

珍稀植物银砂槐中国分布区的 种群结构与动态分析

吕海英^{1,2}, 王孝安^{1*}, 李 进², 党千峰²

(1 陕西师范大学 生命科学学院, 西安 710062; 2 新疆师范大学 生命科学学院, 乌鲁木齐 830054)

摘 要: 通过对中国唯一银砂槐(*Ammodendron bifolium*)分布区——新疆伊犁河谷地塔克尔莫乎尔沙漠狭窄区域的样地调查和数据统计分析, 绘制了银砂槐自然种群的径级结构图, 编制了种群的特定时间生命表, 分析了存活曲线、死亡率曲线和寿命期望等重要参数, 并运用时间序列模型预测种群数量动态。结果表明: (1) 研究区内银砂槐种群结构中小径级个体较多, 即 I ~ III 径级占 70.4%, IV ~ VII 径级占 27.62%, VIII ~ X 径级仅占 1.98%, 种群整体结构属于增长型, 但 I 径级个体数少于 II 径级, 种群的自然更新相对较差。 (2) 静态生命表分析结果表明, 随着径级的增加银砂槐种群死亡率大致为上升趋势, 且种群内基径超过 3.5 cm (VIII 径级) 的银砂槐数量迅速下降, 即研究区内银砂槐基径越接近 VIII 径级就越接近其生理寿命。 (3) 研究区内银砂槐的存活曲线基本接近 Deevey III 型, 但 I 径级存活数低于 II 径级, II 径级后存活数量迅速下降, 说明该种群幼苗补充量较少, 自然更新受阻。 (4) 时间序列分析表明, 随着时间推移, 种群未来会呈现老龄个体增加的趋势。研究认为, 新疆伊犁河谷地的银砂槐种群的生长发育主要受限于其自身的生物学特性和种内竞争, 其种群的长期稳定维持较为困难, 现有植株及生境斑块的妥善保护和适当的人工辅助措施是该区银砂槐种群恢复的关键。

关键词: 银砂槐; 种群结构; 静态生命表; 存活曲线; 时间序列预测

中图分类号: Q948.13

文献标志码: A

Structure and Dynamics of China Rare Plant *Ammodendron bifolium* (Pall.) Yakovl Natural Population

LÜ Haiying^{1,2}, WANG Xiaolan^{1*}, LI Jin², DANG Qianfeng²

(1 College of Life Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China; 2 College of Life Science, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: Through a field investigation and data analysis to the only distribution area of *Ammodendron bifolium* population in Takeermohuer Desert of the Ili River valley in Xinjiang, we aimed to learn the actuality of *A. bifolium* population, and forecast the future dynamics of *A. bifolium* population. In this research, the size structure, life tables, survival curve, mortality curve and life expectancy of *A. bifolium* population were studied and population dynamics were predicted by a time-sequence model. The results show that: (1) The small-sized individual in *A. bifolium* population were more, namely the number of I ~ III diameter individuals accounted for 70.4%, the number of IV ~ VII diameter individuals accounted for 27.62%, the number of VIII ~ X diameter individuals accounted for only 1.98%. Therefore, population structure belongs to the growth type. However, the number of I diameter individuals was less than that of II diameter individu-

收稿日期: 2013-09-27; 修改稿收到日期: 2013-12-13

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31160094, 31200300)

作者简介: 吕海英 (1978—), 男, 博士研究生, 讲师, 主要从事植物生态研究。E-mail: lvhyxj@163.com

* 通信作者: 王孝安, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事植物种群生态学和植物群落生态学研究。E-mail: wangxa@snnu.edu.cn

als, so that the natural regeneration of *A. bifolium* population was poor. (2) The static life table analysis show that *A. bifolium* population mortality was on a rising tendency, and the number of the individuals with diameter more than 3.5 cm (Ⅷ diameter) decreased rapidly with the increase of diameter grade, namely the individual closing to Ⅷ diameter was more close to the physiological longevity. (3) The survival curve of *A. bifolium* population mainly belonged to Deevey Ⅲ type in research area. The survival number of I diameter individuals was less than that of II diameter individuals, and the survival number after II diameter individuals decreased rapidly. It indicated that the population was lack of seedling transshipment and natural regeneration was blocked. (4) Through time-sequence prediction, the population in the future would be more aging individuals. The studies suggest that *A. bifolium* population growth in the Ili River valley of Xinjiang was mainly limited to its biological characteristics and intraspecific competition. Thus, it was difficult for *A. bifolium* population to maintain the stability. As a result, the crucial factors for the natural regeneration and restoration of *A. bifolium* population in research area are the protection of living individuals and their habitat and the revegetation by human.

