

濒危植物沉水樟的种群生命表和谱分析

陈远征^{1,2}, 马祥庆^{1,*}, 冯丽贞¹, 黄勇来³, 郑群瑞³

(1. 福建农林大学林学院,福州 350002; 2. 福建龙岩市新罗区林业局,龙岩 364000; 3. 福建建瓯市林业局,建瓯 353100)

摘要:将林木依胸径大小分级,以林木径级结构代表年龄结构,采用分段匀滑技术,编制沉水樟种群特定时间生命表,绘制死亡率曲线、危险率曲线及存活曲线,分析沉水樟种群动态趋势。结果表明:沉水樟种群的存活曲线趋于 Deevey 型,幼苗和中树稀缺是导致沉水樟濒危的重要原因。沉水樟种群天然更新过程的动态是通过沉水樟不同龄级的株数分布波动而表现的,种群动态的谱分析表明沉水樟种群动态除受基波的影响外,还显示出明显的小周期波动,在 11 龄级这一小周期波动与沉水樟高生长有关,在 15 龄级这一小周期的波动可能与沉水樟的生理特性有关。

关键词:沉水樟;种群生命表;谱分析;种群统计;濒危植物

文章编号:1000-0933(2006)12-4267-06 **中图分类号:**Q14,Q948,S718.5 **文献标识码:**A

The population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum*, an endangered plant

CHEN Yuan-Zheng^{1,2}, MA Xiang-Qing^{1,*}, FENG Li-Zhen¹, HUANG Yong-Lai³, ZHENG Qun-Rui³ (1. Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 2. The Forestry Bureau of Xinluo, Longyan 364100, China; 3. The Forestry Bureau of Jianou, Jianou 353100, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(12): 4267 ~ 4272.

Abstract: *Cinnamomum micranthum* is a rare cash plant of *Cinnamomum* which occurs in mainland and Taiwan Province, China. It was listed as a Grade Three endangered plant for State protection in 1982 as its abundance was decreasing rapidly. The surviving *Cinnamomum micranthum* commonly has very low reproduction and natural regeneration ability. Although some studies have been recently conducted of the phenology, sexual reproduction and asexual reproduction of *Cinnamomum micranthum*, there has been no research into its population dynamics. In order to determine the population state of *Cinnamomum micranthum*, analyze its past population structure and pre-disturbance situation and forecast its future population dynamics, the population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum* were analyzed by the space deducing time method. The static state life table, the survival rate curve, the mortality rate curve and danger rate were compiled using the diameter at breast height class to represent the age class structure and smooth out technique. The results showed that the survival curve of the population appeared to be of the Deevey type. According to the mortality rate curve, the mortality peaks of *Cinnamomum micranthum* are in the first and fourteenth age grades. The high mortality of seedlings and middle-age trees was one of the main reasons which led the *Cinnamomum micranthum* population becoming endangered. The natural regeneration process of the *Cinnamomum micranthum* population can be represented by the fluctuation of the distribution of the number of trees in different age grades. Spectral analysis of the population showed that the natural regeneration of *Cinnamomum micranthum* was a minor periodic change in eleventh and fifteenth age grades.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30371153);福建省教育厅科学基金资助项目(JA04177)

收稿日期:2005-08-09;**修订日期:**2005-11-19

作者简介:陈远征(1978~),女,福建龙岩人,硕士,主要从事濒危植物生殖生态学研究。

*通讯作者 Corresponding author. E-mail: mxq@public.fz.fj.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 30374453) and The Education Department of Fujian Province (No. JA04177)

Received date: 2005-08-09; **Accepted date:** 2005-11-19

Biography: CHEN Yuan-Zheng, Master, mainly engaged in reproductive ecology.

