 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.5 & 0 & 0 & 0.25 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.67 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.14 & 0.07 & 0.28 & 0.07 & 0.44 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 & 0.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.25 & 0.75 & 0 \end{matrix}\right\}$$

由直

矩阵中随机价格的转移虽然有一定的随机性,但呈上升趋势。

采用模型(3)求得决策变量如表 3。表 3 表明,即便现在林分年龄为 20 年,若木材价格达到 9 价格级时,主伐比不主伐可获得更大的收益;反之,当年龄到 35 年时,价格太低时,推迟主伐才可获利更大。

表 3 决策变量表^①

Tab. 3 Decision variable

价 格 级 Class of timber price	时 间(年) Time(a)					
	15	20	25	30	35	40
1	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	1	1	1
4	0	0	0	1	1	1
5	0	0	1	1	1	1
6	0	0	1	1	1	1
7	0	0	1	1	1	1
8	0	0	1	1	1	1
9	0	1	1	1	1	1
10	0	1	1	1	1	1

①0 表示不主伐, 1 表示主伐。0 Means no final harvest, 1 Means final harvest.

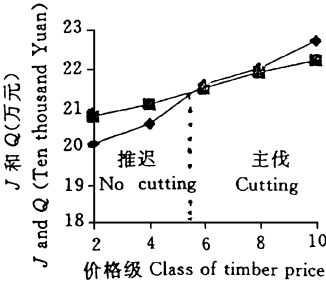


图 1 25 年时 J 和 Q 值曲线图

Fig. 1 Curve of J and Q in the 25th year

—◆— J —■— Q

表 3 中阴影部分的边沿就是保留价格线, 即决定伐与不伐的价格界线。由此价格界线可以看出, 保留价格随着决策年份的推迟而降低。

主伐的现值 $J(k, t)$ 和期望现值 $Q(k, t)$ 的计算结果见表 4。

由表 4 中数据在 25 年第 5 价格级时可知 $J = 20.9, Q = 20.4, J > Q$, 应主伐; 若在同一年价格处在第 4 价格级时, $J = 21.1, Q = 20.6, J < Q$, 则应推迟主伐。同一年中, 随着价格级的提高, J 和 Q 都递增, 但 J 增加的快, Q 增加的慢, 因而构成了两个价格区间, 见图。其分界点就称为此年龄的保留价格。大于此价格, 则主伐可获利; 小于此价格, 则主伐不一定获利。从表中可以看出, 价格越高主伐年龄越提前, 因为这样的决策风险最小。

从表 4 中也可以看出, 在价格不变条件下, 因为林木生长带来的收益增长率小于银行的利率, J 和 Q 随着年龄的增加而下降。为了进一步分析该模型的适用性, 我们作如下的验证。

表 4 主伐现值和推迟一年主伐的期望现值表

Tab. 4 Present value and expected present value of next year (Ten thousand yuan/ hm²)

价 格 级 Classes of timber price		时 间 Time(a)					
		15	20	25	30	35	40
1	$Q(k, t)$	23.1	22.5	20.6	17.9	15.2	0.0
	$J(k, t)$	15.9	20.2	19.8	17.8	15.3	12.8
2	$Q(k, t)$	23.1	22.6	20.8	18.2	15.5	0.0
	$J(k, t)$	16.4	20.5	20.1	18.0	15.6	12.9
3	$Q(k, t)$	23.2	22.7	20.8	18.1	15.4	0.0
	$J(k, t)$	16.2	20.6	20.2	18.0	15.5	13.0
4	$Q(k, t)$	23.1	22.7	21.1	18.5	15.7	0.0
	$J(k, t)$	16.5	20.9	20.6	18.4	15.7	13.2
5	$Q(k, t)$	23.1	22.5	20.4	18.3	15.6	0.0
	$J(k, t)$	16.8	21.3	20.9	18.7	16.0	13.6
6	$Q(k, t)$	23.2	23.0	21.4	19.2	16.4	0.0
	$J(k, t)$	17.1	21.7	21.5	19.0	16.5	13.7
7	$Q(k, t)$	23.2	23.1	21.7	19.2	16.3	0.0
	$J(k, t)$	17.4	22.0	21.7	19.4	16.6	13.9
8	$Q(k, t)$	23.2	23.2	21.9	19.3	16.5	0.0
	$J(k, t)$	17.6	22.4	22.0	19.7	16.8	14.1
9	$Q(k, t)$	23.2	23.1	21.8	19.3	16.4	0.0
	$J(k, t)$	17.9	23.4	22.4	20.0	17.1	14.4
10	$Q(k, t)$	23.2	23.2	22.2	19.7	16.8	0.0
	$J(k, t)$	18.2	23.2	22.7	20.3	17.3	14.6

