

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.02.015

## 唐家河自然保护区连香树种群结构与数量动态

毛维莉<sup>1</sup>, 马永红<sup>1,2</sup>, 甘小洪<sup>1,2</sup>

(1. 西华师范大学西南野生动植物资源保护教育部重点实验室;  
2. 西华师范大学西南山地特色植物种质适应与利用研究所, 四川 南充 637009)

**摘要:**以种群静态生命表及生存分析理论为基础,以林木径级结构代表年龄结构,利用生存函数分析等方法,对唐家河自然保护区连香树种群的结构及数量动态特征进行了研究。结果表明:(1)研究区域内连香树种群结构基本呈金字塔型,其种群内幼苗较少,中老年个体较多;(2)种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本一致,在第Ⅱ龄级出现峰值,即幼苗死亡率较高;种群存活曲线趋于Deevey-Ⅱ型;(3)4个生存函数曲线表明,连香树种群具有前期锐减、中后期相对稳定和末期逐渐衰退的特点,目前种群已处于衰退的早期。

**关键词:**连香树;种群结构;静态生命表;存活曲线;濒危因素

中图分类号:S759.9 文献标识码:A 文章编号:1003-5508(2019)02-0069-06

## Population Structure and Dynamic Changes of *Cercidiphyllum japonicum* in Tangjiahe Nature Reserve

MAO Wei-li<sup>a</sup> MA Yong-hong<sup>1,2</sup> GAN Xiao-hong<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Southwest China Wildlife Resources Conservation, Ministry of Education, West Normal University, Nanchong 637009, China; 2. Institute of Plant Adaptation and Utilization in Southwest Mountain, West Normal University, Nanchong 637009, China)

**Abstract:**Based on the static life table of population and the theory of survival analysis, studies were made of the structure and quantitative dynamic characteristics of *Cercidiphyllum japonicum* populations by using the method of survival function analysis in Tangjiahe Nature Reserve. The results showed that (1) the age structures of *C. japonicum* populations were like a pyramidal shape, and the number of younger individuals was relative less, while that of mid and older individuals was relative greater; (2) There was a similar variation trend in population mortality and vanishing rate curve, and the peak value appeared in the second age-class, which indicated the seedling mortality was higher, and the survival curve of population tended to be Deevey-type II. (3) The population size of these populations would decrease sharply in the early stage, become relatively stable in the middle and late stages, and gradually decline in the last stage. The populations were in the early stage of decline at present.

**Key words:** *Cercidiphyllum japonicum*, Population, Static life table, Survival curve, Endangered factors

植物种群结构是种群最基本特征,反映种群动态及种群发展趋势,对于濒危植物保护、管理与利用具有深刻的意义<sup>[1]</sup>。分析种群的年龄结构可以了解种群的存在状态、受干扰情况、预测种群未来的发

展趋势<sup>[2]</sup>。生命表和生存曲线分析是种群统计中最常用的方法,种群的生命表可直接反映出生率、死亡率等重要参数,为探索种群动态特征、发展趋势提供重要信息。

收稿日期:2019-01-02

作者简介:毛维莉(1990-),女,四川冕宁人,在读硕士研究生,主要从事濒危植物研究,e-mail:531049727@qq.com。

连香树 (*Cercidiphyllum japonicum* Sieb. et Zucc.) 为连香树科连香树属落叶乔木, 间断分布于中国和日本, 是东亚地史的孑遗植物, 我国将其列为国家二级珍稀濒危保护植物<sup>[3,4]</sup>。连香树在中国分布区域广, 主要分布于浙江、安徽、江西、湖北、湖南、山西、陕西、甘肃、四川和贵州<sup>[5]</sup>。目前对连香树天然种群的结构及动态研究报道较少, 何东等<sup>[6]</sup>对神农架山地河岸带连香树的种群结构与动态进行了研究, 发现该地连香树种群更新主要以萌枝更新为主, 在中短期内能维持稳定。杨荣慧等<sup>[7]</sup>研究发现, 秦岭地区连香树种群结构断代严重, 种群消亡的危险性在不断加剧。位于岷山山系北部的唐家河自然保护区分布有较多的连香树, 其种群结构与动态如何至今尚不清楚。研究唐家河自然保护区连香树种群的结构与动态, 揭示其生存现状, 对于促进当地的生物多样性保护具有重要的现实意义。

