

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.24116

CSTR: 32231.14.PSJ.2095-0837.24116

朱成林, 卓立, 林芷叶, 苏志豪. 新疆沙冬青种群年龄结构及数量动态特征[J]. 植物科学学报, 2025, 43 (2): 172-180

Zhu CL, Zhuo L, Lin ZY, Su ZH. Age structure and demographic dynamics of *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f. populations[J]. *Plant Science Journal*, 2025, 43 (2): 172-180

## 新疆沙冬青种群年龄结构及数量动态特征

朱成林<sup>1</sup>, 卓立<sup>1,2</sup>, 林芷叶<sup>1</sup>, 苏志豪<sup>1\*</sup>

(1. 新疆师范大学生命科学学院, 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 乌鲁木齐 830017;

2. 新疆师范大学图书馆, 乌鲁木齐 830017)

**摘要:** 新疆沙冬青 (*Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f.) 为第三纪古地中海沿岸的珍稀孑遗物种, 是国家Ⅱ级保护植物。本研究通过种群年龄结构、静态生命表、存活曲线、生存函数曲线及时间序列模型分析, 揭示新疆沙冬青种群年龄结构及数量动态趋势。结果显示, 新疆沙冬青种群老年个体数量最多, 占总株数的48.1%, 幼苗占比最低, 仅为7.0%, 种群年龄结构呈衰退型; 存活曲线呈Deevey-Ⅱ型, 种群总体死亡率较稳定; 种群数量具有前期锐减、中期稳定、后期衰退的动态趋势, 表明新疆沙冬青有较高的灭绝风险。增加种群幼苗数量, 提高幼龄级到成年级过渡阶段的存活率, 是促进新疆沙冬青良性发展的关键措施。

**关键词:** 新疆沙冬青; 生存分析; 时间序列模型; 种群动态

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837 (2025) 02-0172-09

## Age structure and demographic dynamics of *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f. populations

Zhu Chenglin<sup>1</sup>, Zhuo Li<sup>1,2</sup>, Lin Zhiye<sup>1</sup>, Su Zhihao<sup>1\*</sup>

(1. Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, School of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830017, China; 2. Library, Xinjiang Normal University, Urumqi 830017, China)

**Abstract:** *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f. is a rare Tertiary relict species that originated along the Tethys coast and is currently classified as a state Grade II protected plant due to demographic scarcity. This study examined the population age structure and demographic dynamics through analyses of static life tables, survival curves, survival function curves, and time series models. Results showed that mature individuals constituted the largest proportion of the population (48.1%), while saplings accounted for the lowest proportion (7.0%), reflecting a declining age structure. The species exhibited a Deevey-Ⅱ survival curve, with a stable overall mortality rate. However, a pronounced decline in the early stages, followed by a stabilization phase in the middle period and a subsequent decline in the later stages, suggests a heightened risk of extinction. Enhancing seedling recruitment and improving the survival rate during the transition from juvenile to adult stages are critical for ensuring population sustainability and long-term viability.

**Key words:** *Ammopiptanthus nanus*; Survival analysis; Time series models; Population dynamics

种群是物种生存、适应和进化的基本单位<sup>[1]</sup>。种群数量动态则反映种群数量在时间和空间中的变化规律<sup>[3]</sup>。种群年龄结构为各年龄级个体在种群中的分布比

收稿日期: 2024-05-06, 接受日期: 2024-06-17。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31770703, U1803103); 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室招标课题项目 (XJDX1414-2022-01)。

作者简介: 朱成林 (1999-), 男, 硕士研究生, 研究方向为植物种群生态学 (E-mail: [1641834029@qq.com](mailto:1641834029@qq.com))。

\* 通信作者 (Author for correspondence. E-mail: [suzh@xjnu.edu.cn](mailto:suzh@xjnu.edu.cn))。

种群生态学研究的核心内容<sup>[4]</sup>。研究种群的年龄结构及数量动态，可以揭示种群目前的生存现状，分析种群与环境之间的适合度及其相互关系，并解析种群在生活史方面的致濒因素，为珍稀濒危植物的保育复壮提供基础信息<sup>[5, 6]</sup>。

沙冬青属 (*Ammopiptanthus*) 是亚洲中部荒漠唯一的常绿阔叶灌木，为第三纪古地中海沿岸的珍稀孑遗物种<sup>[7, 8]</sup>。该属仅含两种，一种为蒙古沙冬青 (*A. mongolicus* (Maxim. ex Kom.) Cheng f.)，分布于阿拉善荒漠东部，一种为新疆沙冬青 (*A. nanus* (M. Pop.) Cheng f.)，又名矮沙冬青、小沙冬青，分布于塔里木盆地西南隅昆仑山北麓，即新疆乌恰县的康苏、托云等地，西天山（吉尔吉斯斯坦）也有分布<sup>[9]</sup>。作为第三纪的孑遗植物，该物种在古地理、古气候、植物系统发育和荒漠地区生物多样性研究方面具有重要的科研价值<sup>[10]</sup>。由于富含生物碱、黄酮类化合物和苯丙素类化合物<sup>[11]</sup>，该物种也可作药用，治疗多种疾病，如冻疮、慢性风湿性关节炎等<sup>[3]</sup>。此外，新疆沙冬青四季常绿且耐干旱，还可用于观赏和防风固沙造林<sup>[9]</sup>。然而，由于气候变化和人类活动的影响<sup>[12]</sup>，加之新疆沙冬青自身繁殖和传播的局限性<sup>[10]</sup>，导致新疆沙冬青的分布区域和种群数量逐渐缩小。目前，该物种已被列入《中国植物红皮书-稀有濒危植物》<sup>[13]</sup>，为国家Ⅱ级保护植物<sup>[14]</sup>，亟需采取措施进行抢救性保护。

