应用与环境生物学报 2010, **16**(6): 753~758
Chin J Appl Environ Biol=ISSN 1006-687X
2010-12-25
DOI: 10.3724/SP.J.1145.2010.00753

羽毛针禾种群中尺度的分布格局及利它作用*

马大伟 刘 彤** 赵新俊 徐满厚 司郎明
（新疆石河子大学生命科学学院 石河子 832003）

摘 要 羽毛针禾（*Stipagrostis pennata*）是古尔班通古特沙漠流动沙丘的先锋物种，可作为流动沙丘恢复的首选植物. 采用100 m×100 m的大样方，应用Ripley's K(*d*)函数点格局分析方法，研究沙丘从流动到固定等不同生境下羽毛针禾种群的空间分布以及与群落内白皮沙拐枣（*Calligonum leucocladum*）、白梭梭(*Haloxylon persicum*)的空间关联性，分析该物种种群如何增长以及如何促进其它物种定居. 结果表明：羽毛针禾整个种群在0~50 m呈聚集分布，在50 m以上呈随机分布. 在研究尺度范围内，羽毛针禾种群内小丛（冠幅面积≤0.09 m²）和中丛（0.09 m²＜冠幅面积＜0.6 m²）、小丛和大丛（冠幅面积≥0.6 m²）、大丛和中丛都呈显著正相关，表明羽毛针禾种群内大、小丛之间关系紧密. 种群从大丛到中丛各级别再到小丛，株丛数量差异不大，种群年增长稳定，表明羽毛针禾种群增长过程中无性繁殖起主要作用. 样地内白皮沙拐枣和白梭梭呈聚集分布，而羽毛针禾与白皮沙拐枣、白梭梭在0~50 m尺度下呈显著正关联，表明了羽毛针禾对白皮沙拐枣、白梭梭两个物种种子萌发、定居和生长的促进作用. 图7 参17

关键词 羽毛针禾；点格局；Ripley's *K*(*d*)函数；空间相关；利他作用；古尔班通古特沙漠；植被恢复
CLC Q948.12 (245)

Spatial Pattern and Facilitating Effect of *Stipagrostis pennata* Population at Mid-spatial Scale*

MA Dawei, LIU Tong**, ZHAO Xinjun, XU Manhou & SI Langming
(*College of Life Sciences, Shihezi University*, Shihezi 832003, Xinjiang, China)

Abstract *Stipagrostis pennata* is a pioneer plant in the Gurbantonggut Desert in Northern Xinjiang, China, and it can be used as an ideal plant for drift dune restoration. A typical plot of 100 m×100 m was surveyed and Ripley's *K*(*d*) function was applied to diagnose spatial patterns of *S. pennata* and spatial associations between *S. pennata* and *Calligonum leucocladum* and between *S. pennata* and *Haloxylon persicum* in different habits from drift dune to fixed dune, and to analyze the growth of the species population and its promotion to other species to be settled down. The results showed that the *S. pennata* population were cluster distribution pattern below 50 m and were random distribution upon 50 m. It showed all significantly positive correlation between mediun size (0.09~0.6 m²) and small size (≤0.09 m²), large size (≥0.6 m²) and small size, medium size and large size of *S. pennata* populations at 0~50 m scale. *S. pennata* was both significantly positively associated to *C. leucocladum* and *H. persicum* at 0~50 m scale, indicating that *S. pennata* had obvious facilitating effect on seed germination, ecesis and growth of *C. leucocladum* and *H. persicum*. Fig 7, Ref 17

Keywords *Stipagrostis pennata*; point pattern; Ripley's *K*(d) function; spatial interrelation; facilitating effect; Gurbantonggut Desert; vegetation restoration
CLC Q948.12 (245)

羽毛针禾（*Stipagrostis pennata*）属于禾本科针禾属，是流动、半流动沙地的先锋物种，主要分布于我国西北地区的新疆、甘肃和内蒙古，尤其是新疆北部的古尔班通古特沙漠中. 羽毛针禾抗旱、耐风蚀、耐沙埋，促进其它物种定植，对活化沙丘植物群落演替起着重要作用，是生态恢复和保护的珍贵植物[1~2]. 目前，关于羽毛针禾的研究主要集中在其种群生境土壤物理特性[3]、种子库空间季节分布格局以及种群花粉活力和种群遗传结构等方面[2]，而对于其种群如何在活化沙丘增长，如何促进其它物种定植以及种群分布的空间依赖特性等方面一直未有深入的研究.

