

# 西藏墨脱人为干扰下小果紫薇种群结构与动态

刘震<sup>1</sup>,闫淑君<sup>1\*</sup>,田高飞<sup>1</sup>,吴艳芳<sup>1</sup>,段嵩岚<sup>1</sup>,金妍超<sup>1</sup>,潘刚<sup>2</sup>

(1. 福建农林大学 园林学院,福建 福州 350002;2. 西藏农牧学院 资源与环境学院,西藏 林芝 860000)

**摘要:**通过对西藏墨脱人为干扰下小果紫薇种群的样地调查,依胸径大小将林木分级,以林木径级结构代替年龄结构,运用分段匀滑技术,编制小果紫薇种群的静态生命表,绘制其存活曲线、生存函数曲线以及死亡率和消失率曲线,分析小果紫薇种群数量动态变化趋势。结果表明:人为干扰下小果紫薇种群属于增长型,幼苗个体数量丰富,以萌枝更新为主,表明萌蘖能力较强;存活曲线趋于Deevey-II型,各龄级有相近的死亡率;死亡率和消失率曲线变化趋势基本相同,同时在第I龄级、第V龄级和第IX龄级阶段出现峰值;4个生存函数曲线表明,小果紫薇种群具有前期稳定、中期减弱和后期衰退的特点。在人为干扰下小果紫薇通过萌枝更新维持种群发展。

**关键词:**小果紫薇;种群结构;种群生命表;种群动态

**中图分类号:**S792.99      **文献标志码:**A      **文章编号:**1001-7461(2017)04-0040-05

Structure and Dynamics of *Lagerstroemia minuticarpa* Population by Human Disturbance in Motuo, Tibet

LIU Zhen<sup>1</sup>, YAN Shu-jun<sup>1\*</sup>, TIAN Gao-fei<sup>1</sup>, WU Yan-fang<sup>1</sup>, DUAN Song-lan<sup>1</sup>, JIN Yan-chao<sup>1</sup>, PAN Gang<sup>2</sup>

(1. College of Landscape Architecture, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou, Fujian 350002, China;

2. College of Resources and Environment, Tibet Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China)

**Abstract:** Base on the field survey data of *Lagerstroemia minuticarpa* population under human disturbance in Motuo of Tibet, trees were graded according to DBH, and the age structure was replaced by DBH structure. By using sectional smoothing technique, the static life table, the curves of survival rate, mortality rate and vanish rate, and survival function were drawn. The results showed that the population of *L. minuticarpa* fit in with the growing type, and there were abundance of individual seedlings, mainly with sprouting renewal, showing the strong ability of sprouting. The survival curve tended toward Deevey-II type, which indicated that the mortality rate in different age-classes was similar. The changing trend of the curve of mortality rate was the same as the curve of vanish rate, and the peak values of these two curves were in the age-classes of 1, 5, and 9. Four survival functional curves showed that the *L. minuticarpa* populations grew stably at young stage, decreased very quickly at middle stage and declined at old stage. *L. minuticarpa* maintained the population development by sprouting renewal under human disturbance.

**Key words:** *Lagerstroemia minuticarpa*; population structure; population life table; population dynamics

种群结构和动态作为植物生态学研究的核心内容之一,生命表是种群统计研究种群数量动态的重要方法,其结构分析可以反映种群数量动态变化的趋势<sup>[1-2]</sup>。通过统计种群个体数量编制生命表,可以