目前，关于新疆沙冬青的研究主要集中在种子休眠解除<sup>[15, 16]</sup>、植株生长特性<sup>[17]</sup>、化学成分分

析<sup>[11]</sup>、特定基因表达<sup>[18]</sup>和遗传多样性<sup>[19]</sup>等方面，而关于新疆沙冬青的种群年龄结构动态尚未见报道。本研究拟以新疆沙冬青在我国所有分布区的种群为研究对象，通过静态生命表、存活曲线、生存函数曲线及时间序列模型分析，旨在揭示新疆沙冬青的种群年龄结构及数量动态特征，为这一珍稀濒危植物资源的保育和复壮提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于新疆乌恰县境内，地理坐标为 39°28'~39°49'N，74°54'~75°35'E，海拔 2 032~2 434 m。乌恰县属于典型的温带干旱区，年均气温为 7.3 ℃，极端最高和最低气温分别为 34.7 ℃和-29.9 ℃。该地区年均日照时间达 2 797.2 h，无霜期为 135 d，全年平均降水量为 172 mm<sup>[20]</sup>。研究区土壤类型主要为砾质棕漠土。调查样方的植被类型是荒漠群落，主要植物种有刺旋花 (*Convolvulus tragacanthoides* Turcz.)、木蓼 (*Atraphaxis frutescens* (L.) K. Koch)、中麻黄 (*Ephedra intermedia* Schrenk ex C. A. Mey.) 和膜果麻黄 (*E. przewalskii* Stapf) 等。

### 1.2 野外调查

在乌恰县新疆沙冬青分布区域设置 12 个 10 m×10 m 的样方，统计样方内新疆沙冬青数量，测量其株高、冠幅与盖度，记录坡向和土壤类型，用 GPS 定位样方的经度、纬度和海拔（表 1）。

表 1 12 个样方的地理分布  
Table 1 Geographical information of 12 community plots of *Ammopiptanthus nanus*

样方号 No. of plot	纬度 Latitude	经度 Longitude	海拔 Altitude / m	坡向 Aspect
1	39°48'N	75°18'E	2 395	东
2	39°48'N	75°18'E	2 395	东
3	39°48'N	75°18'E	2 405	西北
4	39°49'N	75°18'E	2 434	西
5	39°39'N	75°01'E	2 066	西
6	39°39'N	75°01'E	2 060	西
7	39°28'N	74°54'E	2 395	西
8	39°28'N	74°54'E	2 395	东
9	39°28'N	74°54'E	2 393	东北
10	39°28'N	74°54'E	2 393	西南
11	39°49'N	75°35'E	2 032	东北
12	39°49'N	75°35'E	2 032	东南

### 1.3 种群年龄结构图的绘制

荒漠灌木因为基部的萌发枝较多, 年龄差异主要体现在灌丛冠幅上<sup>[21]</sup>。据此, 可以用冠幅估计种群龄级<sup>[22]</sup>。通过实地调查分析, 并参考尉秋实等<sup>[23]</sup>对同属植物蒙古沙冬青的年龄结构划分标准, 以 10 cm 为 1 个幅度级, 将新疆沙冬青分为以下 18 个龄级。Ⅰ级: 冠幅 < 10 cm, Ⅱ级: 10 cm ≤ 冠幅 < 20 cm, 以此类推, XVⅢ级: 冠幅 ≥ 170 cm。冠幅 < 10 cm 的为幼苗, 10 cm ≤ 冠幅 < 20 cm 的为幼龄级, 20 cm ≤ 冠幅 < 60 cm 为成年龄级, 冠幅 ≥ 60 cm 的为老龄级。使用 SPSS 26.0 软件对原始数据进行分析, 采用 Origin 2022 和 Excel 2021 软件绘制年龄结构图。

### 1.4 种群静态生命表编制和生存曲线绘制

种群静态生命表编制参考杨彪等<sup>[24]</sup>和赵鹏等<sup>[25]</sup>的方法, 龄级的划分同 1.3 部分所述。在种群静态生命表中, 为防止编制中可能出现死亡率为负的情况, 本文参考江洪<sup>[26]</sup>的方法对数据  $a_x$  进行匀滑处理,  $a_x$  为匀滑修正后的存活数。

本文分别以龄级  $x$  和标准化存活数的自然对数  $\ln l_x$  为横、纵坐标绘制存活曲线。采用指数方程  $N_x = N_0 e^{-bx}$  和幂指数函数方程  $N_x = N_0 x^{-b}$  对种群的存活曲线进行检验, 分别描述 Deevey-Ⅱ型、Deevey-Ⅲ型存活曲线<sup>[27]</sup>。式中,  $N_x$ 、 $N_0$  分别代表  $x$  龄级内存活数和种群形成初期的个体数,  $b$  为死亡率。

为了阐明新疆沙冬青的生存规律, 采用种群生存率函数  $S_{(t)}$ 、累计死亡率函数  $F_{(t)}$ 、死亡率密度函数  $f_{(t)}$  和危险率函数  $\lambda_{(t)}$  进行分析<sup>[24]</sup>, 计算公式如下:

$$S_{(t)} = S_1 \times S_2 \times \cdots \times S_i \quad (1)$$

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

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

$$\lambda_{(t)} = \frac{2(1 - S_i)}{h_i(1 + S_i)} \quad (4)$$

式中,  $S_i$  为存活率,  $h_i$  为龄级宽度。

### 1.5 种群动态的时间序列预测模型

时间序列分析在预测濒危植物的种群动态方面具有较高的准确性以及可靠性<sup>[25, 28]</sup>。本文采用一次移动平均法预测新疆沙冬青种群的年龄结构, 计算公式如下:

$$M_t^{(1)} = \frac{1}{n} \sum_{k=t-n+1}^t X_k \quad (5)$$

式中,  $n$  为需要预测的时间,  $t$  为龄级,  $X_k$  为  $k$  龄级内的个体数量,  $M_t^{(1)}$  表示经过未来  $n$  个龄级时间后  $t$  龄级的种群大小。

