

河西走廊东端猫头刺种群结构与数量动态

李 亚¹, 李菁菁¹, 苏万红^{2*}, 胡小柯¹, 丁 峰¹

(1. 甘肃省治沙研究所/甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室 省部共建国家重点实验室培育基地, 甘肃 兰州 730070;

2. 甘肃省景泰县林业局, 甘肃 景泰 734000)

摘 要:猫头刺是河西走廊东端重要的固沙植物,以河西走廊东端景泰县大咀子滩和白墩子滩猫头刺天然种群为研究对象,采用空间代替时间的方法,分析其龄级结构、平均密度及变化、平均冠幅、静态生命表、存活曲线等,掌握了猫头刺种群的结构及数量动态。结果表明,1)大咀子滩长势较好的种群更新状况好,为增长型,但低龄级植株的存活处于严重限制状态;大咀子滩长势一般、长势差及白墩子滩种群均为衰退型,尤其是长势差的种群,更新已基本停止,大龄级植株多数已死亡,种群面临消失。2)总体年龄结构相对完整,呈正态分布,幼苗数量少,年龄中等偏小,龄级主要在2~6级;平均密度4级之后明显下降,平均冠幅7~8级出现最高峰,8~9级是高生长的旺盛期;存活曲线呈Deevey-Ⅲ型“凹”曲线,龄级与相对年龄存活数之间为显著线性关系;对环境变化敏感,尤其是长势差种群;总体呈衰退趋势。3)导致河西走廊东端猫头刺种群更新状况差的主要原因,除结实率、萌发率低之外,外界环境的改变也是一个方面,即立地条件由流动沙地向固定沙地转变,流沙减少,猫头刺植株尤其是幼苗得不到沙埋,进而存活率低,死亡严重。因此,需采取措施对研究区猫头刺种群,尤其是长势差种群制定切实可行的保护、恢复策略。

关键词:猫头刺;年龄结构;生命表;存活曲线;数量动态

中图分类号:Q948.121

文献标志码:A

文章编号:1001-7461(2023)04-0250-09

Quantitative Dynamics and Population Structure of *Oxytropis aciphylla* at the East End of Hexi Corridor

LI Ya¹, LI Jing-jing¹, SU Wan-hong^{2*}, HU Xiao-ke¹, DING Feng¹

(1. Gansu Desert Control Research Institute/Gansu Desert Control Research Institute, National Key Laboratory Breeding
Base of Wind and Sand Disaster Combating, Lanzhou 730070, Gansu, China;

2. Jingtai County Forestry Bureau, Jingtai 734000, Gansu, China)

Abstract: *Oxytropis aciphylla* is an important sand fixation plant at the east end of Hexi Corridor. In this paper, The *O. aciphylla* populations occurring in two regions at the east end of Hexi Corridor were taken as the study objects, including Dazhuizitan and Baidunzitan of Jingtai County, Gansu Province. The quantitative dynamics and population structure of *O. aciphylla* populations in the region were investigated by using space for time substitution method. The age structure, average density and variation trend, average crown, static life table, survival curve were analyzed based on field investigation. The results indicated that 1) the well growing population presented good regeneration situation in Dazhuizitan area, belonging to growth type, however, the growth of young plants was seriously inhibited. General and poor growing populations in two regions belonged to declining type. Especially for the poor growing populations, the regeneration al-

收稿日期:2022-05-23 修回日期:2022-06-09

基金项目:国家自然科学基金(41661008);甘肃省自然科学基金(1506RJZA137);中央财政林业发展资金野生动植物保护项目;甘肃省重点人才计划项目。

第一作者:李 亚,研究员,硕士。研究方向:荒漠植物生态。E-mail:lygdei@126.com

* 通信作者:苏万红,工程师。研究方向:荒漠化防治。E-mail:22154534@qq.com

most stopped, manifested by the facts that the old age plants had died, the population was facing the danger of distinction. 2) The general age structure of *O. aciphylla* population was relatively complete, showed a normal distribution, the quantity of seedlings was little, the age was moderately small, the age class was mainly in the levels of 2—6. The average density decreased significantly at the age level of 4, the average crown appeared high peak at the age levels of 7—8, the growing peak period of height was in 8—9 age levels. The survival curve was classified as Deevey-Ⅲ (convex) type, there was significant linear relationship between age class and relative age survival quantity. The stability of population was sensitive for the change of environment, especially in poor growing population, which exhibited a degradative tendency in general. 3) Except its lower seed setting rate and germination rate, the change of external environment also was the main reason that led to the poor regeneration of *O. aciphylla* population at the east end of Hexi Corridor, because site condition changed from shifting sandy land to fixed sandy land, the quantity of shifting sand gradually decreased. Under this condition, the plants, especially the seedlings could not be buried by sand, and leading to lower survival rate. So, the feasible restoration and protection measures were very necessary, especially for poor growing population.

Key words: *Oxytropis aciphylla*; age structure; static life table; survival curve; quantitative dynamics

种群结构及动态是种群最基本的特征,是种群生态学研究的重要内容^[1-2],常用年龄结构、存活曲线、静态生命表、数量动态指数等指标来表达^[3-5]。种群结构及动态是植物自身特性与环境因子长期相互作用的结果,不仅体现种群内不同大小个体数量的分布和配置状况,还可反映不同生境条件下植物种群目前的存活状态及种群与环境间的关系,估计种群受干扰状态,预测未来发展与演变趋势^[6-7]。因此,研究种群结构及其动态,有助于人们更好地认识种群的生物学特性和种群发展的影响因素,探讨种群的稳定性与演替规律,揭示种群对环境的适应机制及其在群落中的地位和作用^[8-11]。

猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)是蔷薇目豆科棘豆属的强旱生垫状矮小半灌木,常见于我国西北地区砾石质平原、薄层沙地及砂荒地上,分布区域广阔。猫头刺根粗壮,根系发达,茎多分枝开展,植株成球状植丛,具有很强的固氮能力^[12]。在荒漠地区猫头刺灌丛具有“沃岛效应”,还可为荒漠动物提供食源^[13],是荒漠草原带的标志性植物之一,为荒漠地区重要的固沙植物。河西走廊东端景泰县的大咀子滩和白墩子滩分布大量的猫头刺灌丛,位于外围沙漠和内部农田、绿洲之间,对阻止腾格里沙漠南侵,保护农田,改善当地小气候具有重要作用。近年来大咀子滩分布的猫头刺出现更新状况差、大面积死亡的现象,种群退化严重。为此,本文采用空间代替时间的方法,通过分析其龄级结构、编制静态生命表、分析生存曲线,了解猫头刺种群的生存现状、年龄结构特征、数量动态等生物学特性,为探讨猫头刺种群对环境的适应机制提供理论依据,对研究区植被的保护与恢复具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于河西走廊东端的景泰县,地理坐标为 $36^{\circ}43' - 37^{\circ}58'N$, $103^{\circ}03' - 104^{\circ}43'E$,平均海拔1 650 m,属典型大陆性半干旱、半荒漠气候。降水稀少,年平均降水量184.8 mm,且年内分配不均,主要集中在7—9月;蒸发强烈,温差大,年均蒸发量高达3 038.5 mm,是降水量的16.4倍;年均相对湿度49%;年均气温8.2℃;日照充足,年日照2 726 h,光热资源丰富;风沙活动频繁,年均风速3.5 m/s,最大风速21.7 m/s,年大风日数27.7 d,以西北风为主,生态环境十分脆弱。主要土壤类型为风沙土、灰钙土和荒漠灰钙土。植被以典型的稀疏荒漠植被为主,主要有油蒿(*Artemisia ordosica*)、猫头刺、白刺(*Nitraria tangutorum*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskiyi*)、驴驴蒿(*Artemisia dalailamae*)、猪毛蒿(*Artemisia morrisonensis*)、沙生针茅(*Stipa capillata*)、画眉草(*Eragrostis pilosa*)等^[14-15]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置及调查方法 按照猫头刺的生长状况及立地类型,在大咀子滩分为长势差、长势一般和长势较好3类种群,每一类在长势相对均匀的地段随机设置3个10 m×10 m的样地,白墩子滩长势相对均匀,因此随机布设3个10 m×10 m的样地,共12个样地。调查样地内植物种数及猫头刺数量、高度、冠幅、分盖度、新枝生长量等指标,并记录地理位置、生长状况、立地类型等信息。

1.2.2 数据分析方法

1.2.2.1 龄级划分及年龄结构 猫头刺属于多年生丛生状灌木,基部分枝多而密,无法准确测量其基径,所以本研究以冠幅和株高作为猫头刺种群大小级划分的标准,采用空间序列代替时间序列的方法^[16-18],即大小结构分析法,以植株的冠幅与株高之积(即植株体积)的立方根,将猫头刺种群划分为 11 个龄级,第 1 级 0~5 cm,之后每级间隔 5 cm,超过 50 cm 的都划分为 11 级。统计各龄级的植株数,分别以各龄级代表相对年龄及各龄级植物个体数作为纵轴和横轴,绘制种群年龄结构图。

1.2.2.2 种群静态生命表及存活曲线 静态生命表:为了消除因年龄波动造成的影响,将种群各龄级株数作标准化处理^[19-20],其中最小龄级(1 年生)个体数标准化为 1 000。由于项目区长势差和长势一般的猫头刺种群均属于“幼龄株数少的衰退种群”,

为了更加准确地反应种群数量波动中的某些生态现象,比如迅速发展或衰落^[21-22],本研究没有对相关数据作匀滑处理,将各龄级株数标准化后直接用于各参数计算。根据特定生命表的编制方法,主要计算了存活数(a_x :在 x 龄级内现存活个体数)、存活量(l_x :在 x 龄级开始时标准化存活个体数)、死亡量(d_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数)、死亡率(q_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率)、区间寿命(L_x :从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数)、总寿命(T_x :从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数)、期望寿命(e_x :进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命)、消失率(K_x :为损失度)8 个参数,进而分析其动态变化^[23-24]。

存活曲线:存活曲线是借助存活个体数量来描述特定年龄死亡率^[25],本文以龄级为横坐标,相对年龄存活数的对数为纵坐标,绘制种群存活曲线。

表 1 样地信息

Table 1 Plots information

样地	长势	地理位置	立地类型	伴生种
大咀子滩	差	N37°36'14.3", E103°48'35.1"	固定沙地	油蒿(<i>A. ordosica</i>)
	一般	N37°35'33.7", E103°50'22.4"	固定沙地	油蒿(<i>A. ordosica</i>)
	较好	N37°35'46.4", E103°50'17.2"	半固定沙地	油蒿(<i>A. ordosica</i>)
白墩子滩		N 37°23'59.86", E 104°10'4.91"	砾质沙地	霸王(<i>Zygophyllum xanthoxylum</i>)、白刺(<i>N. tangutorum</i>)

1.2.2.3 种群结构的数量动态分析 根据种群内两相邻龄级间个体数量变化动态(V_n),整个种群年龄结构的数量变化动态指数(V_{pi})及考虑未来外部干扰时,整个种群年龄结构变化动态指数(V'_{pi}),客观精确地定量比较评价猫头刺种群的结构动态^[26-27]。具体计算公式如下

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

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} S_n} \times \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n) \quad (2)$$

$$V'_{pi} = \frac{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)}{k \times \min(S_1, S_2, \dots, S_k) \times \sum_{n=1}^{k-1} S_n} \quad (3)$$