绘制种群生存曲线、生存函数曲线以及死亡率和消失率曲线,预测种群数量动态和未来发展趋势<sup>[3-5]</sup>。

小果紫薇(*Lagerstroemia minuticarpa*)为落叶乔木,树高达40余m,胸径可达110cm,树皮灰白

收稿日期:2016-12-02 修回日期:2017-03-08

基金项目:国家自然科学基金项目(31100303);福建省教育厅重点项目(JA15142)。

作者简介:刘震,男,硕士研究生,研究方向:园林植物配置与造景。E-mail:2360890044@qq.com

\*通信作者:闫淑君,女,副教授,研究方向:园林生态学。E-mail:ysjch2000@gmail.com

色且光滑,分布于我国西藏墨脱、云南贡山以及印度东北部<sup>[6-8]</sup>。近年来,部分学者对小果紫薇的分布和形态特征<sup>[6-8]</sup>、植被群系特征<sup>[9]</sup>进行了研究,对其他方面的研究尚未报道。通过野外调查发现,小果紫薇作为绝对优势种,在人为干扰下生境破坏较为严重,当地农牧民群众在林下养殖藏香猪等家畜,灌木、草本稀少,近乎纯林。为保护小果紫薇种质资源,探讨在人为干扰下小果紫薇种群结构、数量动态、生存现状以及维持机制显得尤为重要。本研究通过对人为干扰下小果紫薇种群的调查,结合静态生命表、生存分析函数以及死亡率曲线和消失率曲线,旨在揭示人为干扰下小果紫薇种群的生存现状和动态变化趋势,为小果紫薇种群的保护奠定理论基础。

## 1 研究区概况

研究区位于西藏东南部林芝市墨脱县雅鲁藏布大峡谷国家级自然保护区内,地处雅鲁藏布江下游、喜马拉雅山东端南坡以及印度洋暖湿气流的迎风坡,地势北高南低,北、东、西三面高山相环,南面由中山向低山地带过度,形似莲花,故藏语墨脱意为“花朵”。最高峰在北部南迦巴瓦峰,海拔7 782 m,最低处在接近河口的巴昔卡,海拔155 m,平均海拔1 800 m,全境为山地。该研究区由于海拔落差大,

造成了极为明显的7个气候垂直分布带,海拔在600~1 000 m为低山热带北缘温润气候带,1 000~2 400 m为山地亚热带半湿润气候带,2 400~3 200 m为亚高山温带半湿润气候带,3 200~4 000 m为亚高山寒温气候带,3 200~4 000 m为亚高山寒温气候带,4 000~4 300 m为高山寒冷气候带,4 300~4 800 m为高山寒冻风化气候带,4 800 m以上为高山寒带冰雪气候带。年平均气温16~18 °C,最冷月1月份平均气温8.4 °C,最热月7月份平均温度22.2~22.6 °C,最低气温2 °C,最高气温33.8 °C。年日照时数约2 000 h以上,年降水量在2 350 mm以上,在南部的巴昔卡,年最大降水量可达5 000 mm,无霜期330 d左右,相对湿度80%以上<sup>[9]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 样地设置及调查方法

2016年8—10月,对墨脱县米日村附近以块状分布的小果紫薇种群全面踏查的基础上,在人为干扰环境下对集中分布的小果紫薇种群进行样方调查,选择4个大小为40 m×40 m的代表性样地,采用相邻格子法将每个样地划分为64个5 m×5 m的小样方,共计小样方256个。记录每个样地的海拔、坡度、郁闭度等生境条件(表1),对小果紫薇进行每木检尺,测量胸径、高度、冠幅等。

表1 小果紫薇样地基本概况

Table 1 The basic situations of *L. minuticarpa* plots

样地号	样地类型	海拔/m	坡度/(°)	坡向	坡位	土壤类型	郁闭度
1	纯林	875	28	西南	下坡	黄色赤红壤	0.82
2	纯林	885	30	西南	下坡	黄色赤红壤	0.85
3	纯林	878	19	西南	下坡	黄色赤红壤	0.87
4	纯林	889	35	西南	下坡	黄色赤红壤	0.86

### 2.2 匀滑技术

根据野外调查所得的数据在编制小果紫薇种群生命表中死亡率出现为负值的情况,未能满足其前提条件。因此本研究采用匀滑技术对统计数据进行处理<sup>[1]</sup>。

### 2.3 年龄结构的建立

根据小果紫薇生活史特点和调查数据,运用空间推时间的方法,以径级代替龄级分析其种群动态<sup>[10]</sup>,将种群划分为9个径级,第1径级胸径为0~2.5 cm,第2径级胸径为2.5~7.5 cm,之后每级间隔5 cm,第1径级为第1龄级,如此一一对应<sup>[11]</sup>。把幼苗阶段定为I级,小树阶段定为II级,中树阶段定位III~V级为,大树阶段定为大于V级的所有个体<sup>[12]</sup>。