## 2 结果与分析

### 2.1 种群年龄结构

由图 1、2 可以看出, 在样方 2、3、5~12 中, 老龄级为优势龄级, 占比分别为: 30.4%、50.0%、50.0%、36.4%、71.4%、87.5%、88.3%、77.8%、33.6%、55.6%、100%。样方 1 中, 幼龄级为优势龄级, 占比 44.4%; 样方 4 中, 成年龄级为优势龄级, 占比 60.6%, 呈明显的纺锤形。总体来看, 老龄级的植株较多, 占总株数的 48.1%, 幼苗、幼龄级的植株较少, 分别占总株数的 7.0% 和 15.0%, 新疆沙冬青种群总体年龄结构呈倒金字塔型。依据调查样方, 种群年龄结构大体上表现为衰退型。

### 2.2 种群静态生命表和生存曲线

新疆沙冬青种群  $l_x$  随龄级增大而减少, 其中第Ⅱ到第Ⅲ龄级降幅最大。 $q_x$  在第Ⅰ龄级到第Ⅲ龄级先增大后减小, 第Ⅲ龄级后随着龄级的增加逐渐上升, 第 XVⅢ龄级的  $q_x$  最高, 为 0.50;  $K_x$  的变化趋势与  $q_x$  一致。 $e_x$  在第Ⅰ龄级到第Ⅲ龄级先减小后增大, 第Ⅲ龄级后随着龄级的增加逐渐下降, 第 XVⅢ龄级时,  $e_x$  降至 0.50 (表 2)。种群静态生命表显示, 种群从幼龄级到成年龄级的过渡阶段出现断崖式衰减; 进入成年龄级后, 随龄级的增大, 种群对资源的利用效率逐渐下降。

采用指数函数模型和幂函数模型对种群存活曲线的类型进行相关性检验, 其拟合模型为: 指数函数模型  $N_x = 7.434e^{-0.029x}$  ( $R^2 = 0.845$ ,  $F = 87.491$ ,  $P < 0.001$ ); 幂函数模型  $N_x = 7.894x^{-0.168}$  ( $R^2 = 0.621$ ,  $F = 26.266$ ,  $P < 0.001$ )。模型检验结果表明, 指数函数模型的结果达到了极显著水平。指数函数模型的  $R^2$  值比幂函数模型的  $R^2$  大, 说明指数函数模型拟合最优, 且种群存活曲线近似于一条对角线 (图 3), 因此, 新疆沙冬青种群存活曲线更趋近于 Deevey-Ⅱ型, 总体死亡率较稳定。

