

doi:10.16779/j.cnki.1003-5508.2019.06.003

珙桐种群结构与动态变化 ——以黑竹沟国家级自然保护区为例

张淑伟¹, 戢林², 潘欣^{1*}, 蒋成益², 杨林², 李蓓², 马晓龙³, 毛夜明³

(1. 成都理工大学旅游与城乡规划学院, 成都 610000;

2. 四川农业大学, 四川农业大学旅游学院, 四川 都江堰 611800;

3. 黑竹沟国家级自然保护区管理局, 四川 乐山 61400)

摘要:为了解四川省黑竹沟国家级自然保护区珙桐未来的发展趋势,探讨其致危主要因子,为珙桐的保护和恢复提供理论参考。通过对四川省黑竹沟珙桐种群进行研究,运用绘制珙桐分布图、种群结构图、静态生命表、存活曲线以及时间序列模型等方法来揭示珙桐种群结构和动态特征。结果显示,该种群径级结构与高度结构变化趋势相似,近似纺锤型,幼苗、幼树和老龄个体数量较少,该种群发展主要靠中龄个体维持。种群标准存活曲线为 Deevey I 型,即凸型,属于下降型种群;种群个体死亡率与个体损失度走向基本一致,表现为前后期脆弱,中期稳定的特征。时间序列预测表明:在未来5年后,现存个体存活总数将呈现明显减少的趋势。该地区幼苗主要以萌生为主,实生苗罕见;研究表明,该种群属于下降型种群,并处于快速衰退阶段,随着时间的推移,会出现严重的老龄化问题。种子自然更新力差成为该种群发展最严峻的问题。根据研究结果,提出了保护策略。

关键词:珙桐;种群结构;静态生命表;标准化存活曲线;时间序列预测

中图分类号:S718.54

文献标识码:A

文章编号:1003-5508(2019)06-0013-06

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

The Population Structure and Dynamics of *Davidia involucrata* ——A Case Study of Heizhugou National Nature Reserve

ZHANG Shu-wei¹ JI Lin² PAN Xin^{1*} JIANG Cheng-yi² YANG Lin² LI Bei²
MA Xiao-long³ MAO Ye-ming³

(1. Tourism and Urban-Rural Planning College, Chengdu University of Technology, Chengdu 610000, China;

2. College Of Tourism, Sichuan Agricultural University, Dujiangyan 611800, China;

3. Heizhugou National Nature Reserve Administration, Leshan 61400, China)

Abstract: To understand the future development trend of the population, the main endangered factors were discussed for *Davidia involucrata* in Heizhugou National Nature Reserve, and some theoretical references were provided for the protection and restoration. The population structure and dynamics of *D. involucrata* were studied by plotting its distribution map, population structure map, static life table, survival curve and time series model. The hierarchical structure of the population was spindle-shaped, which was similar to that of the height structure. The number of seedlings, young trees and old individuals was small, and the development of the population depended mainly on the middle-aged individuals. The standard survival curve of the population was Deevey I type, i. e. Convex type, belonging to a descending type. The individual mortality rate and individual loss degree of the population are basically consistent,

收稿日期:2019-07-09

作者简介:张淑伟(1995-),女,河南驻马店人,硕士研究生,主要从事生态环境与景观修复研究,e-mail:1099568897@qq.com。

* 通讯作者:潘欣(1979-),e-mail:18753650@qq.com。

showing the characteristics of fragility in the early and late period and stability in the middle period. Time series predictions showed a significantly decrease in the total number of surviving individuals in next five years. The seedlings mainly sprouted from roots. It indicated that the population was a descending type in a rapid decline stage, which would be a serious aging problem with the passage of time. The poor regeneration ability of seeds had become the most serious problem in the development of this population. Protection strategies were proposed according to the results of the study.