Key words: *Cinnamomun micranthum*; population life table; spectral analysis; demography; endangered plant

种群统计是研究种群数量动态的一种方法,它的核心是生命表^[1,2],生命表结构分析是解释种群变化的前提。根据生命表可以预测出该物种在某些特定条件下存活与繁殖的可能性,了解种群的现存状态,分析过去种群的结构与受干扰状态,预测未来的种群动态^[3~5]。通过种群生命表的编制,从中分析出生率、死亡率等重要参数,可供更多关于种群年龄结构和数量统计方面的信息,还有助于揭示种子散布、萌发及幼苗种群建立等特征^[6,7]。复杂的周期现象可以由不同振幅和相应的谐波组成,谱分析是探讨种群天然分布的波动性和年龄更替过程周期性的数学工具,种群天然更新动态可通过种群不同龄级的株数分布波动来表现^[8,9]。因此进行植物种群生命表的编制和谱分析对于揭示种群的数量特征具有重要现实意义。

沉水樟(*Cinnamomun micranthum*)是我国樟科樟属经济树种,是我国大陆和台湾的间断分布种,由于长期以来对沉水樟资源的破坏及其自身的原因,导致目前沉水樟资源锐减,目前除福建建瓯万木林自然保护区分布有比较大面积的沉水樟林外,其余多被破坏殆尽,1982 年被列为我国三级濒危保护植物,因此研究沉水樟种群的数量特征和揭示沉水樟种群濒危的原因机制已成为当前林学界急需解决的重大课题。虽然国内学者对沉水樟的群落学特征、无性繁殖等进行过一些研究^[10~12],但目前尚无从种群统计角度来研究沉水樟林种群数量特征的报道。鉴于此,本文以福建省万木林保护区的沉水樟林为研究对象,以“横向导纵向”的方法进行沉水樟种群静态生命表编制,统计分析其种群数量特征,同时应用谱分析方法揭示种群数量的动态变化特征,为了解沉水樟种群的现存状态、分析过去种群结构与受干扰状态、预测未来的种群动态及揭示濒危植物沉水樟种群的濒危机制提供科学依据。

1 试验地概况

试验地设在福建省建瓯市万木林自然保护区内,此保护区是自明代建文元年(1399 年)以来就加以封禁保护形成的亚热带常绿阔叶林为主的保护区,是揭示森林生态系统自然演替动态、研究老龄林生态价值和保护意义极为难得的历史遗产^[13]。保护区位于福建省建瓯市境内,地理位置在东经 118°08'22"~118°09'23",北纬 27°02'28"~27°03'32",保护区总面积 189hm²。属武夷山脉南面与鹫峰山脉西北侧的低山丘陵地带,海拔 234~556m。主要成土母岩为花岗岩,土层厚度多为 1m 以上。

保护区内分布有以沉水樟为主要建群种的亚热带常绿阔叶林,其乔木层主要树种为沉水樟、猴欢喜(*Sloanea sinensis*)、罗浮栲(*Castanopsis fabri*)、山黄皮(*Clausena anisum-olena*)、细齿叶柃(*Eurya nitida*)、桂北木姜子(*Litsea subcoriacea*)、楠木(*Phoebe bournei*)、水团花(*Adina pilulifera*)、野含笑(*Michelia skinneriana*)、拟赤杨(*Alniphyllum fortunei*)、山矾(*Symplocos sumuntia*)、拉氏栲(*Castanopsis lamontii*)、木荷(*Schima superba*)。灌草层以山矾、木荷、杜茎山(*Maesa japonica*)、新木姜子(*Neolitsea aurata*)、楠木、草珊瑚(*Sarcandra glabra*)、猴欢喜、桂北木姜子为主。林内草本较少,群落总盖度 90%以上。

2 研究方法

2.1 调查方法

在全面勘查福建省建瓯市万木林自然保护区内沉水樟分布状况基础上,选取有代表性的地段设置 12 个 20m×30m 的调查样地,采用相邻格子法进行群落特征调查。每个样地分成 4 个 10m×15m 的样方,每个样方再分为 5m×5m 的相邻格子样方,调查样方内乔木层、灌木层、层间层、草本层的全部植被种类、数量,对每个样方进行每木调查(起测径级 ≥4cm),记录其树高、胸径、冠幅、枝下高及胸径 <4cm 的幼苗、幼树的株数,在此基础上进行沉水樟种群特征比较。

2.2 生命表编制

根据沉水樟的生活史特点,参考相关文献方法^[14~17,19~21],将沉水樟种群划分为 18 个胸径级,把树木径级从小到大的顺序看作是时间顺序关系,统计各龄级株数,编制沉水樟种群静态生命表,进而分析其动态变化。由于本研究各样地间的生境比较相近,因此对所有样地的沉水樟进行集中处理,然后进行生命表编制。