式中: S_n 与 S_{n+1} 分别为第 n 与第 $n+1$ 年龄级种群个体数, K 表示种群最大年龄级。

2 结果与分析

2.1 猫头刺种群的年龄结构

大咀子滩猫头刺长势差,植株数量较少(图 1),为 1 833 株/hm²,幼苗(1 级)数量极少,仅为 33 株/hm²,占总数的 1.80%,年龄结构为纺锤形、呈正态分布,龄级集中在 2~3 级,年龄偏小,结构不完整,8 龄级以后缺失,大部分个体已死亡,植株稀疏,种群

整体呈现严重衰退态势;长势一般种群,幼苗数量较长势差种群多,为 66 株/hm²,但幼苗占总数的比例仅为 1.5%,同样很少,年龄结构同样为纺锤形、呈正态分布,龄级主要集中在 2~5 级,占总数的 88%,以 2、3 龄级的数量较多,年龄中等偏小,结构不完整,8 龄级以后缺失,部分个体死亡,种群开始朝着衰退方向发展;长势较好种群植株数量多,为 6 233 株/hm²,幼苗数量为 866 株/hm²,占总数的 13.9%,年龄结构完整,近似钟形,种群呈现增长态势。

白墩子滩猫头刺长势和大咀子滩长势一般种群差不多,但形成鲜明对比的是幼苗数量多,是大咀子滩长势一般种群的 2 倍,为 133 株/hm²,且年龄结构相对完整;尽管幼苗数量多,占总数的比例同样很低,仅为 2.88%,年龄结构也是基本呈正态分布,龄级主要集中在 3~6 级,占总数的 75.54%,年龄中等偏小,种群开始朝着衰退方向发展。

总体表现为:年龄结构相对完整,呈现正态分布。幼苗较少,为 275 株/hm²,占总数的 6.42%,龄级主要集中在 2~6 级,占 83.46%,年龄中等偏小,呈衰退趋势。

2.2 猫头刺种群平均密度及变化动态

大咀子滩不同长势猫头刺种群灌木的平均密度

差异明显(图2),长势较好、长势一般和长势差种群相互间差异均显著,长势较好种群内猫头刺的数量远远高于长势差和长势一般种群,为 $0.63\text{株}/\text{m}^2$,是长势差种群的3.4倍;白墩子滩猫头刺平均密度和大咀子滩长势一般种群的相当,基本代表了研究区猫头刺生长的平均水平,相互间差异不显著。

同样地,大咀子滩不同长势猫头刺种群的密度随龄级的变化趋势差异明显。长势较好种群的密度在1~2龄级有所减少,之后逐渐增加,至4龄级时

达到最大值,4龄级后迅速降低;长势一般种群的密度在1~2龄级逐渐增加,2龄级时达到最多,之后逐渐减少,并在3~5龄级保持一段时间的稳定,之后迅速降低;长势差种群密度在1~3龄级逐渐增加,3龄级时达到最大,之后逐渐减少,尤以3~4龄级减少迅速。白墩子滩和项目区整体种群的变化趋势基本一致,总体来讲,种群密度呈现先增后降的趋势,至4级时达到最大,之后随着龄级的增加逐渐降低,到了8龄级时均已非常小。