从第Ⅰ到第Ⅱ龄级, 新疆沙冬青的生存率曲

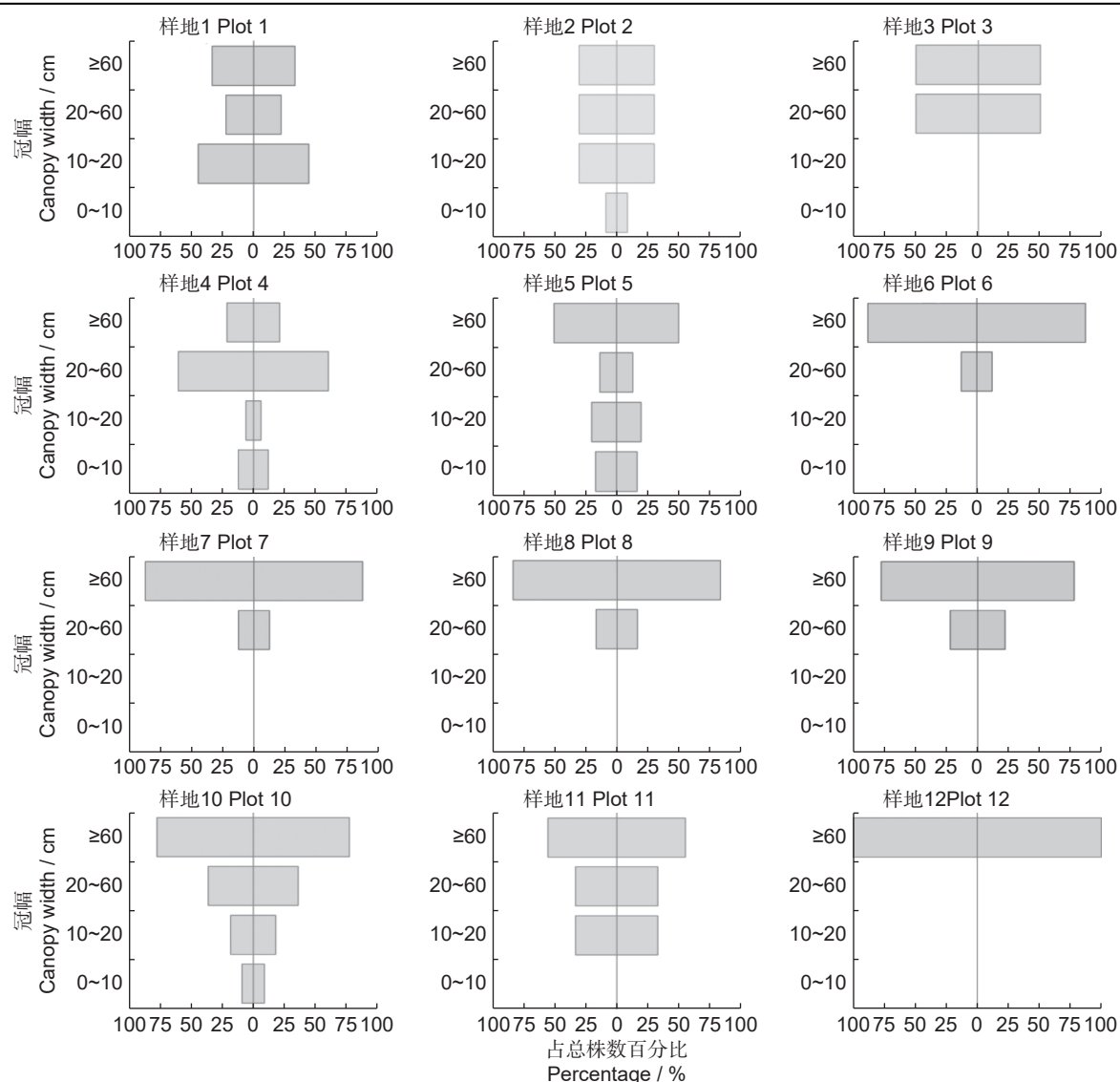


图1 不同样方的新疆沙冬青种群年龄结构

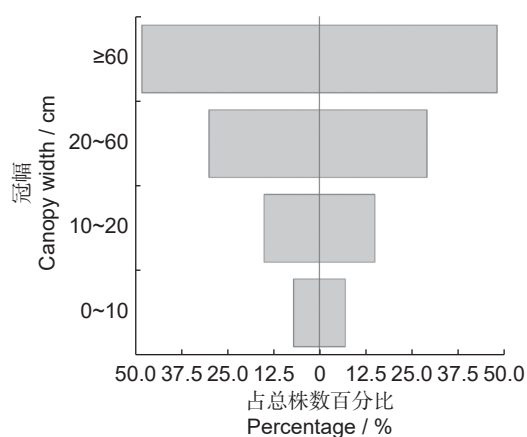
Fig. 1 Age structure of *Ammopiptanthus nanus* populations in different plots

图2 新疆沙冬青种群总体年龄结构

Fig. 2 Overall age structure of *Ammopiptanthus nanus* populations

线急剧下降,第Ⅱ到第Ⅲ龄级迅速上升,然后到第Ⅺ龄级缓慢下降,第Ⅺ龄级后迅速下降。累计死亡率曲线从第Ⅰ到第Ⅱ龄级急剧上升,第Ⅱ到第Ⅲ龄级迅速下降,第Ⅲ到第Ⅺ龄级缓慢上升,第Ⅺ龄级后迅速上升。死亡密度曲线和危险率曲线的趋势与累计死亡率曲线的趋势相同(图4)。种群生存函数曲线表明种群趋势具有前期锐减、中期稳定、后期衰退的特点。

### 2.3 种群数量动态的时间序列预测

从图5可以看出,新疆沙冬青个体数量的峰值在预测序列中依次向后推移。随着时间的推移,幼苗和幼龄株数急剧减少。两个龄级时间后,由于现有幼龄个体的储备,成年龄级个体逐渐

表 2 新疆沙冬青静态生命表  
Table 2 Static life table of *Ammopiptanthus nanus* populations

龄级 Age class	冠幅 Canopy width / cm	$a_x$	$a'_x$	$l_x$	$\ln l_x$	$d_x$	$L_x$	$T_x$	$q_x$	$e_x$	$K_x$
I	0~10	13	28	1 000	6.91	36	982	6 679	0.04	6.68	0.04
II	10~20	28	27	964	6.87	357	786	5 697	0.37	5.91	0.46
III	20~30	17	17	607	6.41	36	589	4 911	0.06	8.09	0.06
IV	30~40	7	16	571	6.35	36	554	4 322	0.06	7.56	0.06
V	40~50	17	15	536	6.28	36	518	3 768	0.07	7.03	0.07
VI	50~60	15	14	500	6.21	36	482	3 250	0.07	6.50	0.07
VII	60~70	12	13	464	6.14	36	446	2 768	0.08	5.96	0.08
VIII	70~80	12	12	429	6.06	36	411	2 322	0.08	5.42	0.09
IX	80~90	10	11	393	5.97	36	375	1 911	0.09	4.86	0.10
X	90~100	13	10	357	5.88	36	339	1 536	0.10	4.30	0.11
XI	100~110	10	9	321	5.77	36	304	1 197	0.11	3.72	0.12
XII	110~120	10	8	286	5.65	71	250	893	0.25	3.13	0.29
X III	120~130	5	6	214	5.37	36	196	643	0.17	3.00	0.18
X IV	130~140	6	5	179	5.18	36	161	447	0.20	2.50	0.22
X V	140~150	4	4	143	4.96	36	125	286	0.25	2.00	0.29
X VI	150~160	4	3	107	4.67	36	89	161	0.33	1.50	0.41
X VII	160~170	3	2	71	4.27	36	54	72	0.50	1.00	0.69
X VIII	≥170	1	1	36	3.58	-	18	18	-	0.50	-

注： $a_x$  为相应龄级的个体数； $a'_x$  为平滑处理后的个体数； $l_x$  为  $x$  龄级标准化存活个体数， $l_x=a_x/a_0\times 1\ 000$ ； $d_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级间标准化的死亡数， $d_x=l_x-l_{x+1}$ ； $q_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级间的个体死亡率， $q_x=d_x/l_x$ ； $L_x$  为从  $x$  到  $x+1$  龄级的平均存活个体数， $L_x=(l_x+l_{x+1})/2$ ； $T_x$  为大于等于  $x$  龄级的各龄级存活数， $T_x=\sum_{x+1}^{\infty} L_x$ ； $e_x$  为  $x$  龄级平均期望寿命， $e_x=T_x/l_x$ ； $K_x$  为致死率， $K_x=\ln(l_x)-\ln(l_{x+1})$ 。

Notes:  $a_x$  represents the number of individuals of corresponding age class;  $a'_x$  represents the number of individuals after smoothing;  $l_x$  is the number of standardized surviving individuals of  $x$  age class,  $l_x=a_x/a_0\times 1\ 000$ ;  $d_x$  represents the standardized death number from  $x$  age class to  $x+1$ ,  $d_x=l_x-l_{x+1}$ ;  $q_x$  represents the mortality rates from  $x$  age class to  $x+1$ ,  $q_x=d_x/l_x$ ;  $L_x$  represents the average number of surviving individuals from  $x$  age class to  $x+1$ ,  $L_x=(l_x+l_{x+1})/2$ ;  $T_x$  is the number of survivors of all ages greater than or equal to the  $x$  age class,  $T_x=\sum_{x+1}^{\infty} L_x$ ;  $e_x$  represents the average life expectancy of the  $x$  age class,  $e_x=T_x/l_x$ ;  $K_x$  represents the death rate,  $K_x=\ln(l_x)-\ln(l_{x+1})$ .