特定时间生命表一般包括如下内容: x 是单位时间年龄等级的中值; a_x 是在 x 龄级内现有个体数; l_x 是在 x 龄级开始时标准化存活个体数; d_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数; q_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率; L_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数; T_x 是从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数; e_x 是进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命; K_x 是为消失率(损失度)。表中各项都是相互关联的,可以通过实测值求得,其关系如下:

$$l_x = a_x / a_0 \times 1000, d_x = l_x - l_{x+1}, q_x = d_x / l_x \times 100\%, L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2,$$

$$T_x = \sum_{i=x}^{\infty} L_i, e_x = T_x / l_x, K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$$

由于静态生命表是反映了多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间,而不是对这一种群的全部生活史的追踪,并且调查中存在系统误差,在生命表中会出现死亡率为负的情况,因此本研究采用匀滑技术对数据进行处理。

检查调查数据发现在第 5 年、第 6 年、第 8 年、第 10 年和第 17 年时数据发生波动,小于第 6 年、第 9 年、第 11 年和第 18 年的存活数。据特定时间生命表的假设,年龄组合是稳定的,各年龄的比例不变,同时认定两个区段:第 2~9 年和第 11~18 年,分别计算两个区分段的存活数累积:

$$T_1 = \sum_{i=2}^9 a_{x_i} = 40 \quad T_2 = \sum_{i=11}^{18} a_{x_i} = 18$$

平均数 $\bar{a}_1 = T_1 / n_1 = 40 / 8 = 5$, $\bar{a}_2 = T_2 / n_2 = 18 / 8 = 2.25 \approx 2$, 据此认为这是区段的组中值;据区段的第一个存活数和最后一个存活数的差数及区段的间隔数,可以确定每一相邻年龄组的存活数之间的差数。故经匀滑修正后,得 a_x' , 编出沉水樟种群特定时间生命表。

2.3 谱分析方法

谱分析方法可以揭示种群数量的周期性波动,是探讨林分分布波动性和年龄更替过程周期性的数学工具^[8,9],沉水樟种群的天然更新过程可通过不同龄级株数分布波动而表现,复杂的周期现象可以由不同振幅和相应的谐波组成,写成正弦波形式:

$$N_t = A_0 + \sum_{k=1}^n A_k \sin(\omega_k t + \theta_k)$$

式中, A_0 为周期变化的平均; A_k ($K=1, 2, 3, \dots, p$) 为各谐波的振幅,标志其所起作用的大小,其值的差异反映了各周期作用的大小差别; ω_k 及 θ_k 分别为谐波频率及相角; N_t 为 t 时刻种群大小。

将种群各年龄个体分布视为一个时间系列 t , 以 X_t 表示 t 年龄序列时个体数; n 为系列总长度; $p = n/2$ 为谐波的总个数; T 为正弦波的基本周期,即时间系列 t 的最长周期,则可用下式来估计 Fourier 分解中的各个参数,即:

$$A_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n X_t, A_k^2 = a_k^2 + b_k^2, \omega_k = 2\pi k / T, \theta_k = \arctg(a_k / b_k),$$

$$a_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \cos \frac{2\pi k(t-1)}{n}, b_k = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n X_t \sin \frac{2\pi k(t-1)}{n}$$

因本研究沉水樟各龄级个体数量相差较大,在计算时进行对数化处理,即以 $X'_t = \ln(X_t + 1)$ 代换公式中的 X_t (X_t 值即表 1 a_x 栏中所对应的数值)。利用谱分析公式可计算出各个波形的振幅 A_k 值($k=1, 2, 3, \dots, p, p=n/2$)。 A_1 为基波, $A_2 \sim A_9$ 为各个谐波。每个谐波的周期分别是基本周期的 $1/2, 1/3, \dots, 1/p$ 。

3 结果与分析

3.1 沉水樟种群生命表与存活曲线分析

根据调查结果,编出沉水樟种群特定时间生命表见表 1。

存活曲线是反映种群个体在各年龄级的存活状况曲线,是根据生命表、借助于存活个体数量来描述特定年龄死亡率,通过把特定年龄组的个体数量相对时间作图而得到的。本研究以径级相对年龄为横坐标,以存