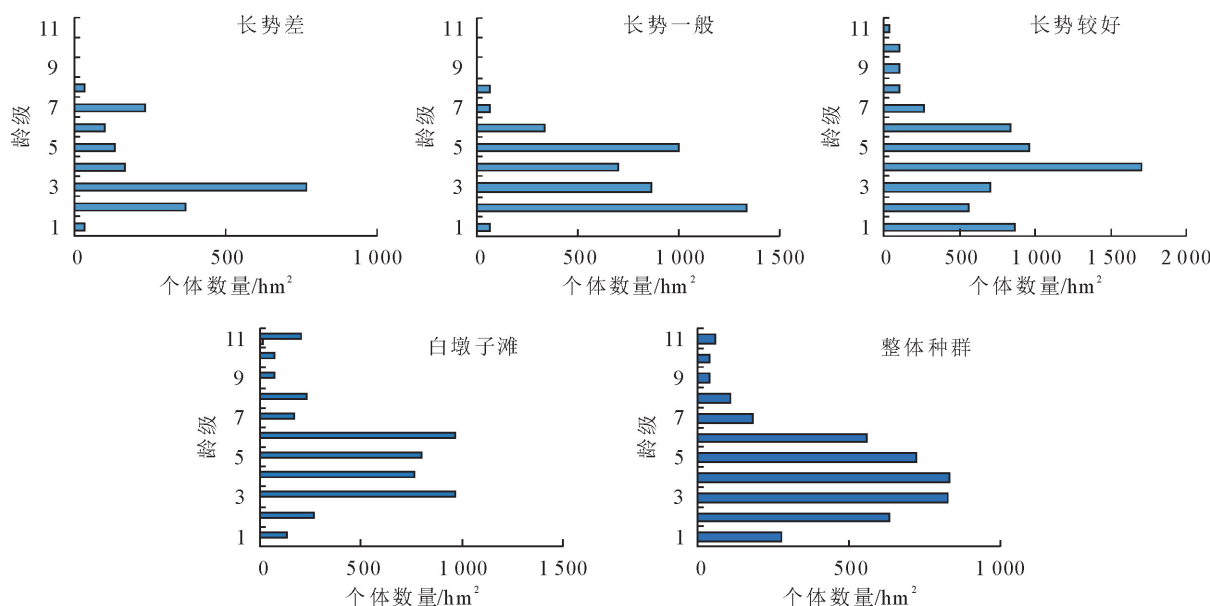


图1 猫头刺种群的年龄结构

Fig. 1 The age structure of population of *O. aciphylla*

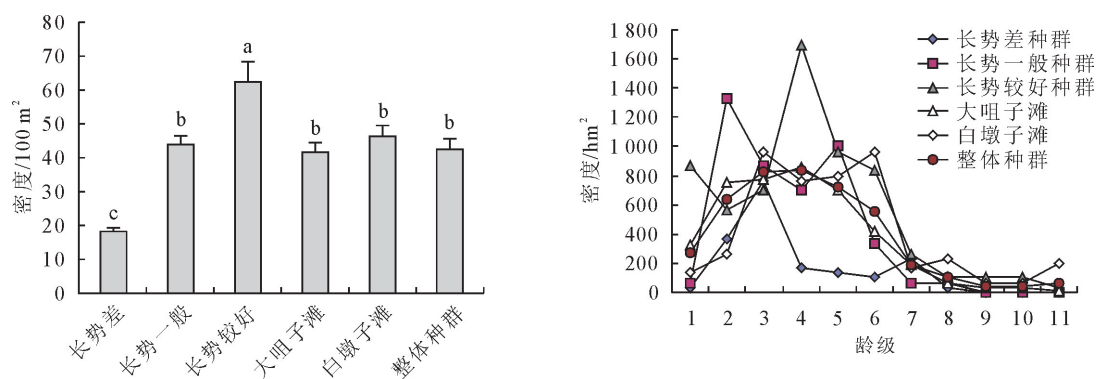


图2 猫头刺种群平均密度及变化动态

Fig. 2 The average density and dynamic changes of population of *O. aciphylla*

2.3 猫头刺种群平均冠幅的变化动态

大咀子滩猫头刺种群平均冠幅在1~6级随着龄级的增加缓慢增加,不同长势间没有明显差异;长势差种群6~7级平均冠幅迅速增加,7~8级急剧下降,说明在7~8级猫头刺以高生长为主;长势一般和长势较好种群平均冠幅在6~8级迅速增加,8~9级均有不同程度减少,以高生长为主,9级以后长势较好种群平均冠幅继续增加,高生长逐渐减缓。白墩子滩种群平均冠幅变化趋势与大咀子滩长势较

好种群基本一致,大小与大咀子滩平均及项目区整体种群相当(图3)。

2.4 猫头刺种群静态生命表和存活曲线特征

大咀子滩长势差1~2级、2~3级,长势一般1~2级,长势较好2~3级、3~4级及白墩子滩1~2级、2~3级的 d_x 、 q_x 、 K_x 均为负值(表2),种群在负值龄级段植株缺乏;总体来看,主要缺乏的是低龄级的植株,尤其是一年生幼苗。相比之下,长势较好种群的幼苗数量较多,但在2~3、3~4龄级死亡率

表 2 猫头刺种群静态生命

Table 2 The static life table of population of *O. aciphylla*

种群	龄级 x	存活数 a_x	存活量 l_x	死亡量 d_x	死亡率 q_x	区间寿命 L_x	总寿命 T_x	期望寿命 e_x	消失率 K_x
长势差	1	33.33	1 000	-10 000	-10	6 000	54 500	9.08	-2.4
	2	366.67	11 000	-12 000	-1.09	17 000	48 500	2.85	-0.74
	3		23 000	18 000	0.78	14 000	31 500	2.25	1.53
	4		5 000	1 000	0.2	4 500	17 500	3.89	0.22
	5	133.33	4 000	1 000	0.25	3 500	13 000	3.71	0.29
	6	100	3 000	-4 000	-1.33	5 000	9 500	1.9	-0.84
	7	233.33	7 000	6 000	0.85	4 000	4 500	1.13	1.95
	8		1 000	1 000	1	500	500	1	6.91
长势一般	1	66.67	1 000	-19 000	-19	10 500	66 000	6.29	-3.00
	2	1 333.33	20 000	7 000	0.35	16 500	55 500	3.36	0.43
	3	866.67	13 000	2 500	0.19	11 750	39 000	3.31	0.21
	4	700	10 500	-4 500	-0.42	12 750	27 250	2.13	-0.36
	5	1 000	15 000	10 000	0.67	10 000	14 500	1.45	1.10
	6	333.33	5 000	4 000	0.8	3 000	4 500	1.5	1.61
	7	66.67	1 000	0	0	1 000	1 500	1.5	0
	8	66.67	1 000	1 000	1	500	500	1	6.91
长势较好	1	866.67	1 000	346.15	0.35	826.92	6 692.31	8.09	0.42
	2	566.67	653.85	-153.85	-0.24	730.77	5 865.38	8.03	-0.21
	3	700	807.69	-1 153.85	-1.42	1 384.62	5 134.61	3.71	-0.89
	4	1 700	1 961.54	846.15	0.43	1 538.46	3 750	2.44	0.56
	5	966.67	1 115.38	153.85	0.14	1 038.46	2 211.54	2.13	0.15
	6	833.33	961.54	653.85	0.68	634.62	1 173.08	1.85	1.14
	7	266.67	307.70	192.31	0.63	211.54	538.46	2.55	0.98
	8	100	115.38	0	0	115.38	326.92	2.83	0
	9	100	115.38	0	0	115.38	211.54	1.83	0
	10	100	115.38	76.92	0.67	76.92	96.15	1.25	1.10
	11	33.33	38.46	38.46	1	19.23	19.23	1	3.65
白墩子滩	1	133.33	1 000.00	-1 000.00	-1.00	1 500.00	34 250.00	22.83	-0.69
	2	266.67	2 000.00	-5 250.00	-2.63	4 625.00	32 750.00	7.08	-1.29
	3	966.67	7 250.00	1 500.00	0.21	6 500.00	28 125.00	4.33	0.23
	4	766.67	5 750.00	-250.00	-0.04	5 875.00	21 625.00	3.68	-0.04
	5	800.00	6 000.00	-1 250.00	-0.21	6 625.00	15 750.00	2.38	-0.19
	6	966.67	7 250.00	6 000.00	0.83	4 250.00	9 125.00	2.15	1.76
	7	166.67	1 250.00	-500.00	-0.40	1 500.00	4 875.00	3.25	-0.34
	8	233.33	1 750.00	1 250.00	0.71	1 125.00	3 375.00	3.00	1.25
	9	66.67	500.00	0.00	0.00	500.00	2 250.00	4.50	0.00
	10	66.67	500.00	-1 000.00	-2.00	1 000.00	1 750.00	1.75	-1.10
	11	200.00	1 500.00	1 500.00	1.00	750.00	750.00	1.00	7.31
整体种群	1	275.00	1 000.00	-1 303.03	-1.30	1 651.52	15 088.03	9.14	-0.83
	2	633.33	2 303.03	-699.97	-0.30	2 653.02	13 436.52	5.06	-0.27
	3	825.00	3 003.00	-30.33	-0.01	3 018.17	10 783.50	3.57	-0.01
	4	833.33	3 033.33	394.33	0.13	2 836.17	7 765.33	2.74	0.14
	5	725.00	2 639.00	606.67	0.23	2 335.67	4 929.17	2.11	0.26
	6	558.33	2 032.33	1 365.00	0.67	1 349.83	2 593.50	1.92	1.11
	7	183.33	667.33	273.00	0.41	530.83	1 243.67	2.34	0.53
	8	108.33	394.33	242.67	0.62	273.00	712.83	2.61	0.96
	9	41.67	151.67	0.00	0.00	151.67	439.83	2.90	0.00
	10	41.67	151.67	-60.67	-0.40	182.00	288.17	1.58	-0.34
	11	58.33	212.33	212.33	1.00	106.17	106.17	1.00	5.36