Key words: *Ammodendron bifolium*; population structure; static life table; survival curve; time sequence analysis

植物种群结构是种群内不同大小和年龄个体数量的分布状况,反映种群不同龄级个体的分布情况、立地条件及其与环境之间的相互关系^[1-3]。生命表和存活曲线是研究种群结构及动态变化的重要工具^[4-5],它能直观展现种群各龄级的实际生存个体数、死亡数及存活趋势^[6-8]。时间序列分析能有效地预测同龄级种群未来变化的波动状态^[3,9]。因此,通过植物种群结构、生命表、存活曲线和时间序列预测模型分析植物自然种群结构及动态,不仅可以反映种群的数量动态及其发展趋势^[10],还可以展现种群生物学特性对环境条件的适应结果,对于濒危植物的保护和管理具有重要意义。

银砂槐(*Ammodendron bifolium*)为豆科银砂槐属沙生落叶灌木。该属植物全世界有8种,中国只有1种,即银砂槐^[11]。仅分布于中国新疆伊犁河谷地霍城县的塔克尔莫乎尔沙漠狭窄区域的半固定和固定沙丘及平沙地上,被列为国家2级保护植物,是优良的防风固沙植物^[12]。由于珍稀植物银砂槐生活在干旱半干旱的沙漠地区,气候条件频频变迁,生态环境脆弱,加之分布区缺乏保护,经常放牧、樵采和耕作,致使其自然分布数量日趋减少。因此,无论是从基因、物种、生态多样性考虑,还是从不断恶化的生态环境而言,都迫切需要对其进行深入研究和有效保护。目前,对银砂槐的群落研究多集中在群落类型研究^[13]和群落内主要种群的分布格局及主要植物种间关系研究^[14-15],而对银砂槐种群的结构和动态了解和研究几乎是空白。本研究以银砂槐集中分布的新疆伊犁河谷塔克尔莫乎尔沙漠为对象,通过野外样地调查和统计分析,以期揭示银砂槐

的自然种群的结构特征,分析现有种群的状态,探讨种群结构与受干扰情况及其种群动态与内在的生活史特征和外在的干扰状况之间的相互关系,进而阐释其种群更新与维持的机制,为银砂槐的科学保护和恢复提供理论依据。

1 研究区域概况

所观测的银砂槐自然分布种群位于新疆伊犁河谷塔克尔莫乎尔沙漠,地处 $N43^{\circ}50'34''\sim 44^{\circ}09'00''$, $E80^{\circ}27'00''\sim 80^{\circ}51'28''$ 。该区域多由抛物线状沙丘组成,高度多在3~8 m,多为固定、半固定沙丘;具有大陆性温带荒漠气候特点,冬冷夏热,夏季干燥,年降水相对较少,昼夜温差大^[13-15]。研究区域的年平均气温为9.9℃,极端最高气温40.2℃,极端最低气温-31.3℃,年大于10℃活动积温3646℃,无霜期为192 d,年平均降水量为254.9 mm、平均蒸发量为1510 mm、平均相对湿度为64%、日照时数2978 h,年平均大风日数13 d,最大风速超过 $24.4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;气象资料来源于新疆维吾尔自治区气象中心,观测点为新疆霍城县气象站,该站点距离塔克尔莫乎尔沙漠银砂槐集中分布区约10 km。

银砂槐种群在固定和半固定沙丘上生长良好,总盖度可达15%~50%,经常与密刺沙拐枣(*Calligonum aphyllum*)、无叶沙拐枣(*Calligonum densum*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)、心叶驼绒藜(*Ceratoides ewersmanniana*)、疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等形成复合分布格局,常见的伴生植物种类有扁果木蓼(*Atraphaxis replicata*)、铃铛刺(*Halimodendron halodendron*)、怪柳(*Tamar-*

ix spp)、芦苇(*Phragmites australis*)、羽毛三芒草(*Aristida pennata*)、细叶鸢尾(*Iris tenuifolia*)、对节刺(*Horaninovia ulicina*)、沙蓬(*Agriophyllum squarrosum*)、角果藜(*Ceratocarpus arenarius*)等灌木和草本植物^[13-15]。