活量的对数为纵坐标,根据沉水樟生命表(表 1),绘制沉水樟种群的存活曲线(图 1)。

表 1 沉水樟种群的静态生命表

Table 1 The static state life table of <i>Cinnamomum micranthum</i> Hay population												
龄级 Age grade	径级 DBH class	组中值 Mean value	a_x	a_x^*	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
1	0~4	2	68	68	1000	6.908	824	0.824	588	1839	1.839	1.735
2	4~10	7	12	12	176	5.173	15	0.083	169	1251	7.089	0.087
3	10~20	15	5	11	162	5.086	15	0.091	154	1082	6.689	0.095
4	20~30	25	1	10	147	4.991	15	0.100	140	928	6.310	0.105
5	30~40	35	0	9	132	4.885	15	0.111	125	788	5.954	0.118
6	40~50	45	2	8	118	4.768	15	0.125	110	663	5.636	0.134
7	50~60	55	6	7	103	4.634	15	0.143	96	553	5.372	0.154
8	60~70	65	6	6	88	4.480	15	0.167	81	457	5.179	0.182
9	70~80	75	8	5	74	4.298	0	0.000	74	376	5.114	0.000
10	80~90	85	5	5	74	4.298	0	0.000	74	302	4.107	0.000
11	90~100	95	8	5	74	4.298	15	0.200	66	228	3.101	0.223
12	100~110	105	3	4	59	4.075	15	0.250	51	162	2.754	0.288
13	110~120	115	2	3	44	3.787	15	0.333	37	111	2.516	0.405
14	120~130	125	2	2	29	3.381	15	0.500	22	74	2.516	0.693
15	130~140	135	2	1	15	2.688	0	0.000	15	52	3.536	0.000
16	140~150	145	0	1	15	2.688	0	0.000	15	37	2.516	0.000
17	150~160	155	0	1	15	2.688	0	0.000	15	22	1.496	0.000
18	160~170	165	1	1	15	2.688	—	—	7	7	0.476	2.688

按 Deevey 的划分,存活曲线一般有 3 种基本类型。型是凸曲线,该类型种群绝大多数能活到该物种的生理年龄,早期死亡率低,当活到一定生理年龄时,短期内几乎全部死亡; 型是直线,也称对角线,该类型种群各年龄死亡率基本相同; 型是凹曲线,早期死亡率高,一旦活到某一年龄,死亡率就较低^[2]。从表 1 和图 1 可看出,福建建瓯沉水樟种群的存活曲线趋向于 Deevey-型。沉水樟的幼龄存活率较高,调查中发现沉水樟林下出现的幼苗大多是沉水樟萌条,胸径在 4~10cm 的数量也不多,1 龄级以后存活数量迅速下降,2~11 龄级比较稳定,到 12~15 龄级存活数量又趋于较大幅度下降,到 15 龄级后又趋于稳定(除 1 和 2 龄级外,其余每个龄级沉水樟年龄差异大致为 36a)。

沉水樟种群生命表和存活曲线从整体上反映了沉水樟种群的数量动态变化趋势及结构特征。在较少人为干扰沉水樟天然种群中,其存活曲线图出现一些波动,可能与沉水樟种群生长过程中生境的变迁有关。随着沉水樟的生长,林分郁闭度变大,过于荫蔽的环境开始不适合于沉水樟幼树生长,使得沉水樟种群处于中断状态,再加上沉水樟种子产量存在大小年现象,种子产量存在波动性,造成对沉水樟种群补充的波动性,这可能是导致沉水樟种群衰退的原因之一。

沉水樟的亏损率和死亡率曲线(图 2)反映了沉水樟种群的一般特征;在 1 龄级时,损失度比较大;2 龄级至 8 龄级时基本没有波动,14 龄级时有一个小高峰,18 龄级时损失度达最大值,在此阶段只有少量沉水樟个体幸存下来。1 龄级时死亡率出现最高峰,达 82.4%,说