注: x , 龄级; a_x , 在 x 龄级现存活个体数; l_x , 在 x 龄级开始时标准化存活个体数(转换为 1 000); d_x , 从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期内标准化死亡数; q_x , 从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间死亡率; L_x , 从 x 到 $x+1$ 龄级间隔期间还存活的个体数; T_x , 从 x 龄级到超过 x 龄级的个体总数; e_x , 进入 x 龄级个体的生命期望或平均期望寿命; K_x , 消失率(损失度)。

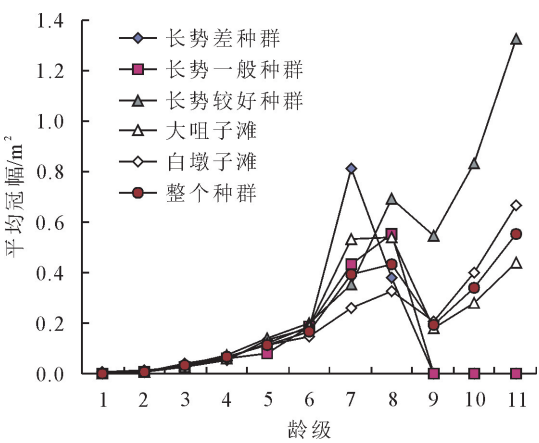


图 3 猫头刺种群平均冠幅变化动态
Fig. 3 The dynamic changes of average crown of population of *O. aciphylla*

同样是负值,说明外界环境对低龄期的猫头刺有较高的淘汰率。 e_x 总体表现为随着龄级的增加而减小,经过自然淘汰和种内、种间竞争之后,存活下来的植株具有较强的生命期望寿命。不同长势及不同分布区的生存能力有差异,长势差种群,4 级和 5 级的生存能力较强;长势一般种群 6 级和 7 级生存能力较强;长势较好种群,7 级和 8 级的生存能力较强;白墩子滩种群 7 级、8 级和 9 级的生存能力较强;总体来讲研究区猫头刺种群在 7 级、8 级和 9 级的生存能力较强。

不同长势猫头刺种群的存活曲线明显不同(图 4),长势差的种群属于 Deevey-I 型“凸”曲线^[25],幼苗非常少;长势一般种群呈现“凹凸”型变化,幼苗较少,2~5 级呈凹型,相对稳定,5 级开始呈凸型,斜率很大,死亡率非常高;长势较好种群和白墩子滩种群属于 Deevey-III 型“凹”曲线,存活曲线在 1~2 级和 2~3 级斜率较大,之后经过对环境的适应,在 3~6 级,进行营养生长和生殖生长,存活曲线相对稳定,6 级开始,死亡率随着龄级的增加而增加。整个大咀子滩与项目区整体种群的存活曲线变化趋势基本一致,呈现典型的 Deevey-III 型“凸”曲线,5 级开始死亡率随着龄级的增加极速增加,群落整体处于波动状态。

为了更准确地确定猫头刺种群存活曲线特征,对不同生长阶段采用线性回归分析(y :相对年龄存活数的对数; x :龄级),配合直线回归方程并检验其显著程度,结果为大咀子滩长势较好种群、大咀子滩整体和项目区整体种群为显著的线性关系(表 3)。

