



新疆野苹果种群年龄结构特征与动态分析

田润炜, 蔡新斌*, 刘丽燕, 江晓珩, 布早拉木·吐尔逊,
买尔燕古丽·阿不都热合曼

(新疆林业科学院森林生态研究所, 乌鲁木齐 830063)

摘要: 对新疆塔城地区托里县、额敏县新疆野苹果 (*Malus sieversii*) 种群采用典型抽样法中的样方法进行了群落物种分布与结构调查, 并以空间 (胸径, DBH) 代替时间 (树龄), 利用生存分析理论分析了新疆野苹果种群年龄结构和静态生命表, 绘制了存活曲线; 并应用时间序列模型, 预测了种群的发展趋势。结果表明: (1) 塔城地区新疆野苹果种群的中树 ($20 < \text{DBH} \leq 30$ cm) 个体数较稳定, 幼树 ($\text{DBH} \leq 15$ cm) 个体数较多但不稳定, 大树 ($30 < \text{DBH} \leq 40$ cm) 及老树 ($\text{DBH} > 40$ cm) 由于生理衰老、环境因素及种间竞争的影响, 个体数明显下降。(2) 新疆野苹果种群存活曲线呈现 Deevey-I 型。动态表现为前、中期缓慢增长而且较稳定, 后期衰退。(3) 在未来 10 年、20 年和 30 年中, 2 个种群均呈现幼龄个体减少而老龄个体增加的态势, 老化趋势较为明显。

关键词: 托里县; 额敏县; 新疆野苹果; 年龄结构; 动态分析

中图分类号: Q948.15⁺7

文献标志码:

Characteristics of the Age Structure and Dynamics of *Malus sieversii* Population

TIAN Runwei, CAI Xinbin*, LIU Liyan, JIANG Xiaoheng, BUZAOLAMU · Tursun,
MARYAMGUL Abrahaman

(Xinjiang Academy of Forestry Research Institute of Forest Ecology, Urumqi 830063, China)

Abstract: The wild apple forest of *Malus sieversii* endemic to Toli and Emin Counties, Xinjiang, were surveyed by sampling method of typical sampling methods. Based on the survival analysis, and with space (diameter at breast height, DBH) instead of time (age of tree), we constructed the age structure and static life tables, and drew the curves of survival. With the time series models, the forecast development trend of the population was also predicted. Results showed that: (1) The individual number of the middle level ($20 < \text{DBH} \leq 30$ cm) in *M. sieversii* population was relatively stable. While the individual numbers of saplings ($\text{DBH} \leq 15$ cm) in *M. sieversii* population was many, but was unstable. The big ($30 < \text{DBH} \leq 40$ cm) and old ($\text{DBH} > 40$ cm) trees in *M. sieversii* population were significantly reduced as a result of physiological aging, interspecific competition and environmental factors. (2) The estimated survival curve roughly showed the form of Deevey-I. Dynamic performance prophase and mid-term slow growth, relatively stable, later period recession. (3) Time sequence prediction models for different populations after 10, 20 and 30 years indicated that the number of old individuals would increase and that young individuals would de-

收稿日期: 2016-02-15; 修改稿收到日期: 2016-04-05

基金项目: 第二次新疆重点保护野生植物资源调查 (xjlk2014008); 新疆林业生态系统服务功能监测与评价 (xjlk2013001); 新疆湿地生态系统服务功能监测评估与示范 (xjlk2013009); 新疆第二次湿地资源调查 (xjlk2011008)。

作者简介: 田润炜 (1987—), 硕士, 主要从事野生动植物资源及湿地方面的研究, E-mail: 718451174@qq.com。

* 通信作者: 蔡新斌, 副研究员, 主要从事野生动植物资源及湿地方面的研究。E-mail: 364073696@qq.com。

crease, both 2 populations showed apparently aging tendency.