Key words: *Davidia involucrata*, Population structure, Static life table, Standardized survival curve, Time sequence prediction

植物种群结构是生态学研究的主要内容之一^[1],通过对植物的种群结构研究可以了解种群不同年龄组所占比例及配置情况,从而反映出种群的过去受干扰情况、当前种群生存状况以及客观预测种群未来的发展趋势^[2-3]。种群作为群落的基本单位,其动态发展客观反映群落的演替趋势^[4]。

珙桐(*Davidia involucrata*)隶属被子植物门珙桐科珙桐属,落叶乔木,是第三纪古热带植物区系的孑遗种^[5],属一级保护植物^[6]。在经第四纪冰川之后,因气候和地理环境的变迁,再加上分布区分散,森林植被破坏严重,种子败育现象严重等特点,造成珙桐数量急剧下降^[7-8]。目前仅分布在我国西南部的鄂西、川中及川南、黔东北部、滇等山区。目前,我国对珙桐生态学的研究主要包括结构特点^[9]、空间分布格局^[10]、群落稳定性^[11]、遗传多样性^[12]等方面。其中珙桐结构研究由于地理位置的差异导致研究结果也不同,如马宇飞^[8]对湖北七姊妹山珙桐种群研究与张望^[13]对四川省喇叭河自然保护区珙桐结构研究表明种群结构呈衰退型,杨心兵对湖北后河自然保护区珙桐研究为中衰型^[14]。四川卧龙^[15]与甘肃文县^[16]的珙桐种群属于增长型种群。黑竹沟自然保护区为国家级自然保护区,且区内珙桐数量可观,关于珙桐结构和动态研究尚不全面深入,但其种群结构和动态至今未见报道研究,本文选取黑竹沟为研究地,尝试对珙桐生态恢复及濒危植物多样性保护和管理提供基础数据支撑。

1 研究地概况

四川省黑竹沟国家级自然保护区位于乐山市峨边彝族自治县境内,地理坐标为东经 $102^{\circ}54' \sim 103^{\circ}4'E$, $28^{\circ}39' \sim 29^{\circ}8'N$,海拔 $1\,054\text{ m} \sim 4\,288\text{ m}$ 。总面积为 $29\,643.0\text{ hm}^2$,其中核心区面积 $16\,745.9\text{ hm}^2$,缓冲区面积 $3\,336.7\text{ hm}^2$,试验区面积 $9\,560.4\text{ hm}^2$ 。该保护区属亚热带季风性湿润气

候。受季风气候影响,温暖湿润,年平均气温 $-3\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 9\text{ }^{\circ}\text{C}$,年均降水量达 $2\,000\text{ mm}$ ^[17]。保护区内为原始生态类型,生物多样性丰富,是目前国内保存最完整、最原始的生态群落之一。

2 研究方法

2.1 样地设置和调查

根据珙桐多分布于沟谷两侧的特征,确定沿沟谷采用样线结合样方的方法对珙桐树种进行调查。调查区域为保护区全境,重点野外调查区域从北往南按照流域划分大致是茨竹河→三岔河→白熊河→瓦基河→二岔河→儿子木依达→杉木沟→红宇沟→西沟和西二沟的流域范围。在以上流域范围内选取典型地带布设样线(图1),在样线上,沿物种分布的生境区域等距离(非直线距离)设置 400 m^2 的样方作为典型调查样地。对于分布区狭窄、分布地势险要、分布数量较少且分布面积较小区域,采用直接观察法。调查时详细记录各样地生境基本情况(表1);样方内进行每木调查(株数、地径、冠幅、树高、枝展、病虫害),其中通过围尺进行植物胸径测量,测高仪测量树高,进行拍摄记录有GPS定位数据的数字照片,同时采集植物标本。

2.2 种群年龄结构划分

对于濒危木本植物,多数学者认为为了不对濒危植物造成损害,较难获取年龄的情况下,可以采用径级(BDH)代替龄级的方法^[18]。径级结构:考虑到珙桐生物学特性,按照胸径大小将珙桐分为5个径级:I级($h < 0.33\text{ m}$)、II级($h \geq 0.33\text{ m}$, $\text{BDH} < 2.50\text{ cm}$)、III级($2.50 \leq \text{BDH} < 7.40\text{ cm}$)、IV级($7.50 \leq \text{BDH} < 22.50\text{ cm}$)、V级($\text{BDH} \geq 22.50\text{ cm}$)。