总体来讲,大咀子滩长势差和长势一般种群,白墩子滩种群均为衰退型,大咀子滩长势较好种群为增长型,整个研究区猫头刺种群为衰退型。

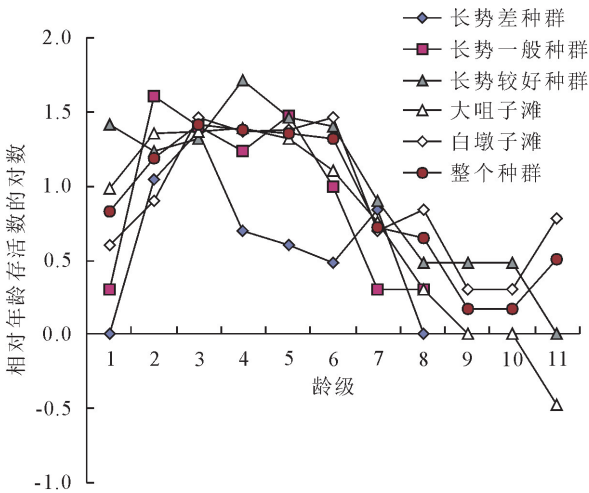


图 4 猫头刺种群存活曲线
Fig. 4 The survival curve of population of *O. aciphylla*

表 3 猫头刺种群存活曲线的线性回归

Table 3 The linear regression of survival curve of population of *O. aciphylla*

生长状况	回归方程	相关系数	<i>P</i>
长势差	$y = -0.044x + 0.828$	0.052	>0.05
长势一般	$y = -0.088x + 1.350$	0.147	>0.05
长势较好	$y = -0.142x + 1.841$	0.734	<0.05
大咀子滩	$y = -0.177x + 1.802$	0.775	<0.05
白墩子滩	$y = -0.061x + 1.285$	0.212	>0.05
整体种群	$y = -0.1045x + 1.5099$	0.5334	<0.05

2.5 猫头刺种群结构的数量动态

不同长势及分布区猫头刺种群年龄级间个体数量动态(V_n)均波动变化,但明显不同(表 4)。大咀子滩长势差种群在幼苗向 2~3 级发育中个体存活数量急剧下降($V_n < 0$),呈现明显的衰退结构;长势一般种群在幼苗向 2 级发育中个体存活数量急剧下降($V_n < 0$),呈明显衰退结构;长势较好种群在 2 级向 4 级发育中个体存活数量急剧下降,尤其是 3 级向 4 级发育中,呈明显衰退结构,其他龄级则表现出个体数量增长态势。白墩子滩在幼苗向 2~3 级发育中个体存活数量急剧下降($V_n < 0$),呈明显衰退结构。

整个研究区总体表现为幼苗向 2~3 级发育中个体存活数量急剧下降($V_n < 0$),呈现明显的衰退结构。

尽管长势差、长势一般种群目前有很多个体停止生长、死亡,种群处于衰退状态,但目前各阶段年龄结构的数量变化动态指数(V_{pi})都大于零,总体来讲,还处于稳定阶段。相比之下,在考虑未来外部干扰时,长势差种群的年龄结构变化动态指数(V'_{pi})较大(表 5),说明长势差种群总体上受环境影响较大,更加敏感。

表 4 猫头刺种群两相邻年龄级个体数量变化的动态量值

Table 4 The dynamic quantitative value of individual number change between two adjacent age class of population of *O. aciphylla*

种群	年龄级										$V_n \cdot \%^{-1}$
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
长势差	-90.91	-52.17	78.26	20	25	-57.14	85.71				
长势一般	-95	37.5	32	-43.33	66.67	80	0				
长势较好	34.62	-19.05	-58.82	43.14	13.79	68	62.5	0	0	66.67	
大咀子滩	-57.35	-1.45	-5.48	13.70	39.68	55.26	64.71	50.00	0.00	66.67	
白墩子滩	-50.00	-72.41	20.69	-4.17	-17.24	82.76	-28.57	71.43	0.00	-66.67	
整体种群	-55.43	-41.03	8.97	4.93	7.41	74.40	15.63	66.67	0.00	-52.63	

表 5 猫头刺种群年龄结构的动态指数

Table 4 The dynamic index of age structure of population of *O. aciphylla*

动态指数	大咀子滩				白墩子滩	项目区整体
	长势差	长势一般	长势较好	整体		
V_{pi}	33.89	34.17	23.75	13.95	18.24	12.81
V'_{pi}	4.24	2.14	2.16	3.80	0.83	0.78

3 讨论

通过对研究区猫头刺种群的年龄结构、种群平均密度及变化动态、平均冠幅变化动态、种群静态生命表和存活曲线、种群结构的数量动态等的分析,不同长势及不同立地类型表现出不同的特征。大咀子滩长势较好的猫头刺种群年龄结构相对完整,幼苗数量丰富,中等龄级植株数量适度,高龄级较少,结构合理,更新潜力较强,暂时处于增长状态;大咀子滩长势一般、长势差及白墩子滩种群均表现为年龄结构不完整,种群波动明显,幼苗数量少,密度低,植株死亡现象严重,种群更新受到制约,为衰退型种群。

幼苗的数量及存活率是影响种群健康发展的重要方面,在本研究区,只有长势较好种群幼苗数量相对较多,但 2、3 龄级的数量较 1 龄级明显减少,说明尽管长势较好种群属于增长型种群,但其幼苗的存活在当地受到了一定的限制,环境对幼苗存在较残酷的筛选和过滤,死亡率较高,1 级向 2 级过渡的过程中死亡率接近 34.62%,基于幼苗的庞大基数,暂时可以维持种群的正常更新,但低龄级苗成活率低将影响种群未来的健康发展。而其他长势及分布区的猫头刺幼苗数量均非常少,幼苗数量不足、存活率低,种群更新状况差,在这种情况下,假如幼苗得不到补充,种群最终将走向衰退^[28-29]。除了幼苗数量不足、存活率低,猫头刺种群密度低也影响着种群的健康发展。总体来讲,种群密度在到了 4 龄级,也就是立方根达到 20 cm 之后开始明显下降,个体死亡严重,种群开始衰败;到了 8 龄级,也就是立方根达到 40 cm 之后,猫头刺的数量基本降至最低,大部分植株死亡,尤其是在长势一般和长势差的种群,超过