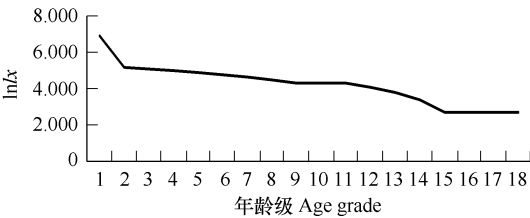


图 1 沉水樟种群的存活曲线

Fig. 1 Survival curve of *Cinnamomum micranthum* Hay population

1 龄级以后存活数量迅速下降,2~11 龄级比较稳定,到 12~15 龄级存活数量又趋于较大幅度下降,到 15 龄级后又趋于稳定(除 1 和 2 龄级外,其余每个龄级沉水樟年龄差异大致为 36a)。

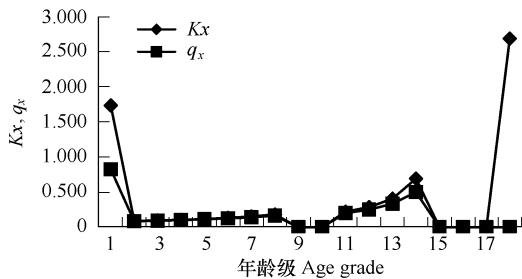


图 2 沉水樟种群死亡率和亏损率曲线

Fig. 2 Killing power (K_x) value curve and mortality rate (q_x) curve of *Cinnamomum micranthum* Hay population

明此时环境筛的选择强度很高,只有 17.6 %的幼树进入下一阶段,此后死亡率变化趋于稳定,到 14 龄级时有个小的死亡高峰,但死亡率总体趋于平缓。其原因可能是沉水樟幼苗年龄较小,生长和竞争能力不强,受到环境筛的强烈筛选而大量死亡;再加上从幼苗到中树的过程中对光照和上层营养空间的竞争加剧。调查中发现:沉水樟幼树比较耐荫,在生长过程中需光性逐渐加强,沉水樟天然林的幼株只有通过光照环境筛的严格筛选才能进入主林层,而在这种缺乏人为干扰的天然林内,很少有沉水樟幼株能够通过光照环境筛的筛选,因此大多幼株或缓慢生长等待进入主林层或在等待中逐渐死亡。调查中发现沉水樟种群中中龄树只占该种群总数量的 8 %,由此引起沉水樟种群中龄树的缺实,导致沉水樟种群濒危。

3.2 沉水樟种群动态的谱分析

对沉水樟种群动态的谱分析表明:沉水樟种群天然更新动态是通过沉水樟不同龄级的株数分布波动表现的。从表 2 可看出,沉水樟种群天然更新波动性明显,沉水樟种群的基波 $A_1 = 1.6692$,最大,基波表现了种群最基本的周期波动,其波动周期是该种群本身所固有的特性,由种群波动特性所决定。这表明沉水樟种群的数量动态变化受其生命周期中生物学特征的控制趋向极为明显,未能反应出波动的固有周期,这可能与样地面积不够大有关。

表 2 沉水樟种群的周期性波动
Table 2 Periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum* Heyata population

谐波 Resonance spectra	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
振幅值 Amplitude value	1.6692	1.3839	0.5564	0.4173	0.4149	0.4809	0.4122	0.4980	0.3657

从表 2 可看出,沉水樟种群数量动态除受基波影响外,还显示出明显的小周期波动,如 A_6 和 A_8 ,前者的波动约在空间序列胸径 95cm 处,对应 11 龄级,这一小周期波动与沉水樟高生长有关。沉水樟种群经剧烈竞争,一部分个体最终达到主林层高度,林木开始产生分化,进行数量调节,林分由郁闭变为稀疏,这有利于种群的发展;后者的波动约在空间序列胸径 135cm 处,对应 15 龄级,这一小周期的波动可能与沉水樟的生理特性有关。经过漫长的生长过程,到了这一龄级的沉水樟个体开始进入生理衰退期,使得该种群数量又出现小波动。从谱分析结果可看出,沉水樟种群数量动态是存在周期性波动的,而且其所表现出的波动不是单一周期,而是在大周期内有小周期的多谐波迭加特征。