2 研究方法

2.1 样地调查

2012年7月通过野外实地充分踏查,在银砂槐集中分布区域内,选取具有代表性的地段设置3条平行样线(相互间隔100 m),每条样线长1 000 m。在每条样线上每隔50 m取一个50 m×50 m的样方,总共取了30个样方。记录样方内银砂槐的基径、高度和冠幅,并记录坐标。并通过走访当地林业部门及群众了解银砂槐的利用和分布历史。

2.2 种群结构特征分析

2.2.1 径级的划分 采用径级大小代替年龄分析种群的结构特征^[16-19],结合调查实际情况,以银砂槐基径(D)作为划分标准,将基径在0.5 cm以下的定为Ⅰ级,其后以0.5 cm为步长增加一级,即0.5 cm<D≤1.0 cm,作为Ⅱ级,依次类推。总共将银砂槐种群的年龄结构划分为10个径级(表2),分别为Ⅰ(D≤0.5 cm)、Ⅱ(0.5<D≤1.0 cm)、Ⅲ(1.0<D≤1.5 cm)、Ⅳ(1.5<D≤2.0 cm)、Ⅴ(2.0<D≤2.5 cm)、Ⅵ(2.5<D≤3.0 cm)、Ⅶ(3.0<D≤3.5 cm)、Ⅷ(3.5<D≤4.0 cm)、Ⅸ(4.0<D≤4.5 cm)、Ⅹ(D>4.5 cm)。统计各径级株数并分析其组成特点。

2.2.2 结构特征分析 按径级标准分别统计株数。以径级为横坐标,个体数为纵坐标,分别绘制银砂槐种群径级结构图,采用陈晓德^[20]的量化方法对种群动态进行定量描述,参考Leak^[21]的划分理论确定种群结构类型。具体计算方法:

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

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

式中, V_n 表示种群从 n 到 $n+1$ 级的个体数量变化动态指数; V_{pi} 表示整个种群结构的数量变化动态指数; S_n 和 S_{n+1} 分别表示第 n 与第 $n+1$ 径级种群个体数,当考虑外部干扰时:

$$V_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \cdot V_n)}{K \cdot \min(S_1, S_2, S_3, \dots, S_k) \cdot \sum_{n=1}^{k-1} S_n}$$

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

式中, K 为种群径级数量, V_{pi} 与 V_n 取正、负、零值的意义分别反映种群或相邻径级个体数量的增长、衰退、稳定的动态关系。 P 为种群对外界干扰所承担的风险概率,只有当 P 的值为最大时才对种群动态 V_{pi} 构成最大的影响。

2.2.3 静态生命表及其存活曲线 综合各个样方调查数据,按照静态生命表编制方法^[22-23]编制塔克尔莫乎尔沙漠西部地区银砂槐种群静态生命表(表1),用于种群结构分析。 x 表示径级,以代替龄级; a_x 表示 x 径级内出现的个体数; a_0 表示Ⅰ径级个体数; l_x 表示存活数标准化, $l_x = a_x / a_0 \times 1 000$; d_x 表示 x 径级到 $x+1$ 径级间隔期内标准化死亡数, $d_x = l_x - l_{x+1}$; q_x 表示 x 径级到 $x+1$ 径级间隔期内死亡率, $q_x = d_x / l_x$; L_x 为从 x 径级到 $x+1$ 径级间隔期内还存活的个体数, $L_x = (l_x + l_{x+1}) / 2$; T_x 为从 x 径级到超过 x 径级的存活个体总数, $T_x = \sum L_x$; e_x 为进入 x 径级个体的寿命期望值, $e_x = T_x / l_x$; $\ln l_x$ 为标准化存活数的自然对数值, K_x 为各径级组的致死力(损失度), $K_x = \ln l_x - \ln l_{x+1}$ 。以径级为横坐标,对生命表中标准化存活数 l_x 栏作图,绘制银砂槐种群存活曲线。

2.2.4 种群数量动态的时间序列预测模型 参照肖宜安等^[24]的方法,选用一次移动平均法对银砂槐的种群径级结构进行模拟和预测。本研究分别对未来2a、4a、6a和8a银砂槐种群数量进行时间序列预测。

