

文章编号:1000-1638(2025)02-0187-09

DOI:10.13484/j.nmgdxzbk.20250209

不同环境条件下濒危植物蒙古扁桃 种群分布格局及其关联性*

刘雅洁¹,王铁娟^{1,2},刘晓婷¹,李晓田¹,张丽¹

(1. 内蒙古师范大学生命科学与技术学院,呼和浩特 010022;

2. 内蒙古自治区高等学校蒙古高原生物多样性保护与可持续利用重点实验室,呼和浩特 010022)

摘要:蒙古扁桃为蒙古高原的古老残遗种,国家二级保护植物,具有极大的科研价值。为了揭示蒙古扁桃种群对不同环境的适应策略及种群变化趋势,本研究选取沙漠和砾石平原的蒙古扁桃种群为研究对象,采用大小结构法将蒙古扁桃植株划分为3个大小级,运用点格局分析法对各大小级的空间分布格局及其关联性进行研究。结果表明:两种生境中的蒙古扁桃均以Ⅱ级植株为主,但是沙漠中蒙古扁桃种群缺乏实生苗,更新受限;两个蒙古扁桃种群在中、大尺度上以随机分布为主,在小尺度上具有一定差异性,其中砾石平原种群Ⅰ、Ⅱ级植株聚集性明显,与繁殖方式、环境的异质性有关;蒙古扁桃的沙漠种群各大小级间关联性不明显,砾石质平原种群中各大小级在小尺度上呈现正关联,与种间竞争有一定的关系。该研究结果对于蒙古扁桃的保护具有一定的指导意义。

关键词:蒙古扁桃;空间分布格局;空间关联;大小级结构

中图分类号:Q145+.1 **文献标志码:**A

种群空间分布格局是指种群个体在空间上的分布或配置,是种群的基本特征之一。它能够反映种群内部的相互作用、不同种群间的相互影响以及与环境的关系,进而揭示种群的生态学特性或过程^[1]。种群分布格局可分为均匀分布、随机分布、聚集分布三种类型^[2],其中聚集分布是最普遍的一种类型。早期的研究方法只能分析单一尺度下的种群空间格局,然而在不同尺度上,分布格局往往表现为不同类型^[3]。为解决这一问题,Ripley于1977年提出点格局分析法^[4],该方法可以在一系列连续尺度上进行分析,目前已成为空间分布格局研究的最常用方法。张金屯将点格局分析引入我国后,被广泛应用到各类植被的种群研究中,解析不同环境、不同条件和不同空间尺度的生态学过程^[3,5-9]。在干旱区,种群空间分布格局研究也取得了较多的成果^[10-11],揭示了严酷环境下种群的适应特征。

蒙古扁桃(*Amygdalus mongolica*)为蔷薇科(Rosaceae)桃属(*Amygdalus*)植物,为国家二级保护植物。主要分布在内蒙古、宁夏(贺兰山)、陕西东北部、甘肃(河西走廊中部)、蒙古国南部以及东南部,多生长于荒漠和荒漠草原区的山地、丘陵、石质坡地以及干河床等生境^[12],是亚洲中部荒漠区特有的旱生落叶灌木^[13]。蒙古扁桃根系发达,耐寒、耐旱、耐瘠薄,具有良好的防风固沙、水土保持作

* 收稿日期:2024-03-06;修回日期:2024-09-05

基金项目:内蒙古自治区科技计划资助项目(2020GG0124);内蒙古师范大学基本科研业务费专项资金资助项目(2022JBTD010);内蒙古师范大学研究生科研创新基金资助项目(CXJJS23056)