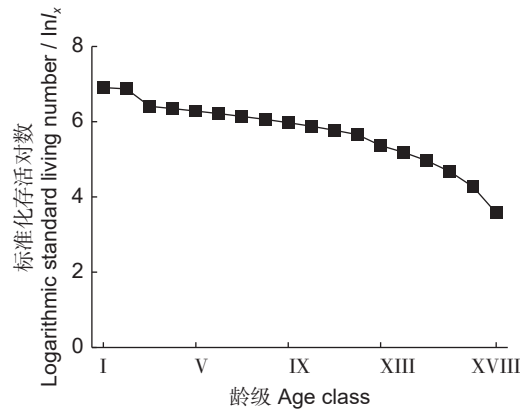
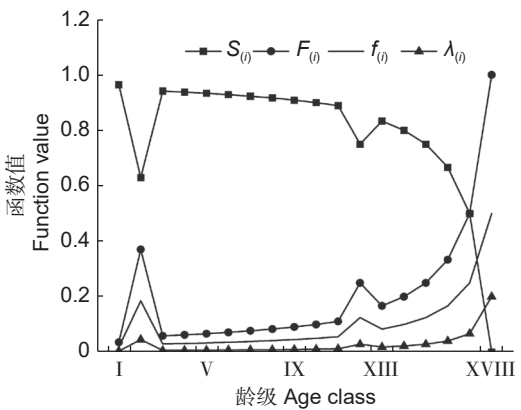


图 3 新疆沙冬青种群存活曲线  
Fig. 3 Survival curve of *Ammopiptanthus nanus* populations

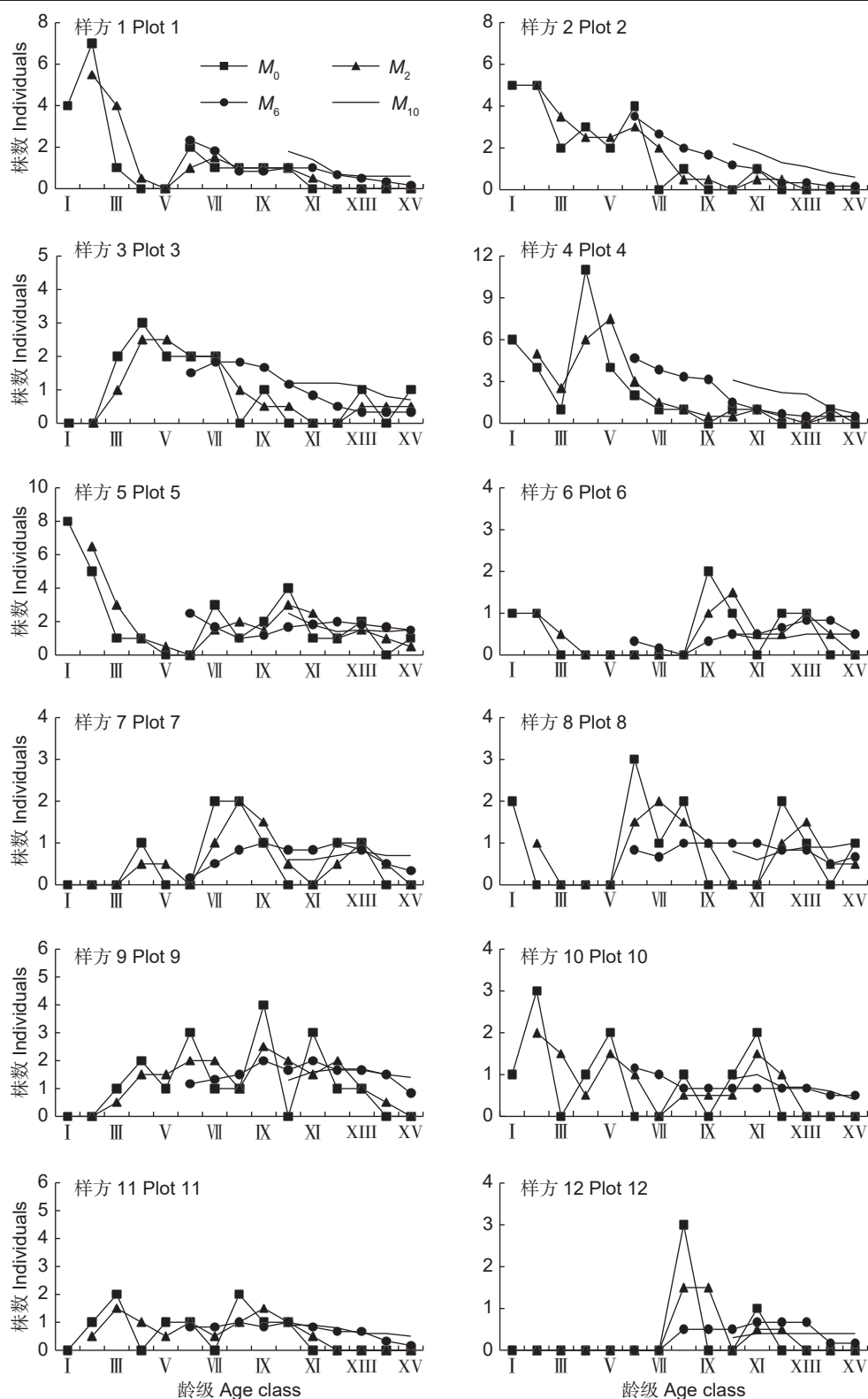
增多。6 个龄级时间后，由于缺乏植株积累，种群各龄级的个体数量逐渐减少，最终种群呈衰退趋势。



$S_0$ : 生存率函数;  $F_0$ : 累积死亡率函数;  $f_0$ : 死亡密度;  $\lambda_0$ : 危险率函数。  
 $S_0$ : Survival rate function;  $F_0$ : Cumulative mortality rate function;  $f_0$ : Mortality density rate function;  $\lambda_0$ : Hazard rate function.