### 2.4 编制静态生命表

紫薇种群生命表,通过野外调查的实测值 $a_x$ 计算 $l_x, d_x, q_x, L_x, T_x, e_x, K_x$ 和 $S_x$ (表2)。

### 2.5 存活曲线

存活曲线是描述种群各龄级生命数量变化的一条曲线,分为DeeveyⅠ型、DeeveyⅡ型和DeeveyⅢ型<sup>[1]</sup>。本研究以各龄级存活量的对数值 $\ln l_x$ 为纵坐标,以龄级为横坐标绘制小果紫薇种群的存活曲线。

### 2.6 生存分析方法

参照谭一波<sup>[16]</sup>等方法绘制4个生存函数曲线,即种群生存率函数 $S_{(i)}$ 、积累死亡率函数 $F_{(i)}$ 、死亡密度函数 $f_{(i)}$ 和危险率函数 $\lambda_{(i)}$ :

$$S_{(i)} = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdots S_i \quad (1)$$

$$F_{(i)} = 1 - S_{(i)} \quad (2)$$

$$f_{(i)} = (S_{i-1} - S_i) / h_i \quad (3)$$

$$\lambda_{(i)} = 2(1 - S_i) / [h_i \cdot (1 + S_i)] \quad (4)$$

按照种群静态生命表的编制方法<sup>[13-15]</sup>编制小果

式中: $S_i$ 为存活率, $h_i$ 为龄级宽度。

### 3 结果与分析

#### 3.1 小果紫薇种群龄级结构

在4个样地中中共调查到小果紫薇793株,以种群个体数为横坐标,以龄级为纵坐标,绘制小果紫薇种群的龄级结构图(图1)。由图1可知,小果紫薇幼苗最多,有382株,约占总个体数的48.2%;小树个体有114株,约占总个体数的14.4%;中树个体有253株,约占总个体数的31.9%;大树个体有44株,约占总个体数的5.5%。在种群当中,第I龄级个体数量最多,为382株,第IX龄级个体数量最少,为4株。野外调查发现,幼苗多为萌枝更新中的残桩萌枝,萌枝株树多,表明人为干扰下小果紫薇以萌枝更新为主,且萌蘖能力较强;同时未发现根蘖萌枝,实生苗稀少。从总体上看,小果紫薇种群各龄级均有一定数量的分布,随着龄级的增大,除在第III龄级发生轻微波动外,小果紫薇个体数量逐渐减少,整体表现为增长型种群。

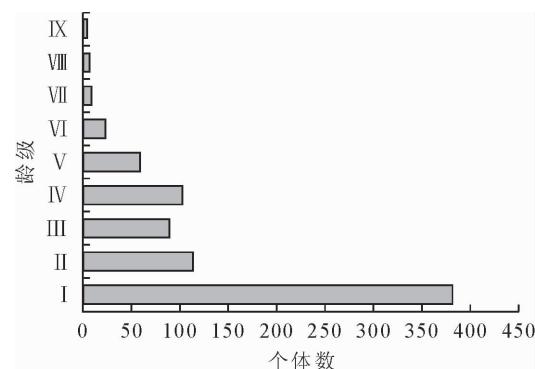


图1 小果紫薇种群龄级结构

Fig. 1 Age class structure of *L. minuticarpa* population

#### 3.2 小果紫薇静态生命表

根据4个样地野外调查数据和编制静态生命表的方法,绘制了人为干扰下小果紫薇静态生命表(表2)。由表2可知,第I龄级死亡个体数最多,在第VII、VIII龄级死亡个体数相同且最少; $e_x$ 可以反映龄级中个体的生命期望寿命,静态生命表中表明,在第II龄级期望寿命最高,第IX龄级期望寿命最低,随着龄级的增大,生命期望基本上呈减小的趋势。