作者简介:刘雅洁(1999-),女,河北保定人,2021级硕士研究生。E-mail:3145384815@qq.com

通信作者:王铁娟(1969-),女,河北任丘人,教授,博士。主要从事植物生态学研究。E-mail:w tj105@163.com

用,其花色艳红,花期早,是优良的观赏绿化植物,种仁含油率高,种仁还可代“郁李仁”入药^[14-15]。

蒙古扁桃由于自身的繁殖特性以及较为恶劣的生存环境,虽然开花率高但结实率低,成熟种子数量少,种群天然更新受限^[16],加之人类活动的干扰,其生境逐渐破碎化,加剧其濒危程度。蒙古扁桃作为蒙古高原的古老残遗物种^[17],具有很高的科研价值,开展了大量的研究,如地理分布^[18]、传粉与繁殖^[19]、遗传结构与谱系地理^[20-21]、抗逆特征^[22]、药理特性^[23]等。蒙古扁桃多生长于石质山坡,我们在调查中发现,山前平原生长的蒙古扁桃植株高大,可达1.4 m,随海拔升高,植株逐渐变矮,成为矮灌木,高度不足20 cm。在沙漠中蒙古扁桃也可以生长,且植株高大,达1.3 m,表现出不同的生态适应性。对于不同的生境,蒙古扁桃的种群格局有着怎样的差异?各大小级间的关系如何?这些问题的研究有助于了解蒙古扁桃的生态适应特征。目前对于蒙古扁桃的种群分布格局还未见研究报道。鉴于此,本研究采用点格局分析法探讨不同生境下蒙古扁桃种群的空间分布格局,进而为该种的保护提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究地位于内蒙古西部的阿拉善盟阿拉善左旗和巴彦淖尔市乌拉特后旗。两地区主体均位于草原化荒漠带,为温带大陆性气候,以风沙大、干旱少雨、日照强烈、蒸发量大为主要特点。阿拉善左旗年平均气温为7.2℃,年降水量在80~220 mm之间,年蒸发量为2900~3300 mm,年日照时数能达到3300 h以上^[24];乌拉特后旗年平均气温为3.8℃,年降水量在96~106 mm之间,年蒸发量达2700~3700 mm,年日照时数在3200 h以上^[25]。

设置两个调查区域,一个位于阿拉善左旗德日图南,地理坐标40°26′41″N、105°29′19″E,海拔1532 m,处于巴丹吉林沙漠东缘,蒙古扁桃种群生于沙漠生境中(沙漠种群),呈较大片斑块状分布且生长良好,优势明显,样地内有少量白沙蒿(*Artemisia sphaerocephala*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*),受人类活动影响小,环境条件较为均匀。另一区域位于乌拉特后旗西南部呼和温都尔镇,狼山东部山前,地理坐标40°55′18.184″N、106°42′22.968″E,海拔1084.74 m,为砾石质平原(砾石质平原种群)。因在山地生长的蒙古扁桃随海拔升高逐渐变小,为与沙漠生长的蒙古扁桃作对比研究,故选择山前平原的蒙古扁桃种群,该区域地势微起伏,蒙古扁桃呈小斑块分布,与大面积的白沙蒿群落相间分布,草本层以狗尾草(*Setaria viridis*)、蒺藜(*Tribulus terrestris*)占优势。

1.2 调查方法

在两个研究地点进行实地调查,记录调查样地的地理位置及植被情况,并在调查地各设置一个50 m×50 m的样方,将样方分割成25个10 m×10 m的小样方,以小样方同一方向的一个顶点为原点,测量并记录样方里每一株蒙古扁桃的空间二维坐标以及东西、南北冠幅和株高。

1.3 年龄结构划分

确定灌木年龄较为困难,因此很多学者在研究灌木年龄结构时会采用“大小级代替年龄级”^[26-27]的方法进行研究。本研究亦采用大小级(即株高×冠幅长×冠幅宽的立方根, d)代替龄级的方法来分析蒙古扁桃的种群空间分布格局。参考与蒙古扁桃个体大小相近的沙冬青大小级划分方法^[28],并结合本研究对蒙古扁桃大小级分布频率的调查,将蒙古扁桃划分为3个级别,分别为:Ⅰ级, $d \leq 60$ cm;Ⅱ级, $60 \text{ cm} < d \leq 180$ cm;Ⅲ级, $d > 180$ cm。

1.4 点格局分析与零模型选择

本文采用由Ripley K函数推演而来的成对相关函数 $g(r)$ ^[29]对不同生境下的蒙古扁桃种群和每个大小级的空间分布格局进行分析。与K函数相比,成对相关函数 $g(r)$ 能更敏感地判别在某一尺度

上的种群格局实测数据与期望值之间的偏离程度,且不受积累效应的影响^[30]。相关公式如下:

$$K(r) = \frac{A}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{I_r(u_{ij})}{w_{ij}} (i \neq j),$$

$$g(r) = (2\pi r)^{-1} - \frac{dK(r)}{dr}。$$

式中, r 为空间尺度; A 为研究区面积; n 是样地内植物个体总数; u_{ij} 是两个个体*i*与*j*之间的距离。当 $u_{ij} \leq r$ 时, $I_r(u_{ij})=1$;若 $u_{ij} > r$,则 $I_r(u_{ij})=0$, W_{ij} 为以*i*为圆心 u_{ij} 为半径的圆位于*A*中的弧长与圆周长之比。

本文采用双变量 $g_{ab}(r)$ 函数检测蒙古扁桃不同大小级之间的空间关联性,公式如下:

$$K_{ab}(r) = \frac{A}{n_a n_b} \sum_{i=1}^{n_a} \sum_{j=1}^{n_b} \frac{I_r(u_{ij})}{w_{ij}} (i \neq j),$$

$$g_{ab}(r) = (2\pi r)^{-1} - \frac{dK_{ab}(r)}{dr}。$$

式中, n_a 和 n_b 分别表示不同大小级的个体数。

选择合适的零模型是成功运用成对相关函数 $g(r)$ 解决种群分布格局问题的关键^[31]。完全随机模型(CSR)是判断种群空间分布格局的主要零模型,以个体在研究区各位置出现概率相同来进行模拟,而异质泊松模型(HP)是在CSR的基础上通过排除生境异质性后进行模拟验证,前提条件模型(AC)则用来进行不同大小级间的关联性分析。本研究运用Programita 2018软件完成以上各模型的分析,以99%置信概率计算上下包迹线,拟合199次。运用Origin 9软件做个体空间分布图。