图 4 新疆沙冬青种群生存函数曲线  
Fig. 4 Survival function curves of *Ammopiptanthus nanus* populations





$M_0$ : 各龄级现有株数;  $M_2$ : 各龄级在未来 2 个龄级时间后的株数;  $M_6$ : 各龄级在未来 6 个龄级时间后的株数;  $M_{10}$ : 各龄级在未来 10 个龄级时间后的株数。

$M_0$ : Number of individuals in each age group;  $M_2$ : Number of individuals in each age class after the next two age classes;  $M_6$ : Number of individuals in each age class after the next six age classes;  $M_{10}$ : Number of individuals in each age class after the next 10 age classes.

图 5 新疆沙冬青种群动态的时间序列分析

Fig. 5 Time series analysis of population dynamics of *Ammopiptanthus nanus*

### 3 讨论

#### 3.1 种群年龄结构

龄级划分结果表明,新疆沙冬青种群整体的年龄结构呈衰退型,这可能与幼龄植株不足,成年植株难以建成有关。种群幼龄植株不足,成年植株自然建成困难是荒漠珍稀濒危植物更新困难的常见原因<sup>[29]</sup>。新疆沙冬青种子种皮厚、硬实率高,种子坚硬不易吸水发芽。在实验室使用浓硫酸浸泡 10~30 min 的条件下,才能破除种子表面的蜡质,打破其休眠状态<sup>[15]</sup>。在自然条件下,新疆沙冬青种子的萌发需要充足的水分浸润种皮,而生境往往干旱少雨,使得自然条件下的种子萌发需要适宜的时机,萌发率概率低。再者,新疆沙冬青种子较大且重、形状扁平、表面光滑,不易被动物或者风力传播,种子大多聚集在母株周围,种群大多在原生境演替更迭,种群扩散受到抑制<sup>[21]</sup>。综上所述,新疆沙冬青种子的萌发与传播特性是导致种群自然更新困难的重要内因。严酷的生境条件、病虫害、放牧干扰则是种群更新困难的重要外因。实地调查发现,未衰退型的样方主要分布在水源较多的地区,如山前冲积扇或沿季节水径流方向条状分布。乌恰县属温带干旱气候区,春季降水量少且不规律<sup>[20]</sup>。这就导致种子依靠早春积雪融水成功萌发后,幼苗很容易因为缺乏水分的及时补充而死亡。此外,新疆沙冬青幼苗的胚根和胚轴组织较为脆弱,春季极端的气温变化以及其他突发天气事件都可能造成胚根和胚轴组织的腐烂或畸形<sup>[30]</sup>,进而导致幼苗死亡,难以自然建成。我们前期的实验结果也证明,室内培养条件下成功萌发的新疆沙冬青幼苗的存活率仍然很低,其胚根和胚轴组织很容易畸形、腐烂,造成幼苗死亡。实地调查中还发现,新疆沙冬青种子的虫蛀率高,种子平均虫蛀率达 33%,其中样方 12 的虫蛀率最高,为 60%。在样方中还发现了大量以豆荚斑螟为代表的害虫,表明种子虫蛀率高是新疆沙冬青繁殖困难的重要原因,这与潘伯荣等<sup>[31, 32]</sup>的研究结果一致。此外,由于新疆沙冬青分布区域靠近牧民放牧区域,牲畜踩踏、啃食也会导致幼苗自然建成极为困难,使种群呈现衰退趋势<sup>[31]</sup>。因此,采取有效的保护措施来增加种群幼苗数量,提高幼龄级到成年龄级过渡阶段的存活率,对于

新疆沙冬青的种群生存至关重要。

幼龄植株的数量和存活率,即使在未呈现衰退趋势的样方中,也同样非常重要。样方 1 和 4 是仅有的两个未呈现衰退趋势的样方,这可能是因为样方 1 本身虫害率较低,种子质量好,且该样方分布于河谷周围,附近干涸河床上有大量种子被冲刷的痕迹,流水冲刷可以破坏种皮<sup>[28]</sup>,促进种子的萌发,从而使得该样方中的幼龄个体比例较高,种群呈增长趋势。而样方 4 位于坡顶,周围没有发现放牧痕迹,生境保存较好,幼龄个体得以存活、发展,这为种群提供了充足的后备植株资源,使得该样方的种群较为稳定。这些发现为如何保护、复壮新疆沙冬青种群提供了启示。

#### 3.2 种群数量动态趋势

生存函数曲线和时间序列模型均表明,新疆沙冬青种群数量具有前期锐减、中期稳定、后期衰退的趋势。这种趋势特点可能与其不同龄级植株面临的生存压力有关。由于种子虫害率高、萌发率低、不易传播,使得新疆沙冬青种群自然萌发的幼苗数量少。此外,由于生境恶劣、动物踩踏、啃食等外部因素的影响,幼苗生长环境恶劣,导致幼龄期植株数量基数少,使得幼龄级到成年龄级过渡阶段出现断崖式衰减;进入成年龄级以后,与幼龄期相比,其个体数较少,对环境的适应能力更强,对不良环境的抵抗力也更强<sup>[33]</sup>,因此维持在一个相对稳定的状态;后期则随着植株进入生理死亡年龄,没有足够的植株补充,种群逐渐衰退<sup>[34]</sup>。种群时间序列预测也显示,经历未来 6~10 个龄级时间后,种群会呈现衰退趋势。如果不及时进行人工干预和抚育,新疆沙冬青种群未来的灭绝风险很高。新疆沙冬青种群的演替趋势与蒙古沙冬青<sup>[23]</sup>、雅砻江冬麻豆 (*Salweenia bouffordiana* H. Sun, Zhi M. Li & J. P. Yue)<sup>[24]</sup> 等其他濒危植物一致,这可能也是狭域分布濒危植物天然种群的最终发展结局<sup>[29]</sup>。

#### 3.3 种群保育措施建议

新疆沙冬青在野外的现存数量目前仅为几百株,分布在乌恰县的 4 个乡镇中,且调查发现 83.3% 的样方都呈现衰退趋势,这意味着种群灭绝风险很高。目前,新疆沙冬青的生境仍在遭受人为破坏,适宜种群繁殖的吾合沙鲁乡山前河谷已经被建造为水库。因此,对新疆沙冬青种群进行人工抚育和干预已迫在眉睫。首先,应该加强

