

张掖市龙首山红砂种群结构和分布格局研究

董秋莲, 李毅, 单立山, 耿东梅

(甘肃农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 对张掖市龙首山天然红砂分布区的红砂种群结构和空间分布格局进行了研究。根据年龄大小结构图和存活曲线以及静态生命表分析了红砂种群动态, 用扩散系数 C , 负二项分布中的 K 值, 平均拥挤度 m^* , 丛生指数 I , Cassie 指标 CA 和聚块性指标 (m^*/m) 6 个分布指数对格局类型进行了判断, 并根据双向轨迹方差法分析了种群格局规模。结果表明, 红砂种群的自然更新状况良好, 各龄级苗木均有分布。种群的年龄结构接近于增长型, 表现为中龄级 ($10\text{ cm} < d \leq 30\text{ cm}$) 丰富; 种群存活曲线趋向于 Deevey I 型, 种群目前处于较为稳定的状态; 种群的聚集强度为 0.8318, 分布格局类型为聚集分布; 种群有两种空间格局规模, 分别为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ 和 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ 。

关键词: 红砂种群; 大小结构; 空间分布格局

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)04-0284-05

中图分类号: Q948

Population Structure and Distribution Pattern of *Reaumuria Soongorica* in Longshou Mountain of Zhangye City

DONG Qiu-lian, LI Yi, SHAN Li-shan, GENG Dong-mei

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: This paper studied on the population structure and spatial pattern of *Reaumuria soongorica* in Longshou Mountain of Zhangye City by analyzing the population changes with age structure, survival curve and static life table of *Reaumuria soongorica*, assessed the spatial pattern by diffusion coefficient C , K value of negative bidirectional function, mean congestion degree m^* , clumping index I , Cassie index CA , conglomeration index m^*/m , and analyzed the population pattern scale using two-way track variance method. The results indicated that the *Reaumuria soongorica* population was in a natural succession with all-age plant evenly distributed. The age structure was close to that of growing phase with the crown diameter of middle-age plant at $10\text{ cm} < d \leq 30\text{ cm}$ and survival curve tended to be Deevey I, of which the population was in a stable stage. The spatial pattern was of aggregation with the index at 0.8313 and there were two patterns of scale as $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ and $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ respectively.

Keywords: *Reaumuria soongorica* population; age structure; spatial pattern

种群是群落结构和功能的最基本单位,也是物种适应单位,同时也是生态学各个层次中最重要的一个层次;种群的年龄结构和分布格局是其研究的核心内容^[1],种群年龄结构是指种群内不同年龄个体数量的组配情况,同时反应了种群个体在空间上的组配方式,也在一定程度上反应了种群的发展趋势^[2];空间分布格局是种内/种间相互关系及环境条件综合作用的结果,是研究种群结构特征、种群互作以及种群与

环境间相互关系的重要方法;对于空间分布格局的研究不仅能对种群格局进行定量描述,更重要的是能够揭示格局成因,掌握种群演化过程并预测种群变化趋势,能够为种群保护措施的制定提供科学依据,因此成为近年来生态学研究热点之一^[3]。对于种群结构和空间分布格局的研究,尤其通过对生态系统中优势种群年龄结构和空间分布格局的研究,对阐明生态系统的形成与维持、群落的稳定性与演替规律、种群

收稿日期:2012-10-31

修回日期:2012-12-05

资助项目:国家国际科技合作专项“荒漠区典型抗旱灌木树种种质资源保护与利用合作研究”(2012DFR30830);甘肃省科技支撑计划项目(1204NKCA084);甘肃农业大学科技创新基金(GAV-CX1112)

作者简介:董秋莲(1986—),女(汉族),甘肃省陇西县人,硕士研究生,主要研究方向为抗旱灌木种质资源保护与利用。E-mail:datouwa2004@126.com。