种群的空间格局是种群水平空间范围内的分布形式，是物种自身特性、种间关系和环境综合作用的外在表现[4~5]，因此种群空间格局分析可为了解种群间相互作用以及种群与环境关系提供重要线索，是种群生态学研究的热点之一[6~7]. 由于种群的分布格局具有尺度依赖性[7]，不同观测尺度所得的结果有不同的格局变化，因此尺度确定是格局研究的前提. 小尺度格局分析提供和解释植物个体一般的生物学问题[8]；大尺度空间分布研究可以揭示物种在地理范围内的分布情况，有助于了解气候等因素对物种分布的影响，分析种群对区域环境的功能等[9]；而中尺度（100 m×100 m），包括物种局部生长各类生境的尺度，则能了解一个种群分布的环境依赖特点，以及与其它物种分布的关系[4~5].

羽毛针禾种群增长具有无性繁殖和有性生殖两种繁殖方式，它通过根蘖产生分蘖枝进行无性繁殖扩大其植丛半径，又以有性生殖产生种子来建立新的植丛[10]. 由于羽毛针禾是活化沙丘的先锋物种，具有促进其它物种建立的作用，因此研究羽毛针禾种群增长特点，分析其利他作用必须以

收稿日期：2010-02-26 接受日期：2010-04-13
*国家“十一五”科技支撑计划课题（No. 2007BAC17B03）资助
Supported by the Key Sci-tech Project of the "11th 5-year Plan" of China (No. 2007BAC17B03)
**通讯作者 Corresponding author (E-mail: liutong_tea@sina.com)

中尺度为基础，包括其种群生长原生境、扩散后各类生境以及相邻物种分布. 由于点格局分析可以揭示不同观测尺度种群空间分布的变化规律，是解决尺度依赖问题的有力工具，其检验能力较强，优越性明显，应用广泛[6]. 为此，本研究在羽毛针禾的优势分布区——古尔班通古特沙漠，设置100 m×100 m的大样方，运用点格局分析方法，分析羽毛针禾种群的分布格局及其与群落中优势物种白皮沙拐枣（*Calligonum leucocladum*）、白梭梭（*Haloxylon persicum*）的空间关联，以及羽毛针禾种群增长的不同繁殖方式贡献及与其它物种的相互依赖关系，研究羽毛针禾种群的分布特征和增长机制，以认识羽毛针禾在流动沙地固定过程中的生态功能和作用，为合理利用该物种提供依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

古尔班通古特沙漠（84°31′~90°0′E, 44°11′~46°20′N）（以下简称古漠）位于我国新疆准噶尔盆地腹地，是我国最大的固定半固定沙漠，面积达4.88×10^4 km^2. 年平均降水量不超过150 mm，属于典型的温带干旱荒漠气候[11].

研究样地位于古尔班通古特沙漠南缘，准噶尔沙漠公路附近，由于风蚀严重，形成长度不一的流动沙带，沙面呈活化状态，是羽毛针禾的典型分布区，同时群落内分布还有两种优势物种白皮沙拐枣（*C. leucocladum*）、白梭梭(*H. persicum*)，且多为幼小植株，而猪毛菜（*Salsola collina*）、无叶假木贼（*Anabasis aphylla*）等零星分布，盖度较低.

1.2 样地调查

样地调查采用100 m×100 m的样方. 样地包括羽毛针禾大、小株丛的集中分布区、流动沙带向固定沙丘过渡区域，以及种群逐渐消失的范围. 白皮沙拐枣、白梭梭等木本植物自样地内到外逐渐增加，沙丘由样地内的活化状态到样地外的半固定状态.

由于羽毛针禾多为小斑块状集群分布，因此采用样线以2 m×2 m为参考样方，以正东为x轴、正北为y轴、样地西南顶点为原点，用圈尺标记样方内3个优势物种植株的相对空间位置，同时调查样方内3个物种的多度和冠幅. 其中白皮沙拐枣、白梭梭以树木基部为坐标，羽毛针禾以株丛中心点为坐标[12~13].