本文通过对唐家河自然保护区 3 个连香树种群进行每木调查, 分析种群年龄结构、编制静态生命表、绘制生存曲线等, 旨在解决以下问题(1)唐家河自然保护区连香树种群的生存现状;(2)唐家河连香树种群未来的发展趋势;(3)结合其生存现状、生境等宏观因素阐明其年龄结构及未来发展趋势, 为唐家河野外种群的有效保护与利用提供科学依据。

## 1 研究地区与方法

### 1.1 研究区自然概况

唐家河自然保护区处于岷山山系龙门山西北段、摩天岭南麓, 四川盆地向青藏高原过渡的高山峡谷地带, 位于东经 104°24' ~ 104°53', 北纬 32°32' ~ 32°41', 东西长约 2 415 km, 南北宽约 1 815 km, 总面积约 400 km<sup>2</sup>, 保护区内气候垂直变化明显、四季分明、雨量充沛, 多年平均气温为 13.7℃, 年均日照时数为 1 303 h, 年降雨量达 1 100 mm<sup>[8]</sup>。连香树主要分布在红军桥至摩天岭沿线的长沟、阴坝沟等落叶阔叶林中。

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 野外调查

对唐家河地区连香树资源的分布采取线路实地调查与访问相结合的方法记录该地区连香树分布情况后, 选择连香树分布相对集中且有代表性的地区(阴坝沟、长沟), 根据立地条件设置 3 个 50 m × 50 m 样地(见表 1), 每个样地代表一个种群, 对样地内的连香树个体进行每木调查。调查内容包括高度、

胸径以及冠幅, 以便分析该地区连香树的分布和生存情况。

表 1 连香树样地地理位置

种群编号	分布位置	经度	纬度	海拔(m)	坡向	坡位
Pop. 1	阴坝沟	104.72620°E	32.57425°N	1800	东北	下坡
Pop. 2	长沟 1	104.68636°E	32.58355°N	2051	东北	谷底
Pop. 3	长沟 2	104.68599°E	32.59064°N	1967	东北	下坡

#### 1.2.2 年龄结构编制

此次调查共记录 118 棵连香树, 根据国际年龄划分标准、濒危植物龄级划分标准以及所调查连香树实际胸径和株高, 将其划分为 8 个龄级<sup>[9~12]</sup>。I, 高度(H) < 0.33 m; II, H > 0.33 m, DBH < 2.5 cm; III, 2.5 ≤ DBH < 7.5 cm; IV, 7.5 ≤ DBH < 15 cm; V, 15 ≤ DBH < 22.5 cm; VI, 22.5 ≤ DBH < 30 cm; VII, 30 ≤ DBH < 35 cm; VIII, DBH > 35 cm。统计各龄级株数。

#### 1.2.3 种群动态分析

采用陈晓德<sup>[13]</sup>的量化方法定量描述连香树种群的结构动态, 种群结构动态的量化方法如下:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n-1} + 1}{\max(S_n, S_{n-1})} 100\% \quad (1)$$

$$V_{pi} = \frac{1}{K-1} \cdot \frac{\sum_{n=1}^{K-1} (S_n \cdot V_n)}{\sum_{n=1}^{K-1} S_n} \quad (2)$$

式中  $V_n$  表示种群从  $n$  到  $n+1$  级的个体数量变化动态;  $S_n$  和  $S_{n+1}$  分别是第  $n$  龄级与其下一个龄级个体数;  $V_{pi}$  表示整个种群结构数量变化动态指数;  $K$  为种群年龄级数量;  $S_n$ 、 $V_n$  意义与式(1)相同。考虑未来的外部环境对种群结构的干扰, 需对其指数进行修正如下:

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{K-1} (S_n \cdot V_n)}{K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_K) \cdot \sum_{n=1}^{K-1} S_n} \quad (3)$$

