

岷江柏 4 个地理种群年龄结构动态比较分析

袁志忠^{1,2}, 包维楷^{1,①}, 何丙辉²

(1. 中国科学院成都生物研究所, 四川 成都 610041; 2. 西南农业大学资源与环境学院, 重庆 400716)

摘要 对川西地区岷江柏(*Cupressus chengiana* S. Y. Hu) 4 个地理种群进行了调查, 编制种群静态生命表并进行生存分析。结果表明, 岷江柏 4 个地理种群的存活曲线都属于 Deevey-III 型, 死亡率与所对应的消失率变化趋势一致, 并存在 2 个高峰。种群生存率均单调下降, 累计死亡率单调上升, 下降或上升的速度以理县种群最快, 马尔康种群最慢; 死亡率密度在幼苗期重合, 并达到最大(0.05), 但从幼苗级向幼树级过渡时迅速下降到 0.01 以下; 种群的危险率曲线与其死亡率变化趋势一致, 其中马尔康种群波动最小, 小金种群波动最大。综合分析表明, 岷江柏 4 个种群均有较强的自然更新能力, 属增长型种群, 但人为砍伐是其最重要的干扰因素。

关键词: 岷江柏种群; 年龄结构; 静态生命表; 存活曲线; 生存分析

中图分类号: Q948.12*1 文献标识码: A 文章编号: 1004-0978(2004)03-0025-06

Dynamic analysis on age structure of *Cupressus chengiana* populations in four geographical areas

YUAN Zhi-zhong^{1,2}, BAO Wei-kai^{1,①}, HE Bing-hui²(1. Chengdu Institute of Biology, the Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China; 2. College of Resources and Environment, Southwest Agriculture University, Chongqing 400716, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2004, 13(3): 25-30

Abstract: Age structures of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in 4 geographical areas of Sichuan Province were investigated and static specific life tables were constructed. The results showed that all the survival curves of 4 populations belong to Deevey-III type. The mortality rate displayed similar change dynamics to lose rate. The mortality rate had 2 distinct peaks which are 1-10 a and 110-200 a, respectively. Mortality rates of 4 populations increased all along and survival rates decreased all the time, and the increase or decrease velocity of 4 population in different areas was ranked as follows: Lixian, Jinchuan, Xiaojin, Maerkang. All 4 populations had the maximum mortality rate density (about 0.05) at young age. After that, the mortality ratio density decreased dramatically and kept below 0.01. The hazard rate showed the similar change dynamic to mortality rate and the fluctuation tendency of the two curves was ranked as Xiaojin, Lixian, Jinchuan, Maerkang. All the results above mentioned indicated that the natural regenerative ability of 4 populations is strong, each population showed an increasing population type. Logging is the most important factor to affect the stability of the *C. chengiana* population and should be prohibited strictly.

Key words: *Cupressus chengiana* S. Y. Hu population; age structure; static life table; survival curve; survival analysis

岷江柏(*Cupressus chengiana* S. Y. Hu)是柏木科(Cupressaceae)柏木属(*Cupressus* L.)长寿慢生乔木,为中国珍稀濒危、单型属孑遗种和川甘区域局地特有种,1984年被中国国家环境保护局列为国家二级保护植物。该种主要分布于四川西北部岷江上游的茂县、理县、汶川,大渡河上游的马尔康、金川、小金、丹巴及白龙江上游的南坪、舟曲等县的干旱河谷地带。岷江柏具有耐寒、耐旱、根深的生物学特性,能适应于旱贫瘠的环境,因而具有良好的水土保持和水源涵养功能,一直是川西高山峡谷地区干旱河谷段水土保持和荒山造林的重要树种之一。岷江柏自

然分布地段大都接近谷底,交通方便,离居民点近,长期受人为活动破坏,现存林分不多^[1-3]。

作为中国特有珍贵树种^[3,4],岷江柏一直广受关注,保护力度日益增强。但是,从岷江柏发现并定名后的近 100 a 来,对岷江柏生存状况、资源保护生物学生态学研究相当薄弱,种群结构动态缺乏深入