1.3 羽毛针禾株（丛）划分

由于羽毛针禾属于丛生型克隆植物，为研究种群内不同年龄株丛间的关系，分析种群不同阶段增长特点，采用空间代替时间的方法，通过其株丛大小级结构分析其种群内部格局动态变化[6, 13]. 根据其冠幅面积大小和对其生长情况的观察，把羽毛针禾株（丛）划分为以下几个级别：

小株（丛）：冠幅长×冠幅宽≤0.09 m^2（212株）；中株（丛）：0.09 m^2<冠幅长×冠幅宽<0.6 m^2，又分为4个等级[中丛1：0.09 m^2<冠幅长×冠幅宽<0.2 m^2（228株）；中丛2：0.2 m^2≤冠幅长×冠幅宽<0.3 m^2（211株）；中丛3：0.3 m^2≤冠幅长×冠幅宽<0.45 m^2（171株）；中丛4：0.45 m^2≤冠幅长×冠幅宽<0.6 m^2（110株）]；大株（丛）：冠幅长×冠幅宽≥0.6 m^2（118株）.

1.4 中尺度的空间分布格局——点格局分析

中尺度（100 m×100 m）下种群空间分布格局采用Ripley's $K(d)$函数分析方法. 该函数是植株间距离由0到样地最短边长一半距离d的点密度函数. Besag和Diggle提出将$L(d)$取代$K(d)$，对$K(d)$开平方进行线性变换，$L(d)=[K(d)/\pi]^{0.5}-d$，以保持方差稳定. 为分析两个种群间的空间关联特征，Diggle在函数$K(d)$基础上引入$K_{12}(d)$函数，同理$L_{12}(d) = [K_{12}(d)/\pi]^{0.5}-d$. 函数式参见文献[5~6].

实际观测分布的$L(d)$或$L_{12}(d)$偏离0的95%上下包迹线即置信区间采用Monte Carlo方法求得. 若实际分布的$L(d)$或$L_{12}(d)$值落在包迹线内，则种群符合随机分布或两个种群间相互独立；若在包迹线以上，则种群呈显著聚集分布或两个种群间显著正关联；若在包迹线以下，则种群呈显著均匀分布或两个种群间显著负关联. 本研究模拟次数均取200次，最大距离尺度取样地边长的一半即50 m [13].

边缘校正采用汤孟平的方法[14]，然后用Matlab 7.1软件编制Ripley's $K(d)$函数程序，计算$K(d)$函数，得到点格局分析图，另用Sigmaplot 10.0进行辅助作图.

2 结果与分析

2.1 样地内3个优势物种的分布图

从图1和图3可以看出，3个物种种群在群落中分布状况不同，种群植株数量差别很大，其中羽毛针禾（1 050株）最大，白皮沙拐枣（330株）次之，白梭梭（182株）最小，这在一定程度上反映了活化沙丘中植物的分布特点. 种群发育过程中分布格局不是一成不变的，而是随时间出现动态变化. 从图2和图3可以可知，羽毛针禾小丛、中丛1、中丛2、中丛3、中丛4、大丛株（丛）数量分别为212株、228株、211株、171株、110株、118株，其中中丛4个等级之间数量从到大呈递减趋

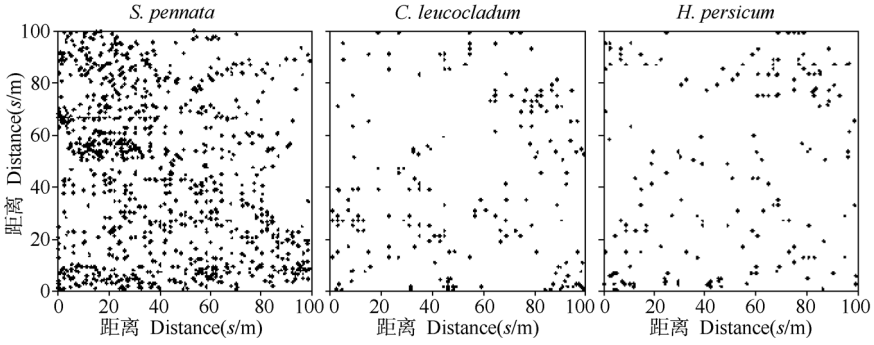


图1 3个植物种群个体在样地中的分布图

Fig. 1 Distribution map of the individuals of the three plant populations in plot

