

## 贵州特有植物黔中杜鹃种群结构及其动态分析

姜顺邦<sup>1</sup>, 袁丛军<sup>2</sup>, 余德会<sup>3</sup>, 戴晓勇<sup>2</sup>, 杨冰<sup>2</sup>, 李鹤<sup>2</sup>, 龙海燕<sup>2</sup>

(1. 贵州省林业学校, 贵州 贵阳 550201; 2. 贵州省林业科学研究院, 贵州 贵阳 550005;

3. 贵州雷公山国家级自然保护区管理局, 贵州 雷山 557100)

**摘要:**为揭示贵州特有植物黔中杜鹃 *Rhododendron feddei* 种群结构及其动态特征, 选取天然种群集中分布地段, 采用相邻格子法设置典型群落样地, 分析了黔中杜鹃自然种群的地径结构特征。结果表明: (1) 黔中杜鹃种群结构整体呈现出不规则金字塔形; 种群的中幼龄个体数充足, 占种群总数量的 69.23%; 严重缺乏幼龄个体数, 仅为种群总数量的 11.54%; 中老年个体数量总体呈现出下降趋势; 存活曲线趋向于 Deevey-II 型。(2) 黔中杜鹃种群数量随着龄级结构的增加呈现出先增大后减小的趋势, 而种群个体存活数  $l_x$  随着年龄的增加逐渐减小, 个体期望寿命 ( $e_x$ ) 随着年龄的增加逐渐降低。(3) 死亡率 ( $q_x$ ) 和亏损率 ( $K_x$ ) 曲线变化趋势一致, 均呈现出先降低后升高再降低最后急剧增长的趋势; 生存率和累计死亡率曲线呈互补状态, 在 IV 径级时种群生存率和累计死亡率持平; 死亡密度曲线总体呈现出先缓慢上升后缓慢下降的趋势, 而危险率曲线总体表现为先缓慢上升后有一个较小的下降趋势, 之后急剧上升再急剧下降, 波动性比较大。(4) 该种群一旦过了一定的生理年龄, 正常更新难以维持, 种群就会开始逐渐走向衰退, 甚至濒危。

**关键词:** 黔中杜鹃; 种群结构; 静态生命表; 动态指数; 生存力分析

**中图分类号:** S718.54 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2020)04-0001-09

## Population Structure and Dynamics of *Rhododendron feddei*

JIANG Shun-bang<sup>1</sup>, YUAN Cong-jun<sup>2</sup>, YU De-hui<sup>3</sup>, DAI Xiao-yong<sup>2</sup>, YANG Bing<sup>2</sup>, LI He<sup>2</sup>, LONG Hai-yan<sup>2</sup>

(1. Guizhou Forestry School, Guiyang 550201, China; 2. Guizhou Academy of Forestry, Guiyang 550005, China;

3. Leigongshan National Nature Reserve Administration of Guizhou, Leishan 557100, China)

**Abstract:** In May 2019, 3 typical sample plots were established by continuous grid quadrates in concentrated distribution area of *Rhododendron feddei* in Leigongshan National Nature Reserve of Guizhou province for investigations. The results showed that population structure of *Rh. feddei* was like irregular pyramid shape, the number of young and middle-aged individuals occupied 69.23% of the total ones, but the number of seedlings had only 11.54%, indicating a downward trend. Survival curve was similar as Deevey-II type. The population number of *Rh. feddei* increased first and then decreased with the increase of ground diameter, while the individual survival number and individual life expectancy decreased with the increase of ground diameter. The curve of mortality and loss rate showed the same trend, decreased, increased, decreased and increased sharply. The curve of survival rate and cumulative mortality was complementary; the curve of death density showed a slow rise first and then slow downward. The danger rate curve had slowly rising and downward, then rising sharply and declining sharply. Prediction of ground diameter structure of *Rh. feddei* in the nature reserve resulted that the normal regeneration would be difficult to maintain.

收稿日期: 2020-01-08; 修回日期: 2020-05-30

基金项目: 贵州省林业科学研究院平台项目“贵州杜鹃花科植物研究”; 贵州省天然林保护工程效益监测; 贵州雷公山森林生态系统国家定位观测研究站运行补助(编号 2019132092)

作者简介: 姜顺邦, 硕士, 助理讲师, 从事森林培育、森林生态研究; E-mail: 1127103013@qq.com。通信作者: 袁丛军, 助理研究员, 从事恢复生态学、植物分类与保护研究; E-mail: ycongjun2012gzdx@126.com。

Key words: *Rhododendron feddei*; population structure; static life table; dynamic index; survival analysis

种群是物种进化的基本单位,种群结构是种群最基本的特征,它既可反映种群内不同大小个体数量的分布和配置状况,也能反映种群的数量动态及其未来发展与演变趋势<sup>[1]</sup>。种群生命表与其构建的存活曲线以及生存分析理论不仅可以反映种群目前的存活状态,而且可以反映植物与环境之间的适合度<sup>[2]</sup>,结合种群动态量化分析和时间序列预测还可以阐明种群的受干扰状况及未来的发展趋势。因此,研究植物种群结构与动态有助于了解种群的生活史和物种的更新动态,对野生植物的保护及开发利用具有重要意义。