通信作者:李毅(1962—),男(汉族),湖北省汉川市人,教授,博士生导师,主要研究方向为林木遗传育种。E-mail:liyig@sau.edu.cn。

的动态特征、种群与环境之间的互作过程以及种群更新具有极为重要的意义^[4]。

红砂(*Reaumuria soongorica*)是柽柳科红砂属落叶超旱生小灌木,具有抗严寒、耐瘠薄与盐碱等特性,是我国干旱荒漠区分布最广的植物种之一^[5]。以红砂为优势种、建群种的灌丛植被是我国西北荒漠地区的重要植被类型,因其抗逆性强,生态可塑性大,是该区重要的生物屏障,对维护荒漠地区生态环境有着重要作用^[6]。目前,对于红砂种群的研究主要集中在种群的数量动态与遗传多样性等方面^[7];同时对于红砂种群年龄结构和分布格局已有少量研究,但是这些研究集中在生境条件较好的黄土丘陵沟壑区和绿洲过渡带^[8-9];而对于分布在荒漠区山前戈壁等生态脆弱地带的红砂种群年龄结构和分布格局的研究较少。在山前戈壁生态脆弱地带,红砂受到自然和人类活动的长期胁迫,致使其分布面积缩小种群数量减少,导致更新上的断层,对维持西北干旱区红砂植被种群稳定和持续发展产生不利影响。因此,本研究以张掖市龙首山山前砂砾质地戈壁荒漠红砂种群为研究对象,系统研究了该区域红砂种群结构及分布格局,旨在揭示其种群结构和分布格局规律,为红砂种群的合理保护、恢复及利用提供科学数据,研究结果对该区以及类似荒漠区红砂种群的生态恢复具有重要的意义。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省河西走廊中部张掖地区龙首山山前砂砾质地戈壁荒漠,地理坐标为 $38^{\circ}54'N$, $100^{\circ}15'E$,海拔高度为1599 m,土壤为多砾质灰棕荒漠土,土表及土层中砾石含量高,土壤贫瘠,0—30 cm土层中有机质含量不足0.5%,该地区土壤的机械组成为砾石含量51.77%,砂粒41.87%,粉粒6.07%,黏粒0.29%;土壤有机质含量为0.42%,全N为0.022%,全P为0.032%,全K为1.94%,pH值为8.89。研究区多年平均降水量为129.0 mm,70%的降雨集中在6—9月份;年潜在蒸发量为2048 mm,为降水量的近16倍;年平均气温 $7.0^{\circ}C$,年日照时数为3045 h。该区环境条件严酷,气候干燥,属大陆性荒漠气候。由于长期风蚀及雨水冲蚀,研究区植被呈现条带状分布,并且无植被的砾石地斑块状分布在整个样地中。研究区植被群落为红砂和珍珠猪毛菜(*Salsola passerine*)混生群落,红砂与珍珠猪毛菜共为建群种;其他伴生植物有刺旋花(*Convolvulus tragacanthoides* Turcz.),小画眉草(*Eragrostis poaeoides* Beauv.),盐生草(*Halogeton glomeratus*),中

亚紫菀木(*Asterothamnus centrali-asiaticus* Novopokr.)等旱生植物,盖度不到1%。

2 研究方法

2.1 样地设置与调查

2011年8—9月,结合研究区土壤类型、水分等立地条件,选取天然红砂种群分布典型样地,在样地内设置3个 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的样方,再把每个 $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 的大样方划分为100个 $2\text{ m}\times 2\text{ m}$ 的小样方,在小样方内根据每木测定法测量每一株红砂的高度、冠幅(十字交叉法)、基径,同时记录其他物种的种名、株高、盖度、株数等。并且准确定位每一株红砂在以样地某一顶点为圆心的相对坐标位置(x, y)。

2.2 种群结构分析方法

灌木植物基部分枝多,无明显主干,年轮不易辨别且存在假年轮现象,应用生长锥或径级研究种群动态的难度较大,且会对植株造成伤害,同时由于矮化灌木的年龄差异在高度上表现不明显,主要表现在冠幅方面^[10]。所以采用空间尺度代替时间尺度,采用椭圆面积公式计算红砂的冠幅:

$$C = \pi xy / 4$$

式中: C ——椭圆面积; x, y ——十字交叉法所测的冠幅大小轴。

采用冠幅梯度指示荒漠植物红砂的年龄^[11]。以冠幅直径 d 作为划分龄级的依据,即I级为 $0 < d \leq 10\text{ cm}$,II级为 $10\text{ cm} < d \leq 20\text{ cm}$,III级为 $20\text{ cm} < d \leq 30\text{ cm}$,依次类推。以此对红砂种群结构和发展动态进行统计,绘制红砂种群年龄结构图。