Key words: Toli County; Emin County; *Malus sieversii*; age structure; dynamics

种群年龄特征是种群数量特征中的重要指标之一,研究植物种群的年龄结构对深入分析种群动态和进行预测预报具有重要价值。植物种群的年龄结构是指不同年龄组的个体在种群内的比例和配置情况^[1]。研究植物种群年龄结构状态,分析其生命表和存活曲线,不仅可了解种群现实状况,还可展现种群与环境抗争的关系^[2],也可对种群的未来发展作出预测,这对濒危植物的保护和利用研究具有重要意义^[3-9]。

新疆野苹果(*Malus sieversii*)为蔷薇科苹果属乔木,第三纪孑遗物种,在中国仅分布于新疆伊犁、塔城等地,被列为中国濒危二级重点保护植物^[10]。目前,国内外对新疆野苹果的研究主要集中在形态学、孢粉学、细胞学及分子学等方面。种群生态学方面冯涛等^[11]对新疆伊犁地区巩留与新疆两地的新疆野苹果居群年龄结构以胸径进行了年龄级划分;刘华等^[12]对天山西部伊犁谷地大莫合沟、小莫合沟和交吾托海沟开展了新疆野苹果群落学调查。有关塔城地区新疆野苹果种群生态学方面的研究,目前尚未见报道。作者对新疆塔城地区托里县和额敏县两地新疆野苹果种群年龄结构特征进行了研究分析,旨在阐明种群年龄结构,分析种群年龄组的分布状况,对种群的未来发展趋势进行预测分析,期望为新疆野苹果种群的保护管理及恢复提供一定的理论依据。

1 研究区概况

新疆野苹果生长于海拔 900~1 930 m 山地的阴坡或半阴坡,只有在温暖、湿润的生态环境条件下才能得以生存、发展和繁衍,具有温带湿润小区的气候特色。在新疆塔城地区主要分布于额敏县塔尔巴盖台山和托里县巴尔鲁克山等地。调查于 2015 年 6 月在托里县老风口林场(83°32′14″~83°34′01″E; 46°09′04″~46°09′05″N)和额敏县玛热勒苏河野苹果保护区(83°57′34″~83°59′57″E; 46°21′57″~46°22′05″N)进行,新疆野苹果于调查区内散生呈带状或团状不连续分布,表现为明显的植物“残遗”分布群落和对地方气候的选择性。

托里县位于塔城地区中西部,地势中间高,边缘低,玛依勒、加依尔、巴尔鲁克山位居县的中部,属大陆性温带半干旱气候,年均气温 5.3℃,年均降水量

为 233.1 mm,年均蒸发量 2 091.7 mm,年均无霜期 146 d,年日照实数为 2 803.5 h。区内野生动物有雪豹(*Panthera uncia* Pococok.)、鹅喉羚(*Cazella subgutturosa*)、北山羊(*Capra ibex*)、盘羊(*Ovis ammon* L.)等 51 种;野生植物有贝母(*Fritillary*)、党参(*Codonopsis pilosula*)、甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)、红花(*Carthamus tinctorius* L.)、新疆野扁桃(*Amygdalus ledebouriana* Schlecht.)等 100 多种。

额敏县位于塔城地区西北部,塔额盆地东部,塔尔巴盖台山位于其北部,属温带大陆性干旱气候,年平均气温 6.5℃,年均降水量 274.3 mm,年均蒸发量 1 939.3 mm,年均无霜期 148 d,全年日照时数 2 833 h。全年盛行东北风,平均风速在 3.1~3.6 m/s 之间。区内野生动物有雪豹、马鹿(*Cervus elaphus* Sevs)、鹅喉羚、北山羊、盘羊、棕熊(*Ursus arctos*)、雪鸡(*Tetraogallus*)、水獭(*Lutra lutra*)、猓猓(*Lynx lynx*)等;野生植物有贝母、甘草、麻黄(*Ephedra sinica* Stapf)、肉苁蓉(*Cistanche deserticola* Ma)、夜合(*Magnolia coco*)等。

