

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型	林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)
中国水稻潜在分布及其气候特征	段居琦, 周广胜 (6659)
大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应	武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)
黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应	张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677)
高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应	赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688)
基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究	肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696)
基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征	蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708)
高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图	李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)
土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理	成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727)
基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态	杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734)
树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应	张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743)
冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构	田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753)
帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征	陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766)
不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响	刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777)
一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型	仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788)
不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析	刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796)
黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化	施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)
干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能	谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815)
火灾对马尾松林地土壤特性的影响	薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824)
江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应	王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832)
高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响	赵素芬, 何培民 (6845)
江苏省典型干旱过程特征	包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853)
黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率	岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866)
光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响	陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877)
铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性	刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886)
圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素	孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896)
田湾核电站海域浮游动物生态特征	吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902)
马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化	汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)
基于认知水平的非使用价值支付动机研究	钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)
综述	
植物盐胁迫应答蛋白质组学分析	张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936)
沉积物氮形态与测定方法研究进展	刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947)
野生鸟类传染性疾病预防研究进展	刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959)
鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法	石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967)
专论	
IPBES 的建立、前景及应对策略	吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)
研究简报	
柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究	陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 344 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-11



封面图说: 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

赵成章, 高福元, 石福习, 任珩, 盛亚萍. 高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应. 生态学报, 2011, 31(22): 6688-6695.
Zhao C Z, Gao F Y, Shi F X, Ren H, Sheng Y P. *Melica przewalskyi* population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6688-6695.

高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局 及其对土壤水分的响应

赵成章*, 高福元, 石福习, 任珩, 盛亚萍

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 植物种群对土壤水分响应的异质性是其格局形成和演变的环境基础。在石羊河上游的高寒草地, 运用点格局分析法和群落调查法, 研究了甘肃臭草单一优势种群斑块发育过程中的种群小尺度点格局和土壤水分特征。在 4 个发育阶段甘肃臭草种群的空间格局由聚集分布过渡为随即分布, 土壤水分均呈现出从斑块中心向边缘增大的趋势; 在斑块形成、扩散、稳定阶段, 甘肃臭草斑块以类似“同心圆”的方式向周围土壤水分高的空间扩散, 斑块半径由 0.5m 扩大至 1.5m, 种群的高度、密度、盖度由斑块中心向边缘递减; 在衰退阶段斑块中心出现裸斑, 种群的高度、密度、盖度以类似“同心圆”方式从中心向边缘逐层递增。在甘肃臭草斑块消长过程中, 种群的分布格局和主要生物学特征与土壤水分之间不同阶段表现出不同的对应关系。

关键词: 甘肃臭草; 斑块; 点格局; 土壤水分; 石羊河上游

Melica przewalskyi population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland

ZHAO Chengzhang*, GAO Fuyuan, SHI Fuxi, REN Heng, SHENG Yaping

College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Heterogeneity for response of plant populations to soil moisture is the environmental basis of their pattern formation and evolution. *Melica przewalskyi* is rhizomatous clonal grass with strange taste and not edible for grazing animals. With the influence of climate change and overgrazing, in the northern slope of Qilian Mountains, the *Melica przewalskyi* gradually formed a great number of single dominant species patches due to their biological characteristics and the adaptability to adversity. Therefore, it is very important to understand their biologic characteristic of population distribution, distribution patterns and the soil moisture, and study the change of their population characteristic and soil moisture and the mechanism in the process of patch formation and recession. It is critical for revealing the plasticity mechanism of soil moisture and understanding the conspiracy relationship between the plant and the environment. The experiments were conducted in Yueya ai grassland (38°47'15.8"N, 99°43'35.9"E) which is located in the upper reaches of Shiyang river in Sunan country Gansu province, China. In early August, 2010, three different patches in the different stage, such as formation stage, diffusion stage, stable stage and recession stage respectively were selected in the study area. Square quadrat was made using red chopstick and sample line, the patches were placed into quadrat, the quadrats center was founded by diagonal of 4 fixed vertices, thus red chopsticks were used to state the quadrat center position. sampling points were set from centre to four directions, the sampling point on each direction was selected at least 50 cm, adjacency grid sample in each point was used, the coverage was measured using the needle puncturing method in 50 cm × 50 cm sample box and tested the density