黔中杜鹃 *Rhododendron feddei* 为杜鹃花科 Ericaceae 杜鹃花属 *Rhododendron* 常绿灌木或小乔木,生长于海拔 1 120 ~ 1 740 m 的丛林中,为贵州特有种<sup>[3]</sup>,该种虽然发现较早,但在《贵州植物志》和《中国植物志》中都没有收录,而是在《FOC》中才有记载<sup>[4]</sup>。经过多年的寻找,我们在其模式产地的贵定县云雾山一带再次发现该种,在雷公山保护区也发现了该种,有关报道在贵州百里杜鹃(百里杜鹃国家级森林公园)发现的该种经过查证后并不存在<sup>[4]</sup>。由于杜鹃花科植物具有很高的利用价值和科研价值,近年来,关于杜鹃花科植物种群结构的研究比较多,如莫罗坚对东莞莲花山毛棉杜鹃花 *Rh. moulmainense* 种群结构进行了动态分析,认为毛棉杜鹃花种群径级分布呈倒“J”型,属于增长型种群<sup>[5]</sup>;邓贤兰对井冈山杜鹃 *Rh. jinggangshanicum* 种群与群落特征进行了研究,认为井冈山杜鹃种群径级结构为金字塔型,生命期望值基本随径级增加而呈递减趋势,存活曲线为近直线型,种群属于增长型种群<sup>[6]</sup>;蔡鑫对华顶杜鹃 *Rh. huadingense* 的种群结构和种间联结进行了研究,认为华顶杜鹃种群呈衰退趋势,幼苗和幼树储备不足<sup>[7]</sup>。这些学者的研究在很大程度上揭示了许多杜鹃花科植物的种群结构及其数量动态变化特征。黔中杜鹃作为贵州特有植物,种群数量少,具有一定的研究价值,然而,目前有关该物种的研究尚未见报道。本文以雷公山国家级自然保护区内仙女塘的黔中杜鹃种群为研究对象,对其种群结构及数量动态变化进行了分析,揭示该区黔中杜鹃种群数量变化动态特征、种群动态变化趋势,以期为该种的保护和进一步研究提供重要理论支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于贵州雷公山国家级保护区仙女塘,地理坐标为 108°11'37.98" E, 26°22'18.87" N,属于中亚热带季风气候,年均温在 13.9 ~ 15.2℃,极端最低气温为 -6.2℃,最高气温为 21.7℃,≥10℃年积温在 4 098.0 ~ 4 531.2℃,年日照时数为 1 513.2 h,无霜期在 281 ~ 290 d,年均降水量在 1 323.7 ~ 1 577.2 mm,雨期 4 ~ 9 月降水量在 1 065.1 ~ 1 249.7 mm,占全年降水的 80.0%。

调查群落位置均在中坡,土壤类型主要为黄壤,群落为常绿落叶阔叶混交林,其中,乔木层树种主要有白辛树 *Pterostyrax psilophyllus*, 樟木 *Sassafras tzumu*, 枫香树 *Liquidambar formosana*, 云南桫欏树 *Clethra cavaleriei*, 花楸树 *Sorbus pohuashanensis*, 交让木 *Daphniphyllum macropodum*, 老鼠矢 *Symplocos stellaris*, 毛棉杜鹃花, 青冈 *Cyclobalanopsis glauca*, 树参 *Dendropanax dentiger*, 水青冈 *Fagus longipetiolata*, 甜槠 *Castanopsis eyrei*, 银木荷 *Schima argentea*, 云贵鹅耳枥 *Carpinus pubescens*, 锥栗 *Castanea henryi* 等;灌木层植物有川桂 *Cinnamomum wilsonii*, 川杨桐 *Adinandra bockiana*, 吊钟花 *Enkianthus quinqueflorus*, 光叶山矾 *Symplocos sumuntia*, 黄丹木姜子 *Litsea elongata*, 凯里杜鹃 *Rh. kailiense*, 桫欏 *Eurya japonica*, 毛果杜鹃 *Rh. seniavinii*, 毛棉杜鹃花, 石木姜子 *Litsea elongata* var. *faberi*, 茶茱萸 *Viburnum setigerum*, 狭叶卫矛 *Euonymus stenophyllus*, 紫金牛 *Ardisia japonica* 等;草本植物分布较少。

### 1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与调查方法 在野外实地踏查的基础上,选取黔中杜鹃天然群落为研究对象,于 2019 年 5 月进行调查,分别设置具代表性的样地 3 个(表 1),统一设在在中坡位置,每个样地大小为 20 m × 30 m,总样地面积为 1 800 m<sup>2</sup>,样地间的距离大于 100 m,每个样地以 10 m 为间隔设置成 6 个 10 m × 10 m 的样方,共 18 个