当  $V_n$ 、 $V_{pi}$  分别取正、负、零值时, 其意义分别反映种群或相邻年龄级个体数量的增长、衰退、稳定的动态关系。

#### 1.2.4 静态生命表

本文编制的生命表是静态生命表, 即在相同的时间内, 用样地中收集到的连香树龄级数据编制而成。它表明该种群年龄动态过程中的一个特定时间段内的特点, 而不是所有生活史的特征。在用空间替代时间的方法来探究连香树种群动态时, 调查所得数据并不完全符合编制静态生命表的 3 个假

设<sup>[14]</sup>,在编制种群静态生命表过程中出现了死亡率为负值的现象,所以需要匀滑技术予以校正,本文采用江洪<sup>[15]</sup>等的方法对数据进行匀滑处理,根据匀滑结果参考毕晓丽<sup>[16]</sup>等的计算方法编制静态生命表。静态生命表包括: $\chi$  单位时间年龄等级的中值; $A_{\chi}$  在  $\chi$  龄级的实际存活数; $a_{\chi}$  匀滑后的  $\chi$  龄级的存活数; $l_{\chi}$  在  $\chi$  龄级开始时标准化存活数(以 1 000 为基数), $l_{\chi} = a_{\chi} / a_0 \times 1\ 000$ ;  $d_{\chi}$ ,从  $\chi$  到  $\chi + 1$  龄级期间标准化死亡数, $d_{\chi} = l_{\chi} - l_{\chi+1}$ ;  $q_{\chi}$ ,从  $\chi$  到  $\chi + 1$  龄级间隔期间的死亡率, $q_{\chi} = d_{\chi} / l_{\chi}$ ;  $L_{\chi}$ ,从  $\chi$  到  $\chi + 1$  龄级间隔期间平均存活的个体数, $L_{\chi} = (l_{\chi} + l_{\chi+1}) / 2$ ;  $T_{\chi}$ ,从  $\chi$  龄级到超过  $\chi$  龄级的个体总数: $T_{\chi} = L_{\chi} + L_{\chi+1} + L_{\chi+2} + \dots$ ,即  $T_{\chi} = \sum L_{\chi}$ ;  $e_{\chi}$ ,进入  $\chi$  龄级个体的生命期望,  $e_{\chi} = T_{\chi} / l_{\chi}$ ;  $K_{\chi}$ ,亏损率,  $K_{\chi} = \ln l_{\chi} - \ln l_{\chi+1}$ ;  $P_{\chi}$ ,存活率,即  $l_{\chi+1} / l_{\chi}$ 。

### 1.2.5 生存分析

为了更好地分析连香树的种群结构,阐明其生存规律,本研究把生存分析中的 4 个函数引入种群生存分析中<sup>[17]</sup>,即种群生存率函数  $S(i)$ 、累计死亡率函数  $F(i)$ 、死亡密度函数  $f(t_i)$ 、危险率函数  $\lambda(t_i)$ ,计算公式如下:

$$S_i = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \dots P_i (P_i \text{ 为存活频率});$$

$$F_i = 1 - S(i);$$

$$f(t_i) = (S_{i-1} - S_i) / h_i (h_i \text{ 龄级宽度});$$

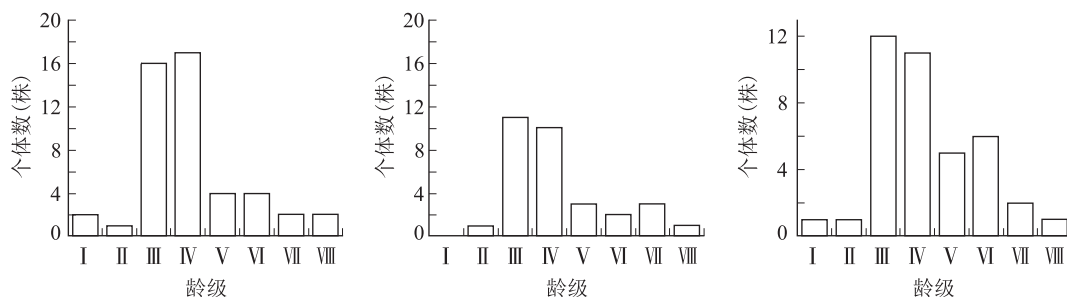


图1 连香树种群龄级结构

图2反映了3个种群个体百分率随龄级增长的大致趋向。结果表明,3个种群均显示为幼龄级密度低,低龄级密度较高,高龄级密度较低;Pop. 1 密度高峰在第IV龄级,Pop. 2、Pop. 3 密度高峰集中在第III龄级;总体而言,当龄级增高时,种群数量降低。说明连香树幼树较多,种群较年轻,整个种群处于相对稳定型。