基金项目: 国家自然科学基金项目(40971039); 甘肃省科技支撑计划项目(1011FKCA157); 甘肃省高校基本科研业务项目

收稿日期: 2011-05-30; **修订日期:** 2011-09-13

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaocz@nwnu.edu.cn

of *Melica przewalskyi* in the same sample box by counting, measuring the natural height by tape repeat six, recording the relative position of each plant and determine the moisture content of 0—20 cm by oven drying method. the measured value $L(d)$ and the value of upper and lower envelopes were calculated by the VisualFortran6.5 based on the coordinate getting by GetData Graph Digitizer2.22, Origin7.5 was used as the plot software, this plot in the lower left corner coordinate origin to the intersection, using the step of 5 cm, the number of Monte_Carlo stochastic simulation is 20 times, dashed line are the 95% confidence envelopes for the same process. The results showed that: *Melica przewalskyi* population spatial pattern transitted from clumped to random distribution at four stages, soil moisture tended to increase from center to edge of patch; *Melica przewalskyi* patch diffused to the high soil moisture with concentric circles way during the formation stage, diffused stage and stable stage, and the radius of patch expand from 0.5 m to 1.5 m, the population height, density and coverage were decreased from center to edge of patch; And then the center of patch appeared naked at recessionary stage, the height, density and coverage increased progressively from center to edge of patch in concentric circles way. The spatial pattern and main biological characteristics showed different correspondence relationship with soil moisture at different stages.

Key Words: *Melica przewalskyi*; patch; point pattern; soil moisture; upper Shiyang river

种群的空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用及种群-环境关系的重要手段,在生态学中一直是研究热点^[1-2],不同的格局类型可以反映出种群利用环境资源的状况,揭示种群生物学内涵,是其在群落中地位与生存能力的外在表现。土壤水分是连接气候变化和植被覆盖动态的关键因子,土壤水分的运动和变化,不但影响植物生长,也影响土壤中各种物质与能量的运动过程^[3]。在干旱条件下,土壤水分是影响植物繁茂生长和分布区扩散的最大限制因子^[4-6]。许多学者对于干旱区植被与土壤水分之间的关系进行了研究^[7-8],阐述了土壤水分与盖度、密度之间的一些基本关系,为植被与土壤水分之间关系分析提供了基础,但是对于土壤水分如何推动植物分布格局变化,以及二者之间的相互作用研究较薄弱。在全球变化影响下植物分布格局呈现多元化趋势,繁殖力、适应力强的入侵种容易形成组成简单的单一优势种群^[9-10],其中在干旱半干旱区,单一优势种群群落已成为植被退化的主要形式之一,这种单一优势种群斑块可能会改变小尺度范围内土壤水分分布格局,从而优化植物种群对环境响应的分布区扩散机制。因此,单一优势种群格局与土壤水分关系的研究,对于揭示植物应对土壤水分变化的可塑性机制,深入理解植物与环境之间的协同关系具有重要意义。

甘肃臭草(*Melica przewalskyi*)是一种禾本科甘肃臭草属多年生根茎型克隆植物,味道怪异,家畜不采食。在气候变迁和家畜过度放牧干扰下,甘肃臭草凭借自身生物学特征和对逆境的适应能力,在祁连山北坡中山地带形成大量面积不等、繁茂生长的单一优势种群斑块,与研究区原生植被相比表现出较高的生产能力。关于甘肃臭草种群的性质、群落特征等已有研究^[11],但对于甘肃臭草小尺度内分布格局以及斑块内土壤水分的变化还缺乏深入研究,尚不足以解释甘肃臭草在干旱环境中的种群更新机理,鉴于此,本文利用点格局分析法与群落调查法相结合,在东祁连山北坡研究了甘肃臭草种群分布格局、土壤水分、种群生物学特征,探讨了甘肃臭草斑块形成和衰退的过程中甘肃臭草种群特征、土壤水分变化的规律及原因,旨在认识植物分布格局与土壤水分之间的交互作用,以及单一优势种群斑块的环境适应机制。

1 研究方法

1.1 研究区域概况

东祁连山北坡地处河西走廊与青藏高原的过渡带,具有大陆性气候和山地垂直气候特征,生态环境脆弱,植被以荒漠和草原为主,在特定的地形地貌和气候条件下主要发育并形成了4类草地,分别为山地荒漠草原类(1900—2450 m)、山地草原类(2450—2800 m)、山地草甸草原类(2800—3000 m)和山地草甸类(3000—3800 m),植物以旱生和中生草本以及灌木为主。研究区位于石羊河上游的月牙崖草原(37°58'N, 101°47'E),海拔2640 m,年均温0—3℃,最热和最冷月气温分别为12—15℃和-11—-13℃,年降水量350 mm左右,主要集中在6—9月,蒸发量1500—1800 mm,相对湿度65%,年平均日照时数2800 h,无霜期80 d左右,