2.3 静态生命表及曲线绘制

静态生命表可以反映年龄动态历程中的某个特定时间^[19],参考赵阳^[20]静态生命表编制方法进行珙桐种群静态生命表编制。根据静态生命表参数制



图1 黑竹沟自然保护区珙桐种群调查样线图

Fig.1 Survey of *Davidia involucrata* population in Heizhugou Nature Reserve

作存活曲线图种群死亡率和损失度曲线。静态生命表计算公式如下:

$$l_x = a_x / a_0 \times 1\ 000 \quad (1)$$

$$d_x = l_x - l_{x+1} \quad (2)$$

$$q_x = (d_x / l_x) \times 100\% \quad (3)$$

$$L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2 \quad (4)$$

$$T_x = L_x + L_{x+1} + L_{x+2} + L_{x+n} \quad (5)$$

$$e_x = T_x / l_x \quad (6)$$

$$K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1} \quad (7)$$

$$S_x = l_{x+1} / l_x \quad (8)$$

式中 a_x 为龄级内存活个体数; a_0 为第一龄级内存活个体数; l_x 为标准存活个体数; d_x 为标准死亡数; q_x 是 x 到 $x+1$ 龄级间隔期死亡率; L_x 为 x 到 $x+1$ 龄级间隔期死亡率; T_x 指从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数; e_x 为生命期望寿命; K_x 为消失率; S_x 为存活率。

2.4 时间序列模型预测

采用时间序列分析中的一次平均推移法对珙桐种群数量动态进行预测^[21],模型为:

$$M_t^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k \quad (9)$$

其中 n 是预测的未来时间年限; t 为龄级; K_x 为当前 k 龄级种群存活数; M_t 为未来 n 年时 t 龄级的种群存活数,称为第 n 周期的移动平均。本文对未来经过 2、3、4、5 和 4 龄级时间后的种群各龄级的个体数量进行预测。

2.5 数据处理及分析

采用 Excel 2017 和 arcgis10.5 软件进行相关数据的处理和分析。

3 结果

3.1 样地基本特征

在踏查了解珙桐在保护区的分布情况之后,选择黑竹沟二支沟、梁家沟、主沟、无名沟等重点研究地。表 1 可知,这些区域坡度均在 30 度以上,郁闭度和地被物的盖度都比较大,0.6 的郁闭度和 70% 以上的植被覆盖也造就了良好的林内和周遭环境,且人为干扰少。珙桐作为优势种之一,林内伴生植物主要包括水青树 (*Tetracentron sinense*)、野核桃 (*Juglans cathayensis*)、桦木 (*Betula*)、灯台树 (*Comus controversa*)、青冈栎 (*Cyclobalanopsis glauca*)、连香树 (*Cercidiphyllum japonicum*) 等;灌木层主要由箭竹 (*Fargesia spathacea*)、水麻 (*Debregeasia orientalis*)、悬钩子 (*Rubus corchorifolius*)、红果树 (*Stranvaesia davidiana*) 等树种组成;草本层植物丰富,且密度较大,典型植物有荚果蕨 (*Matteuccia struthiopteris*)、水蓼 (*Polygonum hydropiper*)、天胡荽 (*Hydrocotyle sibthorpioides*)、金毛狗脊 (*Cibotium barometz*)、蒿草 (*Artemisia argyi*) 等。其中水青树、连香树、金毛狗脊都属于国家 II 级保护植物。

表 1 典型样地基本特征

Tab.1 The typical situation of sample plots

样地	地名	面积 /m ²	海拔 /m	坡度 /°	郁闭度	盖度 /%	土壤类型	健康状况
1	主沟	400	2098	30	0.8	80	黄棕壤	健康
2	梁家沟	400	2121	40	0.8	90	黄棕壤	健康
3	二支沟	400	2165	40	0.7	70	黄棕壤	健康
4	觉莫	400	1279	60	0.7	80	黄壤	健康
5	无名沟	400	2180	50	0.8	70	黄壤	健康