样方。详细记录每个样地的海拔、坡向、坡度等立地因子;对样地内乔木树种进行每木调查,记录各树种的株高、地径(胸径)、冠幅、枝下高等指标;同时,在每个样方的左下角设置 1 个 2 m×2 m 样方进行灌木层调查、1 个 1 m×1 m 样方进行草本层调查。

表 1 群落样地基本情况  
Table 1 Basic information of sample plots

样地号	海拔/m	坡度/(°)	郁闭度	经度	纬度
LGQZ-01	1 545	35	0.85	108°11'37.95" E	26°22'18.86" N
LGQZ-02	1 540	30	0.90	108°11'37.98" E	26°22'18.87" N
LGQZ-03	1 560	35	0.85	108°11'37.96" E	26°22'18.80" N

1.2.2 径级划分 为避免破坏黔中杜鹃野生植物资源,研究采用“空间替代时间”的方法,即将林木依地径大小分级,以立木径级结构代替年龄结构分析种群动态,“Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ,Ⅵ,Ⅶ,Ⅷ径级”分别对应“1,2,3,4,5,6,7,8 龄级”。关于种群大小结构立木径级的划分标准,许多学者提出了不同的标准<sup>[8-12]</sup>。根据该种的生物学特性,本试验以灌丛为单株,采用植株地径(BD)作为个体大小的指标研究其种群大小结构。径级划分方法:Ⅰ级(BD<2.0 cm),Ⅱ级(2.0≤BD<4.0 cm),Ⅲ级(4.0≤BD<6.0 cm),Ⅳ级(6.0≤BD<8.0 cm),Ⅴ级(8.0≤BD<10.0 cm),Ⅵ级(10.0≤BD<12.0 cm),Ⅶ级(12.0≤BD<14.0 cm),Ⅷ级(14.0≤BD<16.0 cm)。

采用陈晓德<sup>[13]</sup>的数学模型推导种群年龄结构的动态指数对黔中杜鹃种群动态进行定量描述,其计算方法为:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\%$$
$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n} (S_n \times V_n)$$

式中, $V_n$ 为种群从  $n$  级到  $n+1$  级的个体数量变化指数; $V_{pi}$ 为整个种群结构的数量变化动态指数; $S_n$ 为第  $n$  个龄级种群的个体数; $S_{n+1}$ 为第  $n+1$  个龄级种群的个体数。当考虑未来的外部干扰时:

$$V_{pi} = \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \cdot V_n) / \left[ K \cdot \min(S_1, S_2, \cdots S_k) \cdot \sum_{n=1}^{k-1} S_n \right]$$

式中, $K$ 为种群龄级数量。 $V_{pi}$ 与 $V_n$ 的数值取正、负、零的意义分别反映了种群或相邻龄级个体数量的增长、衰退及稳定的动态关系。

1.2.3 生命表编制 静态生命表又称特定时间生命表,主要用于木本植物种群的统计研究,其主要参数如下: $a_0$ 为种群开始时的个体数量, $A_x$ 为在  $x$  龄级内的现有个体数; $a_x$ 为匀滑后  $x$  龄级内的现存个体数; $lnl_x$ 为在  $x$  龄级开始时的标准化存活个体数; $d_x$ 为从  $x$  到  $x+1$  龄级间隔期内的标准化死亡数; $q_x$ 为从  $x$  到  $x+1$  龄级间隔期间的死亡率; $l_x$ 为从  $x$  到  $x+1$  龄级间隔期间还存活的个体数; $T_x$ 为从  $x$  龄级到超过  $x$  龄级的个体总数; $e_x$ 为进入  $x$  龄级个体的生命期望或平均期望寿命; $K_x$ 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,其关系为:

$$l_x = \frac{a_x}{a_0} \times 1\,000$$
$$d_x = l_x - l_{x+1}$$
$$q_x = (d_x / l_x) \times 100\%$$
$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$$
$$T_x = \sum_x^{\infty} L_x$$
$$e_x = T_x / l_x$$
$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$$

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<sup>[14]</sup>。

1.2.4 生存函数 采用生存率函数( $S_i$ )、累积死亡率函数( $F_i$ )、死亡密度函数( $f_i$ )和危险率函数( $\lambda_i$ )<sup>[15-18]</sup>等指标对黔中杜鹃自然种群的生存规律及其种群动态进行分析,其计算公式如下:

$$S_i = p_1 p_2 \cdots p_i$$

$$F_i = 1 - S_i$$

$$f_i = (S_{i-1} - S_i)/h_i$$

$$\lambda_i = 2 q_i/h_i(1 + p_i)$$

式中,  $h_i$  是第  $i$  间隔期的时间长度,  $p_i$  为存活率,  $q_i$  为死亡频率。

1.2.5 种群数量动态的时间序列预测 本研究采用时间序列分析中的一次移动平均法<sup>[19-20]</sup>对黔中杜鹃种群的年龄结构进行预测,其计算公式如下:

$$M_t = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k$$

式中,  $n$  表示需要预测的时间(本研究为龄级时间),  $t$  为龄级,  $X_k$  为  $k$  龄级内的个体数量,  $M_t$  表示经过未来  $n$  个龄级时间后  $t$  龄级的种群大小。本文对未来经过 2, 4, 6, 8 和 10 龄级时间后的种群各龄级的个体数量进行预测。