3 结果与分析

3.1 种群分布特征

从银砂槐种群结构图(以径级代替龄级)(图1)可以看出,银砂槐种群基本属于增长型种群。经统计,塔克尔莫乎尔沙漠银砂槐的种群结构中小径级个体较多,同时存在一定数量的大径级个体。即Ⅰ~Ⅲ径级个体占比重大,达到70.4%,Ⅳ~Ⅶ径级占27.62%,Ⅷ~Ⅹ径级仅占1.98%。样地银砂槐种群Ⅰ径级个体数少于Ⅱ径级,一定程度上说明该种群自然更新情况相对较差,小径级个体的补充较少。但从整体上看,银砂槐基本属于增长型种群。

依据种群动态量化方法,对银砂槐种群相邻径级间个体数量的变化动态进行分析,结果(表1)显示,在第Ⅰ和第Ⅸ径级种群动态指数(V)值为负,但整个银砂槐种群结构数量变化动态指数 $V_{pi} =$

23.3%,大于0;在考虑种群受未来外部环境干扰时,整个种群径级结构动态指数 $V_{pi}'=0.07\%$,大于0,表明种群呈增长型,这与径级结构分析结果相吻合;但是随机干扰风险极大值即种群结构对随机干扰的敏感性指数 $P=0.003$,表明银砂槐种群对外界干扰较为敏感。

3.2 静态生命表

从表2和图2可以看出,银砂槐种群从幼苗生长到树木死亡大体可分为3个阶段:幼树阶段(径级为Ⅰ~Ⅲ级)、成树阶段(径级为Ⅳ~Ⅶ级)、老树阶段(径级为Ⅷ~Ⅹ级)。Ⅰ径级个体由于资源需求量大,死亡率最低($q_x=-1.04$),随径级的增加银砂槐

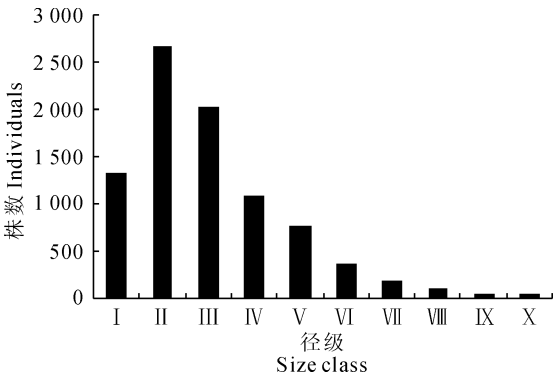


图1 银砂槐种群的径级结构分布

D. 基径: Ⅰ. $D\leq 0.5$ cm; Ⅱ. $0.5<D\leq 1.0$ cm; Ⅲ. $1.0<D\leq 1.5$ cm; Ⅳ. $1.5<D\leq 2.0$ cm; Ⅴ. $2.0<D\leq 2.5$ cm; Ⅵ. $2.5<D\leq 3.0$ cm; Ⅶ. $3.0<D\leq 3.5$ cm; Ⅷ. $3.5<D\leq 4.0$ cm; Ⅸ. $4.0<D\leq 4.5$ cm; Ⅹ. $D>4.5$ cm。下同

Fig. 1 The size structure of *A. bifolium* population

D. Basal diameter; Ⅰ. $D\leq 0.5$ cm; Ⅱ. $0.5<D\leq 1.0$ cm; Ⅲ. $1.0<D\leq 1.5$ cm; Ⅳ. $1.5<D\leq 2.0$ cm; Ⅴ. $2.0<D\leq 2.5$ cm; Ⅵ. $2.5<D\leq 3.0$ cm; Ⅶ. $3.0<D\leq 3.5$ cm; Ⅷ. $3.5<D\leq 4.0$ cm; Ⅸ. $4.0<D\leq 4.5$ cm; Ⅹ. $D>4.5$ cm. The same as below

种群死亡率大致为上升趋势,说明以银砂槐为优势种群落中银砂槐种群的生长发育主要受限于其自身的生物学特性和种内竞争。基径超过3.5 cm的银砂槐数量迅速下降,这在一定程度上说明,样地内银砂槐种群基径越接近第Ⅷ径级,就表示越接近其生理寿命。

3.3 种群存活曲线分析

由图3可见,银砂槐种群的存活曲线趋近于DeeveyⅢ型^[25]。银砂槐种群Ⅰ径级存活数低于Ⅱ径级,说明该种群幼苗补充量较少,自然更新受阻。Ⅱ径级后存活数量迅速下降,至老龄期死亡率达到最大。