2 研究方法

2.1 调查方法

因调查区新疆野苹果散生或团状分布,且连片分布面积较大,采用典型抽样法中的样方法开展调查。选取代表性的地段设置主样方,样方面积为 20 m×20 m,为保证调查所需精度,目的物种所处的群落或生境面积小于 500 hm² 的设 5 个主样方;大于 500 hm² 的每增加 100 hm² 增设 1 个主样方,样方间距根据不同县分布面积实际情况进行调整(表 1)。每个样方调查中采用每木检尺,主要测定植物株数、树高、胸径(基径)、冠幅等生长特性指标,并用 GPS 精确定位调查地点。

2.2 年龄结构分析方法

考虑精度和可操作性,采用乔木居群年龄结构常用的空间代替时间的方法,即以单株大小级结构表示年龄结构^[13],许多学者在研究中用大小(径级)结构分析法替代年龄结构,效果良好^[14-16]。故采用径级结构分析法,将新疆野苹果个体依胸径大小分级。

参考冯涛等^[11]新疆野苹果年龄级划分标准, I

表 1 新疆野苹果种群基本情况
Table 1 The basic status of *M. sieversii* populations

调查区域 Survey region	样地号 No. of plots	海拔 Altitude/m	坡向 Aspect	郁闭度 Canopy coverage/%	群落类型 Community type
托里县 Toli County	1	872.3	185.3° SW	28	新疆野苹果和柳树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>Salix babylonica</i> L.
	2	874.6	4.1° NE	63	新疆野苹果、杨、山楂和桦树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> , <i>Populus</i> , <i>Crataegus pinnatifida</i> Bunge and <i>Betula</i>
	3	865.1	17° NE	54	新疆野苹果、杨、山楂和桦树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> , <i>Populus</i> , <i>C. pinnatifida</i> Bunge and <i>Betula</i>
	4	847.7	333.3° NW	80	新疆野苹果、杨、山楂和桦树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> , <i>Populus</i> , <i>C. pinnatifida</i> Bunge and <i>Betula</i>
	5	831.4	323.2° NW	80	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	6	903.1	313.2° NW	42	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	7	859.0	283.9° NW	100	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	8	817.7	306.9° NW	22	新疆野苹果、山楂和桦树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> , <i>C. pinnatifida</i> Bunge and <i>Betula</i>
额敏县 Emin County	1	1 045.0	109.2° SE	42	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	2	1 065.2	190.5° SW	26	新疆野苹果、杨和稠李林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> , <i>Populus</i> and <i>Prunus padus</i> L.
	3	1 087.9	132.6° SE	46	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	4	1 144.7	0.8° NE	51	新疆野苹果和杨树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>Populus</i>
	5	1 209.2	56.8° NE	100	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	6	1 023.4	333.5° NW	53	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	7	994.5	9° NE	23	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	8	980.3	14.2° NE	26	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	9	1 205.1	48.1° NE	89	新疆野苹果和山楂林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>C. pinnatifida</i> Bunge
	10	1 179.7	338.8° NW	93	新疆野苹果林 The pure stands of <i>M. sieversii</i>
	11	1 186.7	101.3° SE	97	新疆野苹果和山楂林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>C. pinnatifida</i> Bunge
	12	1 121.1	96.8° SE	52	新疆野苹果和山楂林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>C. pinnatifida</i> Bunge
	13	1 086.9	80.4° NE	44	新疆野苹果和杨树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>Populus</i>
	14	1 047.5	346° NW	74	新疆野苹果和杨树林 The mixed stands of <i>M. sieversii</i> and <i>Populus</i>

级幼树胸径≤15 cm;Ⅱ级小树胸径为 15<x≤20 cm;Ⅲ级中树胸径为 20<x≤30 cm;Ⅳ级大树胸径为 30<x≤40 cm;Ⅴ级老树胸径为>40 cm。按上述划分标准统计每一块样地内各龄级的新疆野苹果株数,将同一种群中不同样地的株数分龄级合并,组成托里县、额敏县新疆野苹果种群年龄结构的基本数据,以龄级为横坐标,株数百分比为纵坐标,绘制种群龄级结构图。