3.2 珙桐种群年龄结构分析

种群龄级结构能清晰地反映种群的生存状态^[22]。从图 2 可知,本次调查珙桐共计 182 株,最大胸径 36 cm,最高树高 26 m。总体来看,珙桐龄级

结构近似纺锤型,也可认为是倒金字塔的特殊形式。中间龄级种群数量较多,幼龄级与老龄级数量较少,幼苗以萌生为主,实生苗极为少见。I龄级($h < 0.33\text{ m}$)个体数为11株,占调查总数的6.04%,II龄级($h \geq 0.33\text{ m}, \text{BDH} < 2.50\text{ cm}$)36株,占调查总数的19.78%。I、II级占总数的25.82%,说明幼龄个体数较少。珙桐个体主要集中在III($2.50 \leq \text{BDH} < 7.40\text{ cm}$)—IV($7.50 \leq \text{BDH} < 22.50\text{ cm}$)龄级之间,III级个体数为50株,IV级个体数最多为68株,III级与IV级占总数的64.84%。I—IV龄级的个体数随着龄级的增大呈现上升趋势,IV龄级以后,数量变化迅速减少。说明成年珙桐所占比例最大,幼苗个体数所占比例相对较小,表明珙桐种群有衰退的趋势。

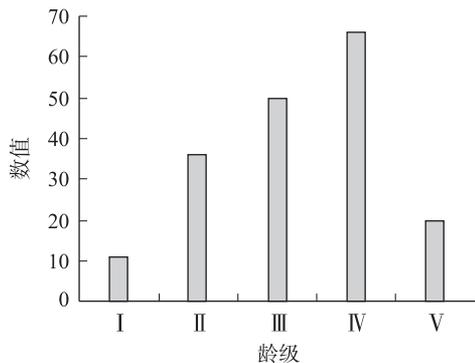


图2 珙桐种群龄级结构图

Fig.2 The size class structure of *Davidia involucrata*

3.3 静态生命表及生命过程分析

3.3.1 静态生命表分析

依据径级结构数据为基础,绘制保护区珙桐种群静态生命。据表2可知:珙桐种群总体表现为个体随着龄级增大而增大,从I龄级($h < 0.33\text{ m}$)至IV级($7.50 \leq \text{BDH} < 22.50\text{ cm}$),该种个体存活数在缓慢增长,当达到IV级后,个体存活数急剧下降。其中,第III龄级与第IV龄级个体存活数所占个体数最多,I龄级与V龄级个体存活数较少,这与该种群径级结构变化趋势基本相符。该种群个体死亡率与个体损失度在I至III龄级的均为负值。种群在第I

表2 珙桐种群静态生命表

Tab.2 Life table of *Davidia involucrata* population

龄级	a_x	l_x	d_x	q_x	K_x	L_x	T_x	e_x	S_x
I	11	1000	-2272	-2.2	-1.2	2136	17588	17.6	3.3
II	36	3272	-1273	-0.4	-0.3	3908	15452	4.7	1.4
III	50	4545	-1636	-0.4	-0.3	5363	10089	2.2	1.4
IV	68	6181	4636	0.7	1.4	3863	6226	1.0	0.3
V	17	1545	4636	3	0.0	2318	3908	2.5	0.0

龄级阶段具有很高的期望寿命,这是由于第I径级个体存活数过少导致的。

3.3.2 生命过程分析

根据Deevey存活曲线划分方法,既存活曲线一般划分为3种类型,DeeveyI型(凸型)为下降型种群;DeeveyII(直线型)为稳定型;DeeveyIII(凹型)为增长型^[23]。由图3可知,珙桐种群的存活曲线属于DeeveyI型(凸型),既下降型种群。从I龄级到IV龄级,种群个体标准存活数随着径级的增加稳定增长。当到达IV龄级之后,其个体标准存活数急剧下降,死亡率升高。

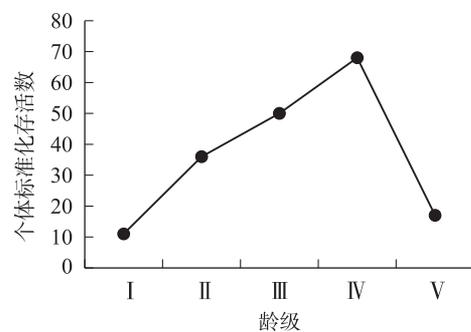


图3 珙桐种群的个体标准化存活曲线

Fig.3 Individual standardized survival curve of *Davidia involucrata* population

结果图4显示,该种群死亡率曲线(q_x)与损失度曲线(K_x)走势大致一致。第I龄级到第II龄级,两曲线数值随着径级增大急剧上升,变化幅度较大。第II龄级与第III龄级过程中,两曲线变化趋势较为稳定,第III龄级之后,个体死亡率与个体损失度升高的趋势继续增强。总体来说,从该种群死亡率和损失度曲线表明该种群具有前后期变化幅度大,中期稳定特点。