2 结果与分析

2.1 黔中杜鹃所在群落树种组成

调查结果表明,在研究区域的样地中,共有维管束植物 23 科 36 属 43 种,其中,蕨类植物有 2 科 2 属 2 种,被子植物有 21 科 34 属 41 种。群落结构主要分为乔木层、灌木层和草本层三个层次。构成乔木层的树种共 17 种,其物种组成及重要值见表 2;构成灌木层的树种共 22 种,其物种组成及重要值见表 3;黔中杜鹃在乔木层中的重要值为 0.298,在灌木层中的重要值为 0.099,虽然黔中杜鹃在乔木层和灌木层中的重要值均为最大,但其他物种的重要值占比也相对较大,所以,黔中杜鹃群落为混交林。草本层种类及数量均较少,其种类、频度等见表 4。

表 2 黔中杜鹃群落乔木层种类组成及重要值  
Table 2 Composition of species and importance values at tree layer in sample plots

序号	树种名	相对频度	相对密度	相对显著度	重要值
1	白辛树	0.010	0.009	0.015	0.012
2	檫木	0.031	0.028	0.060	0.040
3	枫香树	0.010	0.009	0.026	0.015
4	云南桤叶树	0.010	0.009	0.010	0.010
5	花楸树	0.052	0.047	0.039	0.046
6	交让木	0.010	0.009	0.010	0.010
7	老鼠矢	0.010	0.009	0.004	0.008
8	毛棉杜鹃花	0.042	0.037	0.033	0.037
9	木荷	0.073	0.065	0.057	0.065
10	黔中杜鹃	0.292	0.364	0.239	0.298
11	青冈	0.042	0.037	0.018	0.032
12	树参	0.010	0.009	0.004	0.008
13	水青冈	0.125	0.112	0.127	0.121
14	甜槠	0.010	0.009	0.006	0.008
15	银木荷	0.188	0.168	0.201	0.186
16	云贵鹅耳枥	0.021	0.019	0.032	0.024
17	锥栗	0.063	0.056	0.119	0.079

表 3 黔中杜鹃群落灌木层种类组成及重要值  
Table 3 Composition of species and importance values at shrub layer in sample plots

序号	树种	相对频度	相对密度	相对显著度	重要值
1	川桂	0.022	0.009	0.005	0.012
2	川杨桐	0.022	0.017	0.018	0.019
3	吊钟花	0.022	0.009	0.008	0.013
4	光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	0.022	0.034	0.012	0.023
5	黄丹木姜子	0.022	0.009	0.021	0.017
6	凯里杜鹃	0.022	0.017	0.018	0.019
7	柃木	0.087	0.085	0.077	0.083
8	毛果杜鹃	0.109	0.179	0.398	0.229
9	毛棉杜鹃花	0.043	0.077	0.028	0.049
10	石木姜子	0.109	0.085	0.092	0.095
11	润楠 <i>Machilus nanmu</i>	0.022	0.009	0.001	0.011
12	三叶木通 <i>Akebia trifoliata</i>	0.043	0.026	0.004	0.025
13	山矾	0.087	0.043	0.074	0.068
14	水青冈	0.022	0.017	0.033	0.024
15	茶茱萸	0.022	0.017	0.006	0.015
16	藤黄檀 <i>Dalbergia hancei</i>	0.022	0.009	0.022	0.018
17	狭叶卫矛	0.022	0.009	0.001	0.011
18	杨桐 <i>Adinandra millettii</i>	0.022	0.009	0.012	0.014
19	茵芋 <i>Skimmia reevesiana</i>	0.022	0.009	0.006	0.012
20	银木荷	0.065	0.043	0.018	0.042
21	中华槭 <i>Acer sinense</i>	0.022	0.009	0.001	0.011
22	黔中杜鹃	0.106	0.082	0.111	0.099
23	紫金牛	0.043	0.197	0.034	0.091

表 4 黔中杜鹃群落草本层种类组成及重要值  
Table 4 Composition of species and importance values at herb layer in sample plots

序号	物种名	相对频度	相对密度	相对显著度	重要值
1	毛锦香草 <i>Phyllagathis melastomatoides</i>	0.077	0.163	0.135	0.125
2	狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	0.077	0.065	0.108	0.083
3	锦香草 <i>Ph. cavalerie</i>	0.154	0.293	0.311	0.253
4	蕨 <i>Pteridium aquilinum</i> var. <i>latiusculum</i>	0.077	0.065	0.081	0.074
5	毛鳞菊 <i>Chaetosaris lyriformis</i>	0.231	0.152	0.176	0.186
6	麦冬 <i>Ophiopogon japonicus</i>	0.077	0.087	0.036	0.067
7	三穗薹草 <i>Carex tristachya</i>	0.077	0.054	0.023	0.051
8	秦岭金腰 <i>Chrysosplenium biondianum</i>	0.231	0.120	0.131	0.160

