

新疆天山野果林准噶尔山楂种群 结构与动态分析

杨 蕾, 吕海英*, 李 进, 马 雪, 艾克拜尔·依米提

(新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室, 干旱区植物逆境生物学重点实验室, 新疆师范大学 生命科学学院, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 为了明确准噶尔山楂(*Crataegus songarica* K. Koch)种群的结构特征和动态规律, 该研究在新疆伊犁霍城县大西沟境内的天山野果林带东端设置 5.25 hm² 大样地, 对准噶尔山楂种群进行逐木调查, 采用匀滑技术编制种群静态生命表, 绘制存活曲线以及死亡率、消失率曲线, 对 4 个生存函数进行生存分析, 并根据种群动态量化和时间序列模型预测种群数量动态。结果显示: (1) 天山野果林带东端的准噶尔山楂种群 I 龄级占总体数量的 65.5%, II 龄级数量出现骤减, 仅占总体数量的 6.5%, 研究区内准噶尔山楂种群总体表现为增长型年龄结构, 趋于 Deevy-II 型存活曲线。(2) 研究区内准噶尔山楂种群的死亡率和消失率曲线变化基本一致, 共有 4 个死亡高峰, 分别在 I 龄级、VI 龄级、IX 龄级和 XII 龄级, 最高峰出现在 I 龄级幼苗时期, 死亡率高达 89.9%。(3) 4 个生存函数曲线表现出前期锐减、中期稳定、后期衰退的特点, 同时在时间序列分析中, 随着时间推移, 种群未来老龄个体逐渐增多, 老化趋势较为明显。研究认为, 准噶尔山楂种群现阶段的生长呈增长趋势, 但种群的长期稳定维持存在困难, 建议适当补充幼苗、幼株, 减少对成年树的砍伐破坏, 从而为种群的保育和恢复提供保障。

关键词: 准噶尔山楂; 种群结构; 生存分析; 种群动态分析

中图分类号: Q948.11; Q948.15⁺4 **文献标志码:** A

Structure and Dynamic Analysis of *Crataegus songarica* K. Koch Population in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

YANG Lei, LÜ Haiying*, LI Jin, MA Xue, AKBAR Yimit

(Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, Key Laboratory of Plant Stress Biology in Arid Land, College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: In order to understand the structure of the population and analyze its current survival situation, we conducted this investigation in the field survey data with a total area of 5.25 hm² in the east end of Tianshan wild fruit forest in Yili of *Crataegus songarica* K. Koch populations, and static the life table of population by smoothing out technique, drawing the survival curve, mortality and disappearance rate curve parameters, and the survival analysis of 4 survival functions, using the population dynamic quantization and time series prediction analysis of population dynamics. The results showed that: (1) in the east end of Tianshan wild fruit forest, the middle and old age individuals in *C. songarica* population were less, namely the class I of individuals accounted for 65.5% and the class II dropped quickly to 6.5%. Therefore, the

收稿日期: 2018-09-16; 修改稿收到日期: 2018-11-09

基金项目: 新疆师范大学“十三五”校级重点学科生物学招标课题(17SDKD0204); 国家自然科学基金(31560058); 新疆师范大学硕士研究生科研创新项目(XSY201702012)

作者简介: 杨 蕾(1994-), 女, 硕士研究生, 主要从事资源植物研究。E-mail: 34459721@qq.com

* 通信作者: 吕海英, 副教授, 硕士生导师, 主要从事植物生态研究。E-mail: lhyxj@163.com

population structure belongs to the growth type and the survival curve of *C. songarica* populations tended to be Deevey- II type in the research area; (2) The changes in the mortality and disappearance rate curves are basically the same in the research area, with a total of 4 death peaks at the class I, class VI, class IX and class XIII, respectively. And the highest peak occurred at the class I, being 89.9%; (3) The results of the 4 survival function curves showed that the population of *C. songarica* had the characteristics of early decline, medium-term stability, post recession early, and the time series analysis showed that the old class population would increase in the future. Research shows that the growth of *C. songarica* urgently needed to supplement seedlings or young individuals and to prohibit felling adult individuals so as to provide guarantee for the conservation and recovery of *C. songarica* population.

Key words: *Crataegus songarica*; population structure; survival analysis; population quantitative dynamics

种群结构分析是植物生态学研究的核心问题之一^[1-2],它能够反映出种群的数量动态、未来发展趋势以及种群与环境之间的相互关系^[3-4]。大多数研究在种群数量统计中通常采用静态生命表,直观地呈现出种群各年龄段实际存活数和死亡数,以生存分析函数进一步阐明种群各生长阶段变化规律和更新策略^[5-6]。时间序列模型可以从不同空间和时间的变化中揭示种群建立与发展的特点,预测种群未来发展趋势^[7]。因此,种群结构与种群动态分析能够为野生濒危植物种群的保护、管理及生态恢复提供重要的理论指导意义。

准噶尔山楂(*Crataegus songarica*)为蔷薇科山楂属光核组唯一一种植物,在中国仅分布于新疆伊犁霍城县大、小西沟、果子沟以及伊宁县吉尔格朗沟等山区,现已被录入中国优先保护物种名录,是国家三级重点保护野生植物、新疆特有珍稀濒危植物^[8-9]。在新疆天山野果林中丰富的植被资源,是多种栽培果树的野生种质起源地,其中准噶尔山楂具有较高的营养价值与药用价值^[10-13],可用作栽培果树的砧木和育种材料,利用价值极高。此外,准噶尔山楂作为天山野果林的主要组成树种之一,对于当地的水土保持、生态系统稳定以及中亚天山野果林生物多样性的保护研究具有重要意义^[14-15]。但根据调查显示天山野果林的实际现存总面积相比 50 年前缩减近 30%^[16],在恶劣的气候变化加之大量的人为干扰下,多种野生植物资源数量缩减,实际面积逐年递减。而鉴于天山野果林生态系统的特殊性和重要性,对天然分布范围极为狭小的准噶尔山楂进行系统地种群调查显得尤为重要,研究中从年龄结构、静态生命表和生存分析等方面对准噶尔山楂种群结构特征进行分析,并结合时间序列预测种群未来发展趋势,为准噶尔山楂种群的合理开发与管理采取保护措施,并为生态系统恢复提供重要的理论指导^[14,17]。