异质种群理论认为,由于各种原因导致生物种群的破碎化,从而形成在空间上有一定距离的生境斑块(habitat patch),同时也使得一个较大的生物种群因栖息地的破碎化而被分割成许多小的局部种群(local population)。破碎化栖息地生境的随机变化致使那些被分割的局部种群随时都有可能发生随机灭绝,同时个体在生境斑块间的迁移作用又为在尚未被占据的生境斑块内建立新的局部种群提供了可能^[21, 22]。沉水樟种群为异质种群,由于受种子产量和质量的影响,沉水樟幼龄个体不足且缺乏竞争力,中龄树断层,成为沉水樟种群发展的限制因子。加之沉水樟种群数量有限,种群的消长影响到整个沉水樟种群的稳定性。特别是在异质种群中,每个局部种群的消亡都将降低异质种群避免灾难性事件的能力,这使得沉水樟种群对外界不利环境的抵抗力比较弱。

4 结论与讨论

在群落中相对于生命表中其它龄级个体数目来说,福建建瓯沉水樟种群具有一定数量的幼苗,但以沉水樟萌条居多,沉水樟实生幼苗相对较少。而且由于这些幼苗竞争力弱、易受病虫害危害,表现出较高的死亡率。谱分析表明沉水樟种群动态具有波动性,沉水樟种群中出现了 5 次负增长现象,即分别在 5、6、8、10、16 龄级中,有的龄级处于中断状态,说明沉水樟幼苗对各个龄级的补充是不连续和稳定的。一方面由于沉水樟种子产量少,质量不稳定,有大小年结实现象,影响了沉水樟种群幼树的数量;另一方面这些数量不多的幼苗幼树很难进入主林层,引起沉水樟种群中龄树的缺实,导致沉水樟种群出现负增长和中断状态,说明沉水樟种群在群落中的地位是不稳定和濒危的。沉水樟种群处于中间断层不稳定状态与种群内、种群间竞争和空间生态位重新分配密切相关。

沉水樟的存活曲线趋于 Deevey- 型。幼苗和中龄级个体的不足是导致沉水樟种群濒危的重要原因。沉水樟种群天然更新过程是通过沉水樟不同龄级株数分布的波动而表现的,其种群数量动态除受基波的影响外,还显示出明显的小周期波动,在 11 龄级时的小周期波动与沉水樟高生长有关,在 15 龄级时的小周期波动可能与沉水樟的生理特性有关。

针对沉水樟种群濒危的原因,开展相应的保护工作,找出其种子产量低和质量差的原因,增强该种群的天然更新能力,加强沉水樟无性繁殖的研究,扩大沉水樟人工林规模,进行适度的人为干扰,使沉水樟更新层能接受更多的光照,并对灌木层进行适当疏伐,为沉水樟种群更新层个体发育创造更好的生境,是当前保护和恢复沉水樟资源的关键。

References:

- [1] Begon M, Mortimer M. Population ecology: A unified study of animal and plants. Blackwell Scientific Publications, 1981.
- [2] Jiang H. The population ecology of *Picea asperata*. Beijing: Forest Press of China, 1992. 1 ~ 7.
- [3] Harper J L. Population Biology of Plants. London: Academic Press, 1977.
- [4] Stewart G H. The dynamics of old-growth *Pseudotsuga* forests in the western Cascade Range, Oregon, USA. Vegetation, 1989, 82: 79 ~ 94.
- [5] Stewart G H, Rose A B. The significance of life history strategies in the developmental history of mixed beech (*Nothofagus*) forest, New Zealand. Vegetation, 1990, 87: 101 ~ 114.
- [6] Skoglund J, Verwijst T. Age structure of woody species populations in relation to seed rain, germination and establishment along the river Dalälven, Sweden. Vegetation, 1989, 82: 25 ~ 34.
- [7] Armento J J, Casassa I, Dollenz O. Age structure and dynamics of *Patagonian beech* forests in Torres del Paine National Park, Chile. Vegetation, 1992, 98: 13 ~ 22.
- [8] Wu Y G, Xie J X. Periodic fluctuation of Korean pine population of broad-leaved Korean pine forest. Ecology Magazine, 1988, 7(1): 19 ~ 23.
- [9] Wu M Z, Liu Y C. Periodic fluctuation and stability of *Quercus variabilis* population. Ecology Magazine, 2000, 19(4): 23 ~ 26.
- [10] Chen C J, Chen H F. Culture technology of broadleaved trees. Beijing: Forest Press of China, 2000, 146 ~ 148.
- [11] Gao J, Chen J, Yang B S, et al. Study on the character of *Cinnamomum micranthum* Hayata forest of Wanmulin, Fujian. Journal of Shanghai Normal University (Natural Sciences), 1992, 21(4): 84 ~ 91.
- [12] Zhang S H. A Preliminary study on cutting propagation techniques for old plants of *Cinnamomum micranthum* Hayata. Journal of Fujian Forestry Science and Technology, 2000, 27(4): 69 ~ 71.
- [13] Liu M S, Feng X, Zheng Q R, et al. The community features and succession of the flora in Wanmulin Natural Reserve. Journal of Nanjing Forestry University, 1998, 22(2): 5 ~ 10.
- [14] Wang B S, Li M G, Peng S L. Studies on Plant population. Guangdong: Guangzhou Higher Education Press, 1995.
- [15] Zhao X N, Liu L H, Gao S Y, et al. A study on the structural dynamics and special pattern of *Vatica xishu angbannaensis* population. Acta Botanica Sinica, 1993, 35(7): 552 ~ 560.
- [16] Brodie C, Howle G, Fortin M J. Development of a *Populus balsamifera* clone in subarctic Quebec reconstructed from spatial analysis. Journal of Ecology, 1995, 83: 309 ~ 320.
- [17] Wu C Z, Hong W, Xie J S, et al. Life table analysis of *Tsuga langibracteata* population. Chinese Journal of Applied Ecology, 2000, 11(3): 333 ~ 336.
- [18] Xie Z Q, Chen W L, Lu P, et al. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(4): 523 ~ 528.
- [19] Li X K, Xiang W S, Tang I Q. Analysis of the life table of endangered population *Abies yuanbaoshanensis*. Journal of Tropical and Subtropical Botany, 2002, 10(1): 9 ~ 14.
- [20] Meng X Y. Forest Measurement. Beijing: Forest Press of China, 1996. 48.
- [21] Hanski I. Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations. Biol. J. Linn. Soci., 1991, 42: 17 ~ 38.
- [22] Levins R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. Bulletin of the Entomological Society of America, 1969, 15: 234 ~ 240.

参考文献:

- [2] 江洪. 云杉种群生态. 北京: 中国林业出版社, 1992. 1 ~ 7.
- [8] 伍业钢, 薛进轩. 阔叶红松林红松种群动态的谱分析. 生态学杂志, 1988, 7(1): 19 ~ 23.
- [9] 吴明作, 刘玉萃. 栓皮栎种群数量动态的谱分析与稳定性. 生态学杂志, 2000, 19(4): 23 ~ 26.
- [10] 陈存及, 陈伙法主编. 阔叶树种栽培. 北京: 中国林业出版社, 2000. 146 ~ 148.
- [11] 高峻, 陈坚, 杨斌生, 等. 福建万木林沉水樟林特征研究. 上海师范大学学报(自然科学版), 1992, 21(4): 84 ~ 91.
- [12] 张森行. 沉水樟高龄植株扦插繁殖的初步研究. 福建林业科技, 2000, 27(4): 69 ~ 71.
- [13] 刘茂松, 冯霞, 郑群瑞, 等. 万木林主要森林群落特征及演替动态. 南京林业大学学报, 1998, 22(2): 5 ~ 10.
- [14] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学. 广东: 广州高等教育出版社, 1995.
- [15] 赵学农, 刘伦辉, 高圣义, 等. 版纳青梅种群结构动态与分布格局. 植物学报, 1993, 35(7): 552 ~ 560.
- [17] 吴承桢, 洪伟, 谢金寿, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析. 应用生态学报, 2000, 11(3): 333 ~ 336.
- [18] 谢宗强, 陈伟烈, 路鹏, 等. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构. 生态学报, 1999, 19(4): 523 ~ 528.
- [19] 李先琨, 向悟生, 唐润琴. 濒危植物元宝山冷杉种群生命表分析. 热带亚热带植物学报, 2002, 10(1): 9 ~ 14.
- [20] 孟宪宇主编. 测树学. 北京: 中国林业出版社, 1996. 48.