收稿日期: 2003-11-27

基金项目: 中国科学院知识创新工程项目(KSCX2-SW-104, KSCX1-07-02)与“西部之光”人才培养计划共同资助项目

作者简介: 袁志忠(1977-),男,湖南双牌人,硕士研究生,主要从事植物生态与水土保持研究。

① 通讯作者 E-mail: baowk@cib.ac.cn

研究,濒危机制及致濒原因还不清楚。本文采用样地调查方法获取种群资料,通过生长锥获取年龄数据,采用静态生命表和生存函数分析法,对4个不同地理区域的岷江柏种群年龄动态及生存状况进行比较分析,为进一步研究岷江柏在不同地理区域的种群动态及致濒致危原因提供依据。

1 研究区及调查林分概况

四川的大渡河上游及其支流与岷江上游的杂古脑河是岷江柏的核心分布区,本研究选择岷江柏种群天然分布核心区的理县、马尔康县、金川县、小金县等4个代表性地段进行。

四川省理县扑头乡梭罗沟位于岷江上游支流杂谷脑河边,年均温 10.9°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3\ 200^{\circ}\text{C}$,年均降水 632.9 mm ,年日照时间 $1\ 680.6\text{ h}$,干燥度 1.32 。岷江柏天然次生林分布于坡向 $\text{NE}30^{\circ}$,坡度 36° 的坡下段,海拔 $2\ 010\text{ m}$ 。岷江柏为主要乔木树种,伴生少量栎树(*Quercus* L. sp.)、复叶栎树(*Koelreuteria bipinnata* Franch.)、油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)等,林分郁闭度 0.45 。种群密度 $1\ 325\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均高 4.39 m ,平均地径 10.82 cm 。土壤为褐土,土壤有机质含量 $71.33\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤容重 $0.87\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$,该地段人为干扰和放牧现象较多。

四川省马尔康县热足电站位于大渡河上游支流梭磨河下游,年均温 10.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3\ 114^{\circ}\text{C}$,年均降水 635.4 mm ,年日照时间 $2\ 213.9\text{ h}$,干燥度 1.38 。所调查的岷江柏分布于坡度 35° ,坡向 $\text{NE}38^{\circ}$ 的坡下部,海拔 $2\ 410\text{ m}$ 。岷江柏林受人为干扰少,接近原始林状态,乔木优势种为岷江柏,伴生少量白蜡树(*Fraxinus chinensis* Rosb.)、海桐(*Pittosporum Banks ex Soland* sp.)、栒子(*Cotoneaster* Medik. sp.)等小乔木,并居于乔木第2层,林分郁闭度 0.45 。种群密度 $1\ 519\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均高 9.12 m ,平均地径 15.91 cm 。林下土壤为褐土,土壤有机质含量 $126.45\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤容重 $1.07\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

四川省金川县河东乡位于大金川河边支沟,年均温 11.8°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3\ 575.7^{\circ}\text{C}$,年均降水 642 mm ,年日照时间 $2\ 129.7\text{ h}$,干燥度 1.49 ;岷江柏林位于坡度 34° ,坡向 $\text{SE}38^{\circ}$,海拔 $2\ 400\text{ m}$ 的地段。为天然次生林,伴生树种以复叶栎树、黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge)为主,林分郁闭度 0.4 。种

群密度 $1\ 250\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均高 7.82 m ,平均地径 13.94 cm 。林下土壤为褐土,土壤有机质含量 $91.65\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤容重 $0.86\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。由于靠近路边,人为干扰和放牧现象较多。

四川省小金县双柏乡位于小金河支流抚边河边,年均温 12.0°C , $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 年积温 $3\ 494^{\circ}\text{C}$,年均降水 613.9 mm ,年日照时间 $2\ 242\text{ h}$,干燥度 1.52 。岷江柏天然次生林分布在海拔 $2\ 420\text{ m}$,坡度 36° ,坡向 $\text{SW}10^{\circ}$ 的地段。林下土壤为褐土,土壤有机质含量 $74.97\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,土壤容重 $0.95\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。岷江柏为优势种,伴生有忍冬(*Lonicera* L. sp.)、栒子、野花椒(*Zanthoxylum simulans* Hance)等,林分郁闭度 0.5 。种群密度 $5\ 050\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$,平均高 5.32 m ,平均地径 11.98 cm 。由于靠近耕地和村庄,人为干扰和放牧现象相当严重。