1 研究区概况

研究区位于新疆伊犁霍城县大西沟境内,地处天山野果林带最东端 81°31'~80°40'E,40°30'~44°35'N,为温带湿润型气候,太阳年辐射总量在 5 600~5 800 MJ/m²,年日照时数 3 150 h,年均降雨量约 500 mm 左右,冬季处于逆温层内,逆温层分布海拔上限可达 1 700~2 300 m,最大的逆温强度为 0.4 °C/100 m^[18]。大西沟地处山地草原带的深切峡谷,是伊犁谷地中最为温和、适宜和赋有“海洋性”气候特色的地段^[19-20],主要生长着喜温暖湿润的落叶阔叶树种,多以混交林存在^[18,20]。其中与准噶尔山楂种群伴生的落叶阔叶乔木包括有野生櫻桃李(*Prunus divaricata*)、野山杏(*Armeniaca vulgaris*)、新疆野苹果(*Malus sieversii*)等,树下灌木主要有野蔷薇(*Rosa multiflora*)、黑果悬钩(*Rubus caesius*)、截萼忍冬(*Lonicera altmannii*)、天山櫻桃(*Cerasus tianschanica* Pojark.)、异果小檗(*Berberis heteropoda*)等,草本植物主要有小飞蓬(*Erigeron canadensis*)、大羊茅(*Festuca gigantea*)、荨麻(*Urtica fissa*)、短柄草(*Brachypodium sylvaticum*)、短距凤仙花(*Impatiens brachycentra*)、水金凤(*Impatiens noli-tangere*)等。

2 研究方法

2.1 野外调查方法

2016 年和 2017 年 7 月分别在霍城县大西沟境内进行 2 次野外实际踏查,通过采用典型样地法,选取准噶尔山楂种群分布集中且林分保持较为良好的地段设置 21 个 50 m×50 m 大样方,共计面积 5.25 hm²,样地设置如图 1 所示。对样方内准噶尔山楂植株进行逐木测量,利用卷尺、游标卡尺等测量工具统计植株胸径(DBH≥2 cm)、树高、冠幅、枝下高以及幼苗(DBH<2 cm)基径、株高、个体数,并通过 GPS

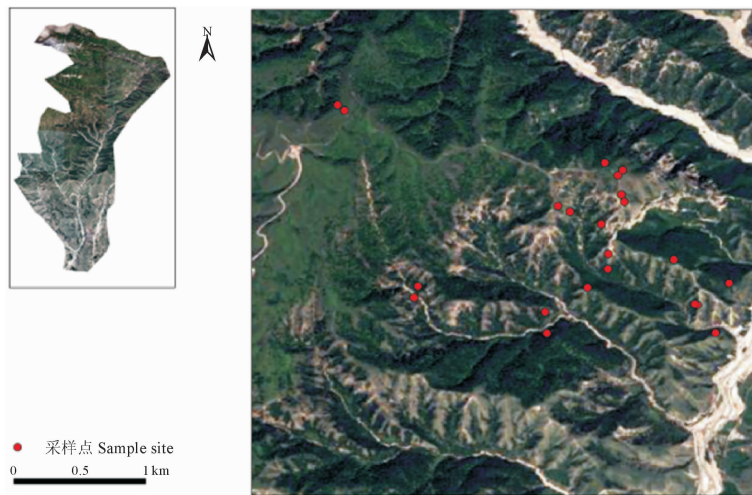


图1 新疆天山野果林准噶尔山楂种群采样点示意图

Fig.1 The population samples of *Crataegus songarica* populations of Tianshan Wild Fruit Forest in Xinjiang

记录样地的海拔、坡度等生境特征。

2.2 种群径级划分和静态生命表编制

根据 2015 至 2018 年期间实验室盆栽试验结果,发现 2 年生实生幼苗最大基径不超过 1 cm,进而参考其他径级划分方法^[21],结合野外实际数据,将准噶尔山楂种群共划分为 13 个胸径级,小于 2 cm 为第 1 径级,2~5 cm 为第 2 径级,5~8 cm 为第 3 径级,依此类推,胸径大于 35 cm 全部归为最大级,即第 13 径级。运用“空间代替时间”的方法确定准噶尔山楂种群年龄结构,相应径级对应相应龄级,如第 1 径级对应 I 龄级^[19]。其中 I 龄级为幼苗(DBH=0~2 cm),II~III 龄级为幼树(DBH=2~8 cm),III~VIII 龄级为成体树(DBH=8~20 cm),VIII 龄级后的为老龄阶段(DBH>20 cm)。

准噶尔山楂种群静态生命表的参数值: x 为龄级; a_x 表示在 x 龄级内现有个体数; a_x' 为匀滑修正后在 x 龄级内的现有个体数; l_x 表示在 x 龄级开始时标准化存活个体数(以 1 000 为基数), $l_x = (a_x/a_0) \times 1\ 000$; d_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡个体数, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间的死亡率, $q_x = d_x/l_x$; L_x 为从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; T_x 是从 x 龄级到超过 x 龄级的总个体数, $T_x = \sum L_x$; e_x 是进入 x 龄级个体的期望寿命, $e_x = T_x/l_x$; K_x 是消失率, $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。在编制种群静态生命表过程中,各径级个体数量相差较大使生命表中出现死亡率为负值的情况,这不能够满足编制静态生命表的前提条件,对此本实验对准噶尔山楂种群的调查数据采用了匀滑技术处理^[22-23]。

2.3 种群年龄结构的数量变化动态(V_{pi})分析

根据准噶尔山楂种群静态生命表中的数据,采用陈晓德^[24]的量化方法定量描述准噶尔山楂数量种群动态变化。具体方法如下:

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

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

式中: V_n 表示种群从 n 到 $n+1$ 级的个体数量变化动态, V_{pi} 表示整个种群结构的数量变化动态指数, S_n 、 S_{n+1} 分别表示第 n 、 $n+1$ 年龄级种群个体数。

当考虑外部干扰时:

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

$$P_{极大} = \frac{1}{K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_K)}$$

式中: K 表示种群年龄级数量, V_{pi} 与 V_n 为正、零、负值的意义分别反映相邻年龄级个体数量或整个种群增长、稳定、衰退的结构动态关系。 P 为种群对外界干扰所承担风险的概率,只有当 P 值为最大时才对种群动态 V_{pi} 构成最大影响。

2.4 生存分析

在准噶尔山楂种群生命表的基础上,引入生存分析中的生存率函数(S_i)、累计死亡率函数(F_i)、死亡密度函数(f_i)以及危险率函数(λ_i)其公式如下^[25-26]:

$$S_i = P_1 \times P_2 \times P_3 \cdots P_i (P_i \text{ 为存活率})$$

$$F_i = 1 - S_i$$

$$f_i = (S_{i-1} - S_i) / h \quad (h \text{ 为龄级宽度})$$

$$\lambda_i = 2q_i / h_i (1 + P_i) \quad (q_i \text{ 为死亡率})$$

根据以上 4 个函数的估算值绘制生存率曲线、积累死亡率曲线、死亡密度曲线和危险率曲线。

2.5 种群动态的时间序列预测模型

选用一次性移动平均法对准噶尔山楂种群的龄级结构进行模拟和预测^[27-28]。

$$M_t = \frac{1}{n} \sum_{K=t-n+1}^t X_K$$

式中: n 表示需要预测的未来时间年限, M_t 表示未来 n 年 t 龄级的种群大小, X_K 为当前 K 龄级的种群大小。本研究分别对 2 年、4 年、6 年、8 年以及 10 年年龄级时间后准噶尔山楂种群数量进行时间序列预测。

3 结果与分析

3.1 静态生命表分析

将所有样地个体存活数经匀滑修正后得到 a_x' , 据此编制准噶尔山楂种群静态生命表(表 1)。由表

1 可以看出, 在 5.25 hm^2 的大面积调查中, 准噶尔山楂种群共计 1 926 株, 最大径级为 13, 对应最大 DBH 为 35.03 cm, 其中 I 龄级个体达 1 262 株, 具备丰富的幼苗数量, III 龄级至 VI 龄级各龄级数量在 90 株左右, 从 VII 龄级开始各龄级数量均不足 50 株, 整体数量偏少; II ~ IV 龄级准噶尔山楂种群处于生理活动旺盛期, III 龄级的 e_x 达到最大值 4.952, 从 IX 龄级开始 e_x 值逐渐递减、死亡率升高, XII 龄级死亡率高达 0.778, 除了与准噶尔山楂自身生理特性有关外, 种群所经历的较强环境压力 ($K_x = 1.505$) 以及种群自疏效应共同影响着种群的数量分布。

3.2 年龄结构分析

以龄级为横坐标, 以静态生命表中各龄级存活株数 (a_x) 的百分比为纵坐标, 绘制准噶尔山楂种群年龄结构图。由图 2 可以看出, 准噶尔山楂种群各径级植株数量随径级的增加而逐渐减少, 第 1 径级个体数量最多, 占总数的 65.5%, 随后在第 2 径级数量发生骤减, 总比例降至 6.5%; 种群内成体植株的各径级数量偏少, 第 3 ~ 8 径级共占总数的 22.2%; 从第 8 径级之后, 准噶尔山楂种群数量开始

表 1 新疆天山野果林准噶尔山楂种群的静态生命表

Table 1 Static life table of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

x	胸径 DBH/cm	a_x	a_x'	l_x	$\ln l_x$	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x
I	0~2	1 262	1 262	1 000	6.908	899	0.899	550	1 024	1.024	2.296
II	2~5	127	127	101	4.611	23	0.228	89	474	4.707	0.259
III	5~8	98	98	78	4.352	2	0.026	76	385	4.952	0.031
IV	8~11	86	95	75	4.321	2	0.032	74	308	4.092	0.032
V	11~14	99	92	73	4.289	2	0.027	72	234	3.209	0.033
VI	14~17	94	89	71	4.256	31	0.438	55	162	2.301	0.577
VII	17~20	50	50	40	3.679	8	0.200	36	107	2.705	0.223
VIII	20~23	40	40	32	3.456	8	0.250	28	0	0.000	0.288
IX	23~26	30	30	24	3.168	11	0.467	18	44	1.842	0.629
X	26~29	16	16	13	2.540	2	0.188	11	26	2.016	0.208
XI	29~32	13	13	10	2.332	3	0.308	9	14	1.366	0.368
XII	32~35	9	9	7	1.965	6	0.778	4	5	0.751	1.505
XIII	35~38	2	2	2	0.460	—	—	1	1	0.631	0.460

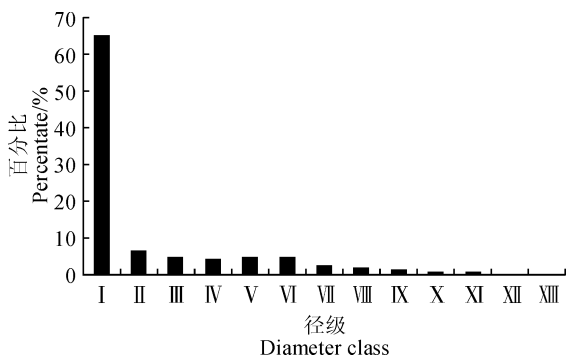
注: x 为龄级; a_x 表示在 x 龄级内现有个体数; a_x' 为匀滑修正后在 x 龄级内的现有个体数; l_x 表示在 x 龄级开始时标准化存活个体数(以 1 000 为基数), $l_x = (a_x/a_0) \times 1 000$; d_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡个体数, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x 是从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间的死亡率, $q_x = d_x/l_x$; L_x 为从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1})/2$; T_x 是从 x 龄级到超过 x 龄级的总个体数, $T_x = \sum L_x$; e_x 是进入 x 龄级个体的期望寿命, $e_x = T_x/l_x$; K_x 是消失率, $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$