2.3 生命表编制

生命表是最清楚、最直接地展示种群死亡和存活过程的一览表,能综合判断种群数量变化,也能反映出从出生到死亡的动态关系。采用空间代替时间法,依林木胸径大小分级,把径级从小到大的顺序视为时间顺序关系^[17],即按胸径径级划分年龄级,编

制新疆野苹果种群静态生命表,计算方法参考薛瑶芹等^[18]、张志祥等^[19]。计算公式如下:

$$I_x=(a_x/a_0)\times1\,000;$$

$$d_x=I_x-I_{x-1};$$

$$q_x=(d_x/I_x)\times100\%;$$

$$L_x=(I_x+I_{x+1})/2;$$

$$T_x=\sum_x^{\infty}L_x$$

$$E_x=T_x/I_x$$

$$K_x=\ln I_x-\ln I_{x+1};$$

$$S_x=I_{x+1}/I_x$$

式中,x为龄级数;a_x为x龄级内现有个体数,a₀为a_x的初始值;I_x是在x龄级开始时标准化存活个体数(一般转化为1 000);d_x为从x到x+1龄

级间隔期内标准化死亡数; q_x 为从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率; 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 龄级的生命期望寿命; K_x 为消失率; S_x 为存活率。

2.4 时间序列预测模型

具体方法参考薛瑶芹等^[17],预测模型如下:
 $M_t^{(1)}=M_{t-1}^{(1)}+(x_t-x_{t-n})/n$,式中 $M_t^{(1)}$ 为近期 n 个观测值在 t 时刻的平均值,也称为第 n 周期的移动平均; t 为龄级; x_t 为 t 龄级单位面积存活株数; n =预测时间/10。根据现有的新疆野苹果种群的年龄结构数据,应用上述模型,预测未来 10 年、20 年和 30 年的种群发展趋势。

3 结果与分析

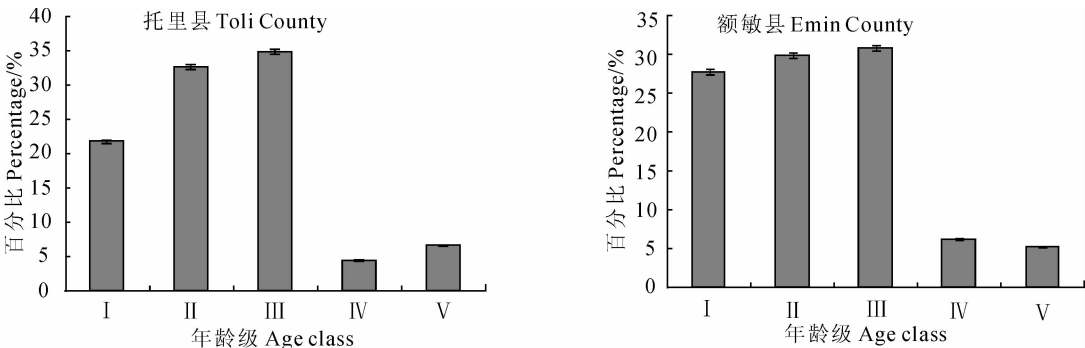
3.1 径级划分

以龄级为横坐标,株数百分比为纵坐标,作新疆野苹果龄级结构图(图 1)。从图 1 中可以看出,托里县、额敏县新疆野苹果种群的年龄结构基本上是基部小树、中树数量大,幼树较多,而大树和老树数量较少,表明两种群处于衰退状态,其特征是中树数量突出。托里县和额敏县新疆野苹果第Ⅲ龄级($20<x\leq 30$ cm)植株数量分别占总株数的 34.78%和 30.93%;Ⅱ龄级植株也占到总株数的 32.61%和 29.89;大树、老树植株数量相对较少。两种群植株数量呈现出随径级增大由少到多再减少的变化趋势,其中托里县种群的这种变化趋势更明显,说明托里县种群衰退形势更严峻。