3.4 种群的时间序列预测

采用一次移动平均法对银砂槐的种群径级结构进行模拟和预测(图4),其结果可以看出,除第Ⅱ径级植株数量下降外,银砂槐种群各径级株数峰值在

表1 银砂槐种群径级结构动态变化指数

Table 1 Dynamic index of the size structure of *A. bifolium* population

种群动态指数级 Dynamic index	动态指数值 Dynamic index value/%
V_1	-51
V_2	24.2
V_3	47.2
V_4	29.3
V_5	51.7
V_6	53.8
V_7	47.1
V_8	66.7
V_9	-8.3
V_{pi}	23.3
V_{pi}'	0.07

表2 银砂槐种群标准生命表

Table 2 The standard life table of *A. bifolium* population

径级 Size class/ x	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	e_x	K_x	$\ln l_x$
I	1 308	1 000	-1 039	-1.04	1 519	5 993	5.99	-0.71	6.91
II	2 668	2 039	494	0.24	1 792	4 474	2.19	0.28	7.62
III	2 022	1 545	730	0.47	1 180	2 682	1.73	0.64	7.34
IV	1 067	815	239	0.29	695	1 502	1.84	0.34	6.70
V	754	576	298	0.52	427	807	1.89	0.73	6.36
VI	364	278	150	0.54	203	380	1.87	1.16	5.63
VII	168	128	53	0.41	101	177	1.75	0.53	4.85
VIII	99	75	50	0.66	50	76	1.52	1.09	4.32
IX	33	25	-2	-0.08	26	16	0.61	-0.07	3.23
X	36	27			13	13	0.50		3.30

预测序列中依次向后推移。依据现有种群中银砂槐个体的数量,在 2a 以后,在银砂槐种群中,幼树比例占 55.2%,成树比例占 41.8%,老树比例占 3%;在

4a 以后,银砂槐种群中,成树比例占 89.4%,老树比例占 10.6%;在 6a 以后,成树比例占 64.4%,老树比例占 35.6%;在 8a 以后,现有种群中银砂槐个体剩余 2 521 株,剩余率仅有 29.6%。由此可见,尽管现阶段银砂槐在本研究区内生长较好,但幼龄株数明显不足,而老龄株数也呈急剧减少的势态。

4 结论与讨论

植物种群数量动态不仅反映种群内不同个体的组配情况,也反映了种群的结构、发展趋势与环境之间的相互关系。近年来,濒危植物种群的数量动态是植物种群研究的热点之一。种群年龄结构的分析是揭示种群结构现状和更新策略的重要途径之一,是探索种群动态的有效方法^[26]。本研究运用“空间序列代替时间变化”的方法,以大小级结构代替年龄结构分析了塔克尔莫乎尔沙漠建群树种之一的银砂槐种群结构及其动态。从径级结构来看,小径级个体占较大的比例,同时存在一定数量的大径级个体,不存在径级缺失现象,说明目前该种群处于稳定阶段。同时,该种群 I 径级个体较 II 径级少,这与银砂槐的生长特性有关,只有在冬季大雪,来年春季雨水充足的年份,银砂槐种子萌发率高,但是此时间极短,紧接着的沙漠干旱季节到临,使其很难进入到下个径级。由于种群缺少小径级个体输入,种群更新可能存在问题,种群已经有衰退的倾向。总体来看,种群仍处于稳定发展阶段。

静态生命表是在同一时间(或某个调查期)内,用收集到的样地内某一种群所有个体的年龄数据(如基径数据)编制而成的生命表。反映了多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间^[27]。因为数据源自天然种群,并且静态生命表是以时间推空间,以横向导纵向,故在生命表的编制中,会出现死亡率为负的现象,这虽与生命表的数学假设相违背,但仍能作为重要的生态学依据反映种群的发展和衰落^[23,28]。从静态生命表和存活曲线来看,银砂槐种群小径级个体死亡率较高,中径级个体死亡率有所降低,直到大径级个体,随年龄的增长,死亡率逐渐增加。造成这种现象的主要原因是随着银砂槐种群的发展,平均个体大小不断增加,植株需要更多的资源(水、光、土、温等)来维持其正常生长。种群个体间为争夺有限的资源而展开激烈的竞争,从而引起自然稀疏^[29]。在静态生命表中银砂槐种群部分径级的死亡量(d_x)、死亡率(q_x)和致死力(K_x)等均为负值,表明种群幼苗缺乏。所以现阶段种群结构虽