现有种群保护, 严禁滥砍、过度放牧等破坏行为。其次, 应结合不同年龄阶段植株的生存特点对种群进行专项保护。针对当前种群幼苗匮乏, 可以收集活力高的种子, 建立种质资源圃, 并进行人工大量培育幼苗。针对成年植株自然建成困难, 可以将种质资源圃培育的植株培养至成年, 再移植到现有的原生种群中, 以扩大种群规模。同时, 在乌恰县内选择适合新疆沙冬青生存的区域, 通过移栽种质资源圃培养的成年植株, 并播种收集到的种子, 构建新的新疆沙冬青种群。最后, 应从生物防治学的角度对虫害率高的地区进行治理, 以降低种子虫害率, 提高种群的更新能力。

## 4 结论

新疆沙冬青种群的老龄个体占比较高, 种群年龄结构为衰退型; 种群存活曲线趋近于 Deevey-II 型, 种群总体死亡率较稳定; 种群趋势具有前期锐减、中期稳定、后期衰退的特点。当前新疆沙冬青种群幼苗数量少, 幼龄级到成年级过渡阶段的存活率低, 具有较高的灭绝风险, 因此亟需对新疆沙冬青种群进行人工抚育和干预。

## 参考文献:

- [1] Li W, Zhang GF. Population structure and spatial pattern of the endemic and endangered subtropical tree *Parrotia subaequalis* (Hamamelidaceae) [J]. *Flora*, 2015, 212: 10–18.
- [2] Zhang QY, Zhang XX, Liang ZX, Farooq A, Luo JR, et al. Population dynamics of the endangered plant *Paeonia qiui* (Paeoniaceae) [J]. *Pak J Bot*, 2020, 52 (4): 1353–1359.
- [3] 牛翠娟, 姜安如, 孙儒泳, 李庆芬. 基础生态学 [M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 2015: 150–151.
- [4] Chhetri PK, Bista R, Cairns DM. Population structure and dynamics of *Abies spectabilis* at treeline ecotone of Barun Valley, Makalu Barun National Park, Nepal [J]. *Acta Ecol Sin*, 2016, 36 (4): 269–274.
- [5] 刘建泉, 罗永寿, 吕海元. 不同封育季节放牧干扰对青海云杉种群结构和动态的影响 [J]. 草业科学, 2012, 29 (6): 983–988.  
Liu JQ, Luo YS, Lü HY. Structure and dynamics of *Picea crassifolia* populations with graze disturbance in different seasons of enclosed forest [J]. *Pratacultural Science*, 2012, 29 (6): 983–988.
- [6] Yuan GY, Guo QQ, Xie N, Zhang YQ, Luo SQ, et al. Population dynamics and protection strategies of *Litsea coreana* Levl. var. *sinensis* with Guizhou Province in China as an example [J]. *J Mt Sci*, 2023, 20 (4): 1090–1101.
- [7] Feng L, Li N, Yang W, Li Y, Wang CM, et al. Analyses of mitochondrial genomes of the genus *Ammopiptanthus* provide new insights into the evolution of legume plants [J]. *Plant Syst Evol*, 2019, 305 (5): 385–399.
- [8] 段义忠, 张凯. 沙冬青属植物叶绿体基因组对比和系统发育分析 [J]. 西北植物学报, 2020, 40 (8): 1323–1332.  
Duan YZ, Zhang K. Comparative analysis and phylogenetic evolution of the complete chloroplast genome of *Ammopiptanthus* [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2020, 40 (8): 1323–1332.
- [9] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第 42 卷, 第 2 分册 [M]. 北京: 科学出版社, 1998: 395–397.
- [10] 郝文芳, 周禧琳, 王海珍, 刘艳萍. 濒危植物小沙冬青研究进展 [J]. 植物科学学报, 2019, 37 (1): 109–115.  
Hao WF, Zhou XL, Wang HZ, Liu YP. Research progress on rare and endangered plant *Ammopiptanthus nanus* [J]. *Plant Science Journal*, 2019, 37 (1): 109–115.
- [11] Ji TF, Li J, Liang CH. The chemical constituents of the twigs of *Ammopiptanthus nanus* [J]. *J Asian Nat Prod Res*, 2013, 15 (4): 332–336.
- [12] Wei HH, Wu P, Ge XJ, Liu MF, Wei XY. Chemical constituents of the seeds of *Ammopiptanthus* (Leguminosae) and their systematic and ecological significance [J]. *Biochem Syst Ecol*, 2007, 35 (5): 274–280.
- [13] 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, 1991: 370–371.
- [14] 尹林克. 新疆珍稀濒危特有高等植物 [M]. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2006: 66.
- [15] 杨期和, 葛学军, 叶万辉, 邓雄, 廖富林. 矮沙冬青种子特性和萌发影响因素的研究 [J]. 植物生态学报, 2004, 28 (5): 651–656.  
Yang QH, Ge XJ, Ye WH, Deng X, Liao FL. Characteristics of *Ammopiptanthus nanus* seed and factors affecting its germination [J]. *Acta Phytocologica Sinica*, 2004, 28 (5): 651–656.
- [16] 高志海, 刘生龙, 仲述军, 王理德. 矮沙冬青引种栽培试验研究 [J]. 甘肃林业科技, 1995, 20 (1): 28–31, 34.  
Gao ZH, Liu SL, Zhong SJ, Wang LD. Experiments on introduction and culture of *Ammopiptanthus nanus* [J]. *Journal of Gansu Forestry Science and Technology*, 1995, 20 (1): 28–31, 34.
- [17] 李新蓉, 谭敦炎. 新疆沙冬青 (*Ammopiptanthus nanus*) 的开花物候与环境的关系 [J]. 中国沙漠, 2007, 27 (4): 572–578.  
Li XR, Tan DY. Relationships between flowering phenology of *Ammopiptanthus nanus* (Fabaceae) and its environment [J]. *Journal of Desert Research*, 2007, 27 (4): 572–578.
- [18] Cheng YS, Bai LP, Zhang L, Chen G, Fan JG, et al. Identification and characterization of *AnICE1* and *AnCBFs* involved in cold tolerance from *Ammopiptanthus nanus* [J].