2.2 黔中杜鹃种群分布现状及结构特征

黔中杜鹃种群结构呈现出不规则金字塔形(图 1),种群个体数量主要集中分布在Ⅲ~Ⅴ径级,这三个径级的个体数量占种群总数量的 69.23%,说明该黔中杜鹃种群的中幼龄个体数很充足,但幼龄个体数较少,仅为种群总数量的 11.54%,严重缺乏幼龄个体,中老龄个体数量总体呈现出下降趋势。

采用种群动态量化方法对黔中杜鹃种群相邻大小级的结构动态变化进行分析,以便对其结构特征进行更准确的评价。根据黔中杜鹃种群结构(图 1)计算得出,种群从Ⅰ级至Ⅷ级各径级间的  $V_n$  分别为  $-80.00\%$ ,  $-37.50\%$ ,  $-20\%$ ,  $-41.18\%$ ,  $58.82\%$ ,  $71.43\%$ ,  $50\%$ ;  $V_{pi}$  为  $14.92\%$ ,考虑种群外部干扰,  $V_{pi}$  为  $0.67\%$ 。由此可见,虽然黔中杜鹃种群结构存在较大波动变化过程,但目前仍处于增长型。

2.3 黔中杜鹃静态生命特征

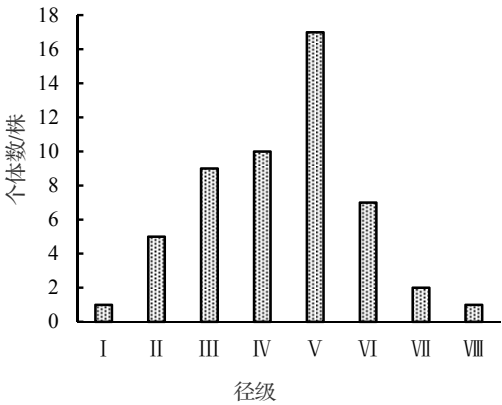


图 1 黔中杜鹃种群径级结构

Figure 1 Diameter class structure of *Rh. feddei* population

静态生命表不仅可以反映种群从出生到死亡的数量动态,还可用于预测种群未来发展的趋势<sup>[21]</sup>。由表 5 可知,种群数量随着径级结构的增加呈现出先增大后减小的趋势,而种群个体存活数  $l_x$  和标准化存活数  $\ln l_x$  随着径级的增加逐渐减小,从  $x$  到  $x+1$  径级间隔期内标准化死亡数  $d_x$  呈现出先下降后上升的趋势,其  $d_x$  在 VI 径级时出现最大值,为 170;种群死亡率  $q_x$  从 I 径级至 VIII 径级随演替的进行呈现出先减小后增大的趋势, $q_x$  在 VI 和 VII 两个径级中出现“突变”,其  $q_x$  明显大于其它径级,其次, $q_x$  较高的为 I 径级,说明黔中杜鹃种群在演替过程中幼年个体和老年个体最容易死亡而被淘汰;从  $x$  到  $x+1$  径级存活个体数  $L_x$  呈现出随龄级的增加而减小的趋势,个体期望寿命  $e_x$  随着年龄的增加逐渐降低,这与其生物学特性相一致;损失度  $T_x$  整体表现为先急剧下降再急剧上升再下降最后剧烈上升的趋势,其损失度  $T_x$  在 VI 和 VII 径级相对较高,其次为 I 径级和 IV 径级。

表 5 黔中杜鹃种群静态生命表  
Table 5 Static life table of *Rh. feddei* population

径级	BD/cm	$A_x$	$a_x$	$l_x$	$\ln l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$
I	$BD < 2$	1	25	1 000	6.908	160	0.160	920	4 943	4.943	0.174
II	$2 \leq BD < 4$	5	21	840	6.733	30	0.036	825	4 023	4.789	0.036
III	$4 \leq BD < 6$	8	17	810	6.697	45	0.056	788	3 198	3.948	0.057
IV	$6 \text{ cm} \leq BD < 8 \text{ cm}$	10	13	765	6.640	73	0.095	729	2 411	3.152	0.100
V	$8 \text{ cm} \leq BD < 10 \text{ cm}$	17	9	692	6.540	22	0.032	681	1 682	2.431	0.032
VI	$10 \text{ cm} \leq BD < 12 \text{ cm}$	7	6	670	6.507	170	0.254	585	1 001	1.494	0.292
VII	$12 \text{ cm} \leq BD < 14 \text{ cm}$	2	3	500	6.215	167	0.334	417	417	0.834	0.406
VIII	$14 \text{ cm} \leq BD < 16 \text{ cm}$	1	1	333	5.808						

2.4 黔中杜鹃种群存活曲线特征

存活曲线可以有效地反映种群个体在各年龄级的存活状况<sup>[22]</sup>。本研究以径级(相对龄级)为横坐标,以  $\ln l_x$  为纵坐标做出了黔中杜鹃种群存活曲线(图 2),依据 Hett 和 Loucks 的数学模型得出的检验方程及参数见表 6。由模型检验结果显示,两种模型的拟合结果均达到显著水平,但指数模型的  $R^2$  值大于幂函数模型,且  $P$  值更小,说明黔中杜鹃的存活曲线趋近于 Deevey- II 型。