由表2可知,3个种群年龄结构的动态指数分别为 33.3%、25.7%、25.6%,考虑种群的外部干扰

$$\lambda(t_i) = 2q_i / h_i (1 + p_i) (q_i \text{ 为死亡频率}).$$

### 1.2.6 存活曲线

存活曲线和死亡曲线是特定年龄存活率和死亡率对径级的相关曲线。曲线的趋势反映了存活率和死亡率随年龄的变动状况,是反映种群动态的重要特征。根据 Deevey 划分标准<sup>[18]</sup>,种群存活曲线有 3 种基本类型: I 型是凸曲线,属于该型的种群绝大多数都是能活到该物种年龄,早期死亡率较低,但当活到一定生理年龄时,短期内几乎全部死亡; II 型是直线,也称对角线型,属于该型的种群各年龄的死亡率基本相同; III 型是凹曲线,早期死亡率高,一旦活到某一年龄后,死亡较低。参考 Hett 等方法<sup>[19]</sup>,采用了以下两种数学模型对连香树的存活情况进行检验:

$$\text{Deevey II 型存活曲线: } N_x = N_0 e^{-bx}$$

$$\text{Deevey III 型存活曲线: } N_x = N_0 x^{-b}$$

## 2 结果与分析

### 2.1 连香树的种群结构

虽然 3 个种群海拔和纬度存在差异,但 3 个种群结构基本呈金字塔型,均表现为中老龄个体数量较多,幼龄个体较少(见图1)。Pop. 2 种群结构不完整,缺乏第 I 龄级,其余两个种群结构相对比较完整。

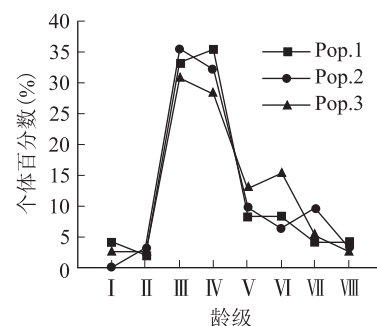


图2 唐家河连香树种群龄级密度分布

$V_{pi}$  分别为 4.12%、3.21%、3.19%。由此可见,连香树种群的年龄结构有一定的波动变化,但目前仍表现为稳定型。

### 2.2 静态生命表及函数分析

根据生命表的编制方法和生存理论编制连香树种群静态生命表(见表3)和生存函数值(见表4)。

表2 连香树种群动态指数

龄级	I	II	III	IV	V	VI	VII
Pop.1(Vn)	50%	-93.8%	6%	76.5%	0%	50%	0%
Pop.2(Vn)	-100%	-91%	10%	70%	33.3%	-33.3%	15%
Pop.3(Vn)	0%	-91.7%	8.3%	54.5%	-20%	66.7%	50%