2 研究方法

2.1 野外取样方法

野外调查于2003年8-9月进行。在4个岷江柏林分内分别设置1个代表性样地,每个样地设置 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 调查样方1个。在样方内首先对岷江柏进行每木检尺,包括测定地径(围径)、树高、冠幅等指标,其中幼苗(树高 $H < 0.5\text{ m}$)只测定树高,幼树的起测围径为 2 cm (即地径 0.6 cm 以上)。利用生长锥在离地面 50 cm 高度处钻取木芯(通过髓心),查数树木年龄;对于幼苗($H < 0.5\text{ m}$),则直接数其年轮枝来确定年龄;幼树一般仍用生长锥钻取木芯,取样困难的幼树则直接数其年轮;空心树或中腐树的年龄单独计算,测算方法为:根据已测定的地径直径和没有腐朽部分的木芯长度计算出地径取样处腐朽部分的长度,然后用计算出的平均年轮宽度和已知的腐朽部分的长度来推算出腐朽部分的年龄数,两者相加即为其实际年龄。调查时同时记载海拔、坡度、坡向、人为干扰等因子^[5,6]。

2.2 数据处理及计算方法

静态生命表一般包含如下栏目: X :龄级中值,即该年龄级的平均年龄; ΔX :龄级宽度; a_x :在 x 龄级内出现的实际个体数; l_x :在 x 龄级开始时标准化存活个体数(一般转化为1 000); d_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间个体死亡率, $q_x = d_x/l_x$; L_x :

从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间平均存活的个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; T_x : 从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数, 即 $T_x = \sum L_x$; e_x : 进入 x 龄级个体的生命期望寿命, $e_x = T_x/l_x$; S_x : 存活率, 即 $x+1$ 期存活个体数与 x 期存活个体数之比, $S_x = l_{x+1}/l_x$; K_x : 致死力或消失率, 即从 x 到 $x+1$ 期受到的阻力, $K_x = \ln(l_x) - \ln(l_{x+1})$ [5,7-9]。

岷江柏种群的年龄直接按实测的各株岷江柏的实际年龄分龄级进行统计, 不足 100 a 生的树以 10 a 为 1 个龄级, 大于 100 a 生的树则按 20 a 为 1 个龄级。根据静态生命表中各参数的计算公式, 编制各种群静态生命表 [10,12]。

生存分析采用以下 4 个常用的生存函数进行 [9,11,13]: $S(i)$: 生存率函数, $S(i) = P_1 P_2 P_3 \dots P_i$ (P_i 为存活率); $F(i)$: 累计死亡率函数, $F(i) = 1 - S(i)$; $f(t_i)$: 死亡密度函数, $f(t_i) = (S_{i-1} - S_i)/h_i$; $\lambda(t_i)$: 危险率函数, $\lambda(t_i) = 2(1 - P_i) / [h_i(1 + P_i)]$ 。其中 h_i 是第 i 个间隔期的时间长度, 即龄级宽度 ΔX 。

根据上述 4 个生存函数估算值分别绘制各种群

的生存率曲线、累计死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线。

3 结果和分析

3.1 存活曲线分析

岷江柏 4 个地理种群的死亡率 (q_x)、生命期望 (e_x) 和消失率 (k_x) 见表 1, 存活曲线见图 1。Deevey 将存活曲线分成 3 种类型: Deevey-I 型 (又称 Deevey-a 型)、Deevey-II 型 (又称 Deevey-b 型) 和 Deevey-III 型 (又称 Deevey-c 型) [11,13]。根据 Deevey 的划分, 由图 1 可知, 4 个岷江柏地理种群的存活曲线都属于 Deevey-III 型, 为增长型种群; 4 个种群中幼苗绝对数量都很大, 说明岷江柏种群天然更新良好; 马尔康种群存活曲线最平稳, 林分年龄最大, 种群最稳定; 小金种群存活曲线起伏变化最大, 在 55~75 a 间下降速度较快; 理县种群无 130 a 生以上的大树, 存活曲线在 100 a 后下降速度很快, 是最年轻的种群; 金川种群变化较小, 种群的稳定性仅次于马尔康种群。存活曲线较好地反映了 4 个岷江柏地理种群的年龄动态变化趋势。

表 1 岷江柏 4 个地理种群的死亡率、生命期望值和消失率比较¹⁾

Table 1 Mortality rate, life expectation value and lose rate of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas¹⁾