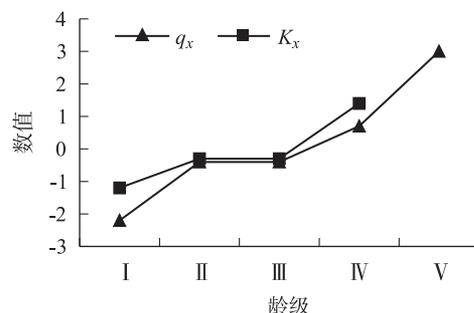


图4 珙桐种群个体死亡率和损失度曲线

Fig.4 The curves of mortality ratio and killing power of *Davidia involucrata* population

3.4 珙桐种群时间序列预测

珙桐种群时间序列预测结果表3显示,经历了5年之后,各龄级的个体数总体呈现下降的趋势。

其中第 I 龄级到第 IV 龄级,各龄级个体数随着年限的增长整体呈现出递减的趋势,这表明该种群处于衰退趋势中。而 V 龄级个体数,随着年限的增加个体数增大,由开始的 17 株演变为 36 株,这表明随着时间的推移,在未来的 5 年后,老龄个体逐渐增加,出现老龄化迹象。

表 3 珙桐种群时间序列预测结果

Tab.3 The time sequence analysis of *Davidia involucrata* population

龄级	a_x	$M_2^{(1)}$	$M_3^{(1)}$	$M_4^{(1)}$	$M_5^{(1)}$
I	11				
II	36	24			
III	50	43	32		
IV	68	30	51	41	
V	17	22	23	43	36

4 结论与讨论

分析种群年龄结构是了解种群结构现状和更新策略的重要方法之一^[24]。珙桐径级结构表现为纺锤型。I 龄级($h < 0.33\text{m}$)至 II 龄级($h \geq 0.33\text{m}$, $\text{DBH} < 2.50\text{cm}$)的个体存活数仅占总体的 23.87%。III 龄级($2.50 \leq \text{BDH} < 7.40\text{cm}$)至 IV 龄级($7.50 \leq \text{BDH} < 22.50\text{cm}$)个体存活数占总体的 66%。而 V 龄级($\text{DBH} > 22.50\text{cm}$)个体数仅占总体的 10%。表明该种群小径级与大径级个体数较少,中间径级占有较高比例。在种群静态生命表中出现了死亡率(q_x)为负值的现象,虽然这与数学假设相背离,但仍有生态学参考意义^[25]。表中,第 I 至 III 龄级的死亡率均为负值,表明该种群幼小植株严重缺乏。珙桐自然更新方式主要是根蘖繁殖和种子繁殖^[26]两种,根据调查发现,保护区内珙桐更新以根蘖繁殖占主要方式,种子繁殖力差。这种现象的原因与珙桐生境条件有关^[16],珙桐种子萌发需要种子接触土壤以及群落中的林窗,但林下草本层覆盖度较高,不利于珙桐种子到达土壤,并且林内郁闭度较高,林内光照低,使得珙桐种子萌发率较低。再加上由于珙桐种子外壳坚硬,种子后熟休眠期长,种子败育现象严重,这就导致珙桐自然更新困难,实生苗较少。