表3 唐家河连香树种群静态生命表

种群	龄级	$\chi$	$A_x$	$a_x$	$l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$lnl_x$	$K_x$	$P_x$
Pop.1	I	0.5	2	23	1 000	217	0.21	891.5	3 195	3.20	6.91	0.25	0.78
	II	1.75	1	18	783	218	0.28	674	2 303	2.94	6.66	0.33	0.72
	III	5	16	13	565	43	0.08	543.5	1 629	2.88	6.33	0.08	0.92
	IV	10	17	12	522	131	0.25	456.5	1 086	2.08	6.25	0.28	0.74
	V	15	4	9	391	130	0.33	326	629.5	1.61	5.97	0.41	0.67
	VI	20	4	6	261	151	0.58	195.5	303.5	1.16	5.56	0.69	0.5
	VII	25	2	3	130	87	0.66	86.5	108	0.83	4.87	1.11	0.33
	VIII	32.5	2	1	43	43	1	21.5	21.5	0.5	3.76	3.75	0
Pop.2	I	0.5	0	15	1 000	133	0.13	933.5	3 765	3.77	6.91	0.15	0.87
	II	1.75	1	13	867	134	0.15	800	2 832	3.27	6.76	0.16	0.85
	III	5	11	11	733	133	0.18	666.5	2 032	2.78	6.60	0.20	0.82
	IV	10	10	9	600	133	0.22	533.5	1 366	2.28	6.40	0.25	0.78
	V	15	3	7	467	134	0.29	400	832.5	1.78	6.15	0.34	0.71
	VI	20	2	5	333	133	0.40	266.5	432.5	1.30	5.81	0.51	0.60
	VII	25	3	3	200	134	0.67	133	166	0.83	5.30	1.11	0.33
	VIII	32.5	1	1	66	66	1	33	33	0.50	4.19	4.19	0
Pop.3	I	0.5	1	16	1 000	125	0.13	927.5	3 989	3.99	6.91	0.14	0.88
	II	1.75	1	14	875	125	0.14	812.5	3 062	3.50	6.77	0.15	0.86
	III	5	12	12	750	125	0.16	687.5	2 250	3.00	6.62	0.18	0.83
	IV	10	11	10	625	125	0.20	562.5	1 562	2.50	6.44	0.23	0.8
	V	15	5	8	500	125	0.25	437.5	1 000	2.00	6.21	0.28	0.75
	VI	20	6	6	375	125	0.33	312.5	562.5	1.50	5.93	0.41	0.67
	VII	25	2	4	250	125	0.50	187.5	250	1.00	5.52	0.69	0.5
	VIII	32.5	1	2	125	125	1	62.5	62.5	0.50	4.83	4.83	0

由表3可知,各种群连香树随龄级增大,存活数  $l_x$  逐步减小,死亡率  $q_x$  和消失率  $K_x$  增大。其中,种群死亡率生长后期大于生长前期,表明种群幼树较多,成树较少,处在稳定发展阶段。生命期望值  $e_x$  随年龄增长呈现减少的趋势。

根据表4分析结果作种群生存率  $S(i)$ 、累计死亡率  $F(i)$ 、死亡密度  $f(ti)$  和危险率  $\lambda(ti)$  曲线(图3,4)。

由图3可知,连香树种群的生存率随龄级升高逐步降低,累计死亡率逐步上升,二者互补;Pop.1种群从第I龄级到第II龄级,种群存活率锐减,累计死亡率剧增,到老龄阶段生存率和死亡率都趋于平缓,说明该种群在第I龄级~第II龄级之间幼苗对环境的适应性不强;Pop.2、Pop.3两个种群生存率均呈等差锐减,累计死亡率等差增大,在第III龄级到第IV龄级出现生存率等于累积死亡率,但是老龄阶段生存率和死亡率任趋于平缓。

表4 连香树种群4个函数估计

种群	龄级	$S(i)$	$F(i)$	$f(ti)$	$\lambda(ti)$
Pop.1	I	0.78	0.22	0.78	0.236
	II	0.56	0.44	0.44	0.651
	III	0.52	0.48	0.008	0.017
	IV	0.38	0.62	0.028	0.057
	V	0.25	0.75	0.026	0.079
	VI	0.13	0.87	0.024	0.155
	VII	0.04	0.96	0.018	0.198
	VIII	0	1	0.004	0.2
Pop.2	I	0.87	0.13	0.87	0.139
	II	0.74	0.26	0.26	0.324
	III	0.61	0.39	0.026	0.040
	IV	0.47	0.53	0.028	0.049
	V	0.34	0.66	0.026	0.068
	VI	0.2	0.8	0.028	0.1
	VII	0.07	0.93	0.026	0.202
	VIII	0	1	0.007	0.2
Pop.3	I	0.88	0.22	0.88	0.138
	II	0.76	0.24	0.24	0.301
	III	0.63	0.37	0.026	0.035
	IV	0.50	0.50	0.026	0.044
	V	0.38	0.62	0.024	0.057
	VI	0.25	0.75	0.026	0.079
	VII	0.13	0.87	0.024	0.133
	VIII	0	1	0.013	0.2