土壤为山地栗钙土。原生植被属于山地草原类,坡地针茅组,阿尔泰针茅型,主要植物有:阿尔泰针茅(*Stipa Krylovii*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、甘肃臭草、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、草地早熟禾(*Poa pratensis*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)、披针叶黄华(*Thermopsis lanceolata*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altaicus*)、多茎萎陵菜(*Potentilla multicaulis*)、蒲公英(*Taxaxacum mongolicum*)、异叶青兰(*Dracocephalum heterophyllum*)、阿拉善独行菜(*Lepidium alashanicum*)、南牡蒿(*Artemisia eriopodai*)、碱韭(*Allium polyrhizum*)等。该地区作为牧民的冬营地,家畜放牧时间长、放牧强度大,近十几年来草地群落中阿尔泰针茅等原生禾草的营养体和繁殖库衰退、种群规模退缩,草地群落的组成结构逐渐简单化,植物种类减少,甘肃臭草逐步取代阿尔泰针茅成为群落的优势种,天然草地逐步发生了毒杂草型退化。

1.2 样地设置

根据赵成章等对月牙崖草原甘肃臭草种群十几年的观察研究^[11],本区甘肃臭草单一优势种群群落斑块存在不同发育阶段。2010年8月上旬通过调查甘肃臭草单一优势种群群落斑块的优势种、斑块大小和甘肃臭草的高度、盖度、密度,确定了4个研究样地分别代表甘肃臭草群落的不同形成阶段:斑块形成阶段(A)、斑块扩散阶段(B)、斑块稳定阶段(C)和斑块衰退阶段(D),各样地的主要特征详见表1。在4个不同形成阶段草地群落分别选择3个斑块,在每个斑块利用红色竹筷和样线做与斑块边缘相切的正方形或长方形样方,将整个斑块置于样方内,固定样方的4个顶点,通过对角线找到样方中心,用红色竹筷给样方中心定位。在每个斑块从中心向相互垂直的4个方向辐射,每个方向间隔50 cm设置一个取样点,共4个,依次为:斑块中心(I)、距斑块中心50 cm(II)、距斑块中心100 cm(III)、距斑块中心150 cm(IV)。

表1 4个样地的各指标数据

Table 1 Data of each index of four plots

样地 Plot	斑块形成时间 Patch formation time/a	甘肃臭草 <i>M. przewalskyi</i>				优势种 Dominant species
		斑块直径 Patch diameter/m	高度 Height/cm	盖度 Coverage/%	密度 Density /(株/m ²)	
A	3—5	1	12.6±0.35	48±1.32	162±6.57	阿尔泰针茅 <i>S. krylovii</i> 甘肃臭草 <i>M. przewalskyi</i>
B	6—8	2	15.9±0.46	56±1.45	182±7.31	甘肃臭草 <i>M. przewalskyi</i>
C	9—11	3	18.7±0.68	67±1.58	245±12.43	甘肃臭草 <i>M. przewalskyi</i>
D	≥12	3	17.4±0.64	64±1.51	224±11.56	甘肃臭草 <i>M. przewalskyi</i>

1.3 取样方法

1.3.1 点格局调查方法

点格局分析取样要求样地面积要适当大,以便使种群的各种格局均能出现,2010年8月上旬,在选定的每个样地内,设置邻接格子样方,用1m×1m的样方框(样方框内小格子的面积为10cm×10cm)按一定顺序放置进行取样,在样方中记录每株甘肃臭草个体的相对位置,用坐标值直接表示距离,在室内对每一个样方按照取样时样方框放置的顺序进行拼接、合并,用CAD软件绘制种群的个体点分布图,由图上坐标确定各点的实际坐标值,采用点格局分析法进行种群格局分析。

1.3.2 甘肃臭草生物学特征和土壤水分调查

2010年8月上旬,在选定的取样点调查甘肃臭草种群生物学特征,在50 cm×50 cm样方框内用针刺法测定甘肃臭草种群盖度;用计数法在同一样方框内观测甘肃臭草密度;用卷尺在样方框周围测量甘肃臭草自然高度,重复6次。2010年8月中旬雨后第8天,在上述取样点进行土壤水分取样,鉴于研究区甘肃臭草的根状茎主要分布在0—15 cm土层中,故选择0—20 cm土层,间隔5 cm用土钻(直径4 cm)分4层进行取土样,重复3次,剔除样品中明显的植物根段和枯落物等杂质,装入编号的铝盒中,带回实验室,在105℃的烘箱内烘12 h,取出称重,计算出土壤质量含水量。