表 6 黔中杜鹃种群存活曲线检验模型  
Table 6 Test models for survival curve of *Rh. feddei* population

种群名称	方程	$R^2$	$F$	Sig.	种群类型
黔中杜鹃	$y = 9.821x^{-0.219}$	0.736	34.036	0.002	Deevey- II 型
	$y = 9.162e^{-0.052x}$	0.979	83.201	0	

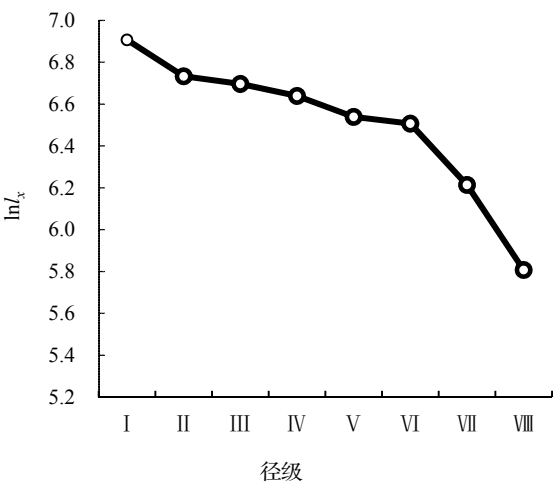


图 2 黔中杜鹃种群存活曲线

Figure 2 Survival curve of *Rh. feddei* population

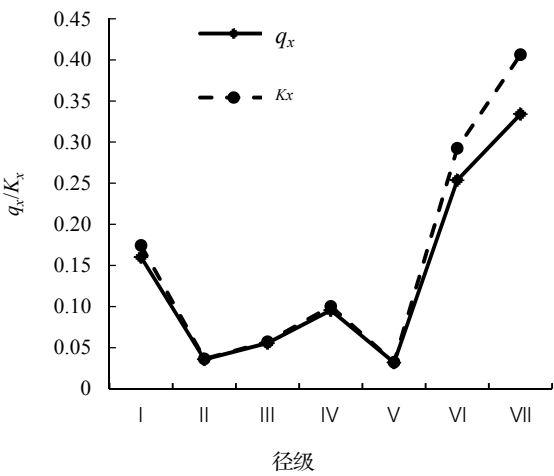


图 3 黔中杜鹃种群死亡率和亏损率曲线

Figure 3 Mortality and vanish rate of *Rh. feddei* population

2.5 死亡率和亏损率曲线

以径级为横坐标, 以各龄级的死亡率和亏损率为纵坐标做出的死亡率和亏损率曲线如图 3 所示。黔中杜鹃死亡率  $q_x$  和亏损率  $K_x$  曲线变化趋势一致, 均呈现出先降低后升高再降低最后急剧增长的趋势 (图 3), 认为黔中杜鹃种群数量具有前期短暂增加后逐渐减少, 中期存在短暂的增长, 后期急剧减少的特点。

2.6 黔中杜鹃种群生存分析

以径级为横坐标, 函数值为纵坐标, 绘制了黔中杜鹃野生种群生存率  $S_i$ 、累计死亡率  $F_i$  (图 4), 死亡密度  $f_i$  和危险率  $\lambda_i$  函数 (图 5)。从图 4 可以看出, 黔中杜鹃种群生存率和累计死亡率呈互补状态, 即随着径级的增加, 黔中杜鹃种群的生存率下降, 累计死亡率逐渐上升; 种群在 IV 径级达到平衡, 即种群生存率和累计死亡率持平。黔中杜鹃死亡密度曲线总体呈现出先缓慢上升后缓慢下降的趋势, 整体趋势较为平缓, 而危险率曲线总体表现为先缓慢上升后有一个较小的下降趋势, 之后急剧上升再急剧下降, 波动性比较大, 表明黔中杜鹃种群数量受环境影响较大。