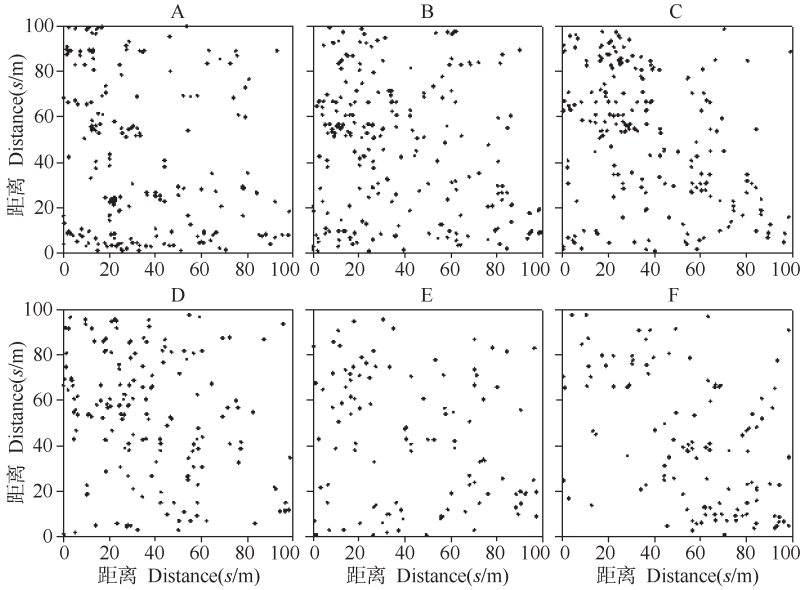


图2 羽毛针禾种群不同大小株丛的分布图

Fig. 2 Distribution map of the individuals of *S. pennata* population in plot with different sizes

A: 小丛(≤0.09 m²); B: 中丛1(0.09~0.2 m²); C: 中丛2(0.2~0.3 m²); D: 中丛3(0.3~0.45 m²); E: 中丛4(0.45~0.6 m²); F: 大丛(≥0.6 m²). 下同
A: Small size (≤0.09 m²); B: Medium size class 1 (**0.09~0.2 m²**); C: Medium size class 2 (**0.2~0.3 m²**); D: Medium size class 3 (**0.3~0.45 m²**); E: Medium size class 4 (**0.45~0.6 m²**); F: Big size (≥0.6 m²). The same below

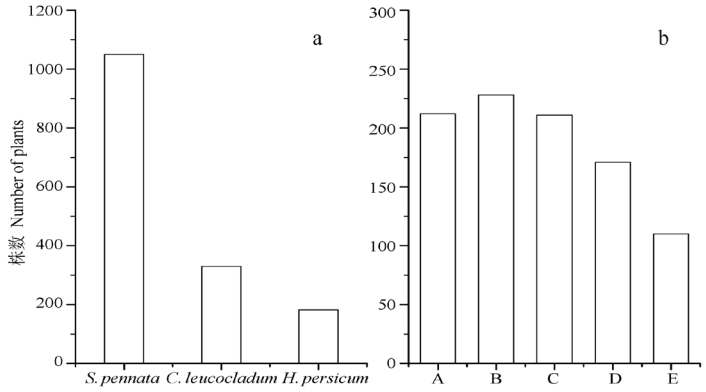


图3 3个种群(a)及羽毛针禾种群内不同大小株丛(b)植株数量

Fig. 3 Plants number of three populations (a) and different sizes of *S. pennata* population (b) in the plot

势, 小丛和中丛1数量差异不大, 大丛和中丛4数量较少而相近, 年际间种群增长比较均匀.

2.2 羽毛针禾种群分布格局分析

从图4可以看出: 整个种群在0~50 m研究尺度内呈聚集分布, 在50 m以上尺度有随机分布的趋势.

2.3 羽毛针禾种群不同大小级空间关联性

从图5可以看出: 在研究尺度范围内, 羽毛针禾种群内中丛1、中丛2、中丛3、中丛4与小丛都呈显著正相关, 中丛1、中丛2、中丛3、中丛4与大丛在0~50 m研究尺度也都呈显著正相关, 中丛1、中丛2、中丛3、中丛4互相之间也均呈显著正相关, 表明羽毛种群大丛、中丛、小丛相互之间以及中丛内部相关性强, 说明羽毛针禾不同大小株丛间关系紧密, 相互作用强.