1.4 点格局分析模型

研究区域内,位于二维空间的点构成点事件,用 $k(d)$ 函数来反映点事件空间布局的依赖程度^[12],其定义如下:

$$k(d) = \lambda^{-1} E(\#(d_{ij} \leq d))$$

式中, λ 表示研究区域内每单位面积点事件的密度, E 表示在一定距离尺度下点事件数量的期望, $\#$ 表示数量, d_{ij} 表示研究区域内任意一点到其他点的距离, d 表示距离尺度。如果在一定距离尺度下点事件的分布是随机的,则有:

$$E(\#(d_{ij} \leq d)) = \lambda \pi d^2$$

此时, $k(d) = \pi d^2$ 。当点事件为聚集分布时,如果距离尺度较小, $k(d)$ 的观测值将大于 πd^2 。估计式为:

$$\hat{K}(d) = \frac{A}{n^2} \sum_i \sum_j \frac{I_{ij}(d)}{W_{ij}(d)}$$

式中, A 表示研究区域面积, n 是研究区域内点事件的数量, i, j 是样方内任意两个具有相同特征的点事件, $I_{ij} = 1$ (当 $d_{ij} \leq d$ 成立时, d_{ij} 是 i 到 j 之间的距离), $w_{ij}(d)$ 是边缘校正的权重,等于以 i 为圆心,以 d_{ij} 为半径的圆落在研究区域内的弧长和整个圆周长的比值。通常用 $L(d)$ 函数的估计值来判断在此尺度下点事件的分布类型。在距离尺度 d 下,如果 $L(d) > 0$,为聚集分布;如果 $L(d) = 0$,为随机分布;如果 $L(d) < 0$,则为均匀分布。

$$L(d) = \sqrt{\hat{K}(d)/\pi} - d$$

一般利用 Monte Carlo 方法来求解随机分布的上下包迹线,如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间内,则在此距离尺度下植物种群是随机分布的;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以上,则在此距离尺度下植物种群是聚集分布的;如果研究对象实际的值落在上下包迹线的区间以下,则在此距离尺度下植物种群是均匀分布的。具体方法是选取 m 组 n 个随机数,每组都利用上述公式求解在不同距离尺度下的 $L(d)$ 值,然后把对应的每个 d 下的 m 个 $L(d)$ 由小到大进行排序,分别保留最大值和最小值作为上下包迹线的取值范围。

1.5 数据分析

采用 GetData Graph Digitizer 2.22 进行数据采集,Visual Fortran 6.5 进行编程计算,Origin 7.5 进行绘图。本文中坐标原点为样方左下角的交点,采用的步长为 5 cm, Monte_Carlo 随机模拟的数目为 20 次,得到上下两条包迹线围成的 95% 置信区间。

2 结果与分析

2.1 甘肃臭草斑块种群生物学特征

甘肃臭草种群在斑块形成、扩散、稳定和衰退过程中,盖度、密度、高度表现出极强的规律性,A、B、C 阶段,甘肃臭草种群高度、盖度、密度从中心向边缘减小,D 阶段高度、盖度、密度从中心向边缘增大,并且高度、盖度、密度最大值都出现在 C 阶段斑块的中心位置,表明 C 阶段可能是斑块的顶峰时期,D 阶段开始,斑块中心的高度、盖度、密度开始减小(表 2)。

2.2 甘肃臭草斑块土壤水分的空间格局特征

土壤含水量能够反映植物吸收水份的状况,A、B、C、D 四个阶段阶段,甘肃臭草斑块土壤含水量在每一层均由中心向边缘增大;在同一位置,同一土壤层,A、B、C 阶段的含水量比 D 阶段高,在 A、B、C、D 四个阶段,随着土层深度的增加土壤含水量逐渐增大,土壤含水量的最大值出现在 C 阶段的斑块边缘 16—20 cm 土层,为 10.4%,最小值出现在 D 阶段的中心 0—5 cm 土层,为 3.0% (表 3)。

2.3 甘肃臭草种群的点格局分析

甘肃臭草种群在斑块形成、扩散、稳定和衰退阶段,种群的分布格局由聚集分布向随机分布过度,聚集强度越来越低,同时随着尺度的增大,种群的分布格局也由聚集分布向随机分布过度,聚集的尺度越来越小。A 阶段在 0—50 cm 尺度上都表现为聚集分布,B 阶段在 0—90 cm 尺度上表现为聚集分布,在 90—100 cm 尺度

上表现为随机分布,C 阶段在 0—70 cm 尺度上表现为聚集分布,在 65—150 cm 尺度上表现为随机分布,D 阶段在 0—40 cm 尺度上表现为聚集分布,在 40—150 cm 尺度上表现为随机分布(图 1)。

表 2 不同发育阶段甘肃臭草斑块种群生物学特征
Table 2 Biological characteristics of *Melica przewalskyi* population in different development stage