表2 小果紫薇静态生命表

Table 2 Static life table of *L. minuticarpa* population

龄级	径级	组中值	$a_x$	$a_x'$	$l_x$	$\ln l_x$	$d_x$	$q_x$	$L_x$	$T_x$	$e_x$	$K_x$	$S_x$
I	0~2.5	1.25	382	382	1000	6.908	702	0.702	649	1604	2.471	1.211	0.298
II	2.5~7.5	5	114	114	298	5.697	21	0.070	288	955	3.316	0.073	0.930
III	7.5~12.5	10	90	106	277	5.624	20	0.072	267	667	2.498	0.075	0.928
IV	12.5~17.5	15	103	98	257	5.549	100	0.389	207	400	1.932	0.493	0.611
V	17.5~22.5	20	60	60	157	5.056	97	0.618	109	193	1.771	0.962	0.382
VI	22.5~27.5	25	23	23	60	4.094	34	0.567	43	84	1.953	0.836	0.433
VII	27.5~32.5	30	10	10	26	3.258	8	0.308	22	41	1.864	0.368	0.692
VIII	32.5~37.5	35	7	7	18	2.890	8	0.444	14	19	1.357	0.587	0.556
IX	37.5~42.5	40	4	4	10	2.303	10	1.000	5	5	1.000	2.303	0.000

注: $a_x$ :存活数; $a_x'$ :匀滑后存活数; $l_x$ :标准化存活数; $d_x$ :死亡量; $q_x$ :死亡率; $L_x$ :区间寿命; $T_x$ :总寿命; $e_x$ :期望寿命; $K_x$ :消失率; $S_x$ :存活率。

#### 3.3 小果紫薇存活曲线

根据人为干扰下小果紫薇的静态生命表,编制存活曲线(图2),从存活曲线可以表明小果紫薇在人为干扰下种群整体数量动态变化的趋势、结构特征等。由图2可知,小果紫薇前期幼苗存活率低,个体数量迅速减少,从第II龄级到第IV龄级成活率较高,第V龄级之后存活率基本相近。小果紫薇种群存活曲线介于Deevey II型曲线和Deevey III型曲线之间,为了检验小果紫薇种群的存活曲线更接近于Deevey II型还是Deevey III型曲线,本研究采用指数方程和幂函数来描述Deevey II型还是Deevey III型曲线<sup>[17-18]</sup>。建立对应的模型得到:

$$N_x = 8.339 \cdot 8e^{-0.13x} (R^2 = 0.9335)$$

$$N_x = 8.214 \cdot 8x^{-0.448} (R^2 = 0.7592)$$

结果显示,指数模型的 $R^2$ 值(0.9335)>幂函

数的 $R^2$ 值(0.7592),存活曲线更趋于Deevey II型,种群各龄级死亡率基本相近。

#### 3.4 小果紫薇死亡率和消失率曲线

死亡率和消失率可以反映其种群的一般特征。以死亡率 $q_x$ 和消失率 $K_x$ 为纵坐标,以龄级为横坐标,作死亡率和消失率曲线(图3)。由图3可知,人为干扰下小果紫薇的死亡率和消失率曲线变化趋势具有相同,并且同时存在3个峰值,第1个峰值在第I龄级阶段,死亡率为70.2%;第2个峰值在第V龄级阶段,死亡率为61.8%;第3个峰值在第IX龄级阶段,死亡率为100%,在第II和第III龄级阶段其值基本相同。第1峰值出现的主要原因可能是小果紫薇幼苗多,集中在一起的萌生苗,随着幼苗生长,对营养需求增大,幼苗之间种内邻体竞争增强,同时受环境筛选影响等共同导致的;第2个峰值出现的