龄级中值/a Age class mean value	龄级宽度/a Age class width	死亡率 Mortality rate				生命期望值 Life expectation value				消失率 Lose rate			
		M	L	X	J	M	L	X	J	M	L	X	J
5	10	0.455	0.506	0.468	0.494	4.621	3.705	3.548	4.271	0.606	0.705	0.631	0.681
15	10	0.167	0.073	0.120	0.047	7.055	5.988	5.23	6.953	0.182	0.076	0.128	0.048
25	10	0.200	0.053	0.045	0.073	7.366	5.421	4.875	6.268	0.223	0.054	0.047	0.076
35	10	0.167	0.056	0.071	0.053	8.082	4.695	4.083	5.724	0.182	0.057	0.074	0.054
45	10	0.100	0.029	0.128	0.139	8.598	3.942	3.359	5.014	0.105	0.030	0.137	0.150
55	10	0.056	0.212	0.235	0.097	8.498	3.046	2.779	4.742	0.057	0.238	0.268	0.102
65	10	0.059	0.192	0.385	0.036	7.969	2.731	2.481	4.196	0.061	0.214	0.486	0.036
75	10	0.063	0.190	0.375	0.222	7.435	2.263	2.719	3.333	0.065	0.211	0.470	0.251
85	10	0.067	0.176	0.200	0.190	6.898	1.677	3.050	3.143	0.069	0.194	0.223	0.211
95	10	0.143	0.357	0.250	0.059	6.355	0.930	2.687	2.765	0.154	0.442	0.288	0.061
110	20	0.250	0.778	0.167	0.188	6.330	0.168	2.417	1.906	0.288	1.504	0.182	0.208
130	20	0.111		0.200	0.692	7.274		1.800	1.231	0.118		0.223	1.179
150	20	0.125		0.250	0.250	7.121		1.125	1.875	0.134		0.288	0.288
170	20	0.143		0.667	0.333	7.067		0.333	1.333	0.154		1.099	0.405
190	20	0.500				7.161				0.693			
210	20	0.333				12.822				0.405			

¹⁾ M: 马尔康县 Maerkang County; L: 理县 Lixian County; J: 金川县 Jinchuan County; X: 小金县 Xiaojin County.

3.2 死亡率和消失率分析

岷江柏 4 个地理种群的死亡率和消失率分析见表 1。可以看出, 4 个岷江柏种群从幼苗级 (龄级中

值 5 a) 向幼树级 (龄级中值 15 a) 过渡期的死亡率较高, 均在 50% 左右, 消失率也高, 均在 60% 左右。各种群的消失率变化趋势与所对应的死亡率相一致

(仅数值不同而已)。均有 2 个同样的高峰,第 1 个高峰均在幼苗期(4 个种群基本重合),第 2 个高峰在 110 a 以后,情况比较复杂。其中理县种群死亡率剧烈上升;马尔康种群死亡率比较平稳,但在 190 a 显著升高;金川种群死亡率在 130 a 时突然剧烈上升,后又明显下降;小金种群死亡率在 65~75 a 间有所上升,以后又下降,直到 150 a 后才明显上升。

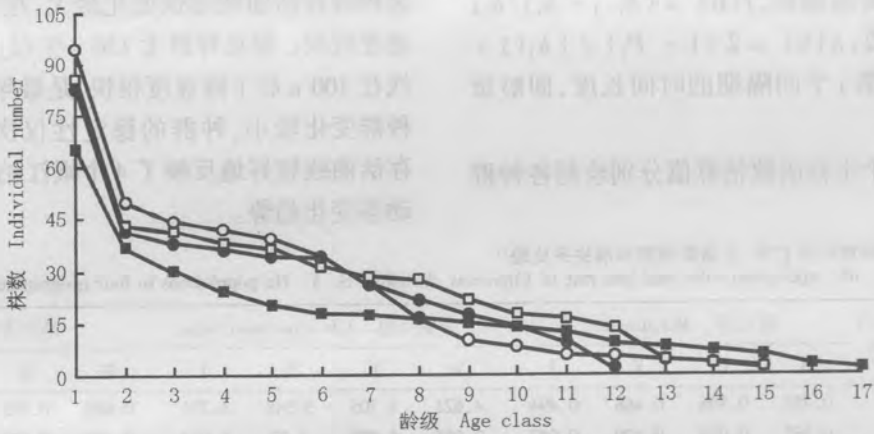
总的看来,从幼树级(龄级中值 15 a)到 100 a 生的中龄树阶段,岷江柏 4 个种群的死亡率和消失率数值较低且起伏较小,是种群的平稳期,但 2 个高峰期则是岷江柏种群的不稳定期,它对岷江柏种群的数量动态变化有至关重要的作用。