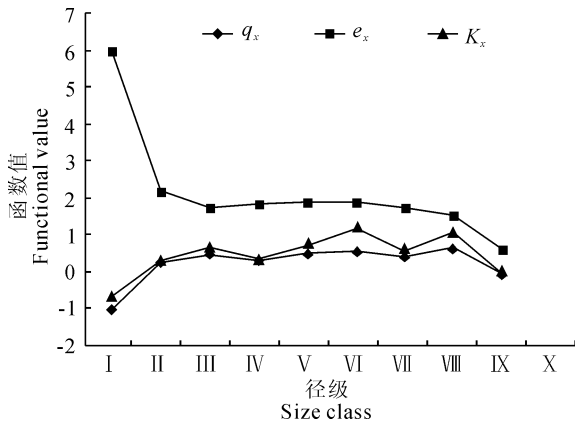


图 2 银砂槐种群的死亡率、致死力和寿命期望曲线
Fig. 2 Mortality (q_x), killing power (K_x) and life expectancy (e_x) curve of *A. bifolium* population

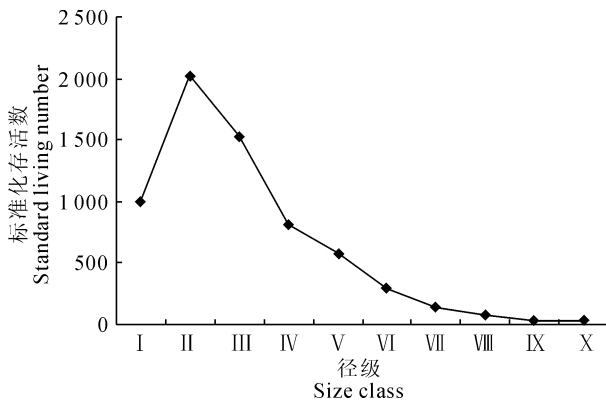


图 3 银砂槐种群的标准存活曲线
Fig. 3 The standard survival curve of *A. bifolium* population

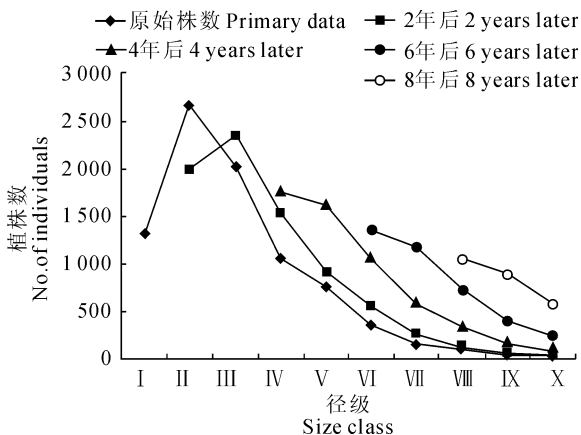


图 4 银砂槐种群径级结构的时间序列预测
Fig. 4 Time sequence analysis of size structure of *A. bifolium* population

为稳定阶段,如若这一情况长期存在,种群将由于没有足够的幼苗输入而走向衰亡,这与种群年龄结构分析结果一致。

作为种群动态的重要特征之一,存活曲线反映了生存率和死亡率随年龄的变化状况^[22]。银砂槐种群存活曲线为 Deevey III 型,但 I 径级不符合此模型,说明幼苗缺乏^[30]。I 径级个体少的原因可能是由于当年更新苗的缺乏有关,因为银砂槐种子萌发需要充足的水分,在降水量大的年份才大量萌发,否则萌发率极低(这与近三年野外观察的结果一致)。银砂槐种群死亡率 q_x 和致死力(损失度) K_x 曲线变化趋势基本一致(图 2),致死力 K_x 在第 III 级、第 VI 级和第 VIII 级出现峰值。该种群在第 III 级向第 IV 级转化过程中,死亡率较高,该现象表明银砂槐幼年个体向成年阶段的发育是不连续的,可能会成为该物种种群更新和发展的“瓶颈”。原因是由于在沙漠地区,水分是幼苗生长存活的必要条件,尤其是幼树阶段需要较多的土壤水分,而土壤中水分不能满足所有植株生长需要。土壤水分条件相对较差导致种内和种间竞争激烈,空间生态位受到限制^[3]。第 V 级和第 VI 级死亡率均较高,这是由于银砂槐种群在其生长过程中,种内争夺空间和光照的竞争愈演愈烈,种群产生自疏现象所导致。第 VII 级死亡率