3.2 静态生命表与存活曲线

表 2 为塔城地区两个新疆野苹果种群的静态生命表,两种群代表了该地区新疆野苹果种群的基本属性。从表 2 可以看出,种群死亡率(q_x)和消失率(K_x)最高的龄级分别为第Ⅲ龄级和第Ⅴ龄级,两种群因所处环境条件差异而出现一定的分化,但基本趋势一致,说明在第Ⅲ龄级和第Ⅴ龄级阶段,新疆野苹果个体生活力和适应能力较差,Ⅲ龄级个体数量多而又具高死亡率。据调查塔城地区新疆野苹果种群实际存活年龄小于伊犁地区新疆野苹果,推断新疆野苹果生长至第Ⅲ龄级即进入盛果期或生理年龄区间下限,对环境及营养的要求更加严苛,当不能满足时,便面临着败育低产或死亡;托里县新疆野苹果种群中有个体遭受病虫害现象,是造成其高死亡率的因素之一。托里县新疆野苹果除伴生乔木树种外,还与高密度的新疆野扁桃混生;2014 年部分地区还曾发生山洪灾害,因此种间竞争、自然灾害、病虫害可能是造成第Ⅲ龄级托里县新疆野苹果死亡率高于额敏县的原因。进入Ⅴ龄级,由于个体开始生理衰老,已达到种群生理年龄区间上限,种群进入消失高峰期。两种群标准化存活量最高值均在第Ⅲ龄级,且在此龄级之前出现死亡率为负的现象,表征了种群的衰退程度。

图 2 为塔城地区新疆野苹果两种群存活曲线。从图 2 中可以看出,两种群存活曲线均不同程度地偏离 Deevey-Ⅰ型曲线,偏离程度与种群中幼树和小树的缺乏程度有关,表明该地区新疆野苹果种群更新不足,这与年龄结构的分析结果一致。两种群



I ~ V. 以树的胸径(DBH)级代替年龄级: I. 幼树, DBH≤15 cm; II. 小树, 15<DBH≤20 cm; III. 中树, 20<DBH≤30 cm; IV. 大树, 30<DBH≤40 cm; V. 老树, DBH>40 cm

图 1 塔城地区新疆野苹果种群年龄结构分布图

I ~ V. Tree diameter at breast height(DBH)level instead of age classes of tree: I. Sapling, DBH≤15 cm; II. Small tree, 15<DBH≤20 cm; III. Middle tree, 20<DBH≤30 cm; IV. Big tree, 30<DBH≤40 cm; V. Old tree, DBH>40 cm

Fig. 1 The distribution of age class structure of *M. sieversii* populations in Tacheng prefecture

表 2 塔城地区新疆野苹果种群的静态生命表

Table 2 Static life table of *M. sieversii* population in Tacheng prefecture

种群 Population type	x	a_x	I_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	S_x
托里县 Toli County	I	31.25	625.00	—313	—0.50	1 093.75	3 906.25	6.25	—0.40	1.50
	II	46.875	937.50	—62.50	—0.07	1 437.50	2 812.50	3.00	—0.07	1.07
	III	50	1 000.00	875.00	0.88	1 062.50	1 375.00	1.38	2.08	0.13
	IV	6.25	125.00	—62.50	—0.50	218.75	312.50	2.50	—0.40	1.50
	V	9.375	187.50	—	—	93.75	93.75	0.50	5.23	—
额敏县 Emin County	I	48.214	900.002	—66.678	—0.07	1 383.34	4 316.69	4.80	—0.07	1.07
	II	51.786	966.680	—33.320	—0.03	1 466.68	2 933.35	3.03	—0.04	1.03
	III	53.571	1 000.000	800.004	0.80	1 100.00	1 466.67	1.47	1.61	0.20
	IV	10.714	199.996	33.320	0.17	283.33	366.67	1.83	0.18	0.83
	V	8.929	166.676	—	—	83.34	83.34	0.50	5.12	—