Note: x . Age class; a_x . Number of survival individuals in age x ; a_x' . Number of survival individuals after smoothing amend in age x ; l_x . Proportion individuals surviving from the beginning to age x ; d_x . Number of dead individuals from age x to $x+1$; q_x . Mortality rate from x to $x+1$; L_x . Mean number of survival individuals from x to $x+1$; T_x . Total number of survival individuals from x to $x+1$; e_x . Life expectancy at age x ; K_x . Age specific mortality

持续下降,进入老龄化阶段。准噶尔山楂种群总体表现为幼龄个体居多,中龄、老龄个体逐级递减的倒“J”型分布,属于增长型年龄结构。

3.3 存活曲线分析

存活曲线能够直观反映出种群个体在各年龄级的存活状况,据此本研究将准噶尔山楂种群原始数据整理绘制存活曲线(图3),将准噶尔山楂种群存活曲线与经典存活曲线相对照,对比结果显示该种群幼年阶段死亡率极高,存活曲线介于 Deevey-II 和 III 型之间。为进一步确定准噶尔山楂种群存活曲线类型,本研究根据数学模型检验估算,用指数方程式: $N_x = N_0 e^{-bx}$ 描述 Deevey-II 型存活曲线,以幂函数式: $N_x = N_0 x^{-b}$ 描述 Deevey-III 型存活曲线^[31]。模型检验(表2)结果显示,准噶尔山楂种群模型的 F



I ~ XIII. 径级(代替龄级); DBH. 胸径; I. DBH=2 cm; II. 2 cm<DBH<5 cm; III. 5 cm<DBH<8 cm; 依此类推, XIII. DBH>35 cm。下同

图2 新疆天山野果林准噶尔山楂种群的年龄结构
I ~ XIII. Diameter class(Replace age class); DBH. Diameter at breast height; I. DBH=2 cm; II. 2 cm<DBH<5 cm; III. 5 cm<DBH<8 cm; and so on; XIII. DBH>35 cm.
The same as below

Fig. 2 Age class structure of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

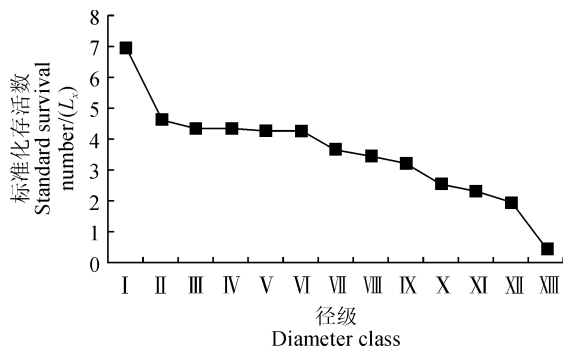


图3 新疆天山野果林准噶尔山楂种群的存活曲线
Fig. 3 Survival curve of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

检验值和判定系数 R^2 值中指数函数均大于幂函数,因此推定准噶尔山楂种群存活曲线表现为 Deevey-II。

3.4 死亡率与消失率曲线分析

从图4可以看出,准噶尔山楂种群的死亡率(q_x)与消失率(K_x)曲线变化趋势相似。波动中共出现4个高峰,其中I龄级出现最大值,死亡率为0.899、消失率为2.296;在III龄级出现最低谷,消失率为0.031,与种群期望寿命结果相对应;在其生活史中剩下3次环境筛的强烈筛选分别出现在VI龄级、IX龄级以及XII龄级,其所对应的死亡率依次为0.438、0.467、0.778,随着龄级的增加,种群表现为环境选择压力与高死亡率相对应的生长规律。

3.5 种群数量动态分析

基于种群动态量化分析方法对准噶尔山楂种群相邻大、小径级间个体数量变化的动态指数进行分析,分析结果(表3)表明:种群中IV龄级植株数较少,没有足够的个体向V龄级转换, V_4 动态量值为负值,两相邻龄级之间呈现衰退的结构动态关系。整体种群年龄结构的动态指数 $V_{pi} = 0.66\%$, 大于0,表明种群呈增长型;在考虑到种群受到外界环境

表2 新疆天山野果林准噶尔山楂种群存活曲线的检验
Table 2 Test models of survival curves of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

拟合方程 Fitting equation	R^2	F	Sig.
$y = 8.216e^{-0.141x}$	0.678	23.140	0.001
$y = 8.926x^{-0.642}$	0.502	11.105	0.007

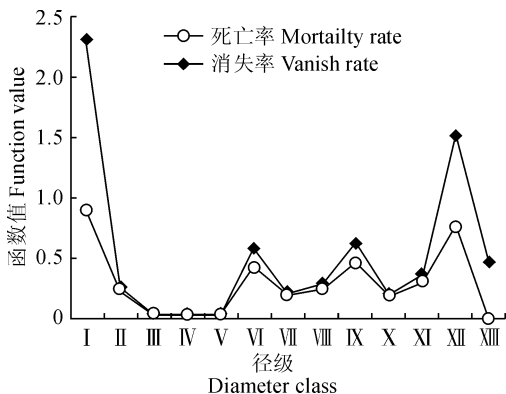


图4 新疆天山野果林准噶尔山楂种群的死亡率与消失率曲线

Fig. 4 Curves of mortality and disappear rates of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

表 3 新疆天山野果林准噶尔山楂种群的年龄结构动态指数

Table 3 Dynamic index of population size struction of *C. songarica* in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

龄级 Age class	种群动态指数级 Population dynamic level	动态指数值 Dynamic index/%
I	V_1	89.94
II	V_2	22.83
III	V_3	12.24
IV	V_4	-13.13
V	V_5	5.05
VI	V_6	46.81
VII	V_7	20.00
VIII	V_8	25.00
IX	V_9	46.67
X	V_{10}	18.75
XI	V_{11}	30.77
XII	V_{12}	77.78
	V_{pi}	0.66
	V'_{pi}	0.03