样地 Plot	指标 Index	取样点 Sampl point			
		I	II	III	IV
A	高度/cm	14.53±0.56	11.26±0.33	—	—
	盖度/%	53.13±1.59	45.45±1.35	—	—
	密度/(株/m ²)	167.76±6.68	154.59±6.16	—	—
B	高度/cm	18.47±0.57	15.96±0.45	12.33±0.36	—
	盖度/%	62.87±2.48	57.44±1.73	53.89±1.59	—
	密度/(株/m ²)	206.16±8.24	184.65±7.36	165.92±6.6	—
C	高度/cm	24.53±0.96	18.72±0.54	15.46±0.3	14.69±0.29
	盖度/%	71.66±2.84	67.19±2.01	61.64±1.83	58.44±1.74
	密度/(株/m ²)	268.85±13.02	235.65±11.75	224.78±8.9	212.52±8.48
D	高度/cm	13.76±0.39	17.47±0.52	21.84±0.87	23.68±0.94
	盖度/%	62.38±1.86	65.34±2.19	67.76±3.08	70.71±3.2
	密度/(株/m ²)	212.47±6.36	240.48±7.2	252.62±10.08	264.49±10.56

I 表示斑块中心; II 表示距斑块中心 50cm; III 表示距斑块中心 100cm; IV 表示距斑块中心 150cm; — 表示没有采样点

表 3 不同发育阶段土壤水分的空间格局特征
Table 3 Spatial pattern characteristics of soil moisture in different development stage

样地 Plot	深度 Depth/cm	各取样点土壤水分 Soil moisture of each sampl point/%			
		I	II	III	IV
A	0—5	3.6±0.11	3.8±0.14	—	—
	6—10	7.1±0.21	7.8±0.23	—	—
	11—15	9.5±0.27	10.1±0.32	—	—
	16—20	9.8±0.28	10.5±0.41	—	—
	平均	7.4±0.22	8.1±0.24	—	—
B	0—5	3.5±0.09	3.7±0.13	3.8±0.11	—
	6—10	6.7±0.21	6.8±0.21	7.5±0.23	—
	11—15	8.1±0.24	8.5±0.26	9.7±0.29	—
	16—20	9.4±0.36	9.8±0.29	10.3±0.31	—
	平均	6.8±0.21	7.1±0.21	7.8±0.23	—
C	0—5	3.6±0.09	3.7±0.13	3.8±0.13	3.8±0.14
	6—10	6.6±0.19	6.6±0.19	6.7±0.27	6.9±0.28
	11—15	7.8±0.23	8.3±0.26	9.6±0.38	9.8±0.39
	16—20	9.2±0.37	9.5±0.39	10.3±0.52	10.4±0.52
	平均	6.6±0.19	6.7±0.21	7.5±0.31	7.7±0.33
D	0—5	3.0±0.06	3.1±0.11	3.3±0.13	3.4±0.14
	6—10	4.2±0.13	5.1±0.15	6.1±0.24	6.5±0.26
	11—15	6.4±0.19	6.7±0.23	8.5±0.34	8.7±0.35
	16—20	8.6±0.26	9.1±0.27	9.8±0.39	9.9±0.39
	平均	5.3±0.16	6.1±0.24	6.9±0.28	7.1±0.28

3 讨论与结论

种群的空间格局分析是研究种群特征、种群间相互作用及种群-环境关系的重要手段^[2],小尺度上格局的形成与变化主要是种群自身的生物学特征与种内、种间对水分、养分的竞争决定的^[13-15]。聚集分布体现了种