注: x . 龄级; a_x . 存活数; I_x . 存活量; 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

Nones: x . Age class; a_x . Survival number; I_x . Survival quantity; d_x . Death number; q_x . Mortality rate; L_x . Span life; T_x . Total life; e_x . Life expectancy; K_x . Vanish rate; S_x . Survival rate

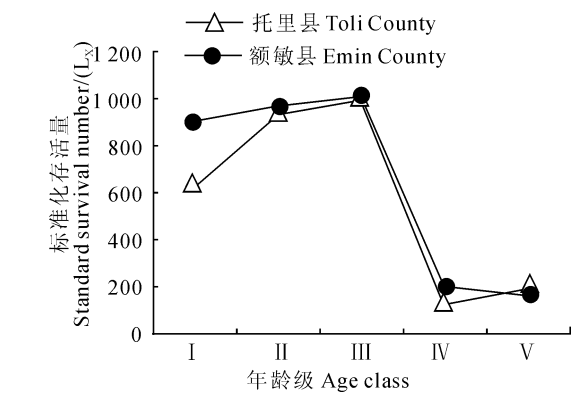


图 2 塔城地区新疆野苹果种群存活曲线

Fig. 2 Survival curves of *M. sieversii* population in Tacheng prefecture

存活曲线中额敏县新疆野苹果种群的存活曲线更为接近 Deevey-I 型;托里县新疆野苹果种群存活曲线呈弧形凸型。两种群死亡率高峰值一致,均在第Ⅲ~Ⅳ龄级。

3.3 种群数量动态的时间序列预测

根据时间序列预测模型对未来 10 年、20 年、30 年各龄级种群数量和种群结构动态进行预测,结果见图 3。横向观察,托里县、额敏县新疆野苹果种群各年龄级种群数量有增有减,未来 10 年、20 年、30 年基本呈现出随着龄级增大植株数量先增大后减小的趋势,株数峰值在预测序列中均出现在第Ⅲ龄期;纵向分析,随着时间推移,托里县、额敏县新疆野苹果种群幼树、中树数量逐渐减少,老树数量随着时间推移逐渐上升,但整体种群数量随时间逐渐减少,呈

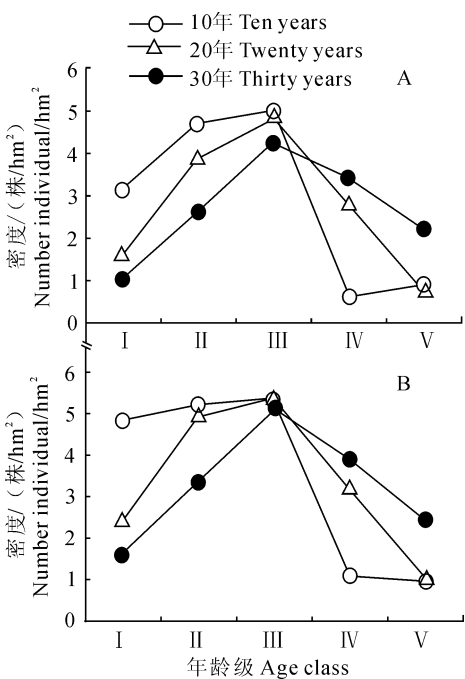


图 3 塔城地区新疆野苹果种群数量动态的时间序列预测

A. Toli County; B. Emin County

Fig. 3 Time sequence prediction of number dynamics of *M. sieversii* populations in Tacheng prefecture