- Plant Physiol Biochem*, 2021, 168: 70–82.
- [19] Li AR, Ma M, Li HT, He SF, Wang SG. Genetic diversity and population differentiation of a Chinese endangered plant *Ammopiptanthus nanus* (M. Pop.) Cheng f.[J]. *Genes*, 2023, 14 (5): 1020.
- [20] 杨鹏鹏. 乌恰县近 60 年气象要素变化分析 [J]. *西北水电*, 2018 (6): 13–16.  
Yang PP. Analysis on meteorological factor variation in recent 60 years in Wuqia County[J]. *Northwest Hydropower*, 2018 (6): 13–16.
- [21] 靳虎甲, 王继和, 马全林. 乌兰布和沙漠沙冬青种群结构和空间分布 [J]. *西北植物学报*, 2010, 30 (11): 2300–2306.  
Jin HJ, Wang JH, Ma QL. Size structure and distribution pattern of *Ammopiptanthus mongolicus* population in Ulanbuh desert[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2010, 30 (11): 2300–2306.
- [22] 刘虎俊, 尉秋实, 王继和, 廖空太, 马瑞, 等. 甘肃北碛山沙冬青种群的空间分布格局 [J]. *干旱区研究*, 2009, 26 (6): 865–871.  
Liu HJ, Wei QS, Wang JH, Liao KT, Ma R, et al. Spatial distribution patterns of the population of *Ammopiptanthus mongolicus* in the Beiza Mountain, China[J]. *Arid Zone Research*, 2009, 26 (6): 865–871.
- [23] 尉秋实, 王继和, 李昌龙, 庄光辉, 陈善科. 不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究 [J]. *植物生态学报*, 2005, 29 (4): 591–598.  
Wei QS, Wang JH, Li CL, Zhuang GH, Chen SK. A preliminary study on the distribution patterns and characteristics of *Ammopiptanthus mongolicus* populations in different desert environments[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2005, 29 (4): 591–598.
- [24] 杨彪, 张全建, 龚旭, 段晨松, 张远彬. 雅砻江冬麻豆 (*Salweenia bouffordiana*) 种群结构与动态特征 [J]. *生态学报*, 2020, 40 (4): 1184–1194.  
Yang B, Zhang QJ, Gong X, Duan CS, Zhang YB. Population structure and dynamic characteristics of *Salweenia bouffordiana*[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40 (4): 1184–1194.
- [25] 赵鹏, 徐先英, 张裕年, 段晓峰, 邱晓娜, 等. 民勤绿洲荒漠过渡带人工梭梭种群年龄结构及动态 [J]. *生态学报*, 2023, 43 (14): 6069–6079.  
Zhao P, Xu XY, Zhang YN, Duan XF, Qiu XN, et al. Age structure and its dynamics of artificial *Haloxylon ammodendron* population in Minqin oasis-desert ecotone[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2023, 43 (14): 6069–6079.
- [26] 江洪. 云杉种群生态学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 8–30.
- [27] Hett JM, Loucks OL. Age structure models of balsam fir and eastern hemlock[J]. *J Ecol*, 1976, 64 (3): 1029–1044.
- [28] 王世彤, 李玲丽, 徐耀粘, 谷志容, 王业清, 等. 极小种群野生植物长果安息香种群结构与动态特征 [J]. *植物科学学报*, 2022, 40 (5): 627–636.  
Wang ST, Li LL, Xu YZ, Gu ZR, Wang YQ, et al. Population structure and dynamic characteristics of extremely small populations of *Changiostyrax dolichocarpa* C. J. Qi[J]. *Plant Science Journal*, 2022, 40 (5): 627–636.
- [29] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析 [J]. *生态学报*, 2002, 22 (9): 1512–1520.  
Zhang WH, Zu YG, Liu GB. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22 (9): 1512–1520.
- [30] 何恒斌, 郝玉光, 丁琼, 贾桂霞. 沙冬青植物群落特征及其根瘤多样性研究 [J]. *北京林业大学学报*, 2006, 28 (4): 123–128.  
He HB, Hao YG, Ding Q, Jia GX. Characteristics of plant community of *Ammopiptanthus mongolicus* and the diversity of its nodules[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2006, 28 (4): 123–128.
- [31] 潘伯荣, 余其立, 严成. 新疆沙冬青生态环境及渐危原因的研究 [J]. *植物生态学与地植物学学报*, 1992, 16 (3): 276–282.  
Pan BR, Yu QL, Yan C. Study for the ecological environment and vulnerable reasons of the *Ammopiptanthus nanus*[J]. *Acta Phytoecologica et Geobotanica Sinica*, 1992, 16 (3): 276–282.
- [32] 潘伯荣, 谢静霞, 段士民. 新疆沙冬青果实虫蚀对其自然繁衍的影响 [C]//第二届中国甘草学术研讨会暨第二届新疆植物资源开发、利用与保护学术研讨会论文集摘要集. 石河子: 中国植物学会, 2004: 112.
- [33] 黄冬柳, 梁士楚, 姜勇. 桂林岩溶石山青冈种群数量动态 [J]. *生态学杂志*, 2019, 38 (3): 663–671.  
Huang DL, Liang SC, Jiang Y. Quantitative dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population in Guilin karst mountainous areas[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2019, 38 (3): 663–671.
- [34] 吉也, 曹孟岩, 白楚锋, 金林琦, 李畅, 李萍. 峨眉山杪椴种群结构与动态特征 [J]. *西北植物学报*, 2019, 39 (3): 543–551.  
Ji Y, Cao MY, Bai CF, Jin LQ, Li C, Li P. Population structure and dynamics of *Alsophila spinulosa* in Mount Emei[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2019, 39 (3): 543–551.

(责任编辑: 李惠英)