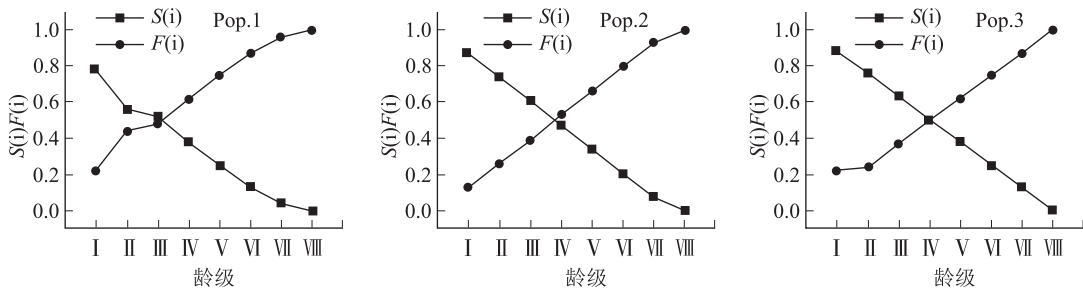


图3 种群生存率  $S(i)$  和累计死亡率  $F(i)$

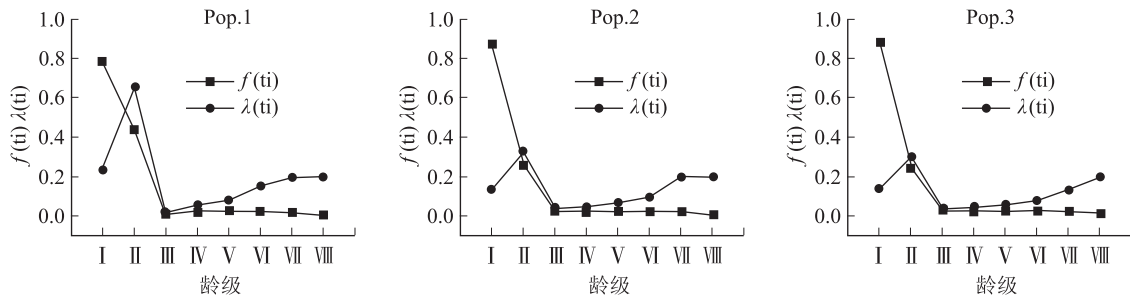


图4 连香树种群死亡密度  $f(t_i)$  和危险率  $\lambda(t_i)$  曲线

由图4可知,3个连香树种群的死亡密度都是第I龄级到第III龄级间陡然降低,在第3龄级出现峰值,之后趋于平稳,但是仍有逐渐降低的趋势。危险率第I~第II龄级升高,第II~第III龄级降低,之后逐渐升高,这种现象可能是连香树幼苗在所处环境中不占优势,到中幼龄树阶段逐渐适应周围环境。

2.3 存活曲线

根据唐家河连香树种群个体的具体存活情况,运用SPSS23.0对存活曲线进行Deevey-II型指数函数Deevey-III型幂函数进行拟合结果如表5。

表5 连香树种群存活曲线拟合结果比较

种群	类型	$R^2$	F	比较结果
Pop.1	Deevey II	0.829	29.080	Deevey II
	Deevey III	0.627	10.077	
Pop.2	Deevey II	0.816	26.627	Deevey II
	Deevey III	0.606	9.222	
Pop.3	Deevey II	0.819	27.126	Deevey II
	Deevey III	0.613	9.510	

型的  $R^2$  和 F 值均大于 Deevey III 幂函数模型。由此可以认为,唐家河连香树种群的存活曲线更趋于 Deevey - II 型。

2.4 死亡率和消失率曲线

由图5可知,Pop.1种群在第I~第II龄级之间的  $q_x, K_x$  均呈上升趋势,第III~第IV龄级之间呈下降趋势,第IV龄级之后  $q_x, K_x$  逐渐上升,到第VII龄级  $K_x$  出现陡然上升,这是由于连香树达到生理年龄极限造成的。Pop.2、Pop.3两个种群  $q_x, K_x$  均呈现轻微上升趋势,但是第VII龄级后  $K_x$  显著的上升,Pop.2、Pop.3两个种群在第II龄级并未出现明显峰值,这可能是由于种群中个体数小造成的。