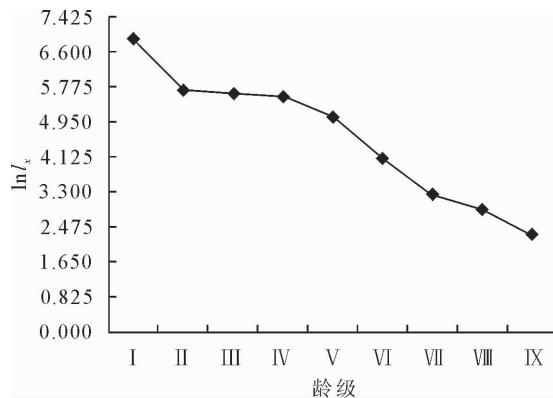


图2 小果紫薇存活曲线

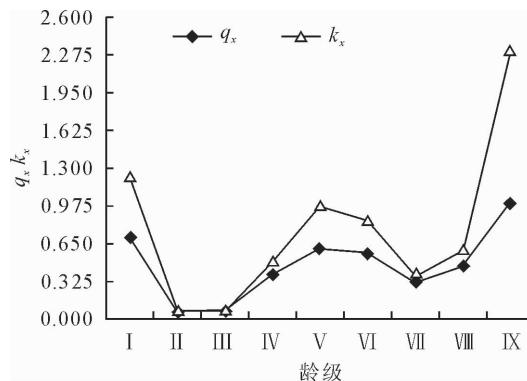
Fig. 2 Survival curve of *L. minuticarpa* population

图3 小果紫薇种群死亡率和消失率曲线

Fig. 3 Mortality rate( $q_x$ ) and vanish rate( $K_x$ ) value curve of *L. minuticarpa* population

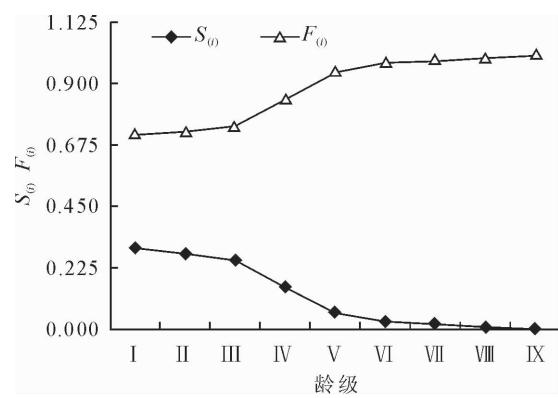
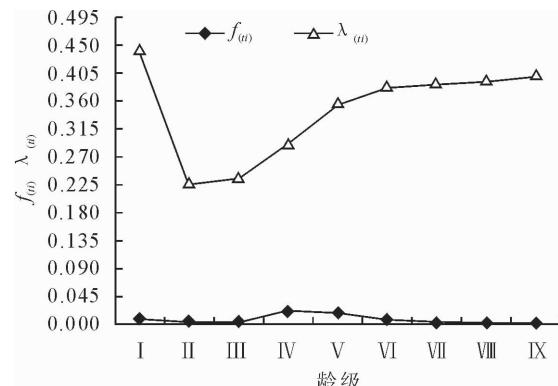
主要原因可能是随着小果紫薇种群进入中树阶段,对光照、养分等资源需求加大,种内竞争激烈所导致的;第3个峰值主要原因可能是进入到生理死亡年龄或人为干扰而产生的,种群个体少且迅速消亡。

### 3.5 小果紫薇生存分析

分别以4个函数值为纵坐标,以龄级为横坐标,绘制相应的函数曲线(图4、图5)。

由图4可知,随着龄级的增加,人为干扰下小果紫薇种群的生存率呈单调下降趋势,累积死亡率呈单调上升趋势,相同龄级的变化幅度基本一致。总体上看,生存率远远<累积死亡率,说明种群有衰退的发展趋势,在第Ⅲ龄级阶段处,生存率和和累积死亡率发生明显拐点。到第Ⅵ龄级阶段之后,种群的生存率为2.6%,累积死亡率为97.4%,表明人为干扰下小果紫薇种群从此龄级开始逐步进入生理衰老期,小果紫薇种群出现衰退的状况。