3.3 生存分析

岷江柏 4 个种群的生存率都表现为随着年龄增

加而单调下降的趋势(图 2);累计死亡率刚好相反(图 3),均单调上升,其下降或上升的速度总体上以理县种群最快;金川种群变化比较均匀,速度次之;小金种群前期快后期慢,差别较大,在 55~75 a 间下降或上升的速度比其他 3 个种群明显要快,总体速度与金川种群相当;马尔康种群速度最慢且变化比较均匀,但在前期(15~45 a)略有异常。

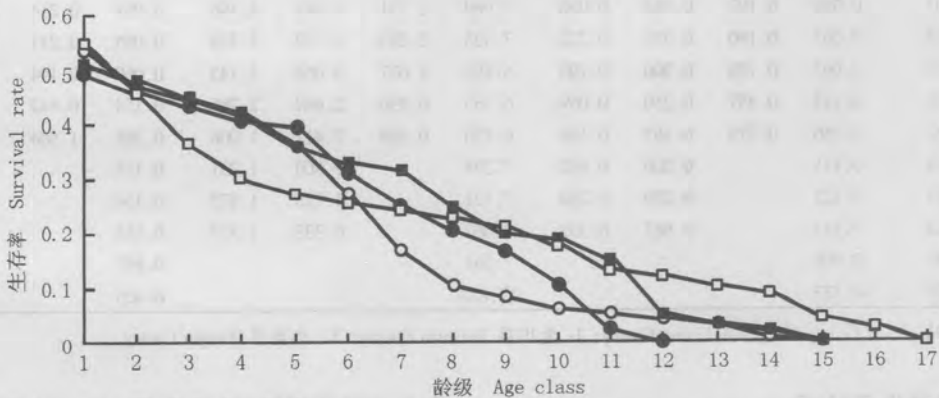
岷江柏 4 个地理种群死亡率密度曲线(图 4)的共同特点是:死亡率密度在幼苗期最大并重合,其值约为 0.05;从幼苗级向幼树级过渡时显著下降;幼树级以后 4 个种群的变化明显减小,其值不超过 0.01。不同点是:幼树级以后,小金种群在龄级中值为 65 a 时死亡率密度达到 0.01,是 4 个种群的最大变幅值。



—●—理县 Lixian County; —□—金川县 Jinchuan County; —■—马尔康县 Maerkang County; —○—小金县 Xiaojin County

图 1 岷江柏 4 个地理种群存活曲线比较图

Fig. 1 Survival curves of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas



—●—理县 Lixian County; —□—金川县 Jinchuan County; —■—马尔康县 Maerkang County; —○—小金县 Xiaojin County

图 2 岷江柏 4 个地理种群生存率曲线比较图

Fig. 2 Survival rate curves of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas

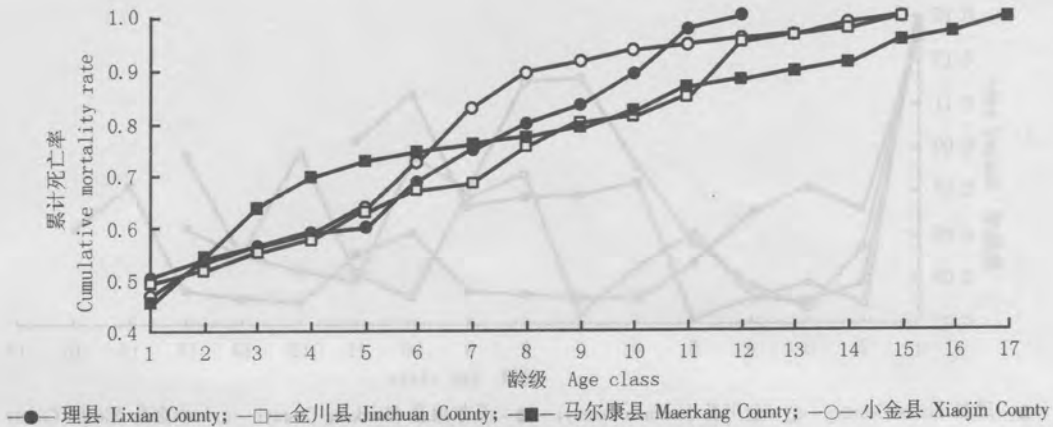


图3 岷江柏4个地理种群累计死亡率曲线比较图
 Fig. 3 Cumulative mortality rate curves of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas

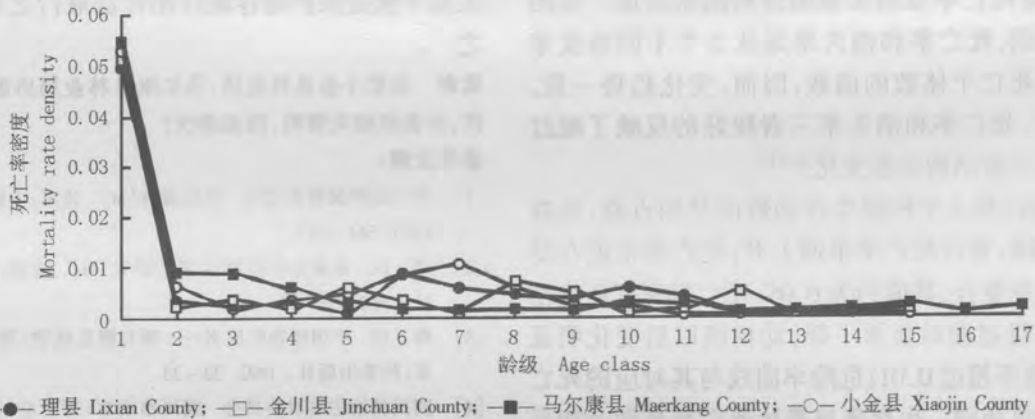


图4 岷江柏4个地理种群死亡密度率曲线比较图
 Fig. 4 Mortality rate density curves of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas

4个种群的危险率曲线(图5)变化比较复杂, 总体变化规律均表现为在幼树期最大并且基本重合。其中, 马尔康种群波动最小, 小金种群波动最大, 其他2个种群次之。各种群的危险率曲线与所对应的死亡率趋势一致。

4 结论和讨论

1) 岷江柏4个地理种群的存活曲线都属于Deevey-III型, 为进展种群, 各种群幼苗数量都占50%左右, 充分说明在各地分布区岷江柏种群天然更新良好。4个地理种群的幼苗死亡率高达50%, 消失率高达60%左右, 充分表明群落小生境的环境抑制(如林下光照不足、与近地层的草本和灌木争夺水分和养分等等)对岷江柏幼苗的生长起决定性作用, 而人为干扰对幼苗的影响不大。

2) 岷江柏4个种群的死亡率与所对应的消失率变化趋势一致, 均存在2个高峰, 第1个高峰重合在幼苗期, 第2个高峰在110 a以后, 4个种群情况各异, 其原因可能有4点: 其一, 在幼苗期各种群都受相同的主导因子——环境筛控制, 死亡率和消失率因而重合; 但超过110 a以后, 林分内的个体之间养分、水分和阳光的争夺越来越激烈, 林分自然稀疏, 死亡率因此明显加快。其二, 人为干扰是第2个高峰产生的主要原因, 而干扰程度的不同, 直接导致了各种群之间的差异, 马尔康种群的岷江柏林分所受人为干扰最轻, 接近原始林状态, 种群较稳定, 死亡率及消失率变化不明显; 其他3个种群所受的人为干扰较严重, 种群稳定性较低, 变化明显; 小金种群在60~80 a之间的死亡率和消失率异常升高很可能是由于离居民点近, 人为破坏严重所致。其三, 110 a生以上的大树在生长锥取样时可能会遇到中