3 结论与讨论

种群结构分析表明:唐家河自然保护区连香树种群呈零星分布;种群内幼苗数量少,中幼龄树数量较多,种群数量存在较大波动;种群在第I~第II

拟合结果表明,3个种群的Deevey-II型指数模

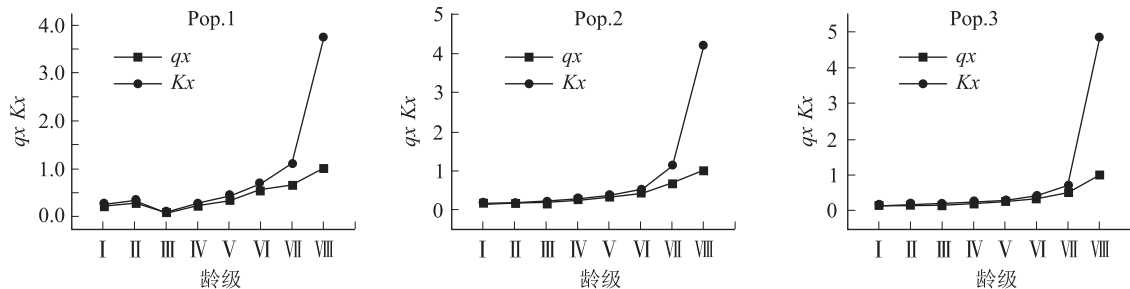


图5 连香树种群死亡率和消失率曲线图

龄、第Ⅶ龄级死亡率均增大;3个种群的存活曲线发现均趋近于DeeveyⅡ型。就目前来看,唐家河连香树种群基本属于稳定型。但是四个函数曲线显示连香树种群具有前期数量锐减、中期相对稳定和后期逐渐衰退的特点,说明种群已处于衰退早期。

调查数据显示,相邻龄级间的数量动态指数,各种群都出现了负值,且在第Ⅰ~Ⅲ龄级出现最多,这表明连香树幼苗存活率低,这一现象可能与落叶层阻隔等原因有关<sup>[7]</sup>;野外调查发现连香树幼苗多以残桩基部萌蘖株为主,种子繁殖的幼苗很少,一方面萌蘖繁殖会导致遗传多样性的降低,种子的萌发率和幼苗的成活率受到影响,另一方面萌蘖更新,使种群扩展速度变慢,这是连香树种群呈零星分布的主要原因;连香树为雌雄异株,种群零星散生,距离间隔使连香树种群间相互授粉受到限制,只能进行种群内雌雄株授粉,这进一步降低了种群的遗传多样性;野外调查发现连香树多沿河沟两岸分布,连香树种子带翼瘦小(每粒约0.75mg)<sup>[20]</sup>,成熟种子散落多在河沟两岸,推测种子或刚萌发的幼苗被水流冲到不适宜的环境从而导致种子萌发的幼苗存活率低。通常认为,树种能否成功繁衍再生,幼苗和幼树的建成是种群发展的首要条件<sup>[21]</sup>,唐家河的连香树各种群幼苗和幼树比例均比较少,将影响连香树各种群的进一步发展,这说明相对稳定的连香树种群可能已处于衰退早期阶段。

生存分析结果显示,3个种群斑块在前期其生存率均急剧减少,累计死亡率均急剧增加;在中后期其变化趋势相对平缓。结果表明,唐家河的连香树种群具有前期数量锐减、中期相对稳定和后期逐渐衰退的特点。在幼龄阶段,由于幼苗适应能力较弱,导致大量的死亡;经过环境筛选作用存活下来的连香树幼树,具有较强抗性与竞争能力,在特定的环境容纳量下可获得较好的环境资源,死亡率下降,也解释了中后期稳定的特点;末期伴随着连香树进入生理死亡年龄,种群逐渐衰退。