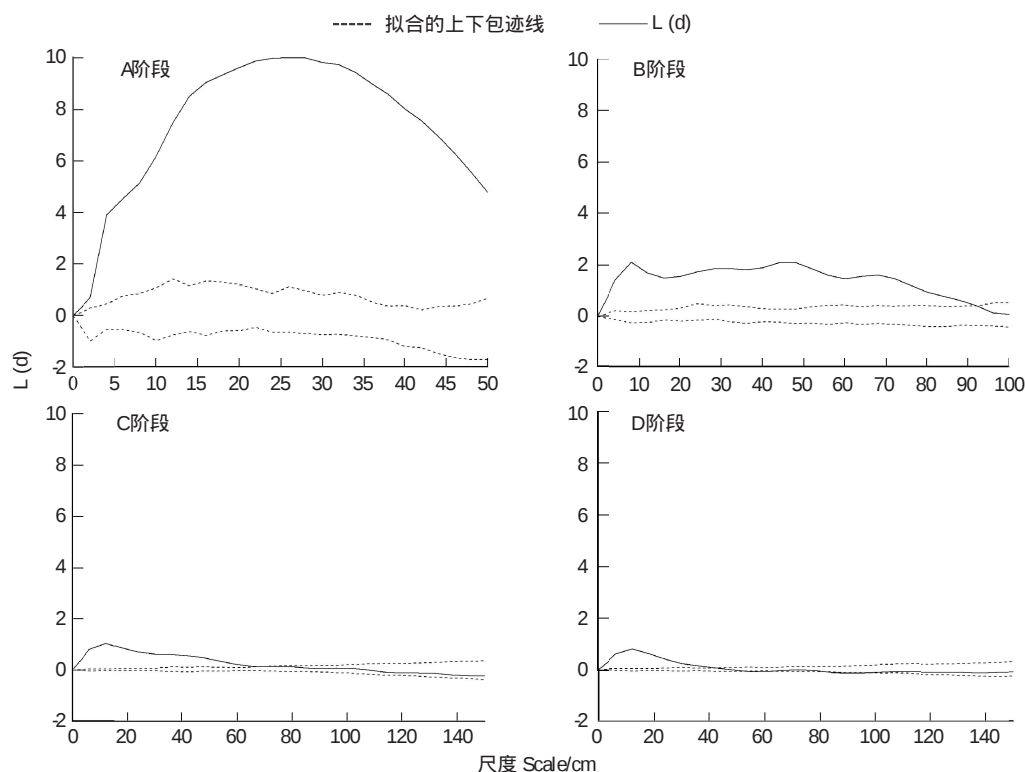


图1 不同发育阶段甘肃臭草种群点格局分析

Fig.1 Results of point pattern analysis for *Melica przewalskyi* population in different development stage

群内部正向(相互有利)的生态关系,均匀分布反映了种群内部负向(相互排斥)的生态关系,随机分布则意味着种群内部没有明确的生态关系^[16-17]。甘肃臭草种群在侵入初期,种群密度、盖度、高度相对较小,一般认为幼小个体对水分等资源的竞争相对微弱,为抵御风沙和提高存活率,它们需要相互庇护,于是个体之间以正向相互关系为主^[18-19],这种正向关系有助于种群扩大规模和领地,而且冷蒿、针茅在数量上远大于甘肃臭草,种间竞争相对激烈,只有依靠种群内个体间高度协同才能抵抗种群间的竞争,从而使种群能够在激烈的资源竞争中存活下来,实现种群定植,所以种群呈聚集分布,聚集强度较高。随着甘肃臭草种群的不断扩大,逐渐形成了以甘肃臭草为主的单一优势种群群落,较高的聚集强度必然引起养分、水份的缺乏,产生种内竞争,竞争的结果是斑块内新生个体无法生存,老个体得不到充足养分、水分,逐渐退化、死亡,密度降低,种群发生自疏,聚集强度下降,种群由聚集分布向随机分布过渡。

在干旱和半干旱区,水分往往是主要的限制因子,并对植物的存活、生长形态和净生产力等具有极其重要的影响^[20-21]。甘肃臭草系禾本科甘肃臭草属多年生根茎型克隆植物,松弛丛生,分枝多,具纤细的根状茎,根茎发达,根状茎能长出幼芽和根系,形成新植株行无性繁殖,并能够在地下生存多年。在供试的4种甘肃臭草种群斑块内,各层土壤水分都由斑块中心向斑块边缘逐渐增大,甘肃臭草种群在侵入初期以其根状茎的快速繁殖能力,形成了庞大的互相连通的根茎系统,斑块中心的根茎密度高于斑块边缘,对于土壤水分的吸收量大于斑块边缘,导致斑块中心土壤含水量明显低于周围土层中土壤含水量。通过对表1、表2甘肃臭草和土壤水分动态特征的分析,甘肃臭草种群特征与土壤水分之间存在明显的跟随关系,种群高度、密度、盖度由斑块中心向边缘逐渐减小,转变为与土壤水分变化规律一致,由中心向边缘逐渐增大,这是因为甘肃臭草侵入后,为了实现种群的生存和扩大种群规模,种群以聚集分布为主,但是这种分布导致斑块中心局部地方密度过高,对土壤水分的吸收量较大,斑块中心土壤含水量明显降低,种内对土壤水分的竞争加剧,根状茎迅速向周围水分多、空间大的地方蔓延,形成了二者之间的跟随关系。