综合3个样方的调查数据,按照静态生命表的编制方法^[12]编制张掖市龙首山红砂种群静态生命表。根据红砂种群静态生命表,以龄级为横坐标,存活量为纵坐标,绘制种群存活曲线,存活曲线是特定年龄存活率对年龄的相关曲线,曲线的走势反映了生存率随年龄的变化状况,是反映种群动态的重要特征,这是生物物种长期自然选择而成的^[13]。Deevey将存活曲线分为3种类型:I型,曲线凸型表示在接近生理寿命前只有少数个体死亡,也即早期死亡率较低;II型,曲线呈对角线表示各年龄死亡率相等;III型,曲线凹型表示幼年期死亡率很高^[14]。通过绘制静态生命表及存活曲线预测红砂种群发展趋势。

2.3 种群分布格局分析

研究种群空间分布格局的方法很多,不同的空间分布格局研究方法从不同的角度来度量种群的聚集特征。扩散系数(C)不受样方大小的影响;平均拥挤

度(m^*)、聚集指数受到种群密度的影响,它们不但表征种群在空间分布即样方之间的差异,还表征单位样方内种群的数量和密集程度;聚块性指标(m^*/m)、聚集强度都只考虑了空间格局本身的性质,不受种群密度的影响,能够作为衡量集群程度的指标,表征种群对空间的侵占、扩展程度。丛生指数(I)可以比较不同样地种群的聚集程度,体现种群聚集特征差异^[15]。本研究应用扩散系数(C),负二项指数(K),平均拥挤度(m^*),聚块性指标(m^*/m),丛生指数(I),Cassie 指标(CA)6 个分布类型指数判定红砂种群的格局分布类型。

根据相邻格子法划分区组,将每个大样方划分为 $2\text{ m} \times 2\text{ m}$ (I), $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ (II), $4\text{ m} \times 4\text{ m}$ (III), $4\text{ m} \times 8\text{ m}$ (IV), $8\text{ m} \times 8\text{ m}$ (V), $8\text{ m} \times 16\text{ m}$ (VI), $16\text{ m} \times 16\text{ m}$ (VII)这 7 个区组,运用双项轨迹方差法计算每一区组的均值,对区组进行方差分析得均方差值,以区组大小为横坐标,均方差为纵坐标作图,图上曲线的峰值所对应的区组大小代表着种群的分布格局规模。

3 结果与分析

3.1 红砂种群年龄结构

由图 1 可以看出,各龄级红砂苗木均有分布。种群的年龄结构接近于增长型,表现为幼龄级($0 < d \leq 10\text{ cm}$)个体数为 $10.28\% \pm 7.50\%$;中龄级($10\text{ cm} < d \leq 30\text{ cm}$)较丰富,所占比例为 $76.72\% \pm 13.25\%$;老龄级($d > 30\text{ cm}$)个体数占 $13.00\% \pm 7.00\%$ 。随着种群的发育、繁殖,幼龄个体由于环境胁迫(可能是研究区干旱、土壤盐碱化严重)存活下来的数量较少,中年植株个体数量较多且生长状况良好,成年植株可能由于环境胁迫而逐渐死亡,种群目前处于较为稳定的状态。由红砂种群的存活曲线图(图 2)来看,种群存活曲线趋向于 Deevy I 型,显示出稳定种群的特点,即种群趋于稳定型。