2 结果与分析

2.1 蒙古扁桃种群的年龄结构

生长在沙漠生境和砾石质平原生境中的蒙古扁桃种群,其基本的数量特征见表1。沙漠生境中有蒙古扁桃64株,密度为0.03株/ m^2 ;植株个体大小变化大,33.06~416.92 cm,均值为149.25 cm;种群中未见实生苗,Ⅱ级植株个体数最多,所占比例最大(48.44%),Ⅰ级植株个体数最少,占17.19%,种群处于稳定向衰退的过渡阶段。砾石质平原生境中有111株蒙古扁桃,密度为0.04株/ m^2 ;植株个体大小6.00~324.16 cm,均值为105.09 cm;Ⅱ级植株个体也明显占优势,占49.55%,Ⅰ级植株个体数多于Ⅲ级植株,表明该生境蒙古扁桃种群有较好的更新能力,种群年龄结构为增长型。

表1 蒙古扁桃种群个体大小统计结果

Table 1 Statistical values of the plant size of *A. mongolica* populations

生境	株数	密度/ (株/ m^2)	植株大小 d					各级植株		
			最小值/cm	最大值/cm	均值/cm	标准差/cm	变异系数/%	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ
沙漠	64	0.03	33.06	416.92	149.25	85.99	57.61	11	31	22
砾石质平原	111	0.04	6.00	324.16	105.09	76.78	73.06	34	55	22

2.2 蒙古扁桃种群空间分布格局

两种生境的蒙古扁桃种群不同大小级的空间分布如图1所示,砾石质平原种群与沙漠种群相比数量更多,密度更大。完全随机模型(CSR)结果(图2)表明,沙漠种群的实测值均位于上下包迹线之内,为随机分布;砾石质平原种群也以随机分布为主,但在尺度0~3.8 m上呈强烈的聚集分布(实测值位于上包迹线之上)。由于聚集分布的存在,采用异质泊松模型(HP)进一步对砾石质平原种群进行分析,结果显示HP模型的聚集性小于CSR模型的结果,在0~2.9 m呈现聚集。总体上看,在沙

漠中的蒙古扁桃种群整体呈现随机分布,而砾石质平原中的蒙古扁桃种群在小尺度上呈现明显的聚集性,在中、大尺度上为随机分布。

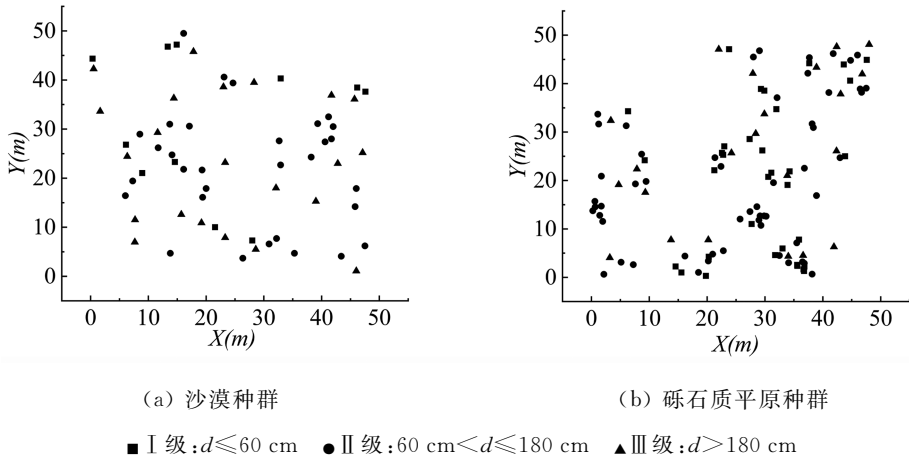


图1 蒙古扁桃不同大小级个体的空间分布

Fig.1 Spatial distribution pattern of *A. mongolica* populations different size classes

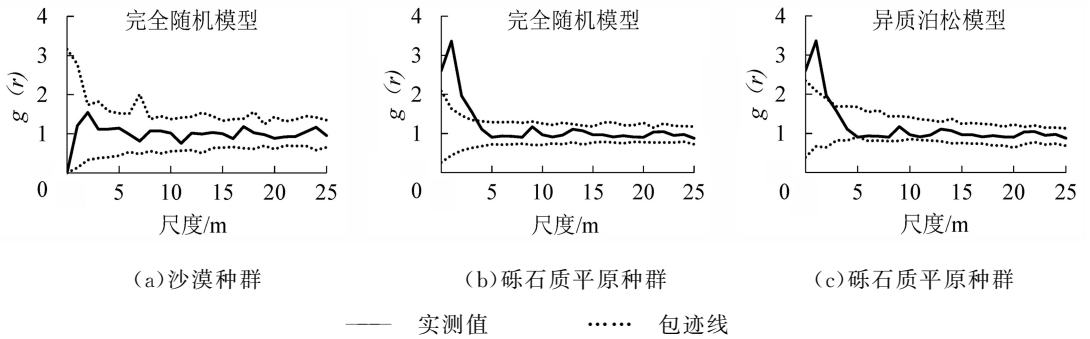
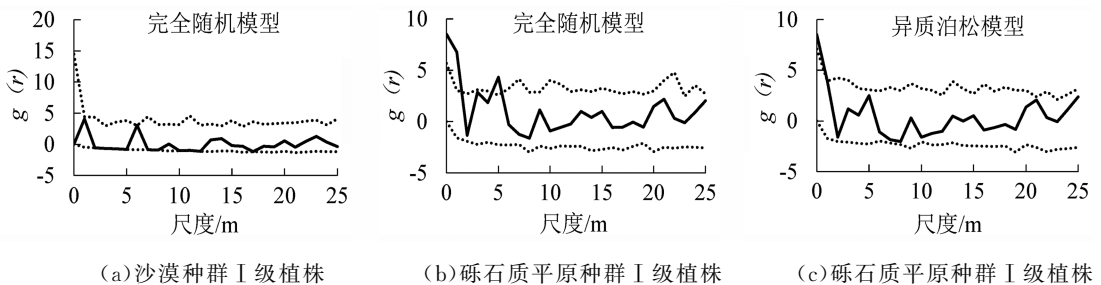


图2 蒙古扁桃种群的空间分布格局

Fig.2 Spatial pattern of *A. mongolica* populations

2.3 蒙古扁桃种群各大小级的空间分布格局

蒙古扁桃不同大小级个体的空间分布格局见图3。其中沙漠种群3个大小级在各尺度基本呈随机分布,仅II级植株在3m处略有聚集。砾石质平原种群不同于沙漠种群之处在于I、II级植株在小尺度上呈现聚集分布,其中I级植株在0~1.5m、4.3~5.3m出现聚集性,II级植株在0~2.2m出现聚集性。进而采用HP模型对I、II级植株的聚集性进行分析,结果显示聚集分布范围均减小,其中I级植株在0~1.1m呈现聚集,II级植株在0~1.4m呈现聚集。



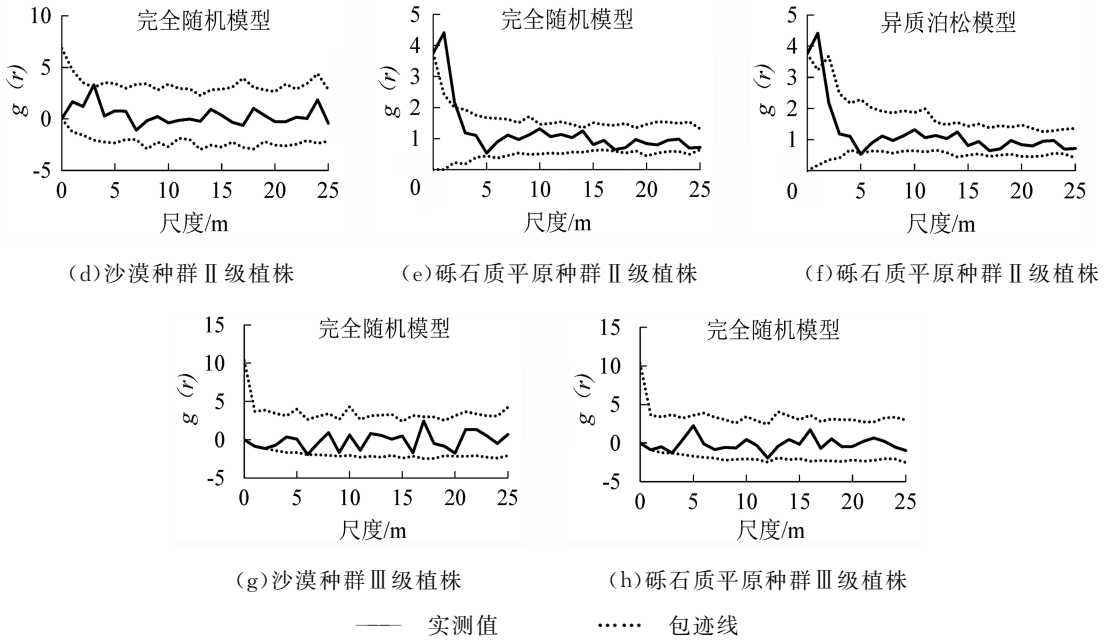


图 3 蒙古扁桃种群不同大小级的空间分布格局

Fig. 3 Spatial pattern at different size classes of *A. mongolica* populations

2.4 蒙古扁桃种群大小级之间的空间关联性

通过前提条件模型(AC)的双变量 $g_{ab}(r)$ 函数分析不同大小级蒙古扁桃的空间关联性,结果见图 4。沙漠种群中 I 级植株与 II 级植株、II 级植株与 III 级植株均无显著关联性, I 级植株与 III 级植株除在小尺度 1.7~2.8 m 呈正关联外,其余尺度上无显著关联性。砾石质平原种群中, I 级植株与 II 级植株(尺度 0~2.4 m)、I 级植株与 III 级植株(尺度 0.8~3.3 m)、II 级植株与 III 级植株(尺度 2~3.2 m、8.5~9.4 m)之间在小、中尺度存在一定正关联,其余尺度上无显著关联性。

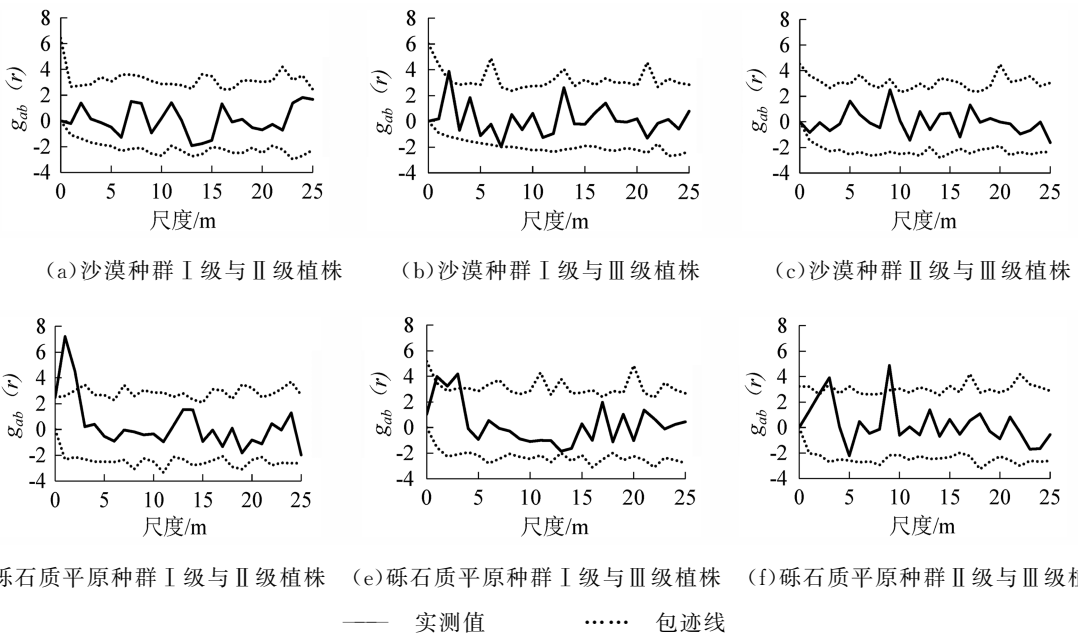


图 4 蒙古扁桃种群不同大小级间的关联性

Fig. 4 Spatial correlation between different size classes of *A. mongolica* populations

3 讨论

3.1 蒙古扁桃的种群年龄结构

年龄结构是种群的重要特征之一,可反映种群的动态变化和发展趋势,同时可以揭示种群的生存现状和更新策略^[32]。蒙古扁桃种群大小级的结构组成受自身生物学特性和环境因素的共同影响,环境因素包括人类活动、极端天气、自然灾害等^[33]。据刘建泉等^[34]的研究可知,在自然状态下蒙古扁桃种子发芽率不高,野生动物的啃食、病虫害及人类活动对蒙古扁桃具有较大影响,蒙古扁桃开花早(4月下旬),气温低,风沙大,尤其遇极端天气,花损失大,出现花多果少的格局。我们实地观察发现,本研究所选的巴丹吉林沙漠东缘的蒙古扁桃种群花期略早于狼山东部山前种群,且前者地处沙漠,风沙大,花损失明显,种群结实率低。相反,在狼山山前砾石质地中的蒙古扁桃种群,其西及西北部有山体阻挡,风沙小,种群的结实率相对较高。这可能是两个区域种群的年龄结构具有一定差异性的原因之一。从具体的年龄结构来看,两个区域的种群中Ⅱ级植株均占优势,植株比例均接近50%。沙漠种群中Ⅰ级植株个体数量较少,占17.19%,且种群中未见实生苗,表明该种群更新可能存在困难,不过周围有蒙古扁桃呈大面积斑块状分布,总体生长状况良好,表明气候较好的年份可能会有新个体补充,加之Ⅲ级个体枯枝率不高,因此该种群应处于稳定向衰退的过渡阶段。而在砾石质平原种群中,Ⅰ级植株个体数量(30.63%)多于Ⅲ级植株(19.82%),且样地中存在实生苗,表明该种群为增长型,种群更新良好。

3.2 蒙古扁桃种群的空间分布格局分析

种群空间分布格局是分析物种之间以及种群与其生境之间关系的重要方法,同时也能体现出种群为适应不同生境而权衡各种资源配置的情况^[35]。种群的空间分布格局与尺度关系密切,会随着尺度的改变而发生变化^[36]。本研究发现两种环境中的蒙古扁桃种群在中、大尺度上均以随机分布为主,但在小尺度上有所不同。沙漠种群在小尺度呈随机分布,而砾石质平原种群在小尺度呈聚集分布(图2),进一步分析显示砾石质平原种群的聚集性表现在Ⅰ、Ⅱ级植株上(图3)。种群分布格局在小尺度上主要受物种自身生物学特性的影响,蒙古扁桃具有坚硬的内果皮,自重较大,成熟后散落在母株周围,母株为幼苗提供了坚固的“避难所”^[33],会导致幼株呈聚集分布。此外,很多荒漠植物幼株呈聚集分布的原因为幼小植株的抗干扰和对资源的竞争能力都比较弱,只能通过彼此之间相互依赖发挥出群体效应来提高存活率^[3,37-38]。这种特性在蒙古扁桃砾石质平原种群中表现明显,由表1可以看出,该种群Ⅰ级植株(幼龄)个体比例较高,呈现出明显的聚集性,而中龄级的分布格局是在幼龄级的基础上发展形成的,必然具有一定的关联,因而该种群的Ⅱ级植株在小尺度上也呈现聚集分布。再者,砾石质平原环境异质性高于沙漠,通过异质模型(HP)分析后,聚集性有一定下降,也说明环境异质性的存在,这也会加大个体的聚集。蒙古扁桃沙漠种群地处巴丹吉林沙漠东缘,环境条件较为均一,但沙地的流动性会使蒙古扁桃的种子被埋到更深的土层中,不利于种子萌发,因而不同于砾石质平原,幼龄级在小尺度呈现随机分布。幼龄级的分布格局同样影响到中龄级与高龄级,后两者在小尺度也呈随机分布。而砾石质平原种群的高龄级(Ⅲ级)植株在小尺度呈现随机分布,主要是由于伴随着个体生长,植株对于养分、空间等资源的需求不断增加,个体间的竞争越来越激烈,种群内出现自疏现象,种群密度降低,聚集性下降^[39],因而呈现出随机分布。两种生境蒙古扁桃种群的各龄级植株在中、大尺度上均为随机分布,与可利用资源的稀缺有关,类似的结果通常出现在荒漠植物的分布格局研究中^[37,40]。

3.3 蒙古扁桃种群各大小级间的空间关联性

种群的空间关联性可以揭示种群在特定时间的空间分布,是种群生态学关系的表现^[41]。这种关

关联性既可以用于不同物种间分析也可以用于种内不同大小级间分析。正关联反映了不同物种或大小级间相互依赖,表现出对环境的共同适应;负关联反映了它们在竞争资源时所产生的差异性^[42]。蒙古扁桃沙漠种群中各大小级关联性不明显,一方面与沙漠环境均匀有关,另一方面与群落内组成简单且周围不见其他群落类型,受其他植物的影响不明显有关;而砾石质平原中蒙古扁桃呈小斑块分布,周围存在大面积的白沙蒿群落,蒙古扁桃种群各大小级个体间在小尺度上均存在正关联关系,这可能是幼龄植株对成熟植株具有一定依赖性,更主要的是蒙古扁桃在生长过程中为了对抗周围白沙蒿等植物的竞争而采取的生态对策。植物间的相互作用大多只能集中在十几米的区域,一旦超过了该范围,植株间的相互作用就会降低^[42]。蒙古扁桃也体现出这一特点,随着空间尺度增大,趋于无关联,这种特性也从侧面反映出种群的空间关联性与尺度有关。

4 结论

两种环境中的蒙古扁桃均以Ⅱ级植株为主,在砾石质平原种群中Ⅰ级植株个体数多于Ⅲ级植株且存在实生苗,属于增长型;而在沙漠种群中Ⅰ级植株个体数较少且未见实生苗,种群更新受限,处于稳定向衰退的过渡阶段。两个蒙古扁桃种群在中、大尺度上分布格局较为一致,以随机分布为主,但在小尺度上具有一定差异性。砾石质平原种群的Ⅰ、Ⅱ级植株聚集性较沙漠种群明显,这与繁殖方式以及环境的异质性有关。两种环境中的蒙古扁桃种群各大小级间的关联性也存在较大的差异性,在沙漠种群中,各大小级间关联性不明显,砾石质平原种群中各大小级在中小尺度上呈现正关联,与种间竞争有一定的关系。综上所述,砾石质环境更适合蒙古扁桃的生长和种群的延续,但会受到其他植物群落的影响;沙漠环境中蒙古扁桃受其他植物的影响少,但多风、恶劣的自然条件会影响蒙古扁桃的更新。在不同的环境条件下,蒙古扁桃会有着不同的生态学过程和适应策略,因而对该种的保护也需要针对不同的环境采取不同的措施。

参考文献:

- [1] 张金屯. 植物种群空间分布的点格局分析[J]. 植物生态学报, 1998(4): 344.
- [2] GREIG-SMITH P. Quantitative plant ecology[M]. 3rd ed. Berkeley: University of California Press, 1983.
- [3] 杨洪晓, 张金屯, 吴波, 等. 毛乌素沙地油蒿种群点格局分析[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 563-570.
- [4] RIPLEY B D. Modelling spatial patterns[J]. Journal of Royal Stastical Society Series B(Methodological), 1977, 39(2): 178-212.
- [5] 向春玲, 张金屯. 东灵山亚高山草甸优势种的点格局分析[J]. 草业科学, 2013, 30(3): 317-321.
- [6] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 35-40.
- [7] 范静宇, 王鑫厅, 李海兵, 等. 典型草原刈割条件下优势种群空间格局[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2024, 55(6): 629-640.
- [8] 罗海, 姜超, 王鑫厅, 等. 米氏冰草种群在恢复演替进程中的点格局分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2023, 54(4): 355-361.
- [9] 李源, 李海兵, 姜超, 等. 典型草原不同放牧强度下羊草种群点格局分析[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2021, 52(4): 417-424.
- [10] 王彦刚, 杨晓晖, 慈龙骏. 西鄂尔多斯高原干旱荒漠灌木群落空间分布格局及其竞争关系分析[J]. 植物资源与环境学报, 2010, 19(2): 8-14.
- [11] 韩以晴, 张定海, 张志山. 腾格里沙漠红卫地区固定沙丘上固沙灌木种群空间分布格局与空间关联性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(3): 157-165.
- [12] 赵一之, 赵利清, 曹瑞. 内蒙古植物志[M]. 3版. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社, 2020: 502.
- [13] 马松梅, 聂迎彬, 耿庆龙, 等. 气候变化对蒙古扁桃适宜分布范围和空间格局的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38

- (3):262-269.
- [14] 周亮,杨君珑,杨虎,等.宁夏蒙古扁桃群落特征与分类[J].植物生态学报,2022,46(2):243-248.
- [15] 赵一之.内蒙古珍稀濒危植物图谱[M].北京:中国农业科技出版社,1992:16-17.
- [16] 方海涛,红雨,那仁,等.珍稀濒危植物蒙古扁桃生物学特性[J].广西植物,2007,27(2):167-169.
- [17] 傅力国.中国植物红皮书:第一册[M].北京:科学出版社,1991:79-102.
- [18] 赵一之.蒙古扁桃的植物区系地理分布研究[J].内蒙古大学学报(自然科学版),1995(6):713-715.
- [19] 方海涛,斯琴巴特.蒙古扁桃的花部综合特征与虫媒传粉[J].生态学杂志,2007,26(2):177-181.
- [20] MA S M, NIE Y B, JIANG X L, et al. Genetic structure of the endangered, relict shrub *Amygdalus mongolica* (Rosaceae) in arid northwest China[J]. Australian Journal of Botany, 2019, 67(2):128-139.
- [21] ZHANG L, SUN F F, MA S M, et al. Phylogeography of *Amygdalus mongolica* in relation to quaternary climatic aridification and oscillations in northwestern China[J]. PeerJ, 2022, 10:e13345.
- [22] 王进,颜霞,李元军,等.蒙古扁桃种子萌发及幼苗生长对胁迫的响应[J].中国沙漠,2018,38(1):140-148.
- [23] BAI W F, LIU Q, CHANG H, et al. Metabolomics reveals the renoprotective effect of n-butanol extract and amygdalin extract from *Amygdalus mongolica* in rats with renal fibrosis[J]. Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology, 2021, 49(1):556-564.
- [24] 张洁,秦富仓.2009—2017年阿拉善左旗沙漠化土地空间分布格局及驱动机制[J].水土保持研究,2020,27(6):174-179.
- [25] 王志国,蓝登明,赵宏胜,等.乌拉特后旗荒漠草原典型植物群落与土壤养分特征[J].内蒙古林业科技,2020,46(4):20-26.
- [26] 张丽,王铁娟,郭金停,等.西鄂尔多斯珍稀濒危植物四合木种群分布格局分析[J].草地学报,2023,31(2):551-557.
- [27] 李晓田,王铁娟,韩文娟,等.东阿拉善珍稀濒危植物绵刺种群结构与点格局分析[J].植物生态学报,2023,47(4):506-514.
- [28] 刘晓婷,王铁娟,苏日古嘎,等.东阿拉善不同发育阶段沙冬青种群的空间分布格局[J].草地学报,2023,31(10):3157-3166.
- [29] STOYAN D, FRACTALS S H. Random shapes and point fields: Methods of geometrical statistics[M]. New York: John Wiley & Sons, 1994:1-389.
- [30] 梁高都,田义超,吴彬,等.广西北部湾典型海岛红树林的结构特征、空间格局及种间种内关联性[J].生态学报,2022,42(17):7244-7255.
- [31] 王鑫厅,侯亚丽,梁存柱,等.基于不同零模型的点格局分析[J].生物多样性,2012,20(2):151-158.
- [32] 姜汉侨.植物生态学[M].2版.北京:高等教育出版社,2010:46-51.
- [33] 黄小鹏,斯琴巴特,吴榕.阿拉善荒漠区蒙古扁桃的种群龄级结构与空间分布格局[J].内蒙古林业科学,2014,40(1):7-11.
- [34] 刘建泉,王多尧,杨全生,等.龙首山蒙古扁桃种群结构和生活史特征[J].西北林学院学报,2010,25(6):46-51.
- [35] 沈志强,华敏,丹曲,等.藏东南川滇高山栎种群不同生长阶段的空间格局与关联性[J].应用生态学报,2016,27(2):387-394.
- [36] 张华,黄琴,赵传燕,等.青海云杉不同龄级立木的点格局分析[J].生态学杂志,2016,35(5):1182-1187.
- [37] 孙艳霞,杨九艳,乔宜青,等.阿拉善高原红砂(*Reaumuria songarica*)种群空间分布格局[J].中国沙漠,2020,40(1):105-115.
- [38] 闫秀,窦建德,黄维,等.宁夏珍稀濒危植物半日花种群结构和点格局分析[J].应用生态学报,2020,31(11):3614-3620.
- [39] 盘远方,卓文花,姜勇,等.桂林岩溶石山青冈优势种群空间分布格局及关联分析[J].广西植物,2023,43(3):527-535.
- [40] 贾喆亭,杨九艳,孙艳霞,等.阿拉善高原珍珠猪毛菜(*Salsola passerina*)种群空间分布格局[J].中国沙漠,

2021,41(1):119-128.

- [41] 曹羚,金晟康,叶尔江·拜克吐尔汉,等. 额敏县新疆野苹果种群空间分布格局及其关联性[J]. 浙江农林大学学报,2023,40(2):390-397.
- [42] GRAY L, HE F L. Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta[J]. *Forest Ecology and Management*, 2009, 259(1):98-106.

(责任编辑 张 庆)

Spatial Pattern and Correlation of Endangered Plant *Amygdalus mongolica* in Different Environment

LIU Yajie¹, WANG Tiejuan^{1,2}, LIU Xiaoting¹, LI Xiaotian¹, ZHANG Li¹

(1. *College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Hohhot 010022, China;*

2. *Key Laboratory of Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization in Mongolian Plateau for College and University of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010022, China)*

Abstract: *Amygdalus mongolica*, an ancient remnant species of the Mongolian Plateau, is a national second-class protected plant in China and holds significant scientific value. This study aims to investigate adaptation strategies and variation trends of *A. mongolica* populations in different environments, therefore *A. mongolica* populations distributed in desert and gravelly plain were selected. Based on size structure, the *A. mongolica* individuals were divided into three size classes. Spatial distribution patterns and correlations between size classes of the selected *A. mongolica* populations were analyzed by point pattern analysis. Our results showed that: 1) *A. mongolica* populations in both environments were dominated by class II plants, but the lack of live seedlings in the desert population limited renewal. 2) At medium and large scales, both populations exhibited predominantly random distribution patterns, while small-scale patterns varied. Specifically, class I and II individuals in the gravelly plain population showed significant aggregation, likely due to reproductive strategies and environmental heterogeneity. 3) No significant size class correlations were observed in the desert population, whereas the gravelly plain population showed positive correlations at small scales, which was related to interspecific competition. These results provide insights for the conservation of *A. mongolica*.

Key words: *Amygdalus mongolica*; spatial pattern; spatial association; size structure