从珙桐个体标准存活曲线来看,珙桐种群存活曲线为凸型曲线,属于 Deevey I 型,为下降型种群。从种群死亡率和损失度来看,两条曲线走势基本一

致。根据前人金雅琴^[27]和李辛雷^[28]研究表明,个体死亡率和损失度在第 I、II 龄级为负值,表明幼苗缺失严重。黑竹沟珙桐死亡率和损失度均为负值,表明幼苗严重缺乏。且第 I、II 龄级曲线斜率较大,说明幼苗死亡率较高,只有少数个体能进入到下一龄级,这与年龄结构分析和静态生命表分析结果一致。第 II 与第 III 龄级死亡率和损失度变化较为平稳,表明经过筛选机制的珙桐幼苗,对环境具有较强抗性和竞争力,个体死亡率与损失度降低,总体趋于稳定。IV 级之后,珙桐越接近生理死亡年龄,对群落中的光照、土壤、水分、空间等因素的竞争力减弱,导致珙桐种群死亡率和损失度急剧上升。珙桐种群时间序列表明:该种随着时间的变化,幼苗减少,老龄植株增多,种群总体个数大幅度减少,为衰退型种群,且出现老龄化迹象。由此可见,该种群如果不加以恢复和保护,种群幼苗得不到及时补充,随着时间的推移,珙桐种群优势地位将会被其他树种所取代。

综上所述,从珙桐种群的径级结构、个体标准化存活曲线与时间序列分析,均可得出珙桐种群为衰退趋势,属于下降种群,造成该种群衰退的主要原因是珙桐种子自然更新力差。在自然环境中,植物种子向幼苗过渡期间遇阻和幼苗存活率低是植物濒危最主要的原因^[29],种群稳定发展的关键在于提高种子的萌发率和营造良好的适宜幼苗生长的自然环境。因此,提出以下保护策略:(1)加强珙桐种子萌发机制的科研投入,通过人工种子繁殖提高繁殖力。(2)考虑人工繁育幼苗,逐步扩大珙桐的人工栽植区,以加强国家 I 级保护植物的生殖繁衍。(3)加强巡护管理,避免毁林开荒和森林火灾,加强病虫害监测与防治。积极宣传保护野生植物对维护生态平衡的重要性和必要性,减少人为对珙桐种群带来的不可逆的破坏。

参考文献:

- [1] 董鸣. 生态学透视一种群生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [2] 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 (03): 429 ~ 439.
- [3] Fuchs M A, Krannitz P G, Harestad A S. Factors affecting emergence and first-year survival of seedlings of Garry oaks (*Quercus garryana*) in British Columbia[J]. Canada. Forest Ecology and Management, 2000, 137: 209 ~ 219.
- [4] 蔡鑫, 陈波, 陈锋, 等. 珍稀特有植物华顶杜鹃的种群结构和种间联结[J]. 浙江大学学报(理学版), 2019, 46 (03): 354