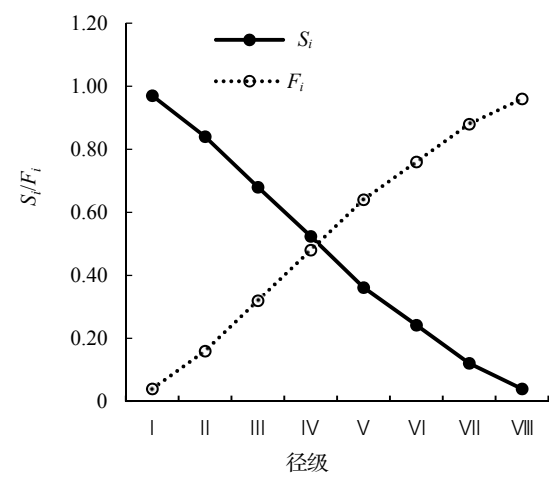


图 4 黔中杜鹃种群生存率和累计死亡率曲线

Figure 4 Survival rate and cumulative mortality rate of *Rh. feddei* population

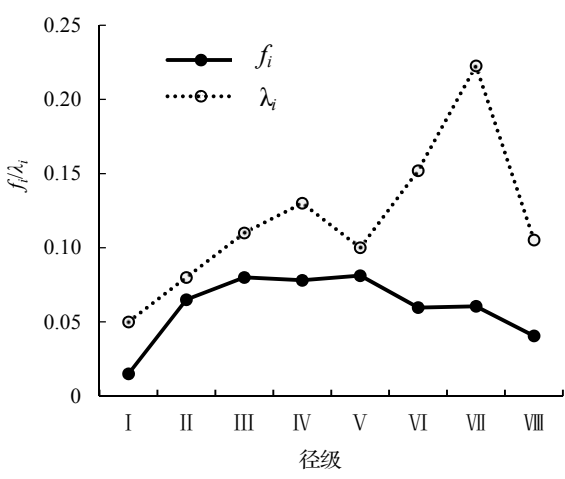


图 5 黔中杜鹃种群死亡密度和危险率曲线

Figure 5 Mortality density and hazard rate of *Rh. feddei* population

2.7 黔中杜鹃种群数量的时间序列分析

以黔中杜鹃种群各龄级株数为原始数据, 按照一次移动平均法则预测出各龄级在未来 2, 4, 6 和 8 个龄级时间后的个体数量 (表 7)。结果显示, 经历 2, 4 个龄级时间, 第 2 至第 5 龄级的黔中杜鹃种群个体数均有不同程度的减少, 而种群从第 6 至第 8 龄级开始之后均有不同程度的增加, 经过 6, 8 个龄级时间, 种群数量逐渐趋于稳定, 说明一旦过了一定的生理年龄, 种群就开始逐渐走向衰退, 第 2 至第 3 龄级经过 2 个龄级时间后个体数分别下降了 40.0% 和 25.0%, 第 4 至第 5 龄级经过 4 个龄级时间后个体数分别下降了 40.0% 和 41.2%, 这表明黔中杜鹃种群严重缺乏幼龄个体, 综合其整个发展趋势来看, 黔中杜鹃种群正常更新难以维持, 未来会不同程度趋于衰退, 甚至濒危。

表 7 黔中杜鹃种群动态变化的时间序列分析  
Table 7 Time sequence analysis of age structure of *Rh. feddei* population

龄级	黔中杜鹃				
	原始数据/株	M <sub>2</sub> /株	M <sub>4</sub> /株	M <sub>6</sub> /株	M <sub>8</sub> /株
1	1				
2	5	3			
3	8	6			
4	10	9	6		
5	17	13	10		
6	7	12	10	8	
7	2	4	9	8	
8	1	1	6	7	6

注: M<sub>2</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub>, M<sub>8</sub> 分别表示 2, 4, 6 和 8 个龄级时间后的个体数量。

### 3 结论与讨论

植物种群结构特征不仅能够体现种群内部个体的发展过程,而且也是植物对环境适应性的反映<sup>[23]</sup>,其径级结构能很好地反应种群动态变化<sup>[24]</sup>。本研究结果初步表明,黔中杜鹃种群结构整体呈现出不规则金字塔形;种群的中幼龄个体数充足,其个体数量占种群总数量的69.23%;严重缺乏幼龄个体数,仅为种群总数量的11.54%;中老龄个体数量总体呈现出下降趋势;种群目前呈增长型状态。说明黔中杜鹃种群结构总体呈相对稳定型,有向衰退转化的趋势,该种群虽然能够暂时适应当地的生存环境,但由于幼龄个体数的缺乏,随着时间的推移,种群整体的长期稳定性将难以维持。王立龙和易雪梅在裸果木 *Gymnocarpus przewalskii* 和水曲柳 *Fraxinus mandshurica* 的研究中也有相似的结论<sup>[25-26]</sup>。

黔中杜鹃种群静态生命表分析表明:黔中杜鹃种群数量随着龄级结构的增加呈现出先增大后减小的趋势,而种群个体存活数( $l_x$ )随着年龄的增加逐渐减小,个体期望寿命( $e_x$ )随着年龄的增加逐渐降低。这与其生物学特性相一致。黔中杜鹃死亡率( $q_x$ )和亏损率( $K_x$ )曲线变化趋势一致,均呈现出先降低后升高再降低最后急剧增长的趋势,表明黔中杜鹃种群数量具有前期短暂增加后逐渐减少,中期存在短暂的增长,后期急剧减少的特点。这与红杉 *Larix potaninii* 种群的研究结论相似<sup>[27]</sup>。

黔中杜鹃种群生存率和累计死亡率呈互补状态,即随着龄级的增加,种群生存率下降,累计死亡率逐渐上升。黔中杜鹃种群在Ⅳ径级达到平衡,即种群生存率和累计死亡率持平;死亡密度曲线总体呈现出先缓慢上升后缓慢下降的趋势,整体趋势较为平缓,而危险率曲线总体表现为先缓慢上升后有一个较小的下降趋势,之后急剧上升再急剧下降,波动性比较大,表明黔中杜鹃种群数量受环境影响较大。姜在民在濒危植物羽叶丁香 *Syringa pinnatifolia* 种群的研究中也有相似的结论<sup>[28]</sup>。