首先是价格波动的影响。假设价格随年度的转移矩阵是随机的, 即矩阵 A 是每一行和为 1 随机矩阵。我们取价格波动分别为第一价格级的 0.01 和 0.035, 2 至 10 价格级按此复利式递增。

以上述两种情况应用模型 (3) 进行计算, 现将保留价格列于表 5。由该表可以看出, 当价格波动大时, 决策风险增加, 从而使保留价格升高, 最优期望现值增大, 即价格波动大的情况下, 其主伐的收获的期望现值比我们所得到的实际期望现值要大。这表明当价格波动性增大时, 相应期望现值增加, 推迟主伐的收益会更高。当价格波动变小时, 则情况相反。

表 5 木材价格波动的保值价格表

Tab. 5 Reservation prices under the vibration of prices

价格波动 vibration of timber price	时 间 Time(a)					
	15	20	25	30	35	40
波动大	10	10	8	5	2	1
Great vibration						
实例	> 10	9	5	3	3	1
Living example						
波动小	> 10	7	4	3	1	1
Little vibration						

下面我们对在不同利率情况下的最优收获问题应用适应价格的主伐决策模型进行分要。在上面所有的计算中应用的林业贷款利率为 0.04, 现在我们取林业利率为 0.02, 应用上述方法进行计算, 得出的保留价格见表 6。

由表 6 可知, 当林业贷款利率为 0.02 时, 最优保留价格比实例的高, 这在经济理论中是非常合理的, 因为在低利率时树木生长的获利要比将货币存起来高, 因此必然保留树木, 从而最优保留价格提高。相反如果利率很高, 则将货币

存起来的获利要比培育树木高, 因此森林经营者必将树木伐掉。

在上述研究中主要针对的是经营模型的不确定性研究, 同时它也包括确定性经营模型。在这种情况下, 转移矩阵 A 就为一单位对角矩阵, 在这种条件下, 应用(3)式进行计算, 可得到其主伐年龄为 25 年。

从上面的几种分析情况看, 应用本文提出的模型可以找到适应价格的主伐决策模型的最优解, 同时对风险情况和林业贷款利率进行分析, 而这些分析结果与现实情况具有相符性, 因此说明本文提出的适应价格的主伐决策模型是正确的。

3 结论与讨论

3.1 结论

在木材价格是一个自相关随机过程的条件下, 以直径分布整体模型为基础的适应价格的主伐决策模型, 得出的主要结论如下:

当木材价格为一自相关的随机过程时, 适应价格的主伐决策模型应用解析方法证明是否有最优的保留价格是很困难的, 本文提出了基于动态规划原理的适应价格的主伐决策模型, 并求出最优策略。

从实例的解来看存在一个最优保留价格, 但我们不能证明它的普遍性。

当木材价格波动大时, 期望现值增加, 主伐推迟的可能性增加; 反之, 主伐推迟的可能性减少。

当林业贷款利率下降时, 最优保留价格上升, 最优期望现值也相应升高, 在这种情况下则会使主伐年龄增大, 从而推迟主伐。

由本文的经营优化模型可以看出当考虑木材价格的不确定性时, 为了获得最大的期望效益, 用材林的主伐年龄完全可以大于、等于或小于确定性条件下的最优轮伐年龄。

3.2 讨论

本文在适应价格的主伐决策模型中仅考虑了价格的不确定性, 虽然在直径分布模型中考虑了不确定性, 但在本文中是以确定性来处理的, 其它不确定性因素未加以处理, 因此得出的结论只能作为用材林优化经营决策的一种参考, 不能完全代替现决策。

由于在本项研究中价格资料不太完整, 因此将价格资料整理后分为了 10 个级别, 这种分级是否合理, 还有必要进一步论证。

本项研究未考虑培育主伐材的直径结构, 例如以大径级木还是中径级木为培育对象, 即未涉及间伐问题, 这方面的研究更有实际意义, 将有待于今后的进一步研究。

参 考 文 献

1 Hool J N. A dynamic programming-Markov chain approach to forest production control. For. Sci. Monogr. 1966, 12: 26

2 Norström C J. A stochastic model for the growth period decision in forestry. Swedish J. Econ. 1975, 77: 329~337

3 Lohmander P. The economics of forest management under risk. (Ph. D. thesis) Rapport, Dept. of Forest Economics, Swedish University of Agricultural Sciences, 1987, No. 79