由图5可知,在第Ⅳ龄级之前,死亡密度曲线和危险率曲线变化趋势基本一致,之后呈现相反的变化趋势,整体上死亡密度曲线变化幅度较小,危险率曲线变化幅度较大,且危险率远远>死亡密度。第Ⅰ龄级危险率值最大,为43.9%,第Ⅱ龄级危险率值最小,为22.6%。死亡密度最大值在第Ⅳ龄级,为2%。

图4 小果紫薇种群生存率( $S_{(i)}$ )和累积死亡率( $F_{(i)}$ )曲线Fig. 4 Survival rate( $S_{(i)}$ ) and cumulative mortality rate图5 小果紫薇种群死亡密度( $f_{(i)}$ )和危险率( $\lambda_{(i)}$ )曲线Fig. 5 Mortality density( $f_{(i)}$ ) and hazard rate( $\lambda_{(i)}$ )

## 4 结论与讨论

龄级结构受个体更新、出生率、死亡率等种群动态数量的影响,有助于掌握种群动态过程<sup>[19]</sup>。从龄级结构分析可知,小果紫薇种群各龄级均有一定数量的分布,随着龄级的增大,除在第Ⅲ龄级发生轻微波动外,小果紫薇个体数量逐渐减少,种群表现为增长型。野外调查发现,幼苗个体数量丰富,以萌枝更新为主,表明小果紫薇萌蘖能力较强。其幼苗丰富的主要原因可能为人为干扰下林下灌木、草本稀少,光照条件较好,幼苗几乎不存在种间竞争所导致;实生苗稀少,主要原因可能为,一是小果紫薇植株少部分有果实,多数没有果实,导致种子来源少;二是种子自然脱落率后,萌发率较低;三是林下家畜活动频繁的原因。关于小果紫薇为什么出现少数植株有果实,导致种子来源少的原因有待进一步研究。种子在自然条件和人为干扰下萌发率究竟怎么样,也需进一步研究。

通过对人为干扰下小果紫薇种群的样地调查,编制小果紫薇种群静态生命表。结果表明,种群死亡率和消失率曲线变化趋势基本相同,同时在第Ⅰ龄级、第Ⅴ龄级和第Ⅸ龄级阶段出现峰值。幼苗以

萌生苗为主,个体数量丰富,虽然死亡率较高,但对种群的维持和延续具有重要作用,因此,萌生苗在维持种群增长稳定有很大作用<sup>[10]</sup>。利用指数方程函数和幂函数检验小果紫薇种群存活曲线更趋于 Devey II 型,各龄级有相近的死亡率。4 个生存分析函数很好地说明了种群的结构和动态变化<sup>[13]</sup>,生存率呈单调下降趋势,累积死亡率呈单调上升趋势,相同龄级的变化幅度基本一致。在第Ⅳ 龄级之前,死亡密度曲线和危险率曲线变化趋势基本一致,之后呈现相反的变化趋势,整体上死亡密度曲线变化幅度较小,危险率曲线变化幅度较大,且危险率远远大于死亡密度,种群具有前期稳定、中期减弱和后期衰退的特点。在人为干扰下小果紫薇通过萌枝更新维持种群发展。