降低,随后进入一个平稳的生长期,随着径级的增加,死亡率也逐渐升高,直到其生理年龄(第 VIII 级),是由于银砂槐种群的抗性及适应环境的能力随之减弱,其利用土壤养分、水分等条件生长的能力下降,从而使种群的存活率开始下降,这与存活曲线的分析结果吻合。

从时间序列分析来看,除第 II 径级植株数量下降外,银砂槐种群各径级株数峰值在预测序列中依次向后推移,老龄个体逐渐增多,幼龄株数则显不足,最终老龄株数也呈急剧减少的衰退势态。所以如不采取适当的护林抚育措施,银砂槐种群未来必然趋于衰退。在调查中也发现,历史上银砂槐在塔克尔莫乎尔沙漠区域分布较广,后来由于大面积农田开垦,城镇出现,机动车道的修建等造成银砂槐种群数量的直接锐减,也使其原有生境破碎化,进一步加剧现有种群的下降趋势。同时,水库的修建,改变了部分生境面貌,从而使银砂槐绝迹。我们在该地开展野外实验时,发现很少有人知道银砂槐是国家保护物种,该地被用推土机铲平,转变成棉花种植地。因此,我们认为适当的人工辅助措施、现有植株及其生境的保护乃是保证银砂槐种群自然更新和恢复的关键。

参考文献:

- [1] LI X K(李先琨),SU Z M(苏宗明),XIANG W SH(向悟生),*et al.* Study on the structure and spatial pattern of the endangered plant population of *Abies yuanbaoshanensis*[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报),2002,**22**(12):2 245—2 253(in Chinese).
- [2] WANG J H(王继和),JIN H J(靳虎甲),MA Q L(马全林),*et al.* Structure and distribution pattern of *Artemisia ordosica* population in arid region[J]. *Journal of Desert Research*(中国沙漠),2010,**30**(3):534—538(in Chinese).
- [3] LIU G J(刘国军),ZHANG X M(张希明),ZHU J T(朱军涛),*et al.* Structure and dynamics of *Haloxylon ammodendron* population along the southeastern margin of the Zhunger basin[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报),2011,**31**(6):1 250—1 256(in Chinese).
- [4] WU M K(吴明开),SHENG ZH J(沈志君),LIU H(刘海),*et al.* Life table and survival analysis of natural *Davidia involucrata* population in Fanjing Mountain Nature Reserve[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2012,**31**(6):1 419—1 424(in Chinese).
- [5] HARCOTBE P A. Tree life tables[J]. *Bio. Science*,1987,37:557—567.
- [6] SARA D,CARRNEN M,SERGIO A C. Structure and population dynamics of *Pinus lagunae* M. -F. Passini[J]. *Forest Ecology and Management*,2000,134:249—256.
- [7] FENG J CH(冯金朝),YUAN F(袁 飞),XU G(徐 刚). Life table of natural *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain Nature Reserve of Guizhou Province[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2009,**28**(7):1 234—1 238(in Chinese).
- [8] DANG H SH(党海山),ZHANG Y J(张燕君),ZHANG K R(张克荣),*et al.* Population structure and its dynamics of *Abies fargesii* in Qinling Mountains[J]. *Chinese Journal of Ecology*(生态学杂志),2009,**28**(8):1 456—1 461(in Chinese).
- [9] 何 平. 珍稀濒危植物保护生物学[M]. 重庆:西南师范大学出版社,2005:140—206.
- [10] SHEN SH K(申仕康),MA H Y(马海英),WANG Y H(王跃华),*et al.* The structure and dynamics of natural population of the endangered plant *Euryodendron excelsum* H. T. Chang[J]. *Acta Ecologica Sinica*(生态学报),2008,**28**(5):2 404—2 411(in Chinese).
- [11] 新疆植物志编辑委员会. 新疆植物志(第 3 卷)[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社,2011:5—6.