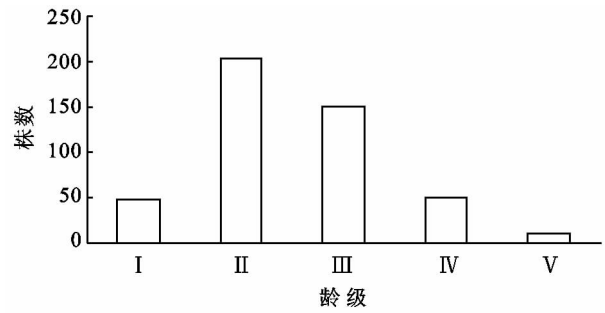


图 1 研究区红砂种群年龄大小结构

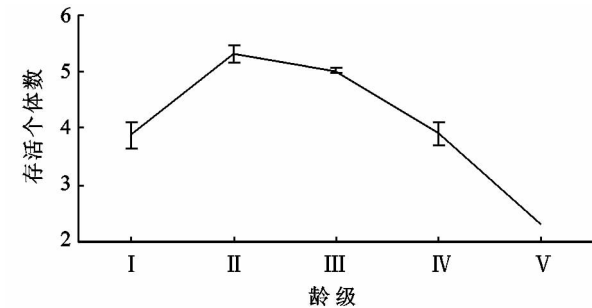


图 2 研究区红砂种群存活曲线

3.2 红砂种群静态生命表

红砂种群的静态生命表在一定程度上反映了种群的历史积累和未来的发展趋势。由表 1 可以看出,随着红砂个体的成熟,植株对水分、光照、养分的竞争越来越激烈,导致死亡率逐渐上升。第 I 龄级出现死亡率为负的情况,说明该种群幼苗补充量较少,如若这一情况长期存在,红砂种群将由于没有足够的幼苗进行更新而走向灭亡。同时,种群在第 I 龄级至第 II 龄级波动较大,这说明红砂幼苗对于环境的要求较高,受到环境的筛选存活下来的个体较少。种群期望寿命反应的是 x 龄级个体的平均生存能力。从期望寿命来看,随着龄级的增加,个体间竞争加强,红砂个体衰老导致期望寿命逐渐降低。这种趋势符合种群的生物学特性,体现出龙首山红砂种群生长状况较为稳定的特点。

表 1 红砂种群静态生命表

龄级	a_x	l_x	d_x	q_x	L_x	T_x	E_x	K_x	$\ln I_x$
I	48	1 000	-3 229	-3.229 0	2 614.5	9 123.0	9.213 0	-1.44	6.91
II	203	4 229	1 084	0.256 3	3 687.0	6 508.5	1.539 0	0.30	8.35
III	151	3 145	2 104	0.669 0	2 093.0	2 821.5	0.897 1	1.10	8.05
IV	50	1 041	833	0.800 2	624.5	728.5	0.699 8	1.61	6.95
V	10	208	208	1	104	104	0.50	5.34	5.34

注: x 为龄级; a_x 为龄级开始时的实际存活数; l_x 为第 x 龄级开始时的标准化存活数; d_x 为从第 x 到 $x+1$ 龄级的标准化死亡数; q_x 为第 x 龄级的个体死亡率; L_x 为从第 x 到 $x+1$ 龄级的平均存活个体数; T_x 为第 x 龄级及其以上各龄级的个体存活总数; E_x 为进入第 x 龄级个体的平均期望寿命; K_x 为种群亏损率; $\ln I_x$ 表示标准化存活数的自然对数值。

3.3 红砂种群分布格局

从表2可以看出,用扩散系数 C ,负二项分布中的 K 值,平均拥挤度(m^*),丛生指数(I),Cassie指标(CA),聚块性指标(m^*/m)来判断格局类型的结果比较一致,即该地区红砂种群空间分布类型为聚集分

布。负二项分布 K 值量化了聚集分布的强度,聚集强度为0.8318。

聚块性指标考虑了空间格局的自身特性,并不涉及现有的总个体数和密度特征,聚块性指标的值越大,聚集性越强^[16]。

表2 红砂种群聚集指标与空间分布格局类型

指标	c	K	m^*	I	CA	m^*/m	分布格局
数值	2.2645	0.8318	4.61	0.0316	1.2645	1.1515	CL

注:CL为聚集分布。

3.4 红砂种群空间格局规模

聚集分布的种群个体通常是聚集成大小不等的斑块镶嵌在一起,这种斑块的大小即为种群格局的规模^[17]。研究种群的格局规模是了解群落结构的基础,因此在对红砂种群进行了年龄结构和存活曲线研究的同时,对种群格局规模也进行了分析研究。从图3可以看出,红砂种群格局规模呈增加—减小—增加—减小的变化趋势,分别在区组III和区组V出现双峰值,周国英等^[18]研究表明均方差峰值出现在区组II以后才可以真实的反应出种群的斑块性。本研究结果符合这个标准,可认为该研究区红砂种群有两种格局分布规模,分别为 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$ 和 $8\text{ m}\times 8\text{ m}$ 。