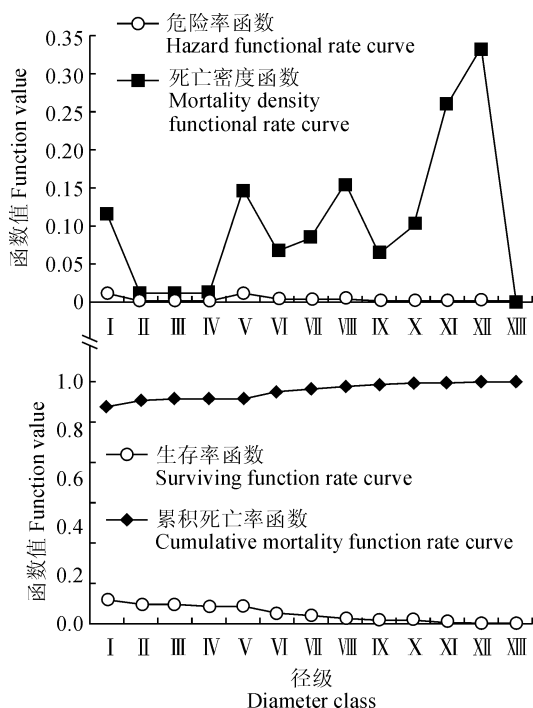
干扰的情形下 $V'_{pi} = 0.03\%$, 数值趋近于 0。种群结构对随机干扰的敏感指数 $P = 0.038$, 随机干扰风险极大值, 说明在现阶段里, 低龄级的大量个体数在一段时间内能够稳定维持种群发展, 但在较高的外界干扰影响下, 长期稳定增长受限。

3.6 生存分析

在准噶尔山楂种群的 4 个生存函数分析中分别与径级相对应的龄级作为横坐标, 以 4 个函数值为纵坐标作图(图 5)。生存率函数曲线呈单调下降, 相应的积累死亡率曲线前期小幅增加, 后期趋于平稳, 在特定龄级上生存率和死亡率两者互补, 这说明准噶尔山楂种群在进入成熟期后, 种群趋于稳定, 但生存数量偏少; 危险率函数曲线呈现单调递增的波动性变化, 中后段龄级危险率随着龄级的增加而增大, 与死亡率、消失率曲线变化趋势基本一致。因此, 综合分析得出准噶尔山楂种群表现为前期减少、中期稳定、后期衰退的特点, 与种群静态生命表、存活曲线、死亡率、消失率曲线结果相一致。

3.7 时间序列预测分析

采用一次移动平均法对准噶尔山楂的种群径级结构进行模拟和预测, 其结果(表 4)可以看出, 在经历未来 2、4、6、8、10 龄级的时间之后, 总体上准噶尔山楂种群各径级数量在预测序列中依次向后推移。2 年后, 准噶尔山楂种群幼树比例占 62.3%, 成体树占 30.76%, 老龄树占 6.94%, 4 年后, 成体树数量

图 5 新疆天山野果林准噶尔山楂种群生存率函数 S_i 、累积死亡率函数 F_i 、死亡密度函数 f_i 、危险率函数 λ_i Fig. 5 Curves of survival rate (S_i), accumulated mortality rate function (F_i), deadly density rate function (f_i), risk rate function (λ_i) of *C. songarica* populations in Tianshan

Wild Fruit Forest of Xinjiang

增长最多, 占比例 84.14%; 6 年后, 成体树数量开始下降, 老龄树比例占 30.85%; 8 年后老龄树数量达到 53.97%, 与现在数量相比增长了 50.34%; 同时在 10 年后准噶尔山楂剩余量仅为 353 株, 剩余率为 18.33%。由此可见, 尽管现有准噶尔山楂种群幼苗储量较丰富, 但极高的死亡率和环境筛选强度, 使种群的补充量不足, 种群整体老龄个体数量呈现增长趋势。

4 讨论

在野生濒危植物种群的研究中年龄结构可以直观地反映出种群现存状态、数量动态特征, 以及与环境之间的相互关系^[29]。从年龄结构来看准噶尔山楂种群呈倒“J”型分布, 属于增长型年龄结构, 幼苗数量丰富, 成体植株数量偏少, 在这种情况下种群现阶段的稳定维持较为乐观, 但由于准噶尔山楂种群幼苗在 I 龄级中高达 89.9% 的死亡率, 加之生物因素与非生物因素的双重影响, 使种群在未来的发展中数量始终无法得到保障。然而, 植物幼苗阶段作为种群更新过程中最重要和敏感的阶段, 幼苗的数

表 4 新疆天山野果林准噶尔山楂种群数量动态时间序列预测

Table 4 Time sequence prediction of *C. songarica* populations in Tianshan Wild Fruit Forest of Xinjiang

龄级 Age class	原始数据 Primary date	M_2	M_4	M_6	M_8	M_{10}
I	1 262					
II	127					
III	98	113				
IV	86	92				
V	99	93	103			
VI	94	97	94			
VII	50	72	82	92		
VIII	40	45	71	78		
IX	30	35	54	67	78	
X	16	23	34	55	64	
XI	13	15	25	41	54	65
XII	9	11	17	26	44	54
XIII	2	6	10	18	32	44

注:一次移动平均; M_2 、 M_4 、 M_6 、 M_8 、 M_{10} 分别表示对经历 2、4、6、8 和 10 年年龄级时间后准噶尔山楂种群的数量预测

Note:Single moving average; M_2 , M_4 , M_6 , M_8 , M_{10} represent the predicted number of *C. songarica* population through 2, 4, 6, 8, 10 size class time, respectively