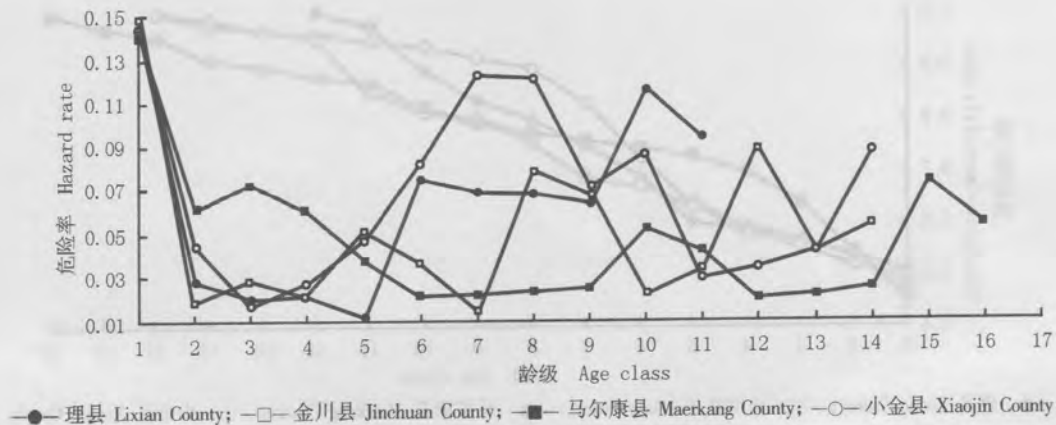


图5 岷江柏4个地理种群危险率曲线比较图

Fig. 5 Hazard rate curves of *Cupressus chengiana* S. Y. Hu populations in four geographical areas

腐现象,对死亡率及消失率的分析结果造成一定的偏差。其四,死亡率和消失率是从2个不同角度来反映相对死亡个体数的函数,因而,变化趋势一致。存活曲线、死亡率和消失率三者较好的反映了岷江柏种群的年龄结构动态变化^[6,13]。

3) 岷江柏4个种群生存函数的共同点有:生存率单调下降;累计死亡率单调上升;死亡率密度在幼苗级最大并重合,其值约为0.05,死亡率密度从幼苗级向幼树级过渡时显著下降,幼树级以后变化明显减小,其值不超过0.01;危险率曲线与其对应的死亡率变化趋势相同。生存率与累计死亡率是两个相反的函数,因此,单调性变化相反。4个种群比较表明,生存率和累计死亡率以理县种群变化最快,金川种群次之,小金种群前期快后期慢,马尔康种群最慢。危险率以马尔康种群波动最小,其他3个种群波动较大,尤其以小金种群突出。其产生的原因不仅取决于种群的天然状态,更重要的是人为干扰的结果。理县种群最年轻,几乎没有110 a生以上的大树,种群很不稳定,人为干扰严重,生存率和累计死亡率因此变化最快;马尔康种群年龄最大,干扰很少,为近原始林状态,种群最稳定,变化不大。

综合分析表明,4个地理区域的岷江柏种群天然更新良好,为增长种群,但在幼苗期受环境筛制约严重,因此从幼苗向幼树过渡时有很高的死亡率。人为干扰成为种群发展的另一个重要原因,所以杜绝

人为干扰是保护现存岷江柏种群最行之有效的办法之一。

致谢 承蒙小金县林业局、马尔康县林业局协助完成野外工作,并提供相关资料,深表谢忱!

参考文献:

- [1] 四川森林编辑委员会. 四川森林[M]. 北京:中国林业出版社, 1990. 544-547.
- [2] 刘庆. 亚高山针叶林生态学研究[M]. 成都:四川大学出版社, 2002. 55-56.
- [3] 傅立国. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第一册)[M]. 北京:科学出版社, 1992. 32-33.
- [4] 四川植物志编辑委员会. 四川植物志(第二卷)[M]. 成都:四川人民出版社, 1983. 165-166.
- [5] 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[J]. 生态学报, 1999, 19(4):521-528.
- [6] 闫淑君, 洪伟, 吴承祯, 等. 丝栗栲种群生命过程及谱分析[J]. 应用与环境生物学报, 2002, 8(4):351-355.
- [7] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京:中国林业出版社, 1992. 8-11.
- [8] 曹广侠, 林璋德, 张联敏. 甘南地区紫果云杉、岷江冷杉生命表[J]. 生态学报, 1991, 11(3):286-288.
- [9] 李建贵, 潘存德, 彭世揆, 等. 天山云杉种群统计与生存分析[J]. 北京林业大学学报, 2001, 23(1):84-86.
- [10] Harcombe P A. Tree life table[J]. Bioscience, 1987, 37:557-567.
- [11] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 等. 武夷山米槠种群生命表分析[J]. 热带亚热带植物学报, 2001, 9(3):243-247.
- [12] 马丹炜. 九寨沟自然保护区油松种群的生命表[J]. 西南民族学院学报, 1999, 25(1):59-62.
- [13] 吴承祯, 洪伟, 谢金寿, 等. 珍稀濒危植物长苞铁杉种群生命表分析[J]. 应用生态学报, 2000, 11(3):333-336.