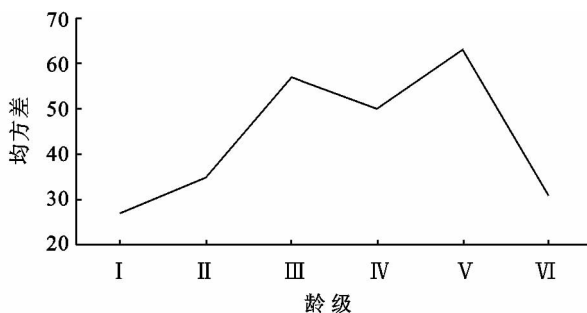


图3 研究区红砂种群格局规模

4 结果讨论

张掖市龙首山红砂种群的年龄结构接近于增长型,中龄级苗木丰富,这与周资行等^[8]对兰州市南北两山天然分布的红砂种群的研究结果不一致。这可能是由于南北两山属于黄土丘陵沟壑地带土壤水分较高,因此幼苗生长状况较该研究区良好。这一影响因素也在准噶尔盆地的红砂种群^[19-20]得到了验证。调查研究发现张掖市龙首山红砂种群虽然属于稳定型,但不容忽视的是,红砂种群幼龄级、老龄级的个体数量少于中龄级的个体数量。虽然种群总体呈现稳定的特性,但幼龄级呈现衰退趋势,即如果没有幼龄个体对中老年株数进行补充,该生态脆弱区红砂种群

的长期稳定性将难于维持。由此可见,幼苗个体向幼树阶段转换困难已成为该种群更新、发展的瓶颈;此外,人为活动干扰频繁,可能也是不利于种子萌发、幼苗生长的主要原因,应加强管理与保护措施,促进红砂的天然更新。

由于静态生命表是用同一时期收集的种群所有个体的龄级编制而成,是对多个世代重叠的年龄动态历程中的一个特定时间的反映,而不是对种群全部生活史的追踪^[21],且调查当中存在系统抽样误差,因此在生命表中会出现死亡率为负的情况。对于这一问题,很多学者认为应该对龄级数据波动进行匀滑处理^[22-23],但是这样会不可避免的掩盖一些生态学现象。宋于洋等^[24]在对石河子不同生境条件下的梭梭种群进行研究时没有对相关数据进行匀滑处理,将各龄级株数标准化后直接用于各参数计算效果良好,因此本研究未采取匀滑处理。通过对张掖市龙首山红砂种群静态生命表研究发现,红砂种群第I龄级出现死亡率为负的情况,说明该种群幼苗补充量较少,如果这一情况长期存在,该区红砂种群将由于没有足够的幼苗进行更新而逐渐走向灭亡;这与种群年龄结构方面的研究结果相吻合,同时也与李昌龙^[11]等对民勤县连城自然保护区红砂种群的研究结果一致。由于缺乏可更新的幼龄个体,严重影响了当地红砂的繁殖更新,如不采取适当的护林抚育措施,红砂种群未来将会趋于衰退。种群静态生命表中死亡率 q_x 和亏损率 K_x 的变化基本一致, K_x 在第V龄级出现峰值,说明中龄级个体向老龄级个体转变时的死亡率高。红砂幼苗的生长需要充足的水分,尤其是幼树阶段需要的土壤水分较高,但是张掖市龙首山土壤水分不能很好的满足红砂幼苗植株生长的需要,导致种内竞争激烈,造成幼苗向幼树转变较为困难。第V级出现峰值是由于随着年龄增长,种群的抗性及其适应环境的能力随之减弱,即红砂种群利用土壤养分、水分等条件的能力下降,使种群的存活率下降。

空间分布格局是植物种群生物学特性对环境条

件长期适应和选择的结果,自然环境的空间异质性也约束着植物的空间分布,同时影响其动态发展。由于沙地土壤缺乏生物结皮,在降水量少的大风天气下很容易形成地表风沙流^[25],风沙流会对植株尤其是幼小的植株造成机械损伤,影响其正常的生理活动^[26]。在这种恶劣的自然条件下,植株只有聚集成斑块结构才能更好地抵御这种自然灾害并适应当地的立地条件生存下来。本研究结果表明,在张掖市龙首山山前戈壁脆弱地带,红砂种群分布格局呈明显的聚集分布,这与其他学者认为自然种群在生态脆弱地带服从聚集分布的较多而服从随机分布的较为少见的观点一致^[27]。同时也与何志斌等^[9]对黑河中游甘肃省临泽县北部荒漠绿洲过渡带红砂种群的分布格局呈现出聚集分布的观点一致。张掖市龙首山红砂种群的聚集分布格局,一方面主要取决于红砂的无性繁殖生物学特性,又与该地区的水文水资源、气候、土壤和地形等异质性环境密切相关;另一方面也是红砂种群对异质性环境的具体响应。