量变化能够反映种群的动态特征和未来发展趋势^[30]。在调查中发现,准噶尔山楂种群的幼苗多聚集分布在母树树冠之下及其周围,虽然幼苗数量丰富,但发育转换生成的幼树偏少,随着幼苗的继续生长,个体间对养分、水分以及光照的争夺愈加强烈,而小环境中高大树木和草本植物的遮蔽,使光环境的异质性不断变化,幼苗在较高的郁闭度下无法充分接受光照。当不能满足幼苗生长所需的临界点时,负密度制约效应加强,种群死亡率开始升高。从 II 龄级到 V 龄级,准噶尔山楂种群个体的死亡率明显较低,这表明个体在该区间竞争压力小,自疏作用较弱。这也可能是由于准噶尔山楂种群幼树密度较低,环境容纳量能够兼容现有种群规模。V 龄级之后,准噶尔山楂种群生活史再次经历 3 个死亡高峰,分别在 VI 龄级、IX 龄级以及 XII 龄级。这个可能是由于准噶尔山楂种群生长于特殊的山区地理位置与人为破坏,使得严重的洪水冲击、水土流失现象加剧了成体树、老龄树的毁坏程度。调查结果也发现,主干折断和整株倒伏是导致大部分准噶尔山楂种群成体死亡的直接原因,其中倒木现象比例更大。

存活曲线能够直观反映出生命表中种群个体在各年龄级的存活状况^[31]。本研究中准噶尔山楂种群的存活曲线均趋于 Deevey-II 型,在 II 型中 B_1 亚

型种群的各时期成活量相差较大; B_2 亚型种群的各个年龄的死亡率基本相同,呈标准的对角线型; B_3 亚型种群幼年时期的死亡率较高,而成年后的死亡率则有所降低^[32]。准噶尔山楂种群属于 Deevey-II 型的 B_3 亚型,这与同属于天山野果林重要组成树种的霍城县新疆野生樱桃李种群^[19]、巩留县新疆野核桃种群^[33]以及新源县新疆野苹果^[16]种群存活曲线研究结果相似,这表明在伊犁地区天山野果林的野生果树资源趋同效应较为明显。而在田润炜等^[34]的研究中,塔城地区天山野果林的新疆野苹果种群存活曲线为 Deevey-I 型,各龄级的死亡率相近,种群幼苗个体较少,总体表现为衰退型种群。这与伊犁地区野生植物存活曲线存在差异,但在天山野果林大环境背景下,共同反映出不同地区不同树种之间均存在种源缺乏、人为干扰超负荷的更新危机。在实地调查中,准噶尔山楂种群林下牛、羊牲畜啃食幼苗的现象极为严重,在这种没有及时和足够的幼龄个体补充的前提下,准噶尔山楂种群趋于衰退的风险升高。另外,从生存分析来看,准噶尔山楂种群总体危险率函数曲线呈现一定波动性,波动过程中前期锐减,中期稳定,后期衰退,与刘忠权等^[35]对新疆野苹果研究中前期衰退、中期相对稳定、后期不波动的生存分析特点相似,加之准噶尔山楂种群总体

外部干扰指数(0.03%)接近于零,极易受外界环境影响,在未来发展中种群仍然表现出一定的不稳定性^[36]。因此,结合准噶尔山楂种群自身的生物条件和环境条件,对人为干扰较大的准噶尔山楂种群分布区,进行实施禁牧及围封育林措施,为野生濒危植物准噶尔山楂种群的生长发育创造条件,促进种群良好的更新和维持。

时间序列预测分析具有较高的准确性,在准噶尔山楂种群时间序列分析中种群各径级株数在预测序列中依次向后推移,老龄个体逐渐增多,与甘肃省裸果木(*Gymnocarpus przewalskii*)种群^[37]、海南省野生荔枝(*Litchi chinensis*)种群^[38]的时间序列预测结果相似。种群极易受到人为干扰的影响,种群幼苗存活率极低的“瓶颈”现象,不仅与准噶尔山楂种群自身的更新机制有关,更重要的是生存环境遭受破坏的影响。近年来当地大力开发旅游业,每年9月挂果期间福寿山景区日游客量可达2 000人次,景区开设的野果采摘等旅游特色对准噶尔山楂果实造成严重破坏性,这种生境破坏和人为砍伐造成准噶尔山楂种群结构发生变化,种群的生存受到极大

的威胁,导致准噶尔山楂种群更新能力不足,受损群体难以复壮和扩展。

在研究区中,自然地质灾害、过度放牧啃食以及不合理的生态旅游开发等都是准噶尔山楂种群发展不稳定的重要影响因素。天山野果林中准噶尔山楂具有较强的抗寒、抗旱性以及耐贫瘠特性,是山楂育种的重要种质资源,且根据调查显示,现阶段准噶尔山楂种群仅分布于大、小西沟、果子沟以及吉尔格朗沟等山区,与前人研究中巩留县、新源县均有分布的研究结果不相符^[39],极小的分布范围与极少的种群数量,急需对准噶尔山楂种群进行有效的保护和利用。因此,针对准噶尔山楂种群生存现状,提出以下2点保护建议:(1)对于准噶尔山楂幼苗、幼树采用适当人工抚育,促进其种群的天然更新,对缓坡准噶尔山楂植株,进行林下杂灌清除,对陡坡准噶尔山楂采用点状采伐,确保林下光线和营养有效分配,有利种群天然更新;(2)加强当地生境的保护,减少人为采摘、严禁放牧,逐步提升准噶尔山楂种群的自然恢复能力,为天山野果林野生植被资源的长期稳定发展提供有力保障。

参考文献:

- [1] 江 洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 18-401.
- [2] GUREVITCH J, SCHEINER SM, FOX GA. The Ecology of Plants[M]. Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA, 2002.
- [3] MASAKI, TAKASHI, TAKAYUKI OTA, et al. Structure and dynamics of tree populations within unsuccessful conifer plantations near the Shirakami Mountains, a snowy region of Japan[J]. *Forest Ecology and Management*, 2004, **194**(1-3): 389-401.
- [4] 党海山, 张燕君, 张克荣, 等. 秦岭巴山冷杉(*Abies fargesii*)种群结构与动态[J]. 生态学杂志, 2009, **28**(8): 1 456-1 461. DANG H S, ZHANG Y J, ZHANG K R, et al. Population structure and its dynamics of *Abies fargesii* in Qinling Mountains[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, **28**(8): 1 456-1 461.
- [5] SVENSSON, JOHAN S., JOHN K. JEGLUM. Structure and dynamics of an undisturbed old-growth Norway spruce forest on the rising Bothnian coastline[J]. *Forest Ecology and Management*, 2001, **151**(1-3): 67-69.
- [6] 鞠文彬, 高信芬, 包维楷. 画稿溪国家级自然保护区珍稀植物桫欏种群结构与更新[J]. 植物科学学报, 2014, **32**(2): 113-121. JU W B, GAO X F, BAO W K. Population structure and regeneration of the endangered tree fern *Alsophila spinulosa* in Huagaoxi National Nature Reserve, Southwestern China[J]. *Plant Science Journal*, 2014, **32**(2): 113-121.
- [7] 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, (3): 333-336. WU C Z, HONG W, XIE J S, et al. Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, (3): 333-336.
- [8] 王 磊, 许 正, 晁 海, 等. 新疆霍城县大、小西沟野果林种子植物组成及资源[J]. 干旱区研究, 2006, (3): 446-452. WANG L, XU Z, CHAO H, et al. Analysis on the composition and resources of seed plants in wild-fruit forests in the Large Xigou and Small Xigou Valleys in Huocheng County, Xinjiang[J]. *Arid Zone Research*, 2006, (3): 446-452.
- [9] 王 磊, 许 正, 廖 康, 等. 新疆野生櫻桃李的生态—生物学研究 I. 生态因子与植物学、物候学特性分析[J]. 新疆农业科学, 2006, (2): 87-95. WANG L, XU Z, LIAO K, et al. Study on Ecology-Biology of wild cherry plum (*Prunus divaricate*) in Xinjiang I. The analysis on ecology factors with characters of botanic, phynology, distribution[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2006, (2): 87-95.
- [10] 张 侠, 李 进, 吕海英, 等. 准噶尔山楂种壳、种皮、种胚特性与种子休眠的关系[J]. 植物生理学报, 2014, **50**(6): 867-874.

- ZHANG X, LI J, LÜ H Y, *et al.* Relationship between characteristic of *Crataegus songorica* Husk, seed coat, embryo and seed dormancy[J]. *Plant Physiology Journal*, 2014, **50**(6): 867-874.
- [11] 张 玉, 李 进, 吕海英, 等. 响应面试验优化新疆野生准噶尔山楂残渣中多糖纯化工艺[J]. *食品科学*, 2015, **36**(12): 22-28.
- ZHANG Y, LI J, LÜ H Y, *et al.* Optimization of purification process for crude polysaccharides from the pomace of wild *Crataegus songorica* in Xinjiang by Response Surface Methodology [J]. *Food Science*, 2015, **36**(12): 22-28.
- [12] 吕海英, 周露露, 李 进, 等. 准噶尔山楂果实色素提取工艺研究[J]. *安徽农学通报(上半月刊)*, 2011, **17**(9): 25-27.
- LÜ H Y, ZHOU L L, LI J, *et al.* The studies on extracting technology of pigments from *Crataegus songorica* K. Koch. [J]. *Anhui Agri. Sci. Bull.*, 2011, **17**(9): 25-27.
- [13] 任艳利, 张相锋, 赵 玉. 超声波提取准噶尔山楂中的熊果酸与抗氧化研究[J]. *安徽农学通报(上半月刊)*, 2012, **18**(1): 46-48.
- REN Y L, ZHANG X F, ZHAO Y. The studies on the ultrasonic extraction of ursolic acid from *Crataegus songorica* K. Koch. and anti-oxidation property [J]. *Anhui Agri. Sci. Bull.*, 2012, **18**(1): 46-48.
- [14] 李利平, 海 鹰, 唐志尧, 等. 新疆伊犁地区野果林的群落特征及保护[J]. *干旱区研究*, 2011, **28**(1): 60-66.
- LI L P, HAI Y, TANG Z Y, *et al.* Community structure and conservation of wild fruit forests in the Ili Valley, Xinjiang [J]. *Arid Zone Research*, 2011, **28**(1): 60-66.
- [15] 盛 芳, 陈淑英, 田 嘉, 等. 新疆准噶尔山楂不同居群的遗传多样性[J]. *生物多样性*, 2017, **25**(5): 518-530.
- SHENG F, CHEN S Y, TIAN J, *et al.* Genetic diversity of *Crataegus songorica* in Xinjiang [J]. *Biodiversity Science*, 2017, **25**(5): 518-530.
- [16] 马 闯, 杨美玲, 张云秀, 等. 新疆野苹果(*Malus sieversii*) 种群年龄结构及其动态特征[J]. *干旱区研究*, 2018, **35**(1): 156-164.
- MA C, YANG M L, ZHANG Y X, *et al.* Age composition and dynamic characteristics of the main populations of endangered *Malus sieversii* [J]. *Arid Zone Research*, 2018, **35**(1): 156-164.
- [17] 吴俊侠, 张希明, 李 利, 等. 塔里木河干流中游胡杨种群特征与动态分析[J]. *干旱区研究*, 2010, **27**(2): 242-248.
- WU J X, ZHANG X M, LI L, *et al.* Characteristic and dynamics analysis of *Populus euphratica* populations at the middle reaches of the Tarim River [J]. *Arid Zone Research*, 2010, **27**(2): 242-248.
- [18] 张士康, 肖正春, 张卫明, 等. 我国野生櫻桃李的生态学研究[J]. *中国野生植物资源*, 2004, (2): 1-3.
- ZHANG S K, XIAO Z C, ZHANG W M, *et al.* Study on the ecology of *Prunus divaricata* in China [J]. *Chinese Wild Plant Resources*, 2004, (2): 1-3.
- [19] 刘 影, 张相锋, 赵 玉, 等. 新疆濒危野生櫻桃李的种群结构与动态[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(7): 1 762-1 769.
- LIU Y, ZHANG X F, ZHAO Y, *et al.* Population structure and its dynamics of wild *Prunus divaricata* in Xinjiang, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(7): 1 762-1 769.
- [20] 林培均, 崔乃然. 天山野果林资源-伊犁野果林综合研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2000: 22-24.
- [21] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学 [M]. 广州: 广州高等教育出版社, 1992: 18-401.
- [22] 易雪梅, 张 悦, 姬兰柱. 长白山黄檗种群结构[J]. *生态学杂志*, 2013, **32**(9): 2 257-2 262.
- YI X M, ZHANG Y, JI L Z, *et al.* Population structure of *Phellodendron amurense* in Changbai Mountains of Northeast China [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2013, **32**(9): 2 257-2 262.
- [23] 于大炮, 周 莉, 董百丽, 等. 长白山北坡岳桦种群结构及动态分析[J]. *生态学杂志*, 2004, (5): 30-34.
- YU D P, ZHOU L, DONG B L, *et al.* Structure and dynamics of *Betula ermanii* population on the northern slope of Changbai Mountain [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, (5): 30-34.
- [24] 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, (2): 104-107.
- CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, (2): 104-107.
- [25] 杨凤翔, 王顺庆, 徐海根, 等. 生存分析理论及其在研究生命表中的应用[J]. *生态学报*, 1991, (2): 153-158.
- YANG F X, WANG S Q, XU H G, *et al.* The theory of survival analysis and its application to life table [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, (2): 153-158.
- [26] 刘贵峰, 程伟燕, 刘玉平, 等. 大青沟自然保护区主要森林群落优势种的种群结构与动态[J]. *西北植物学报*, 2014, **34**(4): 843-850.
- LIU G F, CHENG W Y, LIU Y P, *et al.* Population structure and dynamics of dominant species of main forest community in Daqinggou Nature Reserves [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2014, **34**(4): 843-850.
- [27] 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, (5): 2 404-2 412.
- SHEN S K, MA H Y, WANG Y H, *et al.* The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excebum* H. T. Chang [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, (5): 2 404-2 412.
- [28] 王青青, 陆亦农, 于瑞德, 等. 准噶尔盆地西南缘艾比湖桦种群年龄结构及动态[J]. *干旱区资源与环境*, 2014, **28**(3): 192-197.
- WANG Q Q, LU Y N, YU R D, *et al.* Age structure and dynamics of Ebinur Lake birch population along the southwest margin of Zhunger Basin [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2014, **28**(3): 192-197.