- [12] WANG L D(王理德), LIU SH L(刘生龙), GAO ZH H(高志海). The cultivation technology of *Ammodendron argenteum* [J]. *Gansu Forestry Science and Technology* (甘肃林业科技), 1994, (5): 11—14 (in Chinese).
- [13] HAI Y(海 鹰), ZHANG L Y(张立运), LI W(李 卫). Plant communities excluded from the book “The vegetation and its utilization in Xinjiang” [J]. *Arid Land Geography* (干旱区地理), 2003, **26**(4): 413—419 (in Chinese).
- [14] LI J(李 进), HUANG L P(黄力平), LÜ H Y(吕海英), *et al.* Distribution patterns of main populations of *Ammodendron argenteum* communities in the Takeermohuer Desert [J]. *Arid Zone Research* (干旱区研究), 2013, **30**(4): 634—639 (in Chinese).
- [15] LI J(李 进), HUANG L P(黄力平), LÜ H Y(吕海英), *et al.* Inter specific relationships of major species in *Ammodendron argenteum* communities of Takeermohuer Desert [J]. *Guihai* (广西植物), 2013, **33**(4): 482—487 (in Chinese).
- [16] CAI F(蔡 飞), SONG Y CH(宋永昌). A study on the structure and dynamics of *Schima superba* population on Wuyi Mountain [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 1997, **21**(2): 138—148 (in Chinese).
- [17] FROST I, RYDIN H. Spatial pattern and size distribution of the animal dispersed quercus rubur in two spruce-dominated forests [J]. *Eco-science*, 2000, **7**: 38—44.
- [18] CHEN Y ZH(陈远征), MA X Q(马祥庆), FENG L ZH(冯丽贞), *et al.* The population life table and periodic fluctuation of *Cinnamomum micranthum*, an endangered plant [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2006, **26**(12): 4 268—4 272 (in Chinese).
- [19] KANG H J(康华靖), CHEN Z L(陈子林), LIU P(刘 鹏), *et al.* The population structure and distribution pattern of *Emmenopterys henryi* in Dapanshan Natural Reserve of Zhejiang Province [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2007, **27**(1): 389—396 (in Chinese).
- [20] CHEN X D(陈晓德). A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structure dynamics [J]. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 1998, **18**(2): 214—217 (in Chinese).
- [21] LEAK W B. Age distribution in Virginred spruce and Northern Hard woods [J]. *Ecology*, 1975, **56**: 1 451—1 454.
- [22] YU D P(于大炮), ZHOU L(周 莉), DONG B L(董百丽), *et al.* Structure and dynamics of *Betula ermanii* population on the northern slope of Changbai Mountain [J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2004, **23**(5): 30—34 (in Chinese).
- [23] YANG H(杨 慧), LOU A R(娄安如), GAO Y J(高益军), *et al.* Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the Dongling Mountain region [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 2007, **31**(2): 272—282 (in Chinese).
- [24] XIAO Y A(肖宜安), HE P(何 平), LI X H(李晓红), *et al.* Study on numeric dynamics of natural population of the endangered species *Disanthus cercidifolius* var. *longipes* [J]. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 2004, **28**(2): 252—257 (in Chinese).
- [25] DEEVEY E. Life tables for natural population of animals [J]. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 1947, **22**: 283—314.
- [26] SU R G G(苏日古嘎), ZHANG J T(张金屯), CHENG J J(程佳佳), *et al.* Population structure and distribution pattern of dominant species in *Tilia mandshurica* forest in Dongling Mountain of Beijing [J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2009, **28**(7): 1 253—1 258 (in Chinese).
- [27] WU CH ZH(吴承祯), HONG W(洪 伟), XIE J SH(谢金寿), *et al.* Life table analysis of *Tsuga longibracteata* population [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(3): 333—336 (in Chinese).
- [28] BI X L(毕晓丽), HONG W(洪 伟), WU CH ZH(吴承祯), *et al.* Life table ananlysis of *Castanopsis carlesii* population in Wuyishan [J]. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* (热带亚热带植物学报), 2001, **9**(3): 243—247 (in Chinese).
- [29] SONG Y Y(宋于洋), LIU CH Q(刘长青), ZHAO B Y(赵白玉). Quantity dynamics of *Haloxylon ammodendron* population in different habitats in Shihezi region [J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2008, **28**(2): 2 118—2 124 (in Chinese).
- [30] HOU L(侯 琳), LEI R D(雷瑞德), LIU J J(刘建军), *et al.* Dynamic characteristics of hillsides-closed afforested *Pinus tabulaeformis* population in Huanglongshan forest zone [J]. *Chinese Journal of Ecology* (生态学杂志), 2005, **24**(11): 1 263—1 266 (in Chinese).