- ~363.
- [5] 张志祥,刘鹏,蔡妙珍,等. 九龙山珍稀濒危植物南方铁杉种群数量动态[J]. 植物生态学报, 2008 (05): 1146~1156.
- [6] 《国家重点保护野生植物名录(第一批)》1999年8月4日国务院批准[J]. 环境教育, 2008, (8): 80.
- [7] 李文英,李欣,甘小洪. 濒危植物水青树的种群结构与数量动态[J]. 亚热带植物科学, 2018, 47 (03): 222~228.
- [8] 马宇飞,李俊清. 湖北七姊妹山珙桐种群结构研究[J]. 北京林业大学学报, 2005 (03): 12~16.
- [9] 梁宏伟,黄光强,王玉兵,等. 湖北长阳光叶珙桐群落结构研究[J]. 生态科学, 2011, 30 (03): 250~256.
- [10] 罗世家,包满珠,赵善雄,等. 大相岭龙苍沟珙桐种群空间分布格局研究[J]. 生物数学学报, 2009, 24 (03): 531~536.
- [11] 雷妮娅,陈勇,李俊清,等. 四川小凉山珙桐更新及种群稳定性研究[J]. 北京林业大学学报, 2007 (01): 26~30.
- [12] 关萍,张玉晶,石建明,等. 濒危植物珙桐种群遗传多样性分析[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37 (09): 71~76.
- [13] 张望,操国兴,刘光华,等. 四川省喇叭河自然保护区珙桐种群结构与分布格局[J]. 浙江林学院学报, 2008 (04): 451~457.
- [14] 杨心兵,刘胜祥,杨福生. 湖北省后河自然保护区光叶珙桐种群结构的研究[J]. 生物学杂志, 2000 (01): 16~18.
- [15] 沈泽昊,林洁,陈伟烈,等. 四川卧龙地区珙桐群落的结构与更新研究[J]. 植物生态学报, 1999 (06): 562~567.
- [16] 焦健,田波生,孙学刚. 甘肃文县珙桐群落优势种群分布格局及动态变化趋势[J]. 甘肃农业大学学报, 1998 (03): 58~63.
- [17] 李江陵,舒光明,何明友. 峨边黑竹沟药用植物资源及可持续利用的研究[J]. 中国中药杂志, 2000 (01): 16~18.
- [18] 何亚平,费世民,蒋俊明,等. 不同龄级划分方法对种群存活分析的影响——以水灾迹地油松和华山松种群生存分析为例[J]. 植物生态学报, 2008 (02): 448~455.
- [19] 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 (06): 824~828.
- [20] 赵阳,齐瑞,焦健,等. 杂海-则岔地区紫果云杉种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2018, 38 (20): 7447~7457.
- [21] 肖宜安,肖南,胡文海,等. 濒危植物长柄双花木自然种群年龄结构及其生态对策[J]. 广西植物, 2007(06): 850~854.
- [22] 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 (08): 154~160.
- [23] Deevey ES Jr. Life tables for natural populations of animals [J]. The Quarterly Review of Biology, 1947, 22 (4): 283~314
- [24] 李娟,林建勇,何应会,等. 广西崇左叉叶苏铁种群结构与分布格局研究[J]. 广东农业科学, 2016, 43 (12): 25~29.
- [25] 张文辉,许晓波,周建云,等. 濒危植物秦岭冷杉种群数量动态[J]. 应用生态学报, 2005 (10): 1799~1804.
- [26] 苏瑞军,苏智先. 珙桐种子散布、萌发及其种群龄级分配的关系研究[J]. 林业科学, 2005 (03): 192~195.
- [27] 金雅琴,李冬林,孙晓龙,等. 南京方山朴树种群结构与分布格局研究[J]. 植物研究, 2011, 31(05): 603~609.
- [28] 李辛雷,孙振元,李纪元,等. 濒危植物杜鹃红山茶种群结构和动态变化[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27 (02): 17~23.
- [29] 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 (04): 523~528.

（上接第12页）

- [21] Qin X L, Yan H, Zhan Z H, et al. Characterising vegetative biomass burning in China using MODIS data[J]. International Journal of Wildland Fire, 2014, 23(1): 69~77.
- [22] 李顺,吴志伟,梁宇,等. 大兴安岭林火发生的时空聚集性特征[J]. 生态学杂志, 2017, 36(1): 198~204.
- [23] 邓忠坚,李晓娜,周汝良,等. 云南省卫星热点与林火格局的关系研究[J]. 西南林业大学学报, 2016, 36(4): 132~137.
- [24] 阙华斐,谭三清,周瑾,等. 基于卫星监测的湖南省林火时空分布规律研究[J]. 中南林业科技大学学报, 2018, 38(6): 61~65.
- [25] 覃先林. 林火卫星遥感监测[M]. 北京: 中国林业出版社, 2016: 7.
- [26] 吴升,黄智函. 基于点模式的盗窃犯罪空间分布规律分析——以福州市主城区为例[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2015(5): 631~635.
- [27] Ripley BD. 1981. Spatial Statistics. Chichester: John Wiley.
- [28] Besag J E. Comments on Ripley's paper. Journal of Royal Statistical Society: Series B, 1977, 39: 193~195
- [29] Kuhn H W, Kuenne R E. An efficient algorithm for the numerical solution of the Generalized Weber Problem in spatial economics. Journal of Regional Science, 1962, 4(2): 21~33.
- [30] Burt J E, Barber G. 1996. Elementary statistics for geographers. Guilford, New York.
- [31] Eck J, Chainey S, Cameron J, et al. Mapping crime: understanding hotspots[M]. Washington D C: National Institute of Justice, 2005.
- [32] 肖金香,叶蕾,叶清,等. 冰雪冻害对森林火灾的影响及防御措施[J]. 江西农业大学学报, 2005, 31(3): 433~436.