- [29] MANUEL C, MOLLES J. Ecology, Concept and Applications(2nd edn.)[M]. McGraw-Hill Companies, New York, 2002: 186-254.
- [30] COMITA LS, URIARTE M, THOMPSON J, *et al.* Abiotic and biotic drivers of seedling survival in a hurricane-impacted tropical forest[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 97: 1 346-1 359.
- [31] 张 婕, 上官铁梁, 段毅豪, 等. 灵空山辽东栎种群年龄结构与动态[J]. 应用生态学报, 2014, 25(11): 3 125-3 130.
ZHANG J, SHANGGUAN T L, DUAN Y H, *et al.* Age structure and dynamics of *Quercus wutaishanica* population in Lingkong Mountain of Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014, 25(11): 3 125-3 130.
- [32] 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.
LU J, GUO Q Q, ZHENG W L, *et al.* Population structure and dynamics characteristics of *Pinus densata* in Southeast Tibet[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2013, 49(8): 154-160.
- [33] 张 维, 焦子伟, 任艳利, 等. 新疆野核桃自然保护区不同坡向野核桃种群生命表与波动周期[J]. 西北植物学报, 2015, 35(6): 1 229-1 237.
ZHANG W, JIAO Z W, REN Y L, *et al.* Life table and fluctuation cycle of *Juglans cathayensis* populations and different slope aspects in wild walnut Natural conservation area of Xinjiang, China[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2015, 35(6): 1 229-1 237.
- [34] 田润炜, 蔡新斌, 刘丽燕, 等. 新疆野苹果种群年龄结构特征与动态分析[J]. 西北植物学报, 2016, 36(4): 811-817.
TIAN R W, CAI X B, LIU L Y, *et al.* Characteristics of the age structure and dynamics of *Malus sieversii* population[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2016, 36(4): 811-817.
- [35] 刘忠权, 董合干, 梁巧玲, 等. 孑遗植物新疆野苹果种群生命表与生存分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(10): 98-103.
LIU Z Q, DONG H G, LIANG Q L, *et al.* Life table and survival analysis of relict plant *Malus Sieversii* population [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(10): 98-103.
- [36] 韩 路, 王家强, 王海珍, 等. 塔里木河上游胡杨种群结构与动态[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4 640-4 651.
HAN L, WANG J Q, WANG H Z, *et al.* The population structure and dynamics of *Populus euphratica* at the upper reaches of the Tarim River[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(16): 4 640-4 651.
- [37] 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.
WANG L L, WANG L, ZHANG L F, *et al.* Structure and dynamic characteristics of *Gymnocarpos przewalskii* in different habitats[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2015, 39(10): 980-989.
- [38] 杨莹蓉, 李 丹, 杨小波, 等. 海南省万宁市野生荔枝资源种群特征研究[J]. 西北植物学报, 2016, 36(3): 596-605.
YANG X R, LI D, YANG X B, *et al.* Population characteristics of wild *Litchi chinensis* in Wanning, Hainan Province [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*, 2016, 36(3): 596-605.
- [39] 羊海军, 崔大方, 许 正, 等. 中国天山野果林种子植物组成及资源状况分析[J]. 植物资源与环境学报, 2003, (2): 39-45.
YANG H J, CUI D F, XU Z, *et al.* Analysis on the components and resource situation of seed plants in the wild fruit forest in Tianshan Mountain in China[J]. *Journal of Plant Resources and Environment*, 2003, (2): 39-45.

(编辑:潘新社)