衰退趋势。种群数量动态的时间序列预测,横向观察结果与年龄级结构分析结果相吻合,纵向分析结果证实了衰退型种群判定的正确性。

4 结论与讨论

通过种群的年龄级结构,即可判明种群所处的

年龄发展阶段。种群的年龄结构通常用年龄锥体图表示,按锥体形状可分为增长型种群、稳定型种群和衰退型种群。本研究表明,塔城地区新疆野苹果种群年龄级构成有衰退型种群特征,幼年个体数目少,老年个体数目多,这种情况往往导致恶性循环,种群最终灭绝,但也不排除生存环境突然好转、大量新个体迁入或人工繁殖等一些扭转发展趋势的情况。因此,需要当地部门对本地区新疆野苹果的保护引起足够重视,及时采取相应的救助措施,扭转当下的不利局面。

由于静态生命表是反映多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间,而不是对这一种群全部生活史的追踪,加之调查过程中可能存在系统误差,在生命表中出现死亡率为负的情况,多数情况采用匀滑技术进行处理^[17,20],但为使结果更具客观性和真实性,本文未采用。根据存活曲线分析,塔城地区新疆野苹果种群的存活曲线更接近 Deevey- I 型,与新疆伊犁地区新疆野苹果种群研究结果相似^[11],即曲线凸型。

时间序列分析具有较高的预测准确性,并适用于多种复杂条件下的预测^[21]。种群数量动态的时间序列预测中额敏县和托里县新疆野苹果种群随着时间的推移,两种群都将走向衰退,究其原因,更新

程度不及种群老化程度。

托里县老风口林场玉里克沟分支(83°33′26″E, 46°08′31″N)处发现有新疆野苹果个体遭受病虫害,主要有苹果巢蛾幼虫(*Yponomeuta padella* Linnaeus)、苹果黄蚜(*Aphis citricola* van der Goot)、金龟子成虫(*Scarabaeoidea*);三道沟(83°30′42″E, 46°09′46″N)2014 年遭遇山洪灾害,沟内果树冲毁严重,若不及时采取有效防治和补救措施,则整个种群随幼龄个体数的减少,不能及时的更新,种群将很快开始衰退。

经调查和综合分析可知,自然灾害、病虫害、放牧过度、粗放的生态旅游、物种保护重视程度不够等原因都是塔城地区新疆野苹果种群走向衰退的不利因素,另外在对种群及群落管理与保护中,不仅要种群本身进行管理与保护,对环境的管理与保护同等重要。塔城地区作为新疆野苹果分布的重要地区之一,加大对该地区新疆野苹果的抚育,有利于营造该地区良好的生态环境,有利于为其他新疆野苹果分布地区的保护与恢复提供借鉴与经验,对于塔城地区森林生态系统和生物多样性的保护具有重要的意义,同时对于野果林的持续经营、合理开发、促进森林生长和加强森林保护也具有一定的意义。

参考文献:

[1] 李 博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000, 46.

[2] 袁宏波, 张锦春, 褚建民, 等. 库木塔格沙漠典型植物种群年龄结构特征[J]. 西北植物学报, 2011, 31(11): 2 304-2 309.

YUAN H B, ZHANG J C, ZHU J M, *et al.* Characteristics of the age structures of three typical plant populations in Kumtag Desert[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(11): 2 304-2 309.

[3] 白永飞, 许志信, 李德新, 等. 内蒙古高原四种针茅种群年龄与株丛结构的研究[J]. 植物学报, 1999, 41(10): 1 125-1 131.

BAI Y F, XU Z X, LI D X, *et al.* Study on age and bunch structure of four stipa species in Inner Mongolia Plateau[J]. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(10): 1 125-1 131.

[4] MANUEL C, MOLLES J. Ecology, Concept and Applications (2nd edn.) [M]. New York: Mcgraw Hill Companies, 2002: 186-254.

[5] 张文辉. 裂叶沙参种群生态学研究[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1998: 7-22.

[6] 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, 1999, 18(2): 214-217.

CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural dynamics[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 18(2): 214-217.