2.4 白皮沙拐枣和白梭梭两个种群的分布格局分析

由图6可以看出: 在白皮沙拐枣在17.5 m以下尺度呈聚集

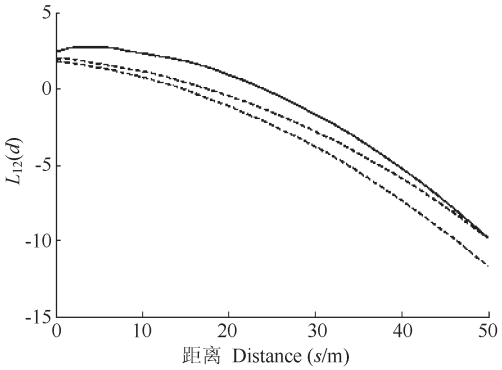


图4 羽毛针禾种群分布格局

Fig. 4 Distribution patter of *S. pennata* in plot

------包迹线 Envelops; ------ $L_{12}(d)$. 下同 The same below

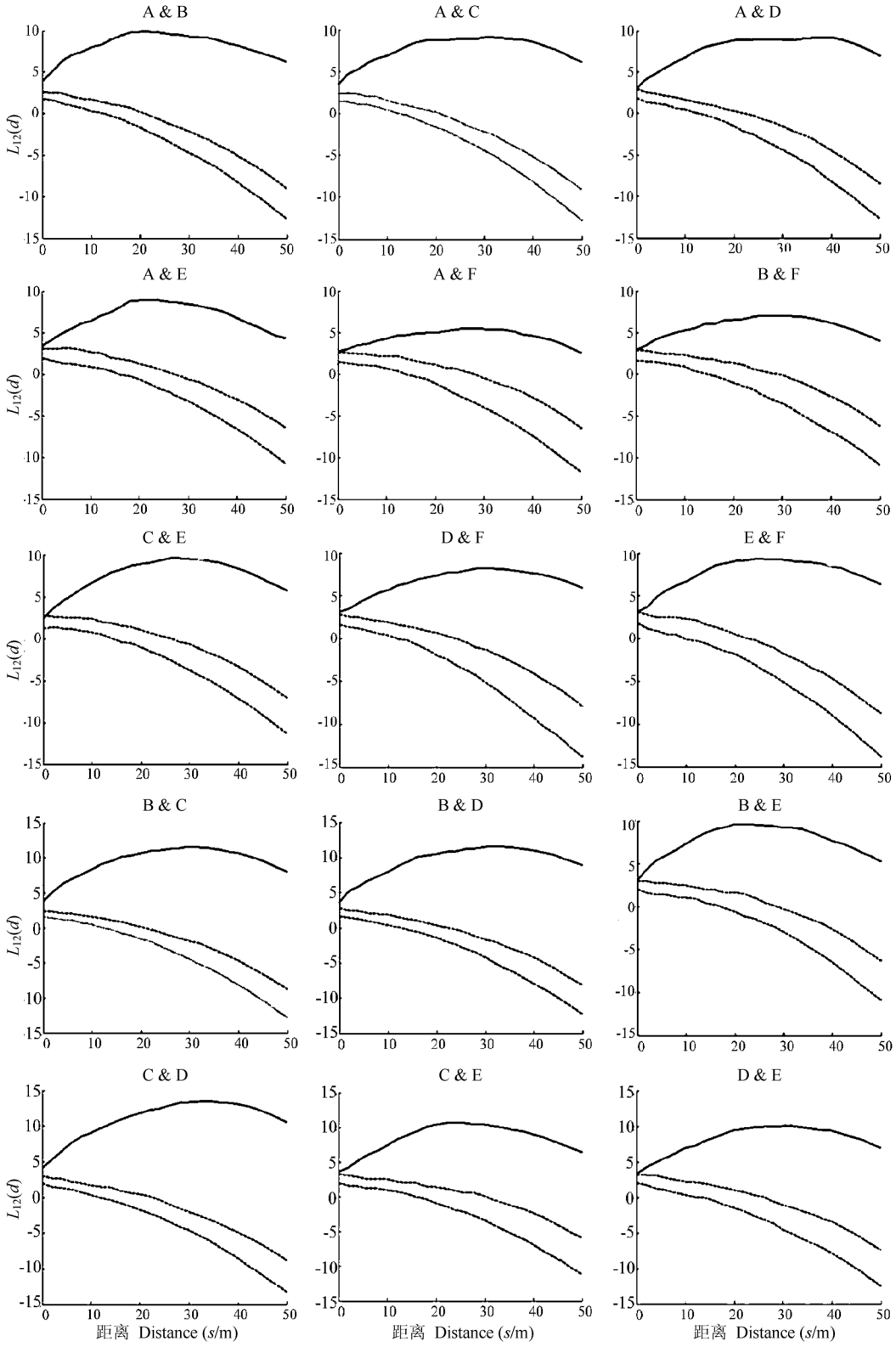


图5 羽毛针禾种群不同大小株丛间的空间关联

Fig. 5 Spatial association of different size classes of *S. pennata* population in plot

分布, 17.5~34 m尺度呈随机分布, 34~50 m尺度呈均匀分布; 白梭梭15 m以下尺度呈聚集分布, 15~31 m尺度呈随机分布, 31~50 m尺度呈均匀分布. 两个种群的分布格局类似, 均是较小尺度聚集分布, 中间尺度随机分布, 较大尺度均匀分布, 只