由于人为干扰下小果紫薇近乎纯林,林下植被稀少,群落结构单一,水土流失较严重,所以应减少人为干扰影响,促进自然更新,提高群落的稳定性。

## 参考文献:

- [1] 江洪. 云杉种群生态[M]. 北京:中国林业出版社, 1992:1-26.
- [2] 刘玉平, 苏慧, 刘贵峰, 等. 罕山自然保护区森林植物群落优势种的种群结构与动态[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 170-175.
- [3] LIU Y P ,SU H, LIU G F, et al. Population structure and dynamics of dominant species of main forest community in Hanshan nature reserves[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4): 170-175. (in Chinese)
- [4] 同淑君, 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.
- [5] YAN S J, HONG W, WU C Z, et al. Life process and spectral analysis of *Castanopsis fargesii* population [J]. Chin. J. Appl. Environ. Biol. , 2002, 8(4): 351-355. (in Chinese)
- [6] 刘建泉, 孙建忠, 杨开恩, 等. 东大河林区青海云杉种群结构与动态[J]. 西北林学院学报, 2012, 27(2): 18-21.
- [7] LIU J Q, SUN J Z, YANG K E, et al. Structure and dynamics of *Picea crassifolia* population in Dongdahe forest area of Qilian mountains nature reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2012, 27(2): 18-21. (in Chinese)
- [8] 左政, 郑小贤. 福建三明栲树种群结构研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 81-87.
- [9] ZUO Z , ZHENG X X. Community structure of *Castanopsis fargesii* franch population in Fujian Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(1): 81-87. (in Chinese)
- [10] 吴征镒. 西藏植物志[M]. 北京:科学出版社, 1986:334-335.
- [11] 王献. 我国紫薇种质资源及其亲缘关系的研究[D]. 北京:北京林业大学, 2004:21-33.
- [12] 顾翠花. 中国紫薇属种质资源及紫薇、南紫薇核心种质构建[D]. 北京:北京林业大学, 2008:46-49.
- [13] 杨宁, 周学武. 墨脱植物[M]. 北京:中国林业出版社, 2015: 102-103.
- [14] 同淑君, 洪伟, 吴承祯. 闽江口琅岐岛朴树种群结构与空间分布格局[J]. 生态学杂志, 2011, 30(2): 221-226.
- [15] YAN S J, HONG W, WU C Z. Population structure and spatial pattern of *Celtis sinensis* on Langqi island of Minjiang estuary [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(2): 221-226. (in Chinese)
- [16] 林玥, 任坚毅, 岳明. 太白山红桦种群结构与空间分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(6): 1335-1345.
- [17] LIN Y, REN J Y, YUE M. Population structure and spatial analysis of *Betula albosinensis* at Taibai mountain northwest China [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2008, 32(6): 1335-1345. (in Chinese)
- [18] 曲仲湘, 文振旺, 朱克貴. 南京灵谷寺森林现况的分析[J]. 植物学报, 1952(1): 18-49.
- [19] QU Z X, WEN Z W, ZHU K G. An analytical study of the forest of the Spirit Valley Nanking [J]. Journal of Integrative Plant Biology, 1952(1): 18-49. (in Chinese)
- [20] 同淑君, 洪伟, 洪滔, 等. 台湾相思种群生命过程及谱分析[J]. 武汉植物学研究, 2005, 23(5): 439-443.
- [21] YAN S J, HONG W, HONG T, et al. Life procession and spectral analysis of *Acacia confusa* population[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2005, 23 (5): 439-443. (in Chinese)
- [22] 杨慧, 娄安如, 高益军, 等. 北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局[J]. 植物生态学报, 2007, 31(2): 272-282.
- [23] YAN H, LOU A R, GAO Y J, et al. Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the Dongling mountain region , Beijing , China [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 31(2): 272-282. (in Chinese)
- [24] 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.
- [25] WU C Z, HONG W, XIE J S, et al. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2000, 11(3): 333-336. (in Chinese)
- [26] 谭一波, 詹潮安, 肖泽鑫, 等. 广东南澳岛中华楠种群结构及动态特征[J]. 生态学杂志, 2010, 29(10): 1901-1906.
- [27] 李艳丽, 杨华, 亢新刚, 等. 长白山云冷杉种群结构和动态分析[J]. 北京林业大学学报, 2014, 36(3): 18-25.
- [28] LI Y L, YANG H, KANG X G, et al. Population structure and dynamics of *Abies nephrolepis* and *Picea koraiensis* in the Changbai mountains of northeastern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2014, 36(3): 18-25. (in Chinese)
- [29] 李玲, 张光富, 王锐, 等. 天目山自然保护区银杏天然种群生命表[J]. 生态学杂志, 2011, 30(1): 53-58.
- [30] LI L, ZHANG G F, WANG R, et al. Life table of natural *Ginkgo biloba* population in Tiamu mountain in nature reserve [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(1): 53-58. (in Chinese)
- [31] 张润杰. 生态学基础[M]. 北京:科学出版社, 2015:50-88.