采用时间序列分析中的“一次移动平均法”对黔中杜鹃种群的年龄结构进行预测,结果表明:种群一旦过了一定的生理年龄,就会开始逐渐走向衰退。从黔中杜鹃整个发展趋势来看,该物种种群正常更新难以维持,未来会不同程度趋于衰退,甚至濒危。因此,建议加强黔中杜鹃自生生物学特性研究,进一步摸清其生物学特性,开展种群的更新定位观测研究,包括不同群落枯落物对黔中杜鹃种子的自然萌发和苗木生长的影响,还有黔中杜鹃幼苗建成机制;同时,开展有性与无性繁殖方式相结合,进行回归引种试验,扩大种群数量,提升种群自身抵御种群衰退的风险。

#### 参考文献:

- [1] 刘普幸. 疏勒河中下游绿洲胡杨种群结构与动态研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(3): 429-439.
- [2] 张亮, 王孝安, 刘鹏, 等. 陕西子午岭北桑寄生的种群生命表与生存分析[J]. 植物生态学报, 2014, 38(7): 687-693.
- [3] 张长芹, 黄承玲, 黄家勇, 等. 贵州百里杜鹃自然保护区杜鹃花属种质资源的调查[J]. 植物分类与资源学报, 2015, 37(3): 357-364.
- [4] Fang M Y, FANG R Z, HE M Y, et al. Flora of China, 14(1, 2, 3) [M]. St. Louis: Science Press, Beijing & Missouri Botanical Garden Press, 2005.
- [5] 莫罗坚, 陈蔡仙, 黄倩琳, 等. 东莞莲花山毛棉杜鹃种群结构动态分析[J]. 广东林业科技, 2015, 31(6): 1-7.
- [6] 邓贤兰, 兰婧, 陈霞霞, 等. 井冈山自然保护区井冈山杜鹃种群与群落特征研究[J]. 井冈山大学学报: 自然科学版, 2018, 39(4): 100-106.
- [7] 蔡鑫, 陈波, 陈锋, 等. 珍稀特有植物华顶杜鹃的种群结构和钟间联结[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2019, 46(3): 354-362.
- [8] 张治国, 王仁卿. 中国分布北界的山茶(*Camellia japonica*)种群大小结构和空间格局分析[J]. 植物生态学报, 2000(01): 118-122.
- [9] 洪伟, 王新功, 吴承祯, 等. 濒危植物南方红豆杉种群生命表及谱分析[J]. 应用生态学报, 2004(06): 1109-1112.
- [10] 茹文明, 张桂萍, 毕润成, 等. 濒危植物脱皮榆种群结构与分布格局研究[J]. 应用与环境生物学报, 2007(01): 14-17.
- [11] 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(04): 351-355.
- [12] 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(03): 333-336.
- [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, 1998(02): 104-107.



- [14] 江洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 7-13.
- [15] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 等. 黄山松种群统计分析[J]. 林业科学, 2002 (01): 61-67.
- [16] 冯士雍. 生存分析(III)[J]. 数学的实践与认识, 1983 (01): 70-76.
- [17] 冯士雍. 生存分析(II)[J]. 数学的实践与认识, 1982 (04): 64-74.
- [18] 冯士雍. 生存分析(I)[J]. 数学的实践与认识, 1982 (03): 72-80.
- [19] 卢杰, 郭其强, 郑维列, 等. 藏东南高山松种群结构及动态特征[J]. 林业科学, 2013, 49 (8): 154-160.
- [20] 申仕康, 马海英, 王跃华, 等. 濒危植物猪血木(*Euryodendron excelsum* H T Chang)自然种群结构及动态[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2404-2412.
- [21] 肖宜安, 何平, 李晓红, 等. 濒危植物长柄双花木自然种群数量动态[J]. 植物生态学报, 2004, 28 (2): 252, 257.
- [22] 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.
- [23] 王伯荪, 彭少麟, 李鸣光. 植物种群学[M]. 广州: 广东高等教育出版社, 1995.
- [24] ARISTA M. The structure and dynamics of an *Abies pinsapo* forest in southern Spain[J]. For Ecol Manag, 1995, 74 (1/3): 81-89.
- [25] 王立龙, 王亮, 张丽芳, 等. 不同生境下濒危植物裸果木种群结构及动态特征[J]. 植物生态学报, 2015, 39 (10): 980-989.
- [26] 易雪梅, 张悦, 王远遐, 等. 长白山水曲柳种群动态[J]. 生态学报, 2015, 35 (1): 91-97.
- [27] 闫桂琴, 赵桂仿, 胡正海, 等. 秦岭太白红杉种群结构与动态的研究[J]. 应用生态学报, 2001, 12 (6): 824-828.
- [28] 姜在民, 和子森, 宿昊, 等. 濒危植物羽叶丁香种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2018, 38 (7): 2471-2480.