[7] 谢晋阳. 森林群落立木种群年龄结构的研究[J]. 江西大学学报(自然科学版), 1992, 16(2): 111-116.

XIE J Y. Studies on the population age structure of standing-trees of forest community[J]. *Journal of Jiangxi University* (Nat. Sci. Edi.), 1992, 16(2): 111-116.

[8] 马宇飞, 李俊清. 湖北七姐妹山珙桐种群结构研究[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(3): 12-16.

MA Y F, LI J Q. Population structure of *Davidia involucrate* in Mt. Seven-Sister Nature Reserve of Central China Hubei Province[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(3): 12-16.

[9] 江 洪. 云杉种群生态学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992: 18-401.

[10] 廖 康.新疆野生果树资源研究[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2013;6.

[11] 冯 涛,张艳敏,陈学森.新疆野苹果居群年龄结构及郁闭度研究[J]. 果树学报,2007,**24**(5):571-573.
FENG T,ZHANG Y M,CHEN X S. Study on the age structure and density of the wild apple forest of *Malus sieversii*[J]. *Journal of Fruit Science*. 2007,**24**(5):571-573.

[12] 刘 华,臧润国,丁 易,等.天山西部新疆野苹果种群特征[J]. 林业科学,2010,**46**(11):1-7.
LIU H,ZANG R G,DING Y, *et al.* Population Characteristics of *Malus sieversii* in the west part of Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010,**46**(11):1-7.

[13] LEAK W B. An expression of diameter distribution for unbalanced uneven-aged stands and forests[J]. *Forest Science*, 1964,**10**:39-50.

[14] 蔡 飞.杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究[J]. 林业科学,2000,**36**(3):67-72.
CAI F. A study on the structure and dynamics of *Cyclobalajvopss Glauca* population at hill saround West Lake in Hangzhou [J]. *Forest Science*, 2000,**36**(3):67-72.

[15] KNOWLES P, GRANT M C. Age and size structure analysis of Een-gelmann spruce, population ponderosa pine, loadgepole pine ,and limber pine in Cororado[J]. *Ecology*,1983,**64**:1-9.

[16] PARKER A J, PEET R K. Size and age structure of conifer forest[J]. *Ecology*,1984,**65**:1 685-1 689.

[17] 郭 微,上官铁梁,王志明,等.灵空山油松种群年龄结构与动态分析[J]. 植物科学学报,2013,**31**(2):130-135.
GUO W,SHANGGUAN T L,WANG Z M, *et al.* Population structure and dynamics of *Pinus tabulaeformis* in Lingkong Mountain of Shanxi Province[J]. *Plant Science Journal*, 2013,**31**(2):130-135.

[18] 薛瑶芹,张文辉,何景峰.黄龙山白桦种群结构及其时间序列预测分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2008,**36**(12):121-128.
XUE Y Q,ZHANG W H,HE J F. Study on the population structure and time sequence prediction of *Betula platyphylla* in Huanglong Mountain[J]. *Journal of Northwest A & F University* (Nat. Sci. Ed), 2008,**36**(12):121-128.

[19] 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,**32**(5):1 146-1 156.
ZHANG Z X,LIU P,CAI M Z, *et al.* Population quantitative characteristics and dynamics of rare and endangered *Tsuga Tchekiangensis* in Jiulongshan Nature Reserve of China[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2008,**32**(5):1 146-1 156.

[20] 李 妍,李登武,韩东辰.贺兰山东坡青海云杉种群动态[J]. 浙江农林大学学报,2014,**31**(1):50-56.
LI Y,LI D W,HAN D C. Population dynamics of *Picea crassifolia* on the eastern slope of Helan Mountain[J]. *Journal of Zhejiang A & F University*, 2014,**31**(1):50-56.

[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.
XIAO Y A,HE P,LI X H, *et al.* Study on numeric dynamics of natural populations of the endangered species *Disanthus Cercidifolius* var. *Longipes*[J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, 2004,**28**(2):252-257.

(编辑:潘新社)