4 Brazee R and mendelson R. Timber harvesting with fluctuation prices. Forest Science, 1988, 34: 359~372

5 唐守正. 同龄纯林自然稀疏规律的研究. 林业科学, 1993, 29(3): 234~241

6 唐守正. 广西大青山马尾松全林整体生长模型及其应用. 林业科学研究, 1991, 4(增): 8~13

7 唐守正. 一种与直径分布型无关的预测林分直径累积分布的方法. 林业科学, 1997, 33(3): 194~201

表 6 不同利率时的保留价格级表

Tab. 6 Reservation price classes based on different discount rate

利 率 Discount rate	时 间 Time(a)					
	15	20	25	30	35	40
0.02	> 10	10	9	6	4	1
0.04	> 10	9	5	3	3	1

SCORING THE MATING SYSTEMS OF NATURAL POPULATIONS OF
THREE *LARIX* TAXA IN CHINA: *L. GMELINII* (RUPR.) RUPR.,
L. OLGENSIS HENRY AND *L. PRINCIPIS-RUPPRECHTII* MAYR.

XIN-SHENG HU¹ RICHARD A. ENNOS²

¹ Chinese Academy of Forestry, Wan Shou Shan, Beijing 100091, P. R. China

² Institute of Ecology and Resources Management, University of Edinburgh, Edinburgh EH 9 3 JU, UK

Received 4 June, 1998

Abstract Mating systems of nine natural populations of the three Chinese *Larix* taxa (*L. gmelinii* (Rupr.) Rupr., *L. principis-rupprechtii* Mayr. and *L. olgensis* Henry) were scored using seven polymorphic loci of allozyme markers generated by six enzymes (PGI, MDH, 6PGD, AAT, PGM and SDH). It was observed that population Jiagedaqi of *L. gmelinii* in Inner Mongolia exhibited nearly total outcrossing ($t_m = 0.986 \pm 0.081$). Two populations of *L. principis-rupprechtii*, Fengning in Hebei Province and Hunyuan in Shanxi Province, shared no significant difference from random outcrossing ($t_m = 0.847 \pm 0.427 \sim 0.792 \pm 0.169$). However, mating system was variable among populations of *L. olgensis*. Two populations, Xiaobaihu in Heilongjiang Province and Changbai in Jilin Province, exhibited significant level of selfing ($t_m \approx 0.705$). One population, Dahailin in Heilongjiang Province, exhibited inbreeding in addition to selfing, with t_m being 0.684 ± 0.107 , and the other three populations of *L. olgensis*, Baihe in Jilin Province, Bidaoshan and Dongfanghong in Heilongjiang Province, exhibited predominantly outcrossing, $t_m = 0.847 \pm 0.427 \sim 1.203 \pm 0.371$. These results were comparable to those reported in other conifers including *L. laricina* [DuRoi] K. Koch and *L. decidua* Miller.

Key words: *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr., *L. olgensis* Henry, *L. principis-rupprechtii* Mayr., Mating system

我国兴安、长白及华北落叶松种的天然群体交配系统研究

胡新生

(中国林业科学研究院林业研究所 北京 100091)

Richard A. Ennos

(英国爱丁堡大学生态与资源管理学院)

摘要: 一个树种的群体交配系统(Mating system)提供了该树种是如何将其遗传物质从一个世代传递到下一个世代的基本信息。因此交配系统研究可有助于:(1)推测群体的基因型组成;(2)分析多基因位点连锁不平衡程度;(3)推测种子园的种子质量及提供种子园营建设计的有关信息;(4)在一定的程度上,可用于分析天然群体的遗传结构分化水平。

在落叶松的 10 个种和 3 个变种中,目前已报道了 2 个种的交配系统:一个是美洲落叶松(*L. laricina* [DuRoi] K. Koch),另一是欧洲落叶松(*L. decidua* Miller)。我国兴安、长白及华北落叶松的交配系统的研究尚未进行。本研究目的就是应用同功酶标记:(1)测定和比较这 3 个兴安落叶松种间及种内群体的异交率;(2)比较与其它针叶树的交配系统差异;(3)推测群体内自交或双亲近交发生的可能性。

本文采用淀粉凝胶电泳技术,应用由 6 个酶系(PGI, MDH, 6PGD, AAT, PGM 及 SDH)产生的 7 个多态性位点的同功酶标记分析了我国 3 个落叶松种(兴安、长白及华北落叶松)的共 9 个天然群体交配系统。结果发现兴安落叶松的加格达奇(内蒙古)群体表现出几乎完全的异交($t_m = 0.986 \pm 0.081$)。华北落叶松的两个群体丰宁(河北)和浑源(山西)也主要表现为异交方式($t_m = 0.847 \pm 0.427 \sim 0.792 \pm 0.169$)。长白落叶松