鉴于此,关于濒危植物连香树的保护工作提以下建议:(1)加强现有连香树种群的保护,特别是零星散生的母树。种子成熟下落时,母树周围进行割灌、除草、松土等,以保证连香树种子顺利着土,促进种子萌发和幼苗的更新<sup>[22]</sup>。(2)进行人工造林,逐步缩减种群间距。(3)培养结果母树,提高种子产量和质量,重点培育母树种源。(4)杜绝过度开发旅游和乱砍滥伐,应积极制定合理的就地保护方案予以挽救。(5)不仅要连香树本身进行保护,

更重要的是对其原始生境进行有效保护。

#### 参考文献:

- [1] 矢佳昱,韩海荣.河北辽河源自然保护区油松种群年龄结构和种群动态[J].生态学杂志,2017,36(7):1808~1814.
- [2] 解婷婷,苏培玺,周紫鹃,等.荒漠绿洲过渡带沙拐枣种群结构及动态特征[J].生态学报,2014,34(15):4272~4279.
- [3] 傅立国.中国植物红皮书:珍稀濒危植物:第1册[M].北京:科学出版社,1992.
- [4] 宋朝枢,徐荣章,张清华.中国珍稀濒危保护植物[M].北京:中国林业出版社,1989.
- [5] 吴甘霖.连香树的生物学特性及其资源保护[J].安庆师范学院学报(自然科学版),2006,12(2):106~109,119.
- [6] 何东,魏新增.神农架山地河岸带连香树的种群结构与动态[J].植物生态学报,2009,33(3):469~481.
- [7] 杨荣慧,孙宝胜,刘守阳.秦岭地区连香树分布现状与濒危机理[J].东北林业大学学报,2012.
- [8] Jiang Y(江英).Ecology of Spruce(*Picea asperata*). Beijing: Chinese Forestry Press,1992:7~13.(in Chinese)
- [9] Zhang Q Y,Zhang Y C,Luo P,et al. Ecological characteristics of a *Sabina salutaris* population at timberline on the south-facing slope of Baima Snow Mountain, southwest China [J]. Chin J Plant Ecol, 2007,31(5):857~864.
- [10] 王磊,孙启武,郝朝运等.皖南山区南方红豆杉种群不同龄级立木的格局分析[J].应用生态学报,2010,21(2):272~278.
- [11] Harper J L. Population biology of plants[M]. London: Academic Press,1977. 20.
- [12] Rebertus A J, Veblen T T. Structure and tree-fall gap dynamics of old-growth *Nothofagus* forests in Tierra del Fuego, Argentina [J]. Journal of Vegetation Science,1993,4(5):641~654.
- [13] 陈晓德.植物种群与群落结构动态量化分析方法研究[J].生态学报,1999,18(2):214~217.
- [14] Wang Z. Larix Forest in China. Beijing: China Forestry Press, 1992:1~20(in Chinese).
- [15] 江洪.云杉种群生态学[M].北京:中国林业出版社,1992:7~13.
- [16] 毕晓丽,洪伟,吴承祯,等.黄山松种群统计分析[J].林业科学,2002,38(1):61~67.
- [17] 林芳,黄梓良,叶功富,等.茫荡山小叶青冈天然种群生命表分析[J].中南林业科技大学学报,2016,36(2):8~11.
- [18] NOBLE J C. The population biology of plants with clonal growth (I): The morphology and structure demography of *Carex arenaria* [J]. Journal of Ecology, 1979,67:983~1008.
- [19] HETT J M, LOUCKS O L. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock [J]. Journal of Ecology, 1976,64(3):1029~1044.
- [20] 杨荣慧,孙宝胜,赵霞查,等.连香树播种育苗试验[J].西北林学院学报,2012.01
- [21] 陈杨,张雪梅,范曾丽,等.遗传质量对水青树(*tetracentron sinense oliv.*)种子特征及幼苗初期生长的影响.西华师范大学学报(自然科学版)2017(4):359~364.
- [22] 李晓笑,王清春,崔国发,等.濒危植物梵净山冷杉野生种群结构及动态特征[J].西北植物学报,2011,31(7):1479~1486.