随着甘肃臭草侵入时间的持续,斑块中心逐渐开始衰退,出现明显的裸斑,其中包括两个方面的原因,一方面由于甘肃臭草地上生物量较大,高于斑块周围草地,斑块内地表被较多枯落物覆盖,程积民^[22-23]等在黄土高原地区对长芒草、大针茅、硬质早熟禾、早熟禾、冷蒿、百里香等植物研究时认为,枯草会抑制植物的再生及幼苗的形成,不利于植物的繁殖和更新,从而导致密度逐渐降低,这种抑制现象促使甘肃臭草向周围没有枯草覆盖的地方形成幼苗个体,斑块中心则出现明显裸斑。另一方面由于根茎对水分的持续利用,导致斑块中心土壤含水量不断下降,造成水分的匮乏,强迫种群调整资源分配,首先将大部分水份用于根状茎的生存,茎、叶则得不到充足的水分,逐渐开始衰退,个体数明显减少,斑块中心密度下降,但地下的根茎结构仍然存在,吸收水份,吸收的水分一部分用于根状茎的生存,一部分通过根状茎结构,输送给斑块中心或边缘的甘肃臭草个体。

甘肃臭草种群开始以一个点为圆心,通过营养繁殖和根状茎的横向生长不断地扩大种群的生态位空间,以类似“同心圆”的方式向斑块周围土壤水分高的空间扩散,斑块规模扩大,种群聚集强度降低,经过几年的扩散,由于枯草抑制作用、土壤含水量下降,斑块中心逐渐开始衰退,出现明显裸斑,斑块以类似“同心圆”方式由中心向边缘逐层衰退。

4 结论

在4个发育阶段甘肃臭草种群的空间格局由聚集分布过渡为随即分布,土壤水分均呈现出从斑块中心向边缘增大的趋势;在斑块形成、扩散、稳定阶段,甘肃臭草斑块以类似“同心圆”的方式向周围土壤水分高的空间扩散,斑块半径由0.5 m扩大至1.5 m,种群的高度、密度、盖度由斑块中心向边缘递减;在衰退阶段斑块中心出现裸斑,种群的高度、密度、盖度以类似“同心圆”方式从中心向边缘逐层递增。在甘肃臭草斑块消长过程中,种群的分布格局和主要生物学特征与土壤水分之间不同阶段表现出不同的对应关系。种群通过对分布格局和主要生物学特征的调整,优化了土壤水分的分布结构,实现了种群分布区的拓殖,但是半干旱区土壤水分的有限性仍然是限制植物繁茂生长的关键因素,甘肃臭草斑块在经过斑块的形成期、扩散期、稳定期几个阶段后最终走向衰退。

References:

- [1] Greig-Smith P. Quantitative Plant Ecology. London: Blackwell Scientific Publications, 1983.
- [2] Zhang J T. Method of Quantitative Vegetation Ecology. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1995.
- [3] Chai W, Wang G X, Li Y S, Hu H C. Response of soil moisture under different vegetation coverage to precipitation in the headwaters of the Yangtze River. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(2): 329-336.
- [4] Lei Z D, Hu H P, Yang S X. A review of soil water research. *Advances in Water Science*, 1999, 10(3): 311-318.
- [5] Nish M S, Wierenga P J. Time series analysis of soil moisture and rainfall along a line transect in arid rangeland. *Soil Science*, 1991, 152(3): 189-198.
- [6] Liu C M, Sun R. Ecological aspects of water cycle: advances in soil vegetation atmosphere of energy and water fluxes. *Advances in Water Science*, 1999, 10(3): 251-259.
- [7] Jin H K, Liu Y H, Xu X, Wang K, Gao Q. Simulation of soil water dynamics in a caragana intermedia woodland in Huangfuchuan watershed: relationships among slope, aspect, plant density and soil water content. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 910-917.
- [8] Ma X D, Li W H, Zhu C G, Chen Y N. Spatio-temporal variation in soil moisture and vegetation along the lower reaches of Tarim River, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4035-4045.
- [9] Wei M Y, Chen S J, Liu L P. Reproductive biology characteristics of invasive alien plant *Oenothera rosea*. *Guihaia*, 2009, 29(2): 227-23.
- [10] Shen G J, Xu Z H, Yu G S. Distribution and damage of alligator weed, *Alternanthera philoxeroides* and its control. *Plant Protection*, 2005, 31(3): 14-18.
- [11] Zhao C Z, Long R J. Rehabilitation process of degraded *Melica przewalskyi* grassland in the upper reaches of Shiyang River. *Journal of Mountain Science*, 2008, 26(3): 286-292.
- [12] Diggle P J. Statistical Analysis of Spatial Point patterns. New York: Academic Press, 1983: 56-95.
- [13] Fu X, Nan Y G. Population pattern of main communities on halomorphic meadow of Keerqin sandy land. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1992,

3(4): 313-320.