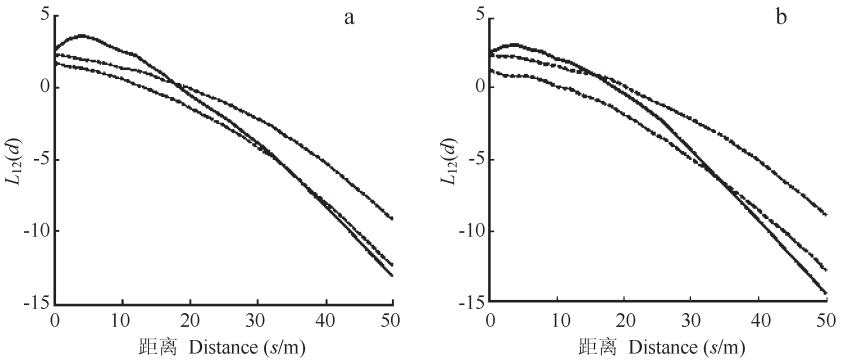


图6 白皮沙拐枣（a）和白梭梭（b）两个种群在样地中的空间分布格局
Fig. 6 Spatial distribution of *C. leucocladum* (a) and *H. persicum* (b) populations in plot

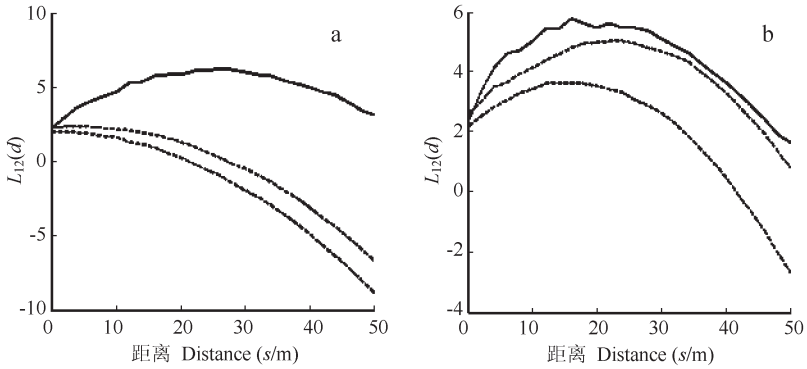


图7 3个种群在样地中的空间关联
Fig. 7 Spatial association of three plant populations in plot
a: 羽毛针禾和白皮沙拐枣; b: 羽毛针禾和白梭梭 a: *S. pennata* and *C. leucocladum*; b: *S. pennata* and *H. persicum*

是尺度大小略有差别.

2.5 羽毛针禾与白皮沙拐枣、白梭梭的空间关联性

由图7可以看出: 羽毛针禾与白皮沙拐枣、白梭梭在0~50 m尺度都呈正相关, 表明羽毛针禾种群与白皮沙拐枣、白梭梭种群关系紧密, 相互作用强.