40 cm 的植株存活数量非常少。

大咀子滩的天然植被,当地政府于 2000 年开始封育管护,大面积的流沙被固定,尤其是猫头刺长势差和长势一般种群,已基本为固定沙地,仅在长势较好种群部分地段有流沙覆盖,白墩子滩的猫头刺分布在山前的砾质沙地,有小范围的流沙覆盖,已有研究表明猫头刺的更新苗在没有沙埋的情况下第 2 年很难存活^[30-31],本项目区的猫头刺种群也表现出与流沙的密切关系,因此流沙覆盖是猫头刺存活,尤其是幼苗存活的关键因素之一。外界环境改变,尤其是立地类型由流动沙地向固定沙地转变,使得猫头刺植株得不到沙埋,个体较难通过强烈的环境筛选进入种群的更替层。尽管一个物种的种群自身具有其独特的更新方式,外界环境淘汰后保存下来的植株具有更强的生存能力,一定程度上会促进种群的进化和繁荣,但与之相对的是,外界环境的改变、人为干扰以及种间、种内竞争等对特定年龄段个体产生的影响使种群的年龄结构偏离正常,进而对种群的自然更新带来更加强烈的负面影响^[32-33],再加之猫头刺本身结实率、萌发率低,缺乏维持种群稳定的种子萌发、幼苗定居及存活的适宜条件等关键因素^[34],最终导致河西走廊东端猫头刺种群逐渐衰退。

尽管封育管护措施改善了当地的小生境,研究区大部分区域近年来植被覆盖度显著增加,尤其是大咀子滩长势较好和长势一般的种群,近年来植被恢复良好,但长势差种群除了残存的少量猫头刺外,几乎没有其他的植被生长,同时在不同长势及不同分布区,静态生命表中的死亡量、死亡率、消失率在低龄级阶段大部分为负值,说明研究区的猫头刺种群在低龄级阶段经常出现迅速发展或衰落的极端现

象^[21],种群对当地的环境非常敏感。而在考虑未来外部干扰时,长势差种群的年龄结构动态指数较大,对环境的变化更加敏感。因此,需在今后的保护和利用过程中对长势差种群重点加以考虑。

4 结论

河西走廊东端猫头刺种群的结构与数量因植株长势及生境的差异,表现出不同的结构特征及变化趋势。大咀子滩长势较好的种群更新状况较好,为增长型,但低龄级植株的存活在当地受到了严重的限制;其他长势及分布区的种群均为衰退型,尤其是长势差的种群,更新已基本停止,且大龄级植株大部分已死亡。总体表现为年龄结构相对完整,呈正态分布;幼苗数量少,龄级主要集中在2~6级,年龄中等偏小;种群平均密度在4龄级之后明显下降,平均冠幅在7~8级出现最高峰,8~9级高度生长最旺盛;种群存活曲线呈现典型的Deevey-Ⅲ型“凸”曲线,种群龄级与相对年龄存活数之间的线性关系较显著;种群对外界环境的变化敏感,总体呈衰退趋势。

引起河西走廊东端猫头刺种群更新状况差的主要原因,除自身结实率、萌发率低之外,外界环境的改变也很重要,主要为立地类型由流动沙地向固定沙地转变,流沙减少,幼苗得不到沙埋,进而存活率低,死亡严重。猫头刺是当地一种重要的防风固沙植物,维持其种群的稳定是维护当地生态平衡的重要方面。在长势差的种群,除了大面积死亡的猫头刺外,很少有其他物种出现,植被覆盖度非常低。

参考文献:

- [1] KANG D, GUO Y X, REN C J, *et al.* Population structure and spatial pattern of main tree species in secondary *Betula platyphylla* forest in Ziwoiling Mountains, China[J]. Scientific Reports, 2014(4): 6873.
- [2] 张金峰, 葛树森, 梁金花, 等. 长白山阔叶红松林红松种群年龄结构与数量动态特征[J]. 植物生态学报, 2022, 46(6): 1-11.
ZHANG G J F, GE S S, LIANG J H, *et al.* Population age structure and dynamics of *Pinus koraiensis* in broadleaf Korean pine forest in Changbai Mountain, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2022, 46(6): 1-11. (in Chinese)
- [3] 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, 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, 1998, 18(2): 214-217. (in Chinese)
- [4] HARPER J L. Population biology of plants[M]. London: Academic Press, 1977: 599-643.
- [5] 刘玉平, 苏慧, 刘贵峰, 等. 罕山自然保护区森林植物群落优势种的种群结构与动态[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 170-175.
LIU Y P, SU H, LIU G F, *et al.* Population structure and dynamics of dominant species of main forest community in Hanshan Nature Reserve[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4): 170-175. (in Chinese)
- [6] SOMANATHAN H, BORGES R M. Influence of exploitation on population structure, spatial distribution and reproductive success of dioecious species in a fragmented cloud forest in India[J]. Biological Conservation, 2000, 94(2): 243-256.
- [7] 赵阳, 杨萌萌, 刘锦乾, 等. 治力关林区紫果云杉天然林种群结构特征[J]. 西北林学院学报, 2020, 35(4): 37-44.
ZHAO Y, YANG M M, LIU J Q, *et al.* Population structure characteristics of *Picea purpurea* natural forest in Yeliguan forest area[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2020, 35(4): 37-44. (in Chinese)
- [8] 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 Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 2016, 36(4): 811-817. (in Chinese)
- [9] 姜在民, 和子森, 宿昊, 等. 濒危植物羽叶丁香种群结构与动态特征[J]. 生态学报, 2018, 38(7): 2471-2480.
JIANG Z M, HE Z S, SU H, *et al.* Population structure and dynamic characteristics of endangered *Syringa pinnatifolia* Hemsl[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(7): 2471-2480. (in Chinese)
- [10] 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): 4640-4651.
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): 4640-4651. (in Chinese)
- [11] SVENSSON J S, JEGLUM J K. 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): 67-79.
- [12] 中国科学院中国植物志编辑委员会. 中国植物志: 第四十二卷[M]. 北京: 科学出版社, 1998: 9-11.
- [13] 中国饲用植物志编辑委员会. 中国饲用植物志: 第1卷[M]. 北京: 农业出版社, 1987: 510-513.
- [14] 李亚, 魏怀东, 纪永福, 等. 景电引黄灌区植被变化过程与恢复模式研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 294-299.
LI Y, WEI H D, JI Y F, *et al.* Restoration model and change process of vegetation in Yellow River irrigation area of Jingtai[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(5): 294-299. (in Chinese)
- [15] 张宝琳, 蔡国军, 王三英, 等. 景电灌区农耕地枸杞引种试验研究[J]. 西北林学院学报, 2013, 28(2): 90-95.
ZHANG B L, CAI G J, WANG S Y, *et al.* Introduction of *Lycium barbarum* cultivars to Jingdian irrigated farmland[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2013, 28(2): 90-95. (in Chinese)
- [16] 陈科屹, 张会儒, 张博, 等. 长白山北坡天然次生林典型建群种的种群结构及动态特征[J]. 生态学报, 2021, 41(13): 5142-5152.
CHEN K Y, ZHANG H R, ZHANG B, *et al.* Population structure and dynamic characteristics of typical constructive