- [14] Liu Z G, Li Z Q. Fine-scale spatial pattern of *Artemisia frigida* population under different grazing intensities. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 227-234.
- [15] Wang B Y, Yu S X. Multi-scale analyses of population distribution patterns. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(2): 235-241.
- [16] Philips D L, Macmahon J A. Competition and spacing patterns in desert shrubs. *Journal of Ecology*, 1981(69): 97-115.
- [17] Kenkel N C. Pattern of self thinning in Jack pine; testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 1988, 69(1): 1017-1024.
- [18] Allee W C. *Animal Aggregations: A Study in General Sociology*. Chicago: University of Chicago Press, 1931.
- [19] Cai F. A study on the structure and dynamics of *Cyclobalanopsis glauca* population at hills around west lake in Hangzhou. *Scientia Silvae Sinicae*, 2000, 36(3): 67-72.
- [20] Bertness M D, Callaway R M. Positive interactions in communities. *Trends in Ecology and Evolution*, 1994, 9(5): 191-193.
- [21] Noble P S. Root distribution and seasonal production in the northwestern Sonoran desert for a C₃ shrub, a C₄ bunchgrass, and a CAM leaf succulent. *American Journal of Botany*, 1997(84): 949-955.
- [22] Cheng J M, Zou H Y, Hingo A. The rational utilization of grassland and successional course of grassland vegetation in the Loess Plateau. *Acta Pratacultural Science*, 1995, 4(4): 17-22.
- [23] Cheng J M, Zou H Y. Effects of protective growing cutting and grazing on the vegetation of grassland. *Research of Soil and Water Conservation*, 1998, 5(1): 36-54.

参考文献:

- [2] 张金屯. 植被数量生态学方法. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [3] 柴雯, 王根绪, 李元寿, 胡宏昌. 长江源区不同植被覆盖下土壤水分对降水的响应. *冰川冻土*, 2008, 30(2): 329-336.
- [4] 雷志栋, 胡和平, 杨诗秀. 土壤水研究进展与评述. *水科学进展*, 1999, 10(3): 311-318.
- [6] 刘昌明, 孙睿. 水循环的生态学方面: 土壤-植被-大气系统水分能量平衡研究进展. *水科学进展*, 1999, 10(3): 251-259.
- [7] 贾海坤, 刘颖慧, 徐霞, 王昆, 高琼. 皇甫川流域柠条林地水分动态模拟——坡度、坡向、植被密度与土壤水分的关系. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 910-917.
- [8] 马晓东, 李卫红, 朱成刚, 陈亚宁. 塔里木河下游土壤水分与植被时空变化特征. *生态学报*, 2010, 30(15): 4035-4045.
- [9] 韦美玉, 陈世军, 刘丽萍. 外来入侵植物粉花月见草的繁殖生物学特性. *广西植物*, 2009, 29(2): 227-23.
- [10] 沈国军, 徐正浩, 俞谷松. 空心莲子草的分布、危害与防除对策. *植物保护*, 2005, 31(3): 14-18.
- [11] 赵成章, 龙瑞军. 石羊河上游甘肃臭草型退化草地植被恢复过程. *山地学报*, 2008, 26(3): 286-292.
- [13] 傅星, 南寅镐. 科尔沁沙地盐生草甸主要植物群落种群格局的研究. *应用生态学报*, 1992, 3(4): 313-320.
- [14] 刘振国, 李镇清. 不同放牧强度下冷蒿种群小尺度空间格局. *生态学报*, 2004, 24(2): 227-234.
- [15] 王本洋, 余世孝. 种群分布格局的多尺度分析. *植物生态学报*, 2005, 29(2): 235-241.
- [19] 蔡飞. 杭州西湖山区青冈种群结构和动态的研究. *林业科学*, 2000, 36(3): 67-72.
- [22] 程积民, 邹厚远, 本江昭夫. 黄土高原草地合理利用与草地植被演替过程的试验研究. *草业学报*, 1995, 4(4): 17-22.
- [23] 程积民, 邹厚远. 封育刈割放牧对草地植被的影响. *水土保持研究*, 1998, 5(1): 36-54.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland	6645
Potential distribution of rice in china and its climate characteristics	6659
Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress	6669
Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin	6677
<i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland	6688
A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint	6696
Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data	6708
Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery	6717
The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms	6727
Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function	6734
Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities	6743
Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei	6753
Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China	6766
Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes	6777
Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing	6788
A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances	6796
Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China	6805
An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone	6815
The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand	6824
Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province	6832
Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species	6845
Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province	6853
Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau	6866
Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves	6877
Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings	6886
Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer (<i>Moschus sifanicus</i>)	6896
Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station	6902
Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China	6912
A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value	6926
Review	
Salt-responsive proteomics in plants	6936
Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments	6947
Review of research progress of infectious diseases in wild birds	6959
Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage	6967
Monograph	
Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy	6973
Scientific Note	
A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations	6978

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 22 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元