3 讨 论

3.1 羽毛针禾中尺度分布格局和不同繁殖方式对种群的贡献

羽毛针禾生长在严酷的流动沙地环境中, 其种群分布随沙丘固定具有明显的尺度依赖性特征. 点格局分析表明: 羽毛针禾整个种群在0~50 m研究尺度内呈聚集分布（图4）, 而且大丛、中丛、小丛之间以及中丛内部互相呈显著正相关（图5）, 表明在较小尺度上株丛间关系紧密, 形成一个整体, 共同抵御恶劣环境; 而在50 m以上尺度整个种群呈随机分布（图5）, 表明在较大尺度上羽毛针禾种群形成一个整体, 共同适应流动沙地的环境, 这与其丛生型特征有关. 综上所述, 在50 m以下尺度内, 羽毛针禾多呈聚集分布, 株丛间相互联系紧密, 形成一个整体, 株丛下固定的流沙连成一块, 固定整个沙丘, 说明羽毛针禾的固沙效率与其种群在0~50 m尺度内呈聚集分布格局关系密切; 而在50 m以上较大尺度上, 整个种群随机分布, 完全适应流动沙丘的恶劣环境.

由于羽毛针禾是丛生型克隆植物, 具有无性繁殖和有性生殖两种繁殖方式, 既可以通过根蘖产生分蘖枝进行无性繁殖扩大其植丛半径, 又以有性生殖产生种子来建立新的植丛[10]. 然而在其种群增长过程中, 两种繁殖方式对种群的贡献不同. 点格局分析也发现: 在研究尺度范围内, 羽毛针禾种群内小丛和中丛、小丛和大丛、大丛和中丛都呈显著正相关, 表明羽毛针禾增长过程中, 年龄大的植株对小丛的生长起重要作用. 而羽毛针禾不同级龄株丛的株数差异不明显以及种群均匀增长的特征, 综合表明羽毛针禾的无性繁殖对其种群增长起到主要作用. 在调查中也发现, 只有沙丘上部和丘顶有部分实生苗, 而沙丘其余部位株丛间水平根互相连接, 面对极端干旱的沙漠环境, 需要依靠大分株或基株提供养分[17]. 羽毛针禾种群主要是通过无性繁殖产生的水平根和克隆分株, 互相连接在一起, 聚集分布形成集团, 促使种群逐渐增长、扩大.

3.2 羽毛针禾的利它作用

利它作用是群落演替过程中的物种间的重要作用[16]. 不仅羽毛针禾种群内部大丛对小丛有明显的促进作用, 其对其它物种也有明显促进作用. 羽毛针禾株丛下面固定着大小不一、高度不同的沙堆, 可以起到明显的固沙作用, 沙堆的形成可以改变微生境, 沙堆背面可以聚集植物种子, 改善土壤湿度, 促进种子的萌发和生长. 点格局分析表明, 在0~50 m尺度内（100 m×100 m）羽毛针禾与白皮沙拐枣、白梭梭之间都具有明显的空间正关联（图7）, 说明两者之间生境趋同或有紧密的相互关系. 在野外调查研究中, 我们也发现, 在羽毛针禾出现的地方, 白皮沙拐枣也同时出现. 这与买买提·依提的研

究调查[1]一致. 在流动沙丘沙地逐渐固定过程中, 羽毛针禾逐渐退出群落, 而白皮沙拐枣则一直存在, 有时与白梭梭一起成为群落优势种或建群种. 这表明羽毛针禾与白皮沙拐枣两者间关系紧密, 而且由于群落中白皮沙拐枣多为幼小植株, 说明羽毛针禾对白皮沙拐枣有促进作用. 另外, 在研究记录过程中, 发现沙堆上和沙堆背面有大量白皮沙拐枣和其它植物的种子, 说明羽毛针禾植丛下的沙堆有重要的生态作用, 有利于其它物种的种子定居和萌发, 对其它物种在流动沙地的定居和繁殖有明显的利它作用. 研究中也发现, 在白皮沙拐枣和白梭梭生长较多的样地东部, 羽毛针禾逐渐减少. 而且这些地方沙丘也逐渐固定, 盖度增加. 这是由于羽毛针禾株丛的固沙作用使这些地方沙丘逐渐固定, 土壤条件改善, 更适宜不耐沙埋的物种生存, 而羽毛针禾这样的先锋物种逐渐从群落中退出, 促进了其它物种的定居和繁殖.

致 谢 感谢课题组刘忠权、张卫宾同学在试验调查过程中的大力帮助以及石河子大学生命科学学院本科生物科学2007级全体同学在研究调查过程的热心参与.