5 结论

红砂作为张掖市龙首山天然植被的建群种之一,对维持龙首山生态系统稳定,促进植被恢复与重建具有极其重要的作用。研究区内红砂种群的年龄结构接近于增长型,各龄级苗木均有分布,中龄级苗木数量较多且生长状况良好同时种群存活曲线趋向于 Devey I 型,种群稳定。红砂种群表现为 4 m×4 m 和 8 m×8 m 两种规模大小的斑块状分布,种群年龄结构和静态生命表都表现为缺少幼苗个体,应对该区红砂种群进行适当抚育,从而促进其持续发育。

[参 考 文 献]

- [1] 李博,杨持,林鹏. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2000.
- [2] Ru Wenming, Zhang Guiping, Bi Runcheng, et al. Population structure and pattern of endangered *Ulmus lamellosa* in Shanxi[J]. Chin. J. Appl. Environ. Biol., 2007, 13(1): 14-17.
- [3] Plotkin J B, Chave J, Ashton P S. Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species [J]. Am. Nat., 2002, 160(5): 629-644.
- [4] 徐学红,于明坚,胡正华,等. 浙江古田山自然保护区甜槠种群结构与动态[J]. 生态学报, 2005, 25(3): 645-653.
- [5] 中国植被编辑委员会. 中国植被[M]. 北京:科学出版社, 1980:583-584.
- [6] 刘家琼,邱明新,蒲锦春,等. 我国荒漠典型超旱生植物:红砂[J]. 生态学杂志, 2004, 23(5): 30-34.
- [7] 曾彦军,王彦荣. 红砂种群繁殖特性的研究[J]. 草业学报, 2002, 11(21): 66-71.
- [8] 周资行,李毅,焦健. 兰州市南北两山不同生境红砂种群数量动态研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1726-1737.
- [9] 何志斌,赵文智. 黑河流域荒漠绿洲过渡带两种优势植物种群空间格局特征[J]. 应用生态学报, 2004, 15(6): 947-952.
- [10] 王继和,靳虎甲,马全林. 干旱区油蒿种群结构和分布格局分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 534-538.
- [11] 李昌龙,马瑞君,王继和. 甘肃民勤连古城自然保护区优势种群结构和动态研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(8): 1628-1636.
- [12] 吴承桢. 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, 11(3): 333-336.
- [13] 苏俊霞,孙建华,田震平,等. 吕梁山南端白皮松幼林种群结构的研究[J]. 西北植物学报, 2003, 23(2): 200-204.
- [14] 李博. 生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.
- [16] 王伯荪,李鸣光,彭少麟. 种群生态学[M]. 北京:科学出版社, 2004: 264-276.
- [17] 王得祥,陈海滨,刘建军,等. 秦岭华山松种群分布格局及动态研究[J]. 西北植物学报, 1998, 18(4): 622-628.
- [18] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 青海湖地区芨芨草群落特征及其多样性[J]. 西北植物学报, 2003, 23(11): 1956-1962.
- [19] 祝宁,臧润国. 刺五加种群生态学的研究及刺五加的种群结构[J]. 应用生态学报, 1993, 4(2): 113-119.
- [20] 黄培佑. 荒漠区耐旱树种在异质生境中完成生活周期现象初探[J]. 新疆大学学报:自然科学版, 1988, 5(4): 87-93.
- [21] 吕朝燕,张希明,刘国军,等. 准噶尔盆地西北缘梭梭种群结构和空间格局特征[J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 380-387.
- [22] 王勤花,巨天珍,常虎成,等. 甘肃小陇山锐齿栎种群结构分析[J]. 广西植物, 2006, 26(1): 38-42.
- [23] 岳春雷,江洪,朱荫溥. 濒危植物南川升麻种群数量动态的分析[J]. 生态学报, 2002, 22(5): 793-796.
- [24] 宋于洋,刘长青,赵自玉. 石河子地区不同生境梭梭种群数量动态分析[J]. 西北植物学报, 2008, 28(10): 2118-2124.
- [25] 张华,李锋瑞,伏乾科,等. 沙质草地植被防风抗蚀生态效应的野外观测研究[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 119-124.
- [26] 于云江,史培军,贺丽萍. 风沙流对植物生长影响的研究[J]. 地球科学进展, 2002, 17(2): 262-267.
- [27] 周纪伦. 植物种群生态学[M]. 北京:高等教育出版社, 1993: 96-115.