- species in natural secondary forest on the northern slope of Changbai Mountain[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(13): 5142-5152. (in Chinese)
- [17] 张定海, 杨丽萍, 张志山. 腾格里沙漠东南缘不同生境油蒿种群的数量动态[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(5): 893-901.
- [18] 秦爱丽, 马凡强, 许格希, 等. 珍稀濒危树种峨眉含笑种群结构与动态特征[J]. *生态学报*, 2020, 40(13): 4445-4454.
QIN A L, MA F Q, XU G X, *et al.* Population structure and dynamic characteristics of a rare and endangered tree species *Michelia wilsonii* Finet et Gagn[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(13): 4445-4454. (in Chinese)
- [19] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 太白山太白红杉种群空间分布格局研究[J]. *应用生态学报*, 2005, 16(2): 207-212.
ZHANG W H, WANG Y P, KANG Y X, *et al.* Spatial distribution pattern of *Larix chinensis* population in Taibai Mt[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(2): 207-212. (in Chinese)
- [20] 王希义, 徐海量, 潘存德, 等. 塔里木河下游珍稀濒危植物胡杨的种群生存特征研究[J]. *西北植物学报*, 2017, 37(11): 2282-2289.
WANG X Y, XU H L, PAN C D, *et al.* Population survival characteristics of *Populus euphratica* which is rare and endangered in the lower reaches of Tarim River[J]. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica*, 2017, 37(11): 2282-2289. (in Chinese)
- [21] Wratten S D, Fry G L A. *Field and Laboratory Exercises in Ecology*[M]. London: Edward Arnold, 1980.
- [22] 安静, 吴玲, 王海娟, 等. 不同干扰程度下沙生植物异翅独尾草的种群结构与动态特征[J]. *生态学报*, 2017, 37(6): 2023-2032.
An J, WU L, WANG H J, *et al.* Structural and dynamic characteristics of *Eremurus anisopterus* populations in areas with different levels of disturbance[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, 37(6): 2023-2032. (in Chinese)
- [23] 张亮, 王孝安, 刘鹏, 等. 陕西子午岭北桑寄生的种群生命表与生存分析[J]. *植物生态学报*, 2014, 38(7): 687-693.
ZHANG L, WANG X A, LIU P, *et al.* Life table and survival analysis of *Loranthus tanakae* population in Ziwuling Mountains[J]. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2014, 38(7): 687-693. (in Chinese)
- [24] 张志永, 杨晓晖, 张晓, 等. 浑善达克沙地榆树(*Ulmus pumila*)种群结构与动态特征[J]. *中国沙漠*, 2018, 38(3): 524-534.
- [25] DEEVEY E S. Life tables for natural populations of animals[J]. *The Quarterly Review of Biology*, 1947, 22: 283-314.
- [26] XIE Z Q, XIONG G M, CHEN Z G, *et al.* Community characteristic and population structure of dominant species of *Abies fargesii* in Shennongjia Nature Reserve[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 1931-1941.
- [27] 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, 18(2): 214-217.
CHEN X D. A study on the method of quantitative analysis for plant population and community structural[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(2): 214-217. (in Chinese)
- [28] MOLLES M C. *Ecology: concept and application*[M]. Beijing: Science Press, 2000: 162-266.
- [29] 刘月, 王君, 杨雨春, 等. 不同林分密度胡桃楸胸径、树高、材积与冠幅关系[J]. *森林工程*, 2021, 37(3): 28-35.
- [30] 贾丽娜, 吴斌, 丁国栋, 等. 宁夏盐池县 3 种常见沙生植物群落特征及阻沙能力[J]. *东北林业大学学报*, 2009, 37(11): 56-58.
JIA L N, WU B, DING G D, *et al.* Community characters and sand trapping capability of three common species of *Psammophyte* in Yanchi county, Ningxia[J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(11): 56-58. (in Chinese)
- [31] 曹蕾, 廖贺贺, 王旭, 等. 沙坡头自然保护区猫头刺种群生命表与生存分析[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(4): 32-36.
CAO L, LIAO H H, WANG X, *et al.* Life table and survival analysis of *Oxytropis aciphylla* in Shapotou Nature Reserve[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2016, 44(4): 32-36. (in Chinese)
- [32] DANG H S, JIANG M X, ZHANG Y J, *et al.* Dendro ecological study of a subalpine fir (*Abies fargesii*) forest in the Qinling Mountains, China[J]. *Plant Ecology*, 2009, 2011(1): 67-75.
- [33] 刘运伟, 张巍. 小兴安岭阔叶红松林不同群落生物多样性分析[J]. *森林工程*, 2022, 38(1): 27-33.
- [34] 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 W H, ZU Y G, LIU G B. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1512-1520. (in Chinese)