References

1 买买提·依提. 羽毛三芒草的生态生物学特性及其评价. 干旱区研究, 1990, **7** (2): 52~56

2 Wang SM (王绍明). Study on the population ecology of *Stipagrostis pennata* in gurbantonggut desert of west-north China: [Doctor Degree Dissertation]. Lanzhou, China: Lanzhou University (兰州: 兰州大学), 2005. 1~50

3 Wang JC (王建成), Wang SM (王绍明). Analysis on the physical characteristics of the soil in the habitats of *Stipagrostis pennata* in Junger Basin. *J Shihezi Univ Nat Sci* (石河子大学学报自然科学版), **2006, 24** (3): 274~276

4 Maestre FT, Rodriguez F, Bautista S, Cortina J, Bellot J Spatial associations and patterns of perennial vegetation in a semi-arid steppe: A multivariate geostatistics approach. *Plant Ecol*, 2005, **179**: 133~147

5 Liu T (刘彤), Zhao XJ (赵新俊), Cui YH (崔运河), Liu LC (刘龙昌), Jia YM (贾亚敏), Luo C (骆郴), Wei P (魏鹏), Zhang YH (张元杭). **Spatial** associations and patterns of *Arabidopsis thaliana a*nd its adjacent species in the middle part of northern Tianshan Mountain. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **2008, 28** (2): 1842~1849

6 Zhang JT (张金屯), Meng DP (孟东平). Spatial pattern analysis of individuals in different age-classes of *Larixp rincipisrupprechtii* in Luya mounta in reserve, Shanxi, China. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **2004, 24** (1): 35~40

7 Levin SA. The problem of pattern and scale in ecology. *Ecology*, 1992, **73**: 1943~1967

8 Liu ZG (刘振国), Li ZQ (李镇清), Fu LK (富兰克), Dong M (董鸣). Small-Scale spatial pattern of *Potentilla acaulis* population under different grazing intensities. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), **2006, 12** (3): 308~312

9 Perry GLW, Miller BP, Enright NJ. A comparison of methods for the statistical analysis of spatial patterns in plant ecology. *Plant Ecol*, 2006, **187**: 59~82

10 Deng BJ (邓必建). **Study on the breeding system of** *Stipagrostis pennata* in Gurbantonggut Desert of West-north China: [Master Degree Dissertation]. Shihezi, China: Shihezi University (石河子: 石河子大学), 2007. 21~25

11 Qian YB (钱亦兵), Wu ZN (吴兆宁), Zhang LY (张立运), Shi QD (师庆东), Jiang J (蒋进), Tang LS (唐立松). **Impact of environment on** vegetation community pattern in Gurbantunggut Desert. *Acta Geogr Sin* (地理学报), **2004, 59** (6): 895~902

12 Tang MP (汤孟平), Zhou GM (周国模), Shi YJ (施拥军), Chen YG (陈永刚), Wu YQ (吴亚琪), Zhao MS (赵明水). **Study of dominant plant** populations and their spatial patterns in evergreen broadleaved forest in Tianmu Mountain, China. *J Plant Ecol* (植物生态学报), **2006, 30** (5): 743~752

13 Yang HX (杨洪晓), Zhang JT (张金屯), Wu B (吴波), LI XS (李晓松), Zhang YY (张友炎). **Point pattern analysis of** *Artemisia ordosiea* population in the Muus sandy land. *J Plant Ecol* (植物生态学报), **2006, 30** (4): 563~570

14 Tang MP (汤孟平),Tang SZ (唐守正),Lei XD (雷向东), Zhang HR (张会儒), Hong LY (洪玲霞), Feng YM (冯益明). **Edge correction of** Ripley's *K*(*d*) function on population spatial pattern analysis. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **2003, 23** (8): 1533~1338

15 Zhu LJ (朱利君), Su ZX (苏智先), Hu JY (胡进耀), Su RJ (苏瑞军), Zhou L (周良). **Studies on the relationship of species in** *Davidia involucrate* community. *Guihaia* (广西植物), **2006, 26** (1): 32~37

16 Cristina A, Francisco IP. Plant interactions govern population dynamics in semi-arid plant community. *J Ecol*, 2005, **93**: 978~989

17 Hong RM (洪锐民), Yu HY (于化英), Wang YS (王昱生). New knowledge of forgaing fuction and resource translocation of caespitose clone in clonal population in bunchplants. *J Northest Agric Univ* (东北农业大学学报